

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILLER EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN PARA UN
CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE GRADO 2**

AUTOR:

ÓSCAR GARRO GONZÁLEZ

TUTOR:

ING. CARLOS CALDERÓN BORGE

SAN JOSÉ, ENERO, 2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción.....	15
Problema.....	15
Objetivos	15
Objetivo general.	15
Objetivos específicos.....	15
Justificación.....	16
Antecedentes	16
Antecedente #1.....	16
Antecedente #2.....	17
Antecedente #3.....	18
Antecedente #4.....	18
Antecedente #5.....	19
Antecedente #6.....	20
Antecedente #7.....	20
Antecedente #8.....	21
Antecedente #9.....	21
Antecedente #10.....	22
Antecedente #11.....	23
Antecedente #12.....	23
Limitaciones	24
Capítulo II. Marco teórico.....	25
Historia de la refrigeración y del aire acondicionado	25
El acondicionamiento de aire	26
Confort térmico	26
Normas, leyes y protocolos	26
El Protocolo de Kioto (Ley n.º 8219 en CR 1998).....	26
Objetivos principales del Protocolo de Kioto.....	27
Protocolo de Montreal en Costa Rica (Ley n.º 7223 en 1991).....	27
Objetivo principal del Protocolo de Montreal.	28
Acuerdo de París (Ley n.º 9405 en CR 2016).	29

Objetivos principales del Acuerdo de París.....	30
Enmienda de Kigali (Ley n.º 9522 en CR año 2018).....	34
Centro de procesamiento de datos o data center.....	34
Definición de un data center.....	34
Subsistemas que conforman un data center según la norma TIA 942.....	34
Clasificación de la infraestructura de data center-TIA-942.....	35
Tipos de data center.....	35
TIER 1 (centro de datos básico).....	35
TIER 2 (centro de datos redundante).....	36
TIER 3 (centro de datos mantenimiento concurrente).....	36
TIER 4 (centro de datos tolerante a fallos).....	37
Sistema de climatización para un data center.....	37
Diseño de pasillo caliente/pasillo frío.....	38
Diferencias entre un aire acondicionado de precisión y aire acondicionado de confort.....	39
Componentes básicos del sistema de refrigeración.....	41
Evaporador.....	41
Condensador.....	41
Tubo capilar.....	43
Válvula de expansión.....	43
Compresor.....	44
Componentes de control automático.....	44
Humidificador.....	45
Refrigerantes.....	45
Clasificación de los refrigerantes.....	45
Sistema de filtración de aire.....	46
Ventilador o turbina.....	46
Tuberías.....	47
Cálculo de carga térmica.....	47
Calor sensible.....	47
Calor latente.....	47
Transferencia de calor.....	48

Ganancia de calor en recintos.	48
Conducción a través de estructuras exteriores.	49
Conducción a través de estructuras interiores.	50
Radiación solar a través de vidrios.	51
Alumbrado.	51
Personas.	52
Equipo.	53
Transferencia de calor hacia los alrededores.	53
Infiltraciones.	54
Psicrometría.	54
Propiedades del aire.	54
Carta psicrométrica.	55
Estimación de costos para un sistema de climatización del CPD	57
Análisis financiero.	57
Tasa interna de retorno (TIR).	57
Valor actual neto (VAN).	58
Capítulo III. Marco metodológico	60
Enfoque de investigación	60
Enfoque cuantitativo	60
Enfoque cualitativo	60
Enfoque mixto	61
Alcance de la investigación	61
Alcance descriptivo.	61
Alcance correlacional.	61
Alcance explicativo.	61
Alcance exploratorio.	62
Diseño de la investigación	62
Diseños experimentales.	62
Diseños no experimentales.	62
Fuentes de información	62
Muestra probabilística	63

Muestra no probabilística	63
Variables o unidades de análisis	63
Capítulo IV. Análisis de resultados	66
Condiciones de diseño.....	67
Límites geográficos	70
Cálculo de cargas térmicas	70
Cálculo a través de paredes.	71
Cálculo a través de techos.	74
Cálculo a través de puertas.	75
Cálculo a través de vidrios.	75
Cálculo por alumbrado.	75
Cálculo por personas.	76
Cálculo por equipos.	77
Cálculo infiltraciones.....	78
Cálculo de la carga total de enfriamiento.....	78
Análisis de carga térmica software HAP.....	79
Selección de equipos	80
Planos mecánicos	80
Mantenimiento del sistema de climatización	82
Filtros de aire	83
Sección de turbina	83
Recuperador de calor.....	83
Bomba de condensado.....	83
Tubería de refrigeración	84
Compresor	84
Panel eléctrico	84
Humidificador.....	84
Análisis financiero.....	88
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	91
Conclusiones	91
Recomendaciones.....	91

Capítulo VI. Propuesta.....	93
Referencias.....	94
Anexos	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Variables correspondientes a cada uno de los objetivos específicos	64
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre aire acondicionado de presión y de confort.....	40
Tabla 2 Algunas características de la clasificación del Standard 34.....	46
Tabla 3 Rango de temperatura recomendado para los centros de datos	70
Tabla 4 Equipos destinados a los racks del centro de datos	77
Tabla 5 Cálculo de la carga térmica según las condiciones del lugar para el mes de abril, a las 12:00 p. m	79
Tabla 6 Plan de mantenimiento anual detallado para los equipos del centro de datos.....	86
Tabla 7 Plan de mantenimiento para el centro de datos durante el mes de mayo.....	87
Tabla 8 Diferencias de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE) que se utilizan en el cálculo de la carga térmica de paredes expuestas al sol.....	101
Tabla 9 Coeficiente de construcción de paredes.....	102
Tabla 10 Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE) que se utilizan en el cálculo de cargas atribuibles a techos	103
Tabla 11 Coeficiente de construcción de puertas.....	104
Tabla 12 Corrección de la DTCE según la latitud y el mes, para su aplicación en paredes y techos	105
Tabla 13 Cálculo de ductería mediante el método de igual fricción.....	106

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Propuesta inicial para el diseño del centro de datos 2025	66
Imagen 2 Ubicación del centro de datos en 2025	67
Imagen 3 Condiciones climatológicas de los meses de enero a agosto de 2023, a las 12 p. m	68
Imagen 4 Condiciones climatológicas de los meses de enero a agosto de 2024, a las 12 p. m. ...	69
Imagen 5 Condiciones climatológicas de los meses de enero a abril de 2025, a las 12 p. m.	69
Imagen 6 Propuesta inicial para el diseño del centro de datos 2025	81
Imagen 7 Plano isométrico del centro de datos 2025	82
Imagen 8 Dimensiones del equipo Liebert DS	100
Imagen 9 Cotización del equipo Liebert DS.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama mecánico de un TIER 1	36
Figura 2 Diagrama mecánico de un TIER 2	36
Figura 3 Diagrama mecánico de un TIER 2	37
Figura 4 Distribución de pasillos fríos y calientes	38
Figura 5 Mapa de calor de pasillos fríos y calientes	39
Figura 6 Evaporadores de expansión seca o directa	41
Figura 7 Evaporadores inundados.....	41
Figura 8 Condensador enfriado por aire	42
Figura 9 Condensador enfriado por agua.....	42
Figura 10 Condensador evaporativo	43
Figura 11 Tubo capilar	43
Figura 12 Válvula de expansión.....	44
Figura 13 Filtros para calidad de aire interior.....	46
Figura 14 Ventiladores centrífugos y axiales.....	47
Figura 15 Transmisión de calor por convección natural.....	48
Figura 16 Transmisión de calor por radiación	48
Figura 17 Esquema del diagrama psicrométrico	56
Figura 18 Tabla psicométrica.....	56
Figura 19 Diagrama del capital total invertido	57

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis queridos padres, quienes han sido mi mayor apoyo a lo largo de toda mi carrera académica. Su fe inquebrantable en mis capacidades, su constante apoyo y su amor incondicional han constituido las bases de mi desarrollo y éxito. Gracias a ellos, he aprendido a enfrentar las adversidades con valentía y a luchar por alcanzar mis metas. Este logro refleja su sacrificio, dedicación y enseñanzas.

Asimismo, dedico profundamente este logro a mi familia y a todas las personas que, con su apoyo y compañía, han sido parte fundamental en la culminación de esta etapa de mi vida. Su presencia y aliento han resultado invaluable.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor, por su excepcional orientación durante todas las fases de esta investigación. Su experiencia y sus consejos fueron fundamentales para la ejecución del proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser una fuente constante de fortaleza durante todo el proceso investigativo. A mis amigos, por estar siempre dispuestos a escucharme y brindarme su apoyo en cada etapa del camino.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la forma más adecuada de aplicar la normativa correspondiente para el diseño de un sistema de climatización en un centro de procesamiento de datos (CPD) de aproximadamente 400 m², ubicado en la zona de Belén, Heredia. De esta manera, se busca que se cumplan correctamente los requisitos establecidos por TIER.

El TIER, desarrollado por el Uptime Institute, es un sistema de clasificación que evalúa la infraestructura y la capacidad de adaptación de un CPD, dividiéndolo en cuatro niveles (TIER I a TIER IV). Esta clasificación se fundamenta en la norma ANSI/TIA-942, la cual establece los requisitos para la infraestructura de los centros de datos, lo que incluye la redundancia, la disponibilidad y la confiabilidad de los sistemas de energía, climatización y redes.

Un CPD TIER II debe contar con componentes redundantes (N+1) en su infraestructura de climatización y energía, lo que garantiza una mayor disponibilidad y tolerancia a fallos. Por lo tanto, la propuesta de diseño incluye el desarrollo de un sistema redundante de climatización, con base en el análisis de las cargas térmicas del lugar.

Para el desarrollo de la presente investigación y a partir de los resultados en los cálculos de cargas térmicas, se efectúa un análisis mediante el método de pasillo frío/pasillo caliente con el objetivo de verificar su viabilidad. Con base en este análisis, se toman decisiones estratégicas para seleccionar los equipos y sistemas que satisfagan las necesidades del diseño.

Capítulo I. Introducción

Problema

El control de la temperatura en un *data center* resulta fundamental para garantizar el rendimiento óptimo de los equipos, ya que el sobrecalentamiento puede afectar su funcionamiento. No obstante, en numerosos casos, los sistemas de climatización presentan fallas de diseño o se encuentran sobredimensionados, lo que compromete la eficiencia y pone en riesgo la fiabilidad e integridad de los datos. Por consiguiente, surge la siguiente pregunta:

¿Cuál es el mejor diseño de un sistema de climatización eficiente y fiable para un centro de procesamiento de datos de grado 2, que cumpla con los requisitos de temperatura, humedad y eficiencia energética, mientras se asegura la máxima disponibilidad y minimización de riesgos de fallos en el servicio?

Objetivos

Objetivo general. Diseñar un sistema de climatización eficiente que se adapte a las necesidades de un *data center*, garantizando el cumplimiento integral de las normativas y códigos pertinentes.

Objetivos específicos

1. Calcular la carga térmica generada por todos los equipos del CPD, con el fin de que se diseñe un sistema de climatización adecuado.
2. Asegurarse de que el diseño del CPD cumpla con las normativas y los estándares pertinentes para la certificación TIER II.
3. Asegurarse de que el sistema de climatización esté diseñado para que se garantice el funcionamiento del CPD en caso de que falle algún componente.
4. Diseñar planos constructivos detallados del sistema de climatización, especificando los equipos más adecuados de acuerdo con los requisitos técnicos de un CPD.
5. Elaborar un presupuesto para el sistema de climatización del CPD, que contemple todos los costos asociados, con el objetivo de que se asegure la viabilidad económica del proyecto.

Justificación

El diseño de un sistema de climatización eficiente para un centro de procesamiento de datos (CPD) resulta fundamental para garantizar el funcionamiento correcto de los equipos de tecnología de la información. La temperatura adecuada y la gestión de la humedad constituyen factores esenciales para mantener los equipos entre sus rangos óptimos de operación, lo que reduce el riesgo de fallos y asegura la integridad de los datos.

Determinar la capacidad de procesamiento y almacenamiento resulta esencial para garantizar que el centro de procesamiento de datos (CPD) soporte la carga de trabajo actual y futura. Sin una evaluación precisa de estas necesidades, el CPD puede enfrentar problemas de capacidad insuficiente o incurrir en sobrecostos debido a un sobredimensionamiento innecesario.

La carga térmica resulta fundamental para el diseño de un sistema de climatización eficiente. Una evaluación precisa de la carga térmica garantiza que el sistema de refrigeración mantenga una temperatura adecuada, lo que previene el sobrecalentamiento de los equipos y reduce el riesgo de fallos en el CPD.

Finalmente, es fundamental cumplir con las normativas y estándares para asegurar que el CPD se diseñe conforme a las mejores prácticas del sector y se ajuste a los requisitos para un TIER II. Este cumplimiento garantiza niveles adecuados de redundancia, disponibilidad y confiabilidad, aspectos esenciales para las operaciones del CPD. Por lo tanto, este proyecto no solo busca lograr un diseño técnico eficiente, sino también alinearse con los estándares que certifican la calidad.

Antecedentes

Antecedente #1. Título: Diseño del sistema de climatización eficiente para cinco pisos en el edificio académico de una universidad privada con diversas áreas.

Autor: Nathanael Castellón Arguedas.

Año: 2021.

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Este proyecto incluyó el estudio, análisis, cálculo y diseño de los sistemas de climatización, en conformidad con las directrices y leyes vigentes en el país. Los resultados permitieron

establecer una base sólida para la selección y el dimensionamiento de los equipos de climatización, garantizando el cumplimiento de los estándares de eficiencia energética y el confort adecuado para el funcionamiento de la universidad.

Este proyecto constituye un modelo de análisis, ya que tanto el proceso de recolección de datos como el análisis realizado se alinearon con las necesidades del sitio y cumplieron con las normativas vigentes para la implementación correcta de un sistema de climatización confiable y eficiente. Este modelo puede aplicarse adecuadamente al desarrollo del sistema de climatización propuesto, debido a que también busca garantizar el cumplimiento de la normativa y la confiabilidad.

Antecedente #2. Título: Optimización del sistema de climatización acorde con la normativa ambiental vigente en Costa Rica para el ICE telecomunicaciones en la zona metropolitana este.

Autor: Mauricio Porras Huete.

Año: 2021.

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Este proyecto se llevó a cabo en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en la zona metropolitana este, con el objetivo de reemplazar los sistemas de climatización que utilizan Freón 22, un refrigerante con potencial de agotamiento de ozono (PAO), por equipos más sostenibles. En el estudio se identificaron 1044 equipos distribuidos en 71 sitios, de los cuales el 60 % contiene refrigerantes con PAO. A partir de 2024, según la enmienda de Kigali, también se regula el uso de HFC, presentes en un 17.86 % de los equipos. El 22.18 % de los equipos ya utiliza agua helada como refrigerante, lo que representa una mejora en la huella ambiental. El análisis económico estima que la eliminación del PAO costaría ₡188.800.000 anuales durante 10 años, con una posible reducción a ₡178 400 000 si se implementan mejoras continuas en el mantenimiento y la gestión, extendiendo la vida útil a 12 años.

Este antecedente aporta información valiosa sobre la optimización de sistemas de climatización en función de las regulaciones ambientales y el uso de refrigerantes más sostenibles, lo cual resulta altamente relevante para el diseño de un sistema de climatización para un *data center*.

Antecedente #3. Título: Diseño del sistema de aire acondicionado para la sucursal de La Uruca del Banco Nacional de Costa Rica.

Autor: Felipe Alvarado García.

Año: 2021.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este proyecto se desarrolló para una de las sucursales del Banco Nacional de Costa Rica, en el cual se diseñó un nuevo sistema de acondicionamiento de aire a partir de un análisis integral de la infraestructura. Para esto, se realizó un estudio de carga térmica de la edificación, se evaluó y seleccionó la tecnología de aire acondicionado más adecuada, conforme a los requerimientos del sitio y a las normativas ambientales vigentes en el ámbito nacional e internacional.

El diseño incluyó el dimensionamiento de los equipos y la integración de sistemas inteligentes con monitoreo en tiempo real. Asimismo, se elaboraron diagramas de montaje y distribución de equipos, lo que garantizó una instalación eficiente y adaptada a las condiciones del edificio.

La estimación de la carga térmica determinó que la capacidad requerida para climatizar la sucursal era de 188,6 kW, con un 78 % de capacidad sensible. No obstante, la selección de la tecnología presentó desafíos que se relacionan con las limitaciones de espacio entre el cielo suspendido y el entrepiso, la presencia de sistemas eléctricos, CCTV y supresión de incendios, así como la necesidad de disminuir la cantidad de unidades condensadoras.

Este antecedente demuestra la importancia de diseñar sistemas de climatización eficientes y que se adaptan a las condiciones específicas de cada infraestructura, integrando nuevas tecnologías que optimicen el consumo energético y faciliten la gestión operativa y el mantenimiento de los equipos.

Antecedente #4. Título: Propuesta de mejora para el sistema de Agua Helada en el acondicionamiento de aire de la compañía Micro Technologies S.A.-Coyol de Alajuela; mediante el análisis y diagnóstico técnico, ambiental y financiero, según la norma ASHRAE.

Autor: José Ignacio Torres Araya.

Año: 2022.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este estudio tiene como objetivo optimizar el rendimiento y la eficiencia energética del sistema de agua helada en el acondicionamiento de aire. Mediante un análisis técnico, ambiental y financiero basado en la norma Ashrae, se identificaron oportunidades para modernizar los equipos, mejorar el aislamiento térmico y aplicar controles automatizados. Estas mejoras permiten reducir el consumo energético y los costos operativos, además de disminuir las emisiones de CO₂, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental.

El análisis financiero demuestra que la inversión en estas optimizaciones genera un retorno favorable en el mediano plazo. Al seguir los lineamientos de Ashrae, se garantiza el cumplimiento de estándares internacionales en eficacia y confort. En conclusión, la propuesta constituye una solución integral para optimizar el desempeño del sistema de climatización, beneficiando, tanto a la empresa como al ambiente.

Antecedente #5. Título: Diseño de un sistema de aire acondicionado para un cuarto limpio de una nave de industria farmacéutica.

Autor: Daniela González Cruz.

Año: 2022.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Este estudio se centra en el diseño de un sistema de aire acondicionado para un cuarto limpio ubicado en una nave de la industria farmacéutica. El objetivo principal es asegurar que el ambiente cumpla con los estándares y normas establecidos, mediante el control de la temperatura, la humedad y la renovación del aire.

El diseño se centra en garantizar la distribución adecuada del aire acondicionado dentro del cuarto limpio, considerando las especificaciones de Ashrae y las necesidades del proceso. Asimismo, el proyecto contempla los equipos mecánicos necesarios para cumplir con los requisitos de temperatura y humedad.

La metodología desarrollada comprende la realización de cálculos de cargas térmicas y la selección de los equipos más adecuados para mantener las condiciones óptimas en el entorno de producción farmacéutica.

Antecedente #6. Título: Análisis energético de los sistemas de aire acondicionado tipo expansión directa y agua helada en edificios de oficinas en Costa Rica con el fin de obtener la certificación LEED BD+C

Autor: Luis Diego Jiménez Cordero.

Año: 2022.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Esta investigación se centra en el análisis energético y económico de sistemas de aire acondicionado para edificios de oficinas en Costa Rica, con el objetivo de proponer un sistema de climatización eficiente y viable que contribuya a obtener la certificación LEED® BD+C v4. Debido al elevado consumo energético de las edificaciones, especialmente en los sistemas de aire acondicionado, se pretende evaluar y comparar diversas opciones, como la expansión directa y el sistema de agua helada, considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento.

En este proyecto se destacan aspectos clave, como la eficiencia energética, la rentabilidad económica y el cumplimiento de normativas de sostenibilidad, los cuales son fundamentales para el desarrollo de la investigación.

Antecedente #7. Título: Aplicación de las normas TIA 942 para el fortalecimiento del *data center* en el complejo universitario de la UNESUM.

Autor: Yandry Iván Tello Parrales.

Año: 2024.

Institución: Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

Este antecedente analiza la necesidad de optimizar el sistema de climatización del *data center* de la universidad. Lo anterior tiene el fin de prevenir el sobrecalentamiento de los equipos, lo que puede provocar fallos y reducir el rendimiento. Se propone la aplicación de las normas TIA

942, las cuales establecen directrices para el diseño y la operación de *data centers*, abarcando aspectos de redundancia, topología, gestión y seguridad.

El estudio realizado en este proyecto concluye que la aplicación de las normas TIA 942 mejora significativamente el rendimiento y la eficiencia del *data center*, garantizando un entorno óptimo para los equipos y la información almacenada.

Antecedente #8. Título: Simulación CFD de una sala IT de un data center.

Autor: David Grau López.

Año: 2023.

Institución: Universidad Técnica de Cataluña, España.

Este proyecto se centra en el uso de herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD), cuyo objetivo es evaluar la eficiencia del sistema de refrigeración y detectar posibles ineficiencias en la climatización. Para esto, se modela una sala IT con una configuración específica, lo que permite identificar puntos críticos de temperatura, valorar la circulación del aire y optimizar el diseño del sistema de enfriamiento.

El proyecto demuestra que el uso de simulaciones CFD constituye una herramienta fundamental en el diseño y la mejora de los sistemas de climatización en *data centers*, ya que permite optimizar el rendimiento térmico, reducir el consumo energético y garantizar condiciones estables para los servidores.

Esta metodología de análisis no solo proporciona información relevante para la toma de decisiones en el diseño de sistemas de aire acondicionado, sino que también constituye una base para establecer un modelo eficiente y sostenible de climatización de centros de datos conforme a las normativas.

Antecedente #9. Título: Climatización mediante free cooling de un centro de proceso de datos.

Autor: Ignacio Jiménez Grech.

Año: 2022.

Institución: Universidad Europea de Madrid, España.

Este estudio tuvo como objetivo diseñar un sistema de climatización eficiente para un centro de datos ubicado en Pozuelo de Alarcón, Madrid, utilizando la tecnología de *free cooling*. Esta tecnología se fundamenta en el aprovechamiento de la temperatura del aire exterior para enfriar el interior del centro, lo que permite reducir de manera significativa el consumo energético y las emisiones de CO₂.

Los resultados en este proyecto evidencian una reducción del consumo energético superior al 50 %, con un retorno de la inversión en 4,3 años tras implementar dicha tecnología. El estudio concluye que el *free cooling* constituye una solución viable y sostenible para los centros de datos. Este antecedente respalda la adopción de estrategias de eficiencia en la climatización de infraestructuras tecnológicas.

Antecedente #10. Título: Unidades de climatización para centros de datos.

Autor: Iván Leonardo Suárez Cruz, Andrés Escobar Díaz, Harold Vacca González.

Año: 2019.

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

En este antecedente se resalta la importancia y clasificación de los equipos de aire acondicionado en dos grandes grupos: los equipos de confort y los equipos de precisión. Los primeros garantizan la comodidad de las personas, mientras que los equipos de exactitud mantienen condiciones específicas para asegurar la operatividad de ambientes particulares, como los centros de datos. Este trabajo subraya la relevancia de los equipos de precisión, ya que funcionan de manera constante y confiable durante los 365 días del año, a diferencia de los equipos de confort, cuyo diseño está orientado a una menor frecuencia de operación.

Los sistemas de refrigeración en los centros de datos suelen ser redundantes (N+1), donde el equipo activo opera mientras que el equipo de reserva permanece disponible para entrar en funcionamiento en caso de que ocurra alguna falla o se requiera un esfuerzo adicional. Esto garantiza la continuidad del servicio y la estabilidad térmica en el entorno de trabajo.

Por lo tanto, es importante realizar una selección adecuada e implementación de equipos de aire acondicionado de precisión, así como gestionar de manera eficiente el calor y la humedad, para asegurar el funcionamiento seguro y continuo de los centros de datos.

Antecedente #11. Título: Diseño de un sistema de climatización con monitoreo y control automatizado para un data center de una institución financiera.

Autor: Wilson Geovanny Morocho Tenezaca, Henry Daniel Quito Lojano.

Año: 2023.

Institución: Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Este proyecto se centra en el diseño de un centro de datos con un sistema de monitoreo y control de temperatura, utilizando tecnologías como el NodeMCU 8266 y el sensor DHT11. Su objetivo es recolectar datos precisos para mantener los parámetros ideales de temperatura y humedad, así como prevenir fallas inesperadas.

En este proyecto se determina la viabilidad de implementar un sistema automatizado de control climático, el cual no solo optimiza el consumo energético, sino que también garantiza la continuidad operativa del *data center*. Asimismo, se concluye que, aunque la inversión inicial resulta considerable, los beneficios a largo plazo, como una mayor eficiencia energética y la reducción de costos operativos por fallos, justifican la implementación del sistema.

Antecedente #12. Título: Diseño y cálculo de las instalaciones de una sala dedicada en un centro de datos de misión crítica y alta disponibilidad.

Autor: Francisco Marqueño Navarro.

Año: 2020.

Institución: Universidad Politécnica de Valencia, España.

Este proyecto se centra en el diseño y cálculo de las instalaciones para una nueva sala en un centro de datos de misión crítica de la empresa Nixval e incluye el suministro eléctrico, la climatización eficiente y los sistemas de detección y extinción de incendios. Estas instalaciones deben cumplir con las especificaciones propias de los centros de datos, garantizando la disponibilidad y la eficiencia operativa. Esta información constituye un antecedente, ya que proporciona lineamientos sobre la redundancia, la eficacia energética y la seguridad en el diseño de la infraestructura crítica.

Limitaciones

1. La obtención de información sobre normativas puede constituir una limitante, debido a que se requiere membresía para acceder a las publicaciones. Un ejemplo claro de estas son las normativas de Ashrae y ANSI/TIA-942, las cuales establecen criterios fundamentales para el diseño eficiente y seguro de sistemas de climatización en centros de datos.
2. El presupuesto destinado al proyecto puede limitar la selección de equipos, la implementación de sistemas redundantes y la adopción de tecnologías de enfriamiento más avanzadas.
3. Las condiciones climáticas iniciales para el análisis de cargas térmicas pueden variar según el mes establecido como punto de partida.
4. La falta de acceso a las fichas técnicas de los equipos de tecnología de la información constituye una limitante significativa, ya que dificulta la selección del sistema de climatización más adecuado para satisfacer las necesidades específicas del lugar.

Capítulo II. Marco teórico

Historia de la refrigeración y del aire acondicionado

De acuerdo con Linacal (s. f.):

El aire acondicionado nació en el antiguo Egipto para combatir el calor. Los egipcios emplearon varias técnicas para conseguir que el faraón disfrutara de temperaturas agradables. El palacio del faraón estaba revestido de grandes piedras, por lo que, para enfriar la estancia, miles de esclavos desmantelaban las paredes durante la noche para trasladar las piedras al desierto del Sáhara.

Allí las temperaturas eran muy frías durante la noche, lo que provocaba que las piedras se enfriaran muy rápidamente. Antes del amanecer volvían a trasladar las piedras para colocarlas de nuevo en su lugar. Con este costoso trabajo, el faraón podía disfrutar de temperaturas de 26 grados, cuando en el exterior superaban los 40 grados.

Pero el aire acondicionado tal y como lo conocemos hoy tiene su origen en 1842 gracias a Lord Kelvin, que trabajó en la invención de un sistema que fuera capaz de crear un ambiente agradable. Para conseguirlo, creó un sistema frigorífico hermético capaz de absorber el calor gracias a un gas refrigerante.

Pero otros muchos sitúan el origen del aire acondicionado en 1902, cuando el estadounidense Willis Haviland Carrier comenzó a sentar las bases sobre la refrigeración actual. Primero desarrolló la tecnología para solucionar problemas derivados de la excesiva humidificación del aire que se enfriaba.

Poco después Carrier diseñó una máquina capaz de controlar la humedad y la temperatura del ambiente a través de una serie de tubos enfriados. A esta se le puede considerar como la primera máquina de aire acondicionado. Este invento se patentó en 1906 como aparato para tratar el aire, porque el concepto de aire acondicionado no se utilizó hasta que el ingeniero Stuart H. Cramer patentó un equipo que expulsaba vapor de agua en las industrias textiles, que permitía acondicionar el hilo.

En 1915 surgió la primera empresa de aire acondicionado, cuando Carrier se juntó con varios ingenieros y fundó la empresa de ingeniería Carrier. Fue en 1921 cuando el propio Carrier patentó una máquina de refrigeración centrífuga, que permitía enfriar grandes espacios.

No fue hasta 1928 cuando se empezaron a desarrollar aparatos de aire acondicionado

domésticos. Aunque este invento no obtuvo los resultados esperados, ya que salió al mercado coincidiendo con la gran depresión económica de Estados Unidos. A partir de la Segunda Guerra Mundial los aparatos de aire acondicionado se empezaron a extender por todo el mundo (s. p.).

El acondicionamiento de aire

El acondicionamiento de aire consiste en mantener, dentro de un espacio determinado, condiciones de confort o aquellas necesarias para la conservación de un producto o para un proceso de fabricación, ajustando la temperatura ambiente a un nivel más adecuado, ya sea enfriando el aire en climas cálidos o calentándolo en climas fríos. Para lograr este objetivo, es necesario instalar un equipo acondicionador de capacidad adecuada y mantener su control durante todo el año. La capacidad del equipo se determina según el cálculo de las cargas térmicas (Carrier Air Conditioning Company, 1999).

Los sistemas de aire acondicionado emplean diversos métodos para lograr este control, siendo los más comunes los sistemas de refrigeración por compresión de vapor. Estos sistemas utilizan refrigerantes para absorber y disipar el calor del aire interior y expulsan el calor absorbido al exterior. Además de regular la temperatura, el aire acondicionado puede filtrar el aire para mejorar su calidad mediante la eliminación de partículas y contaminantes, así como regular la humedad para mantener niveles óptimos que favorecen el confort y la salud de los ocupantes del espacio.

Confort térmico

El confort térmico es el estado en el que una persona no experimenta sensaciones de frío ni de calor y en el que las condiciones de temperatura, ventilación y humedad generan un ambiente agradable y adecuado para realizar las actividades propias del espacio. Según la norma 55 de Ashrae (2009), se define el confort térmico como: “Aquella condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico” (s. p.).

Normas, leyes y protocolos

El Protocolo de Kioto (Ley n.º 8219 en CR 1998). Según la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2021):

El Protocolo de Kyoto fue aprobado el 11 de diciembre de 1997. Debido a un complejo proceso de ratificación, entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Actualmente, hay 192 Partes en el Protocolo de Kyoto.

En concreto, el Protocolo de Kyoto pone en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático comprometiéndolo a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de conformidad con las metas individuales acordadas. La propia Convención sólo pide a esos países que adopten políticas y medidas de mitigación y que informen periódicamente.

El Protocolo de Kyoto se basa en los principios y disposiciones de la Convención y sigue su estructura basada en los anexos. Sólo vincula a los países desarrollados y les impone una carga más pesada en virtud del principio de “responsabilidad común pero diferenciada y capacidades respectivas”, porque reconoce que son los principales responsables de los actuales altos niveles de emisiones de GEI en la atmósfera (s. p.).

Objetivos principales del Protocolo de Kioto. De acuerdo con García Flores (2019):

En su Anexo B, el Protocolo de Kyoto establece objetivos vinculantes de reducción de las emisiones para 36 países industrializados y la Unión Europea. En conjunto, esos objetivos suponen una reducción media de las emisiones del 5 % en comparación con los niveles de 1990 en el quinquenio 2008-2012 (el primer período de compromiso (s. p.)).

Los objetivos para el primer período de compromiso del Protocolo de Kioto abarcan las emisiones de los seis principales gases de efecto invernadero, a saber:

- Dióxido de carbono (CO₂).
- Metano (CH₄).
- Óxido nitroso (N₂O).
- Hidrofluorocarbonos (HFC).
- Perfluorocarbonos (PFC).
- Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Protocolo de Montreal en Costa Rica (Ley n.º 7223 en 1991). El Protocolo de Montreal

constituye un acuerdo internacional fundamental para la protección de la capa de ozono, mientras que la Ley n.º 7223 de 1991 en Costa Rica representa el marco legal que ratifica dicho protocolo y establece las medidas necesarias para cumplir con sus objetivos:

El Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono es una iniciativa que surgió con el objetivo de apoyar a los países que forman parte de él, en la reducción de la producción y el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono, disminuyendo de esta manera su liberación a la atmósfera. Este Protocolo ha sido enmendado en cuatro ocasiones para facilitar el control de nuevos químicos e implementar un mecanismo financiero que facilite el cumplimiento de los compromisos adquiridos por los países en desarrollo. El Protocolo de Montreal se firmó en 1987 y entró en vigor en, 1989; Costa Rica lo ratificó a través de la Ley 7223 en 1991, y actualmente ha sido ratificado por 196 países más, incluyendo las grandes potencias del mundo (Oficina Técnica del Ozono; Dirección de Gestión de Calidad Ambiental; Ministerio de Ambiente y Energía y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014, p. 4).

El Protocolo de Montreal está estructurado en varias enmiendas que se han adoptado para fortalecer el acuerdo inicial:

- Enmienda de Londres (1990): ampliación del acuerdo para incorporar nuevas sustancias y establecer objetivos más ambiciosos.
- Enmienda de Copenhague (1992): incremento de las obligaciones de reducción y establecimiento de restricciones adicionales para un mayor número de sustancias.
- Enmienda de Montreal (1997): se introdujo un plan para eliminar los HCFC y se establecieron regulaciones más estrictas.
- Enmienda de Pekín (1999): fortalecimiento del protocolo para incorporar medidas que permitan una recuperación más rápida de la capa de ozono.

El Protocolo de Montreal ha tenido un impacto significativo en la protección de la capa de ozono, ya que ha contribuido a su recuperación gradual y a la reducción del riesgo de enfermedades asociadas a la exposición a los rayos UV (UNFCCC, 2021).

Objetivo principal del Protocolo de Montreal. La eliminación de los

hidroclorofluorocarbonos (HCFC) responde a que estos gases, empleados mundialmente en aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y producción de espuma, son retirados de manera progresiva conforme al Protocolo de Montreal debido a su capacidad para agotar la capa de ozono. Los HCFC constituyen sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO). Además, son potentes gases de efecto invernadero; el HCFC que más se utiliza posee un potencial de calentamiento global casi 2.000 veces superior al del dióxido de carbono. Reconociendo los posibles beneficios para el clima, en septiembre de 2007 las partes decidieron acelerar el programa de eliminación gradual de los HCFC. Los países desarrollados han reducido su consumo de HCFC y los eliminarán completamente en 2020. Por otra parte, las naciones en desarrollo acordaron iniciar su proceso de eliminación gradual en 2013 y, en la actualidad, avanzan hacia la supresión total de los HCFC en 2030.

Acuerdo de París (Ley n.º 9405 en CR 2016). De acuerdo con la Iniciativa de Divulgación de Activos Climáticos de América Latina (Lacadi) (2022):

El Acuerdo de París es un acuerdo internacional clave en la lucha contra el cambio climático, y la Ley n.º 9405 de 2016 en Costa Rica es el marco legal que ratifica este acuerdo y establece medidas para cumplir con sus objetivos en el ámbito nacional.

El 12 diciembre de 2015, en la COP21 de París, las Partes de la CMNUCC alcanzaron un acuerdo histórico para combatir el cambio climático y acelerar e intensificar las acciones e inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. El Acuerdo de París se basa en la Convención y, por primera vez, hace que todos los países tengan una causa común para emprender esfuerzos ambiciosos para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos, con un mayor apoyo para ayudar a los países en desarrollo a hacerlo. Como tal, traza un nuevo rumbo en el esfuerzo climático mundial.

El objetivo central del Acuerdo de París es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 grados centígrados. Además, el acuerdo tiene por objeto aumentar la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático y lograr que las corrientes de financiación sean coherentes con un nivel bajo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y una trayectoria

resistente al clima. Para alcanzar estos ambiciosos objetivos, es preciso establecer un marco tecnológico nuevo y mejorar el fomento de la capacidad, con el fin de apoyar las medidas que adopten los países en desarrollo y los países más vulnerables, en consonancia con sus propios objetivos nacionales, y movilizar y proporcionar los recursos financieros necesarios. El Acuerdo también prevé un marco mejorado de transparencia para la acción y el apoyo. El Acuerdo de París exige a todas las Partes que hagan todo lo que esté en su mano por medio de contribuciones determinadas a nivel nacional y que redoblen sus esfuerzos en los próximos años. Esto incluye la obligación de que todas las Partes informen periódicamente sobre sus emisiones y sobre sus esfuerzos de aplicación. También habrá un inventario mundial cada cinco años para evaluar el progreso colectivo hacia el logro del propósito del acuerdo, y para informar sobre nuevas medidas individuales de las Partes.

El Acuerdo de París quedó abierto a la firma el 22 de abril de 2016 – Día de la Tierra – en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York. Entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, 30 días después de que se cumpliera el llamado “doble criterio” (ratificación por 55 países que representan al menos el 55 % de las emisiones mundiales). Desde entonces, más países han ratificado y siguen ratificando el Acuerdo, y alcanzan un total de 125 Partes a principios de 2017 (s. p.).

Objetivos principales del Acuerdo de París. Según las Naciones Unidas (s. f.):

El Acuerdo de París, adoptado mediante la decisión 1/CP.21, aborda áreas cruciales necesarias para combatir el cambio climático. A continuación, se exponen algunos de los aspectos clave del Acuerdo de París:

Objetivo a largo plazo referente a la temperatura (artículo 2) – El Acuerdo de París, al tratar de fortalecer la respuesta mundial al cambio climático, reafirma el objetivo de limitar el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2 grados centígrados, al tiempo que prosiguen los esfuerzos para limitarlo a 1,5 grados.

Punto máximo y neutralidad climática (artículo 4) – Para alcanzar este objetivo de temperatura, las Partes se proponen alcanzar cuanto antes el punto máximo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, y a reconocer que ese punto máximo llevará más tiempo a las Partes que son países en desarrollo, con el fin de lograr un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de GEI en

la segunda mitad del siglo.

Mitigación (artículo 4) – El Acuerdo de París establece compromisos vinculantes de todas las Partes para preparar, comunicar y mantener una contribución determinada a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) y aplicar medidas nacionales para lograrlos. También establece que las Partes comunicarán sus contribuciones determinadas a nivel nacional cada cinco años, y proporcionarán la información necesaria para la claridad y la transparencia. Para establecer una base firme para una mayor ambición, cada contribución determinada a nivel nacional sucesiva representará una progresión más allá de la anterior, y reflejará la mayor ambición posible. Los países desarrollados deberían seguir asumiendo el liderazgo mediante el establecimiento de objetivos de reducción absolutos para toda la economía, mientras que los países en desarrollo deberían seguir intensificando sus esfuerzos de mitigación, mientras se les alienta a avanzar hacia la consecución de los objetivos para toda la economía a lo largo del tiempo, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales.

Sumideros y depósitos (artículo 5) – El Acuerdo de París también alienta a las Partes a conservar y mejorar, según proceda, los sumideros y depósitos de GEI a que se hace referencia en el apartado d) del párrafo 1 del artículo 4 de la Convención, incluidos los bosques.

Participación voluntaria / Enfoques relacionados y no relacionados con el mercado (artículo 6) – El Acuerdo de París reconoce la posibilidad de participación voluntaria entre las Partes para permitir una mayor ambición y establece principios -incluidos la integridad ambiental, la transparencia y una contabilidad sólida- para cualquier cooperación que implique la transferencia internacional de los resultados de la mitigación. Establece un mecanismo para contribuir a la mitigación de las emisiones de GEI y apoyar el desarrollo sostenible, y define un marco para los enfoques no mercantiles del desarrollo sostenible.

Adaptación (artículo 7) – El Acuerdo de París establece un objetivo mundial sobre la adaptación, a saber, el aumento de la capacidad de adaptación, el fortalecimiento de la resiliencia y la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático en el contexto del objetivo de temperatura del Acuerdo. Su objetivo es fortalecer significativamente los esfuerzos nacionales de adaptación, incluso mediante el apoyo y la cooperación internacional. El Acuerdo reconoce que la adaptación es un reto mundial al que se enfrentan todos. Todas las Partes deberían dedicarse a la adaptación, incluso mediante la formulación y aplicación de

planes nacionales de adaptación, y deberían presentar y actualizar periódicamente una comunicación de adaptación en la que se describan sus prioridades, necesidades, planes y medidas. Deben reconocerse los esfuerzos de adaptación de los países en desarrollo.

Pérdidas y daños (artículo 8) – En el Acuerdo de París se reconoce la importancia de evitar, reducir al mínimo y hacer frente a las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos y los fenómenos de evolución lenta, y la contribución del desarrollo sostenible a la reducción del riesgo de pérdidas y daños. Las Partes deberían reforzar la comprensión, las medidas y el apoyo, incluso a través del Mecanismo Internacional de Varsovia para las Pérdidas y los Daños, de manera cooperativa y facilitativa con respecto a las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático.

Recursos financieros, tecnológicos y para el fomento de la capacidad (artículos 9, 10 y 11) – El Acuerdo de París reafirma las obligaciones de los países desarrollados de apoyar los esfuerzos de las Partes que son países en desarrollo para construir un futuro limpio y resistente al clima, al tiempo que alienta por primera vez a otras Partes a que presten o sigan prestando ese apoyo de manera voluntaria. El suministro de recursos también debe tener por objeto lograr un equilibrio entre la adaptación y la mitigación. Además de informar sobre la financiación ya proporcionada, las Partes que son países desarrollados se comprometen a proporcionar bienalmente información transparente e indicativa sobre el apoyo futuro para las partes que son países en desarrollo, incluidos los niveles previstos de financiación pública. El acuerdo también establece que el Mecanismo Financiero de la Convención, incluido el Fondo Verde del Clima (GCF), servirá al Acuerdo. También se fortalece la cooperación internacional en materia de desarrollo y transferencia de tecnología para el clima y de fomento de la capacidad en el mundo en desarrollo: se establece un marco tecnológico en el marco del Acuerdo y se fortalecerán las actividades de fomento de la capacidad mediante, entre otras cosas, un mayor apoyo a las medidas de fomento de la capacidad en las Partes que son países en desarrollo y los acuerdos institucionales necesarios. La educación y la formación sobre el cambio climático, así como la sensibilización, la participación y el acceso a la información (artículo 12) también deben reforzarse en el marco del Acuerdo.

La educación, la formación, la sensibilización y participación del público y el acceso público

a la información sobre el cambio climático (artículo 12) también deberán reforzarse en el marco del Acuerdo.

Transparencia (artículo 14), implementación y cumplimiento (artículo 15) – El Acuerdo de París se basa en un sólido sistema de transparencia y contabilidad para proporcionar claridad sobre las medidas y el apoyo de las Partes, con flexibilidad para las diferentes capacidades de las Partes. Además de presentar información sobre mitigación, adaptación y apoyo, el Acuerdo exige que la información presentada por cada Parte se someta a un examen internacional de expertos técnicos. El Acuerdo también incluye un mecanismo que facilitará la aplicación y promoverá el cumplimiento de manera no contenciosa y no punitiva, e informará anualmente a la CP/RA.

Balance mundial (artículo 14) - Un “balance mundial”, que tendrá lugar en 2023 y cada cinco años a partir de entonces, evaluará el progreso colectivo hacia el logro de los objetivos del Acuerdo de una manera global y facilitadora. Se basará en la mejor ciencia disponible y en su objetivo mundial a largo plazo. Su resultado servirá de base para que las Partes actualicen y mejoren sus medidas y apoyen y aumenten la cooperación internacional en la lucha contra el cambio climático.

Decisión 1/CP.21 – Esta decisión también establece una serie de medidas para mejorar la acción antes de 2020, incluido el fortalecimiento del proceso de examen técnico, la mejora de la provisión de fondos urgentes, tecnología y apoyo, y medidas para fortalecer la participación de alto nivel. Para 2018 está previsto un diálogo con fines de facilitación para hacer balance del progreso colectivo hacia el objetivo de reducción de emisiones a largo plazo del artículo 4. La decisión también acoge con beneplácito los esfuerzos de todos los interesados que no son Partes para hacer frente al cambio climático y responder a él, incluidos los de la sociedad civil, el sector privado, las instituciones financieras, las ciudades y otras autoridades subnacionales. Estas partes interesadas están invitadas a intensificar sus esfuerzos y a mostrarlos a través de la plataforma de la acción mundial sobre el clima para actores no estatales (<http://climateaction.unfccc.int>). Las Partes también reconocieron la necesidad de fortalecer los conocimientos, las tecnologías, las prácticas y los esfuerzos de las comunidades locales y los pueblos indígenas, así como la importante función de ofrecer incentivos mediante instrumentos como las políticas nacionales y la fijación de precios del carbono (s. p.).

Enmienda de Kigali (Ley n.º 9522 en CR año 2018). La Enmienda de Kigali constituye una extensión del Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, adoptado en 1987. Este protocolo fue uno de los primeros acuerdos internacionales exitosos para abordar el deterioro de la capa de ozono mediante la eliminación gradual de sustancias químicas responsables de su destrucción.

Centro de procesamiento de datos o data center

Definición de un data center. Un *data center* es un edificio o sala de grandes dimensiones destinado al alojamiento de una gran:

Cantidad de equipamientos electrónicos. Suelen ser creados y mantenidos por grandes organizaciones con el objeto de tener acceso a la información necesaria para sus operaciones en todo momento, por ejemplo, un banco puede tenerlo con el propósito de almacenar todos los datos de sus clientes y las operaciones que estos realizan sobre sus cuentas.

Prácticamente todas las compañías, ya sean medianas o grandes, tienen algún tipo de Datacenter, mientras que las más grandes llegan a tener varios.

Entre los factores más importantes que motivan su creación se puede destacar el garantizar la continuidad del servicio a clientes, empleados, ciudadanos, proveedores y empresas colaboradoras, pues en estos ámbitos es muy importante la protección física de los equipos informáticos o de comunicaciones implicadas, así como servidores de bases de datos que puedan contener información crítica o dicho software que es vital para el funcionamiento del negocio.

Grandes organizaciones, tales como bancos o administraciones públicas, no pueden permitirse la pérdida de información ni el cese de operaciones ante un desastre en su Centro de Proceso de Datos. Terremotos, incendios o atentados en estas instalaciones son infrecuentes, pero no improbables, por ese motivo, y muchos más nace la idea de Datacenter o Centro de Datos (Galván, 2013, pp. 15-16).

Subsistemas que conforman un data center según la norma TIA 942. Según Bonilla Arévalo *et al.* (s. f.): “La norma ANSI/TIA/EIA-942 establece las características que deben poseer los componentes e infraestructura de un centro de datos para obtener los distintos niveles de disponibilidad denominados TIERs” (p. 5). Además, DataMercantil (2024) afirma que:

La infraestructura de un Data Center está compuesta por varios subsistemas esenciales que garantizan su correcto funcionamiento. Estas incluyen lo siguiente:

Sistemas de energía y alimentación: Proporcionan el suministro eléctrico necesario para mantener los servidores y otros equipos funcionando de manera ininterrumpida. Esto incluye fuentes de energía primaria y secundaria, que protegen contra interrupciones en el servicio.

Sistemas de climatización y enfriamiento: Son fundamentales para disipar el calor generado por los equipos. La refrigeración adecuada previene el sobrecalentamiento de los servidores, lo cual es crucial para evitar fallos y prolongar la vida útil de los componentes.

Cableado estructurado y redes de comunicación: Facilitan la conexión de los servidores entre sí y con el exterior, asegurando que los datos fluyan sin interrupciones. Un buen diseño de cableado estructurado permite mantener la eficiencia de las comunicaciones y soportar la expansión futura del Data Center.

Seguridad física y virtual: La protección de los equipos y la información que manejan es una prioridad en cualquier Data Center. La infraestructura de seguridad abarca desde sistemas de control de acceso físico hasta firewalls, sistemas de detección de intrusos y protección contra ciberataques (s. p.).

Clasificación de la infraestructura de data center-TIA-942. Según Quimbita Chiluisa (2015):

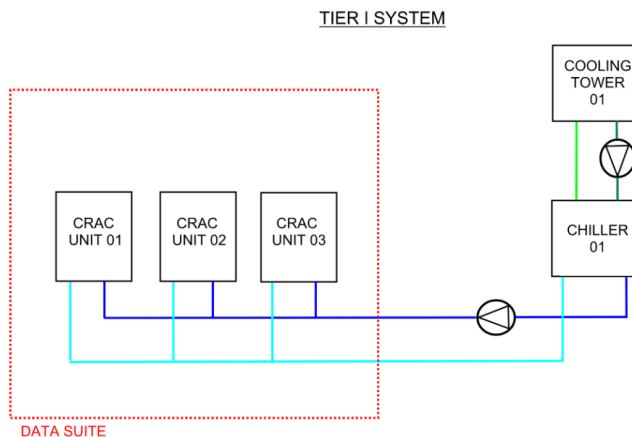
Para la clasificación de los centros de datos existe un estándar: el ANSI / TIA-942 creado por miembros de la industria, consultores y usuarios, con las mejores prácticas para la construcción y gestión de centros de datos. Este estándar incluye un anexo sobre los grados de disponibilidad TIER, que indican el nivel de fiabilidad de un centro de datos (s. p.).

Tipos de data center

TIER 1 (centro de datos básico). Esta clase de *data center* está diseñado para pequeñas y medianas empresas. En este caso:

El servicio puede sufrir interrupciones, ya que no cuenta con sistema de refrigeración ni de distribución eléctrica. El tiempo de implementación promedio es de tres meses y para realizar labores de mantenimiento, será necesario para la actividad. Por último, la disponibilidad del servicio es de un 99,67% (Bermúdez León, 2020, p. 4).

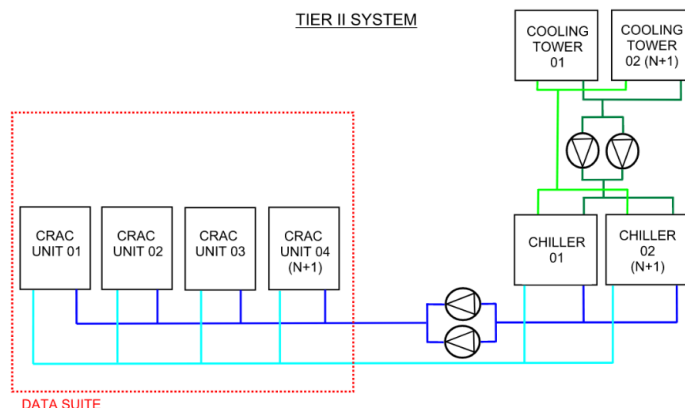
Figura 1
Diagrama mecánico de un TIER 1



TIER 2 (centro de datos redundante). Según Bermúdez León (2020):

Este data center corresponde a uno redundante, esto quiere decir, que es menos susceptible a interrupciones, planificadas o no, con conexión a línea única de refrigeración y distribución eléctrica. Su implementación tiende a demorar de 3 a 6 meses y cuenta con suelos elevados, generadores auxiliares o UPS. Si se efectúan labores de mantención aún debe interrumpirse el servicio y la disponibilidad llega al 99.74% (p. 4).

Figura 2
Diagrama mecánico de un TIER 2



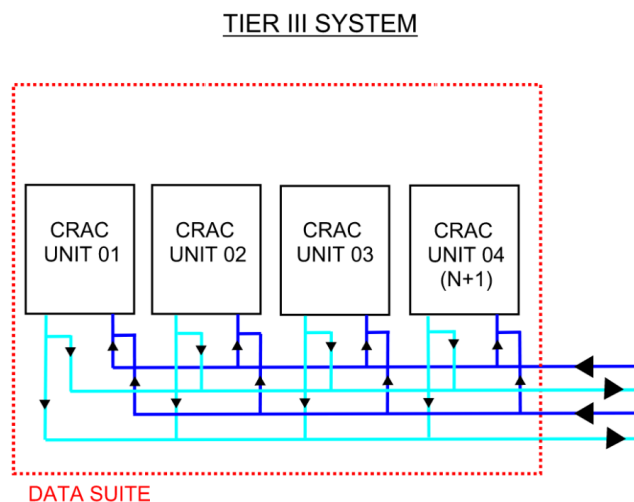
TIER 3 (centro de datos mantenimiento concurrente). De acuerdo con Bermúdez León (2020):

Este tipo de Datacenter, por lo general, prestan servicios 24/7 y se encuentran conectados a múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración, aunque con sólo una activa. Eso

sí, para su mantenimiento no es necesario parar el funcionamiento del sistema, ya que la capacidad es ideal para brindar el servicio a través de otras líneas. El tiempo de implementación es mucho mayor y va de 15 a 20 meses y posee disponibilidad del 99,82% (pp. 4-5).

Figura 3

Diagrama mecánico de un TIER 2



TIER 4 (centro de datos tolerante a fallos). Bermúdez León (2020) lo define como:

Este tipo de Datacenter, está orientado a empresas con presencia a nivel internacional, como bancos y multinacionales. Es tolerante a fallos, ya que permite múltiples líneas de distribución de electricidad y refrigeración. Se pueden hacer mantenimientos sin afectar el servicio y puede responder ante eventos no planificados. Su implementación puede ir hasta los 20 meses y su disponibilidad del 99,99% (p. 5).

Sistema de climatización para un data center. El diseño de un sistema de climatización para un *data center*, con base en las normativas TIA-942 y la clasificación de niveles TIER, requiere implementar un aire acondicionado de precisión que garantice la continuidad operativa. La aplicación de los niveles TIER implica la integración de redundancia en componentes críticos, sistemas de monitoreo en tiempo real y capacidades de mantenimiento sin interrupciones, lo que asegura un control térmico óptimo. Esta estrategia protege la integridad de los equipos sensibles, reduce el riesgo de fallas durante picos de carga y optimiza el consumo energético, incluso en condiciones ambientales adversas.

Diseño de pasillo caliente/pasillo frío. De acuerdo con KeepSolid Inc. (s. f.):

El pasillo caliente/pasillo frío es una estrategia de diseño innovadora implementada en centros de datos de todo el mundo para mejorar la eficiencia de la refrigeración y gestionar el flujo de aire alrededor de los racks de servidores de manera sistemática. Este método ayuda a mitigar el sobrecalentamiento de los equipos, a conservar energía y puede extender significativamente la vida útil del hardware del centro de datos al mantener condiciones óptimas de temperatura (s. p.).

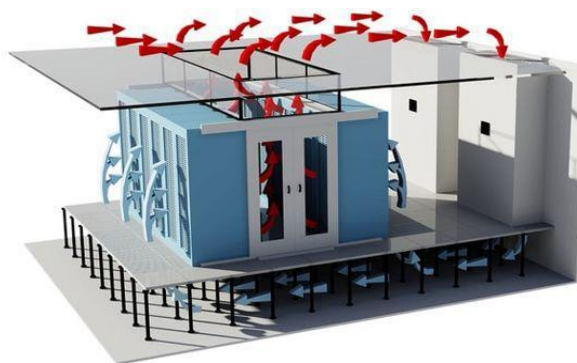
Además, Rosa (2021) señala que:

El diseño de un centro de datos de pasillo caliente / pasillo frío implica alinear los racks de servidores en filas alternas con las tomas de aire frío orientadas hacia un lado y los escapes de aire caliente hacia el otro. Las filas compuestas por frentes de estanterías se denominan pasillos fríos y las filas traseras se denominan pasillos calientes.

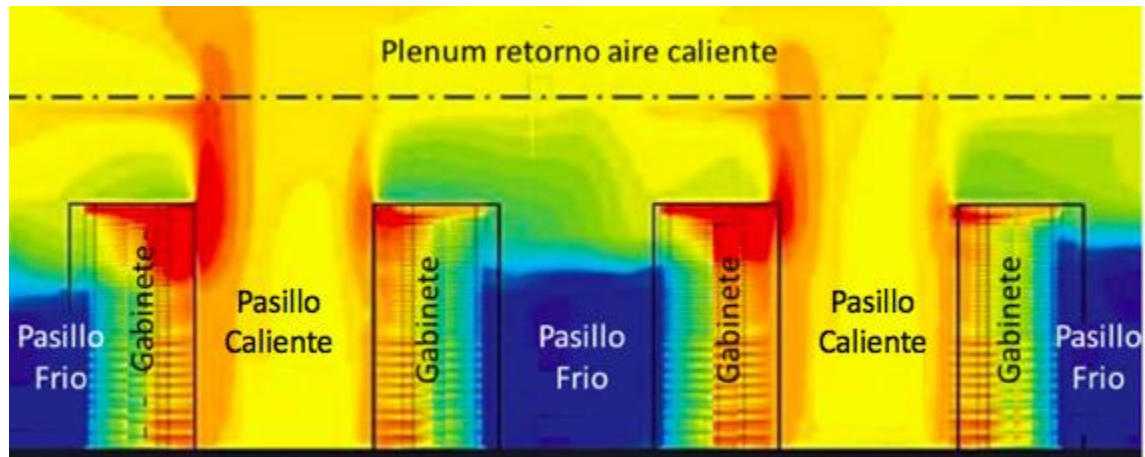
Con esto se evita que se mezclen el aire caliente y frío antes de que el aire pase a través del equipo; que se mantenga el aire caliente alejado de las entradas de TI; que se mueva el aire caliente hacia el sistema de retorno y se conserve la energía y reduzca los costos de refrigeración mediante la gestión del flujo de aire (s. p.).

Figura 4

Distribución de pasillos fríos y calientes



Fuente: Cofitel (2017).

Figura 5*Mapa de calor de pasillos fríos y calientes*

Fuente: NDC (2019).

Diferencias entre un aire acondicionado de precisión y aire acondicionado de confort.

ATN Ingeniería y Servicios (2021) plantea las siguientes diferencias:

Aire acondicionado de precisión: Es un sistema de refrigeración creado para acondicionar salas con equipos de cómputo, informática o data center. Su infraestructura facilita el correcto flujo del aire y ayuda a mantener la temperatura ideal y el nivel de humedad necesario para un funcionamiento óptimo de tus equipos, asegurando así la operación continua del negocio. Además, tienen la capacidad de trabajar continuamente durante las 24 horas, los 7 días de la semana y 365 días del año.

Asimismo, en comparación con el aire acondicionado de confort, suele durar más años (entre 15 y 20 años según la Revista Mundo HVAC&R) y su mantenimiento tiende a ser más rentable.

Un data center procesa grandes volúmenes de información sensible, hablamos de millones de GB, además, los equipos producen una alta densidad de calor puesto que trabajan sin interrupción. En ese sentido, implementarlos puede ayudar a prevenir fallas por sobrecalentamiento y minimizar el riesgo de una caída en el sistema.

Aire acondicionado de confort: Es un sistema de refrigeración diseñado para brindar comodidad a las personas en su ambiente. En comparación con el aire acondicionado de precisión, su infraestructura es menos robusta y no tienen la capacidad que se necesita para manejar altas cargas térmicas.

Las salas de ordenadores requieren de un control continuo y simultáneo de la temperatura y la humedad, además de una correcta distribución del aire. Estos aspectos como tal, no se pueden controlar con precisión con un aire acondicionado de confort.

Los sistemas de enfriamiento de confort están diseñados para manejar cargas de calor de baja densidad y generalmente se les da un uso intermitente. Sin embargo, si el aire de confort llegara a fallar, aunque las personas se sientan incómodas, no es prioritario activarlo de inmediato. A diferencia de las fallas del aire acondicionado de precisión, en dónde la inmediatez de activación si es crucial para que el funcionamiento del centro de datos no se vea afectado (s. p.).

Tabla 1

Comparación entre aire acondicionado de precisión y de confort

Concepto	Aires de Precisión	Aires de Confort
Horas de operación	24hr x 7 días	8hr x 5 días
Densidad de carga térmica	5-15m ² /TR	20-25m ² /TR
Flujo de aire	500-650 CFM/TR	300CFM/TR
Control de temperatura	"±/0.5°C	"±/1.5°C
Control de humedad	"±/5%	No tiene control de humedad
Calor sensible	90+95%	50-60%
Eficiencia de filtros	60-90%	20-50%
Vida útil	Mayor a 10 años	Menor a 8 años
Monitoreo	Cuenta con microprocesador y protocolos de comunicación (SNMP, Bacnet Ethernet, Modbus TCP/IP)	No cuenta con microprocesador ni protocolos de comunicación
Sensores	Temperatura, humedad, presión, flujo de aire, filtros de aire.	Temperatura
Aplicaciones	Centros de datos, laboratorios, telecomunicaciones, etc.	Residencial, oficinas, centros comerciales, etc.

Componentes básicos del sistema de refrigeración

Evaporador. El evaporador es un componente fundamental de los sistemas de refrigeración. Su función principal consiste en absorber el calor del aire o del agua que se desea enfriar. Cuando el refrigerante circula a través del evaporador, cambia de estado líquido a gaseoso, captura la energía térmica del entorno y reduce la temperatura en el proceso. De acuerdo con Pita (2001), los evaporadores se clasifican principalmente en dos tipos.

- Evaporadores de expansión seca o directa: el refrigerante circula a través de la tubería y no se almacena líquido refrigerante en el evaporador.

Figura 6

Evaporadores de expansión seca o directa



- Evaporadores inundados: el agua circula por los tubos y el refrigerante por la coraza, lo que permite una mayor superficie de contacto y una evaporación más eficiente. En general, se utilizan las enfriadoras inundadas en los sistemas de mayor tamaño.

Figura 7

Evaporadores inundados



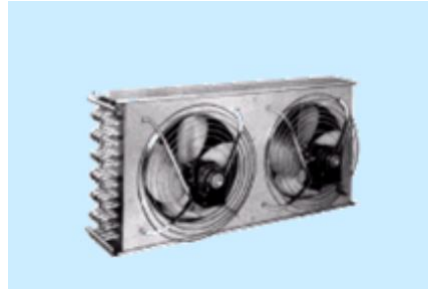
Condensador. Acosta Acevedo y Ricaurte Zarta (2020): “El condensador elimina del sistema la energía ganada en el evaporador y el compresor. El aire atmosférico o agua son los dos sumideros de calor más convenientes para desecharlo” (p. 56). Tal como indica Pita (2001), existen

tres tipos de condensadores:

- Enfriados por aire: el refrigerante circula a través de un serpentín y el aire pasa por el exterior, ya sea por convección natural o mediante un ventilador. Estos equipos se instalan en el exterior y están disponibles en capacidades de hasta 50 t.

Figura 8

Condensador enfriado por aire



- Enfriados por agua: utilizan agua proveniente de lagos, ríos o pozos, o bien agua recirculada a través de una torre de enfriamiento. Generalmente, corresponden al tipo de coraza y tubos.

Figura 9

Condensador enfriado por agua



- Evaporativos: combinan el enfriamiento por aire con la aspersion de agua sobre las serpentinas, lo que incrementa la capacidad del condensador. Requieren una bomba, tuberías, toberas de aspersion y un ventilador.

Figura 10
Condensador evaporativo



Tubo capilar. Es un tubo de diámetro muy reducido y longitud considerable, lo que origina la caída de presión necesaria en el fluido refrigerante y permite controlar la cantidad de refrigerante que circula a través del sistema.

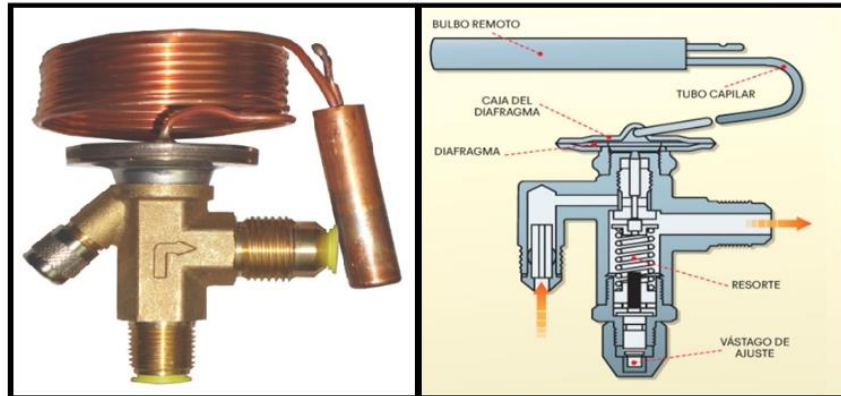
Figura 11
Tubo capilar



Válvula de expansión. Las funciones de las válvulas de expansión en los sistemas de refrigeración son tres:

- Reducir la presión hasta igualarla con la presión de entrada al evaporador; de este modo, se produce el enfriamiento del fluido refrigerante.
- Regular el caudal de refrigerante que circula en la máquina y adaptarlo a las necesidades de refrigeración.
- Estabilizar el evaporador frente a sobrecargas, manteniendo constante el sobrecalentamiento de diseño y, en consecuencia, evitando que el compresor aspire refrigerante en estado líquido.

Figura 12
Válvula de expansión



Compresor. Según Pita (2001):

Los compresores de desplazamiento positivo trabajan reduciendo el volumen de un gas en el espacio confinado y con ello aumentan su temperatura. Los compresores recíprocos, rotatorios y de tornillo son de desplazamiento positivo. Los compresores centrífugos trabajan aumentando la energía cinética (velocidad) del gas, la cual a continuación se convierte en aumento de presión al reducir la velocidad (s. p.).

Componentes de control automático. Los componentes de control automático son fundamentales para garantizar que un sistema opere de manera estable y eficiente, adaptándose a las condiciones variables del entorno. Los controles pueden desempeñar cuatro funciones diferentes:

- Mantener las condiciones de diseño.
- Reducir la cantidad de mano de obra.
- Reducir al mínimo el consumo de energía y sus costos.
- Mantener el funcionamiento del equipo en niveles seguros.

Dentro de los componentes del control automático se encuentran los controladores, los cuales cumplen dos funciones: percibir la señal de la variable controlada y transmitir una acción al dispositivo controlado (válvulas, compuertas, relevadores y motores) como resultado de dicha señal. “Las variables que con más frecuencia requieren control en los sistemas de acondicionamiento de aire son la temperatura, la humedad, la presión y el flujo” (Pita, 2001, s. p.).

Los controladores de temperatura son dispositivos empleados en sistemas HVAC para regular el ambiente del recinto, también se denominan termostatos. De acuerdo con Pita (2001):

Los controladores de presión, también llamados presostatos, tienen un elemento sensor que con frecuencia es un tubo abierto conectado en forma directa con el fluido del lugar donde se va a controlar la presión.

Los controladores de flujo usan con frecuencia a la presión como señal primaria. La velocidad del fluido donde se va a controlar el flujo se convierte a una presión estática mediante un elemento sensor, como por ejemplo un tubo de pitot, y es esta señal de presión la que se utiliza para controlar el flujo.

A los controladores de humedad también se les llama humidistatos. Un tipo de elemento sensor de humedad usa dos materiales distintos fijos entre sí, que absorben el vapor de agua a diferentes velocidades o intensidades, y con ello se doblan o se mueven, en forma muy semejante al sensor bimetálico de temperatura (s. p.).

Humidificador. Un humidificador es un dispositivo que añade vapor de agua al aire, con el fin de incrementar la humedad en un espacio cerrado. Resulta especialmente útil en climas secos o durante el invierno, cuando la calefacción disminuye la humedad ambiental.

Fuente de calor.

Una fuente de calor es cualquier dispositivo diseñado para generar calor y elevar la temperatura de un espacio cerrado. Esto incluye estufas eléctricas, calefactores de gas, radiadores o sistemas de calefacción central, los cuales resultan esenciales para mantener ambientes térmicamente confortables.

Refrigerantes. Un refrigerante es un medio de transmisión de calor que absorbe energía térmica al evaporarse a baja temperatura y la libera al condensarse a alta temperatura y presión. También existen los refrigerantes secundarios, los cuales transportan calor, desde un punto distante hasta el evaporador del sistema de refrigeración. Se emplean diversos refrigerantes, cada uno con sus propias ventajas e inconvenientes.

Clasificación de los refrigerantes. La norma 34 de la Ashrae: “Clasifica los refrigerantes en varios grupos. Los más importantes de estos grupos son los hidrocarburos halogenados, mezclas azeotrópicas, hidrocarburos, compuestos inorgánicos, y sustancias orgánicas no saturadas” (Santa

Ramírez, 2013, p. 72).

Tabla 2

Algunas características de la clasificación del Standard 34

Serie	Nombre	Gas
0	Metanos	R-12
100	Etanos	R-134a
200	Propanos	R-290
400	Zeótopos	R-401 A
500	Azeótopos	R-502
600	Orgánicos	R-600a
700	Inorgánicos	R-717

Sistema de filtración de aire. Un sistema de filtración de aire es un conjunto de dispositivos y tecnologías diseñados para eliminar contaminantes del aire, tales como polvo, partículas finas, polen, moho, bacterias y virus. Habitualmente, se emplean filtros HEPA y filtros de carbono activo para mejorar la calidad del aire en interiores.

Figura 13

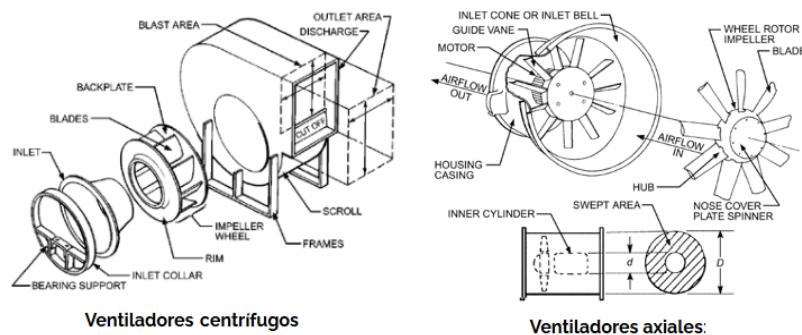
Filtros para calidad de aire interior



Fuente: Revista Expofrío (2024).

Ventilador o turbina. Un ventilador o turbina es un dispositivo que mueve el aire dentro de un espacio para asegurar una circulación adecuada. Su función es fundamental en los sistemas de ventilación y climatización, ya que favorece la distribución homogénea del aire acondicionado o caliente, lo que contribuye a la eficiencia energética del sistema.

Figura 14
Ventiladores centrífugos y axiales



Fuente: kinenergy (2023).

Tuberías. Las tuberías son conductos empleados para transportar líquidos, gases o aire de un lugar a otro. En los sistemas de climatización, se utilizan para trasladar agua caliente o fría, así como para distribuir el aire acondicionado. Es fundamental que su diseño sea apropiado para preservar la eficiencia del sistema.

Cálculo de carga térmica. Según Salazar de Puertas (s. f.):

Se entiende el proceso de determinar la cantidad de calor que hay que extraer o aportar a un local de unas determinadas características, y situado en una zona determinada, para mantener su interior en unas condiciones de confort para las personas (s. p.).

Calor sensible. El calor sensible se refiere al calor que puede percibirse o sentirse. Es aquel calor que puede medirse con un termómetro, ya sea el proveniente del sol en un día soleado o el emitido por la llama de una vela. Cuando se calienta un objeto, el aumento de su temperatura se denomina calor sensible. De manera similar, cuando se elimina el calor de un objeto y su temperatura disminuye, también se denomina calor sensible, ya que es posible percibir la diferencia.

Calor latente. El calor latente no es una magnitud que pueda percibirse sensorialmente; se refiere, en general, a la energía involucrada en un cambio de estado. Todas las sustancias puras presentes en la naturaleza pueden experimentar cambios de estado, es decir, los sólidos pueden transformarse en líquidos y los líquidos, a la vez, en gases. Para que ocurra un cambio de estado, una sustancia requiere la adición o eliminación de calor.

Transferencia de calor. Pita (2001) lo define de la siguiente forma:

El calor se transmite solo cuando hay una diferencia de temperatura entre dos lugares, y que el calor siempre fluye del lugar de mayor temperatura al de menor temperatura.

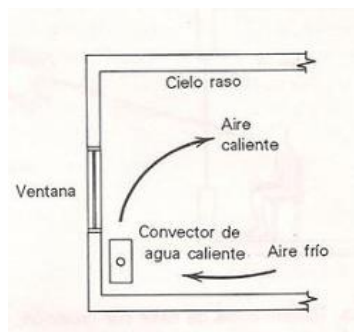
Hay tres modos distintos por los cuales puede efectuarse la transferencia de calor:

La conducción es la forma de transferencia de calor a través de un cuerpo que se presenta sin movimiento alguno del mismo; es el resultado de acciones moleculares o electrónicas.

La convección es la forma de transferencia de calor que resulta del movimiento global de líquidos o gases (s. p.).

Figura 15

Transmisión de calor por convección natural

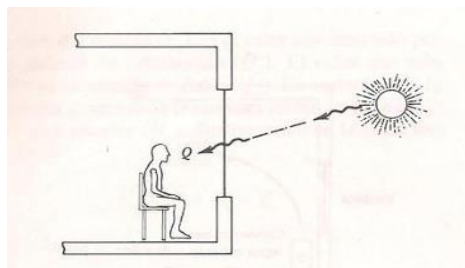


Fuente: Pita (2001).

- “La radiación térmica es la forma de transferencia de calor que se presenta entre dos cuerpos separados como resultado de la llamada radiación electromagnética, a la que también a veces se le conoce como movimiento ondulatorio” (Pita, 2001, s. p.).

Figura 16

Transmisión de calor por radiación



Fuente: Pita (2001).

Ganancia de calor en recintos. Los componentes que contribuyen a las ganancias de calor en el recinto son los siguientes:

1. Conducción a través de paredes, techo y vidrios hacia el exterior.
2. Conducción a través de divisiones internas, cielorrasos y pisos.
3. Radiación solar a través de vidrios.
4. Alumbrado.
5. Personas.
6. Equipos.
7. Infiltraciones.

Conducción a través de estructuras exteriores. Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techo y vidrios que se encuentran en contacto con el exterior se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * DTCE_e$$

Ecuación 1

Conducción a través de la estructura exterior

Donde:

Q = ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, las paredes o el vidrio, BTU/h.

U: coeficiente de transferencia de calor para el techo, las paredes o los vidrios, BTU/h- ft²-°F.

A = área del techo, pared o vidrios, ft².

DTCE_e: diferencia de temperatura para la carga de enfriamiento, °F.

La DTCE es una diferencia de temperatura que considera el efecto de almacenamiento de calor:

Se encuentran listas de valores de DTCE para algunas formas de construcción de paredes y techo, los valores de esas tablas se basan en una temperatura de diseño interior de 78 °F y una temperatura exterior promedio de 85 °F, con paredes y techo de colores oscuros, para el 21 de julio, a una latitud de 40 °N (Valverde Pérez, 2018, s. p.).

De acuerdo con Pita (2001), estos valores de DTCE deben corregirse mediante la siguiente ecuación:

$$DTCE_e = [(DTCE+LM) * K + (78-Tr) + (To-85)] * f.$$

Ecuación 2

Corrección DTCE

Donde:

DTCE_e: valor corregido de DTCE, °F.

DTCE: diferencial de temperaturas tabuladas, °F.

LM = corrección para la latitud, el color y el mes.

K = corrección debido al color de la superficie.

K = 1 para superficies oscuras o zonas industriales.

K = 0,5 para techos de color claro en áreas rurales.

K = 0,65 para paredes de colores claros en zonas rurales.

Tr: temperatura del recinto, en °F.

To = temperatura exterior de diseño promedio, °F.

f = factor de corrección según el tipo de techo.

Conducción a través de estructuras interiores. El calor que se transfiere desde los espacios interiores no acondicionados hacia los espacios acondicionados, a través de divisiones, pisos y cielos rasos, puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$Q = U * A * DT$$

Ecuación 3

Conducción a través de la estructura interior

Donde:

Q = velocidad de transferencia de calor a través de la división, el piso o el cielorraso, BTU/h.

U = coeficiente de transferencia de calor para la división, el piso o el cielorraso, BTU/h- ft²-°F.

A = área de la división, piso o cielorraso, ft².

DT: diferencia de temperatura entre el espacio acondicionado y el no acondicionado, °F.

Si no se conoce la temperatura del espacio sin acondicionar, se emplea con frecuencia una aproximación que consiste en suponer que es 5 °F inferior a la temperatura exterior. Los espacios con fuentes de calor, como los cuartos de calderas, pueden alcanzar temperaturas mucho más elevadas (Valverde Pérez, 2018).

Radiación solar a través de vidrios. De acuerdo con Valverde Pérez (2018): “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 almacenamiento” (p. 41). Este valor de aporte de calor se puede obtener de la siguiente manera:

$$Q = FGCS * A * CS * FCE$$

Ecuación 4

Ganancia de calor por radiación

Donde:

Q = ganancia neta de radiación solar a través del vidrio, BTU/h.

FGCS: factor de ganancia máxima de calor solar, BTU/h-ft².

A = área del vidrio, ft².

CS = coeficiente de sombreado, °F.

FCE: factor de carga de enfriamiento para el vidrio.

Alumbrado. Para obtener la carga de calor que se mencionó, se presenta la siguiente ecuación:

$$Q = 3.4 * W * FB * FCE$$

Ecuación 5

Ganancia por alumbrado

Donde:

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

W : capacidad del alumbrado, en watts.

FB: factor de balastro.

FCE: factor de carga de enfriamiento para el alumbrado.

El término W es la capacidad nominal de las luces en uso, se expresa en watts. En muchas aplicaciones todo el alumbrado está encendido siempre, pero si no lo está, se debe emplear la cantidad real. El valor de 3.4 es para convertir watts a BTU/h.

El factor FB toma en cuenta las pérdidas de calor en la balastra de las unidades luminosas, se utilizará un valor 1.25 para fluorescente y 1 para incandescente. El factor FCE toma en cuenta el almacenamiento de parte de la ganancia de calor por alumbrado y depende de cuánto tiempo pase encendido el alumbrado (Valverde Pérez, 2018, p. 42).

Personas. Según Valverde Pérez (2018): “La ganancia de calor debida a las personas se compone de dos partes: el calor sensible y el calor latente, que resultan de la transpiración” (p. 42). Las fórmulas para calcular las ganancias de calor sensible y latente originadas en las personas son:

$$Q_S = q_s * n * FCE$$

Ecuación 6

Ganancia de calor sensible por personas

$$Q_l = q_l * n$$

Ecuación 7

Ganancia de calor latente por personas

Donde:

Q_S, Q_l = ganancias de calor sensible y latente, respectivamente.

q_s, q_l = ganancias de calor sensible y latente por persona.

n = número de personas.

FCE = factor de carga de enfriamiento para las personas.

La velocidad de ganancia de calor atribuida a las personas depende de su actividad física. El valor de FCE se aplica a la ganancia de calor generada por las personas; si el sistema de acondicionamiento de aire se apaga durante la noche, no debe considerarse el almacenamiento de calor y el FCE es igual a 1.0.

Equipo. La ganancia de calor debida al equipo puede calcularse, en ocasiones, de forma directa consultando al fabricante o a los datos de placa:

Por lo general estos datos vienen dados en Watts, por lo tanto, se pueden calcular mediante la ecuación de potencia eléctrica, tomando en cuenta que estos valores se deben convertir a Btu/h con el factor de conversión de que en $1\text{ W} = 3,41\text{ Btu/h}$ (Camareno Núñez, 2016, p. 24).

$$Q = 3,41 * w$$

Ecuación 8

Ganancia de calor por equipo

Transferencia de calor hacia los alrededores. Castellón Arguedas afirma que:

Parte de la ganancia del calor sensible al recinto se transfiere a través de la estructura hacia los alrededores, y nunca aparece como parte de la carga del recinto. Se debe calcular esa pérdida de calor y corregir las ganancias de calor sensible en el recinto producidas por conducción (techos, paredes y vidrios) radiación solar a través de los vidrios, alumbrado, personas y equipo, este (p. 98).

Este factor de corrección se determina mediante las siguientes fórmulas:

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

Ecuación 9

Factor de corrección para las ganancias de calor sensible en el recinto

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

Ecuación 10

Factor de conductancia por unidad de longitud

Donde:

Fc: factor de corrección aplicado a las ganancias de calor sensible en el recinto.

K: conductancia por unidad de longitud, Kcal/h m °C (BTU/h ft °F).

L: longitud total de la pared exterior, m (ft).

Infiltraciones. Los medios por los cuales el aire frío puede ingresar a la construcción se denominan infiltración y ventilación.

$$Q_s = 1,1 * CFM * CT$$

Ecuación 11

Ganancia de calor sensible por infiltración y ventilación

Donde:

QS: ganancias de calor sensible debido a la ventilación o infiltración, BTU/h.

CFM: velocidad de infiltración o ventilación, ft³·/min.

CT: diferencia de temperatura entre el aire exterior y el interior, °F.

$$Q_l = 0,68 * CFM * (w_e' - w_i')$$

Ecuación 12

Ganancia de calor latente por infiltración y ventilación

Donde:

Ql: ganancias de calor latente debido a la ventilación o infiltración, BTU/h.

CFM: velocidad de infiltración o ventilación, ft³/min.

W_e' y w_i': relación de humedad exterior e interior, en gramos de agua por libra de aire seco.

Psicrometría. La psicrometría estudia las propiedades de las mezclas de aire y vapor de agua.

La psicrometría es importante porque el aire atmosférico no está completamente seco, sino que es una mezcla de aire y vapor de agua. Todos los procesos de acondicionamiento de aire deben tener en cuenta la presencia del vapor de agua en el aire (Universidad de Oriente, s. f., s. p.).

Propiedades del aire. Según Pita (2001):

Las propiedades físicas del aire atmosférico se definen como lo siguiente:

Temperatura de bulbo seco (BS): Es la temperatura del aire, tal como la indica un termómetro. Las palabras temperatura y temperatura de bulbo seco se emplean para designar lo mismo tratándose del aire.

Temperatura de bulbo húmedo (BH): Es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha empapada en agua, en el seno de aire en rápido movimiento.

Temperatura del punto de rocío (PR): Es la temperatura a la cual el vapor de agua en el aire se comienza a condensar si se enfría el aire a presión constante.

Relación de humedad (W): también se le llama humedad específica. Es el peso de vapor de agua por libra de aire seco, expresado en lb/lb de aire seco, o en granos de agua por libra de aire seco.

Humedad relativa (HR): Es la relación de la presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco. Se expresa en por ciento.

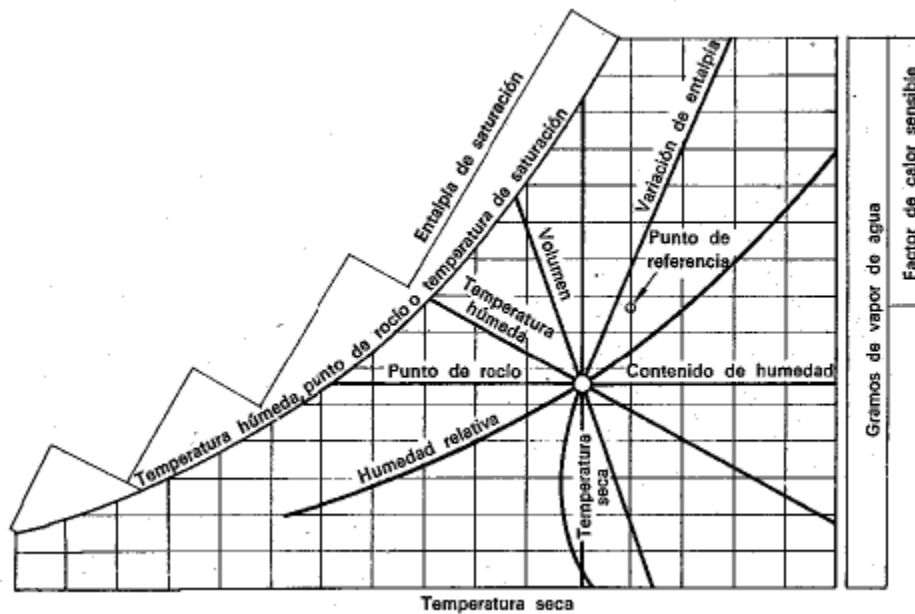
Volumen específico (v): Es el volumen de aire por unidad de peso de aire seco. Se expresa en este libro en ft^3/lb de aire seco.

Entalpía específica (h): Es el contenido de calor del aire, por unidad de peso (s. p.).

Carta psicrométrica. De acuerdo con Alfaro Haro (2017):

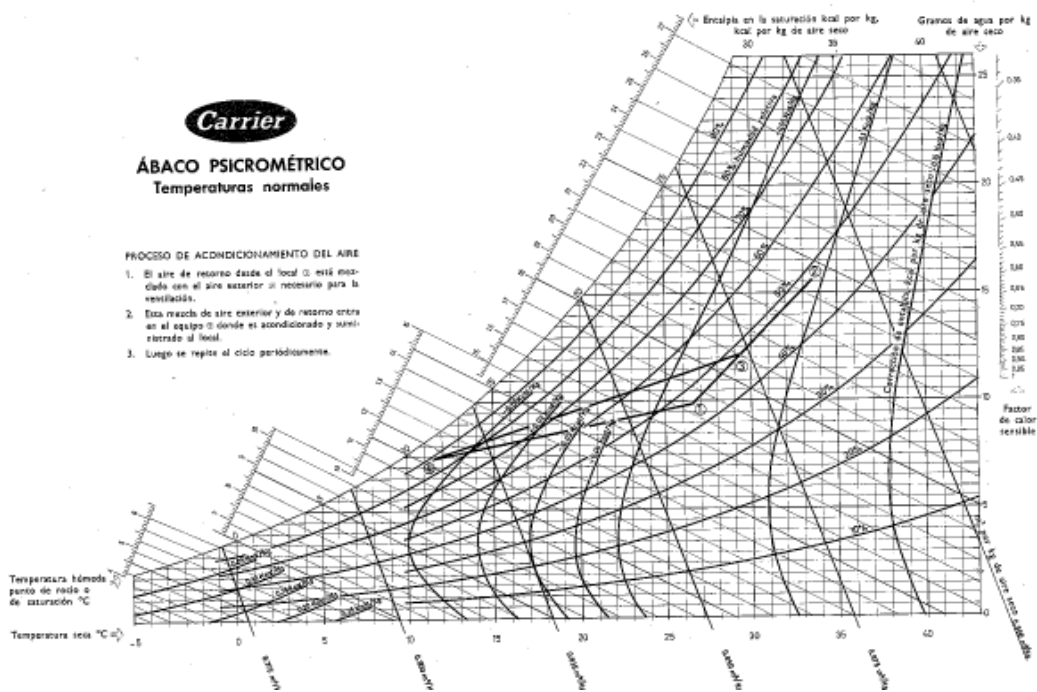
Las propiedades del aire atmosférico se pueden representar en tablas o en forma de gráficas. A la forma gráfica se le llama carta psicrométrica. Su empleo es universal porque presenta una gran cantidad de información en forma muy sencilla y porque ayuda a estudiar los procesos de acondicionamiento de aire (p. 48).

Figura 17
Esquema del diagrama psicrométrico



Fuente: manual de Carrier (2001).

Figura 18
Tabla psicrométrica



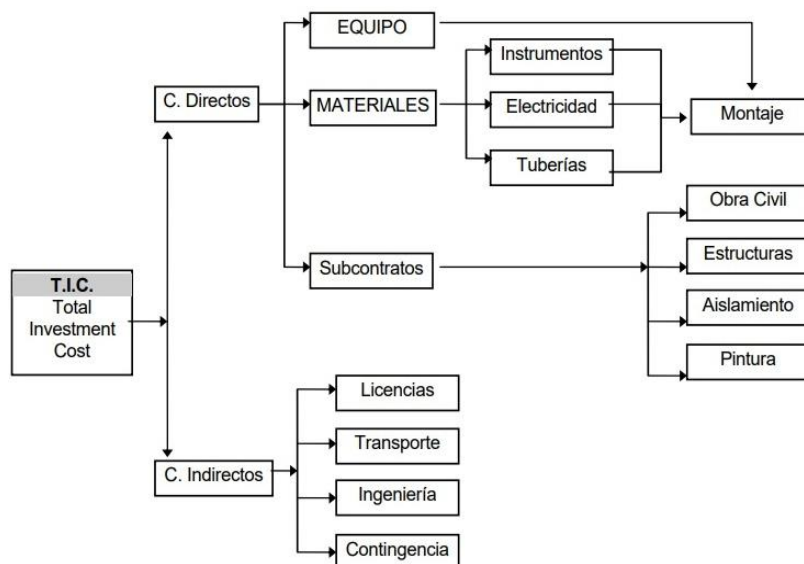
Fuente: manual de Carrier (2001).

Estimación de costos para un sistema de climatización del CPD

El Project Management Institute (2008) define la estimación de costos como: “El proceso que consiste en desarrollar una aproximación de los recursos necesarios (humanos y materiales) para completar las actividades de un proyecto” (s. p.). Es decir: “Es la valoración económica que determina anticipadamente el costo de una obra; necesario para evaluar la viabilidad y los beneficios que producirá” (Álvarez Parajeles, 2011, p. 8).

Figura 19

Diagrama del capital total invertido



Costos directos: “Son aquellos que se involucran directamente en la fabricación del producto o en la prestación del servicio, dentro de estos se encuentran la materia prima y la mano de obra” (Ejemplos.net, s. f., s. p.).

Costos indirectos: “No intervienen en el proceso de producción o del servicio, pero son necesarios para su elaboración” (Ejemplos.net, s. f., s. p.).

Análisis financiero

A continuación, se presentan métodos para calcular la rentabilidad de un proyecto, lo que permite evaluar si la inversión realizada es justificable a lo largo del tiempo.

Tasa interna de retorno (TIR). Molina (2022) la define como:

La TIR es un indicador de rentabilidades de proyectos o inversiones, de manera que cuanto

mayor sea la TIR mayor será la rentabilidad. Realizando el cálculo de la tasa interna de rentabilidad de diferentes proyectos se facilita la toma de decisiones sobre la inversión a realizar (s. p.).

En caso de que para llevar a cabo el proyecto o la inversión se utilicen recursos propios, pueden presentarse las siguientes opciones:

- $TIR > 0$. El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad supera la rentabilidad mínima requerida o el costo de oportunidad.
- $TIR < 0$. El proyecto se rechaza, ya que ofrece una rentabilidad inferior a la mínima requerida.
- $TIR = 0$. En este caso, resulta indiferente llevar a cabo el proyecto, ya que no se obtiene ganancia ni pérdida.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

$-I_0$ = inversión inicial.

C_n = flujo de caja o beneficios generados por la inversión en cada período.

N = número total de períodos.

n = Año en el que se obtienen los beneficios de cada período.

r = TIR.

Valor actual neto (VAN). Altimira (s. f.) lo define como:

El Valor Actual Neto, también conocido como Valor Presente Neto (VPN), es un indicador financiero clave para valorar y determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto de inversión. Se calcula actualizando los flujos de ingresos y gastos futuros del proyecto al presente y restando la inversión inicial. Un VAN positivo indica que el proyecto es viable y rentable, al reflejar ganancias potenciales (s. p.).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = \underbrace{-I_0}_{\text{Lo que cuesta}} + \underbrace{\frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}}_{\text{Lo que vale}}$$

$-I_0$ = inversión requerida en el momento 0. Presenta signo negativo porque representa un desembolso, es decir, una salida de caja.

F_t : flujos de caja generados por el proyecto desde el período 1 hasta el período n.

K : tasa de descuento o rentabilidad requerida para la inversión.

Capítulo III. Marco metodológico

En este capítulo se definen algunos conceptos básicos que permiten establecer el marco metodológico para este proyecto. Con base en estos fundamentos, se determina el enfoque de la investigación, ya sea cualitativo, cuantitativo o mixto, según los objetivos que se plantearon para el desarrollo de un sistema de climatización de un *data center*.

Enfoque de investigación

De acuerdo con Hernández Sampieri *et al.* (2014), existen tres tipos de enfoques para desarrollar una investigación, los cuales se detallan enseguida.

Enfoque cuantitativo

De acuerdo con Hernández Sampieri *et al.* (2014):

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (s. p.).

Enfoque cualitativo

Según Hernández Sampieri *et al.* (2014):

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en

ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien circular en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (s. p.).

Enfoque mixto

Hernández Sampieri *et al.* (2014) lo definen como: “El enfoque mixto de la investigación, que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema” (s. p.).

Por lo tanto, con base en estos conceptos, se determina que este proyecto de investigación adoptará un enfoque cuantitativo, ya que sus objetivos se centran en la medición y el análisis de datos numéricos. Esto permite obtener resultados precisos y medibles mediante el uso de herramientas como el cálculo de carga térmica, la estimación de costos y la revisión del cumplimiento de normativas.

Alcance de la investigación

Alcance descriptivo. Los estudios descriptivos tienen como objetivo especificar las propiedades, características y perfiles:

De personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (Hernández Sampieri *et al.*, 2014, s. p.).

Alcance correlacional. Hernández Sampieri *et al.* (2014) afirman que:

Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. Es decir, asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población (s. p.).

Alcance explicativo. De acuerdo con Hernández Sampieri *et al.* (2014):

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las

causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (s. p.).

Alcance exploratorio. Según Hernández Sampieri *et al.* (2014): “Se realiza cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” (s. p.). Por lo tanto, con la información anterior, la mayoría de los objetivos de este proyecto presentan un enfoque explicativo, ya que analizan las relaciones y causas que inciden en el diseño y funcionamiento del sistema de climatización.

Diseño de la investigación

Hernández Sampieri *et al.* (2014) lo definen como: “Plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación y responder al planteamiento” (s. p.).

Diseños experimentales. Hernández Sampieri *et al.* (2014) lo definen de la siguiente forma: “Situación de control en la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos)”. (s. p.).

Diseños no experimentales. Según Hernández Sampieri *et al.* (2014): “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (s. p.).

De acuerdo con lo anterior, se establece que, para el trabajo de investigación, el diseño por considerar es el no experimental, ya que con base en los objetivos que se plantearon para el diseño de un sistema de climatización en un centro de procesamiento de datos (CPD) y el cálculo de la carga térmica para el recinto, las variables no se manipulan deliberadamente. El propósito es analizar las condiciones que se adapten mejor a las necesidades y permitan lograr la mayor eficiencia posible.

Fuentes de información

Se trata de todos los recursos que contienen información valiosa para el planteamiento, desarrollo o análisis del estudio. Estos pueden ser personas, documentos u objetos de los cuales se obtiene y analiza la información.

Para el desarrollo de este proyecto se buscan fuentes de información confiables, lo que incluye normativas como la de Ashrae, fichas técnicas de equipos, manuales de fabricantes y documentación técnica relacionada con el diseño de sistemas de climatización para centros de datos. Además, se consideran estándares como ANSI/TIA-942, así como publicaciones y estudios de casos que aporten datos relevantes para el análisis.

Muestra probabilística

De acuerdo con Hernández Sampieri *et al.* (2014): “Subgrupo de la población en el que todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser elegidos” (s. p.).

Muestra no probabilística

Según Hernández Sampieri *et al.* (2014) es el: “Subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación” (s. p.).

Por consiguiente, se determina que, para esta investigación, la muestra es no probabilística, ya que el proyecto tiene como objetivo elaborar cálculos de carga térmica y analizar normativas como Ashrae y ANSI/TIA-942, así como fichas técnicas de equipos. Por lo tanto, los datos por evaluar no provienen de una población aleatoria, sino de un conjunto de equipos y normativas seleccionados por su relevancia.

Variables o unidades de análisis

Las variables o unidades de análisis constituyen los aspectos específicos que son objeto de estudio en esta investigación y permiten alcanzar los objetivos específicos que se plantearon. En este proyecto, dichas variables se relacionan directamente con el diseño, el funcionamiento y la eficiencia de un sistema de climatización para un centro de procesamiento de datos (CPD). En el Cuadro 1 se presentan las variables correspondientes a cada uno de los objetivos específicos de este trabajo.

Cuadro 1

Variables correspondientes a cada uno de los objetivos específicos

Objetivo	Variable	Indicador	Definición conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Calcular la carga térmica generada por todos los equipos del CPD para diseñar un sistema de climatización adecuado.	Carga térmica del recinto	Valor total en BTU/h.	Es la suma total del calor emitido por todos los equipos en el CPD	Se determina mediante la toma de datos de cada equipo sumando la potencia disipada por cada uno.	Se utilizan hojas de cálculo de cargas térmicas para estimar la potencia total requerida.
Asegurarse de que el diseño del CPD cumpla con las normativas y estándares relevantes para la certificación TIER II.	Normativa establecida para un TIER II	Nivel de cumplimiento de las especificaciones establecidas por el Uptime Institute (TIER II) y la norma ANSI/TIA-942.	Es el conjunto de especificaciones que garantizan la disponibilidad, fiabilidad y redundancia del CPD.	Se revisará el diseño contra un <i>checklist</i> de requisitos TIER II como redundancia N+1, caminos independientes.	Se emplea una hoja de datos de verificación con cada criterio de nivel II.
Asegurarse de que el sistema de climatización esté diseñado para mantener el funcionamiento del CPD en caso de falla de un componente.	Redundancia del sistema.	Capacidad de respuesta ante un evento inesperado	La capacidad de un sistema de climatización de seguir operando cuando un componente falla.	Se implementa un diseño considerando la redundancia y respaldo de equipos (N+1).	Plan de mantenimiento y análisis de carga eléctrica de respaldo
Diseñar planos constructivos detallados del sistema de climatización, especificando los equipos más adecuados según requisitos técnicos de un CPD.	Planos para el CPD y especificaciones técnicas de los equipos.	Número de planos elaborados	Indican la ubicación y dimensiones de los equipos del sistema de climatización en el CPD.	Se generarán planos con la ubicación de equipos y sus características.	Se utilizan herramientas de diseño.
Elaborar un presupuesto para el sistema de climatización del CPD, que contemple todos los costos asociados, con el fin de que se asegure la viabilidad	Costo de capital total invertido.	Dólares.	Cálculo económico total del proyecto que incluye costos directos e indirectos necesarios para sistema de climatización.	Se recopilarán cotizaciones de equipos, costos de mano de obra. Se sumarán para obtener el costo total del proyecto.	Se usa hoja de cálculo en Microsoft Excel.

económica del proyecto.					
----------------------------	--	--	--	--	--

Capítulo IV. Análisis de resultados

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar el sistema de aire acondicionado necesario para la climatización eficiente de un centro de procesamiento de datos en un recinto ubicado en Belén, Costa Rica, el cual aún se encuentra en fase de diseño. Para esto, se realizan cálculos detallados para determinar la carga térmica del lugar, así como el proceso de selección de los equipos adecuados para garantizar un rendimiento óptimo.

Imagen 1

Propuesta inicial para el diseño del centro de datos 2025

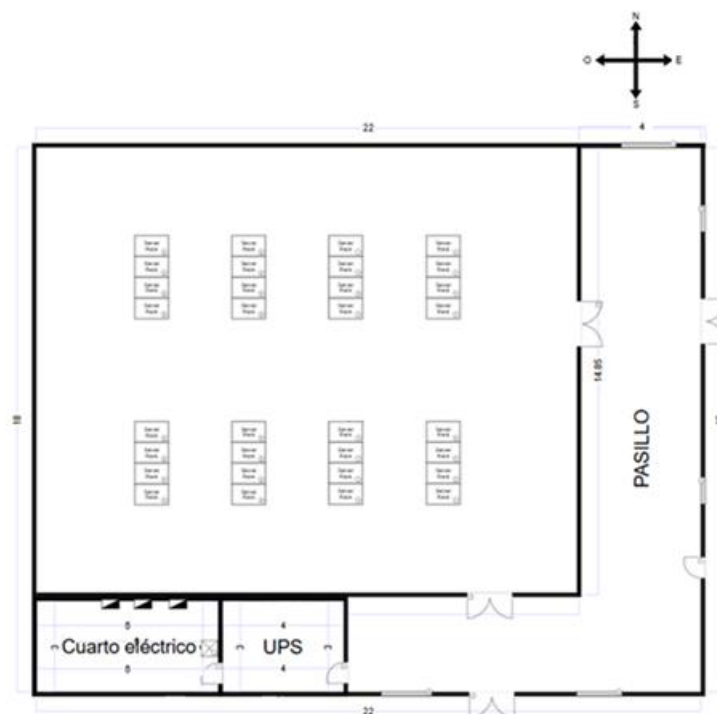
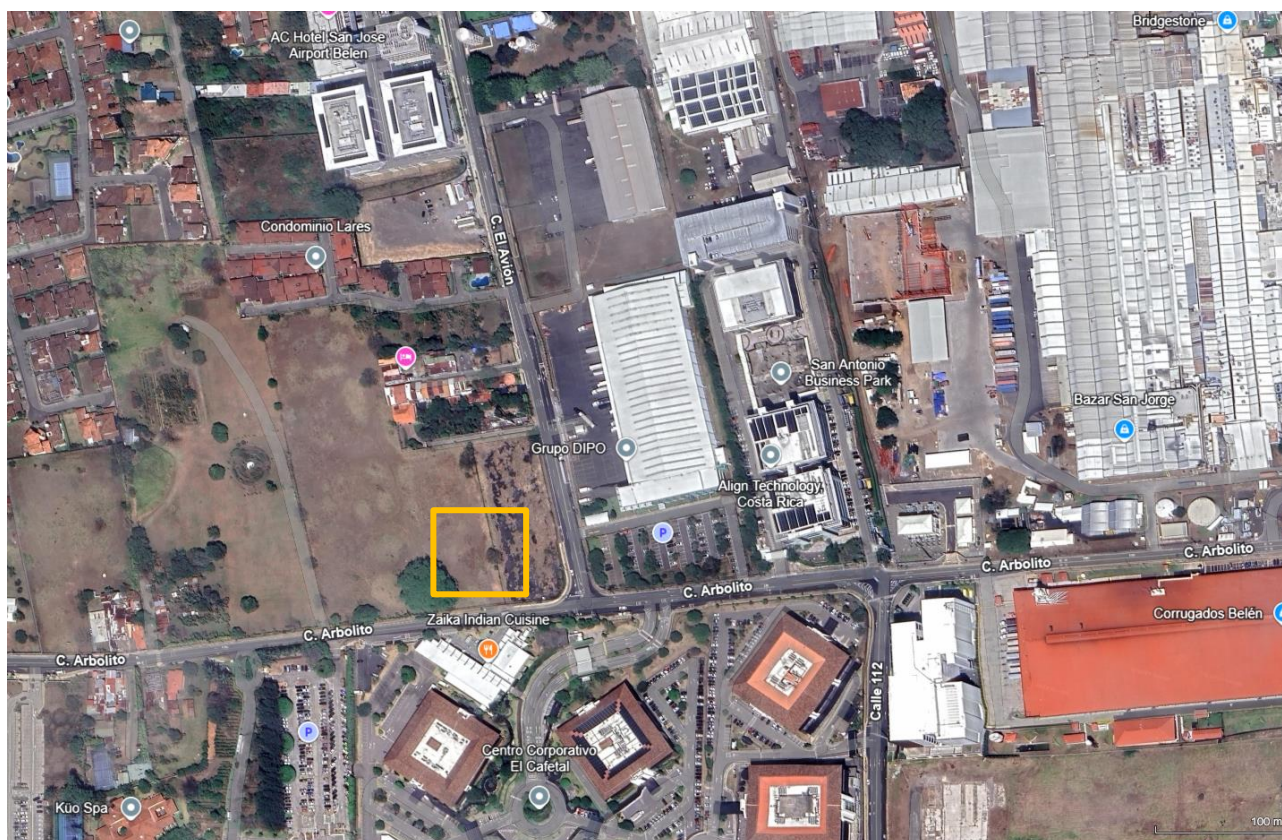


Imagen 2

Ubicación del centro de datos en 2025



Condiciones de diseño

En este trabajo se determinan los parámetros climáticos externos del lugar, los cuales servirán como referencia principal para el diseño del sistema de climatización del centro de procesamiento de datos. Los datos que se utilizan se obtuvieron del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y corresponden a los valores registrados durante el mes de mayor temperatura, según los reportes de dicha institución.

Para este proyecto es fundamental considerar los meses o días de mayor temperatura, ya que representan la carga térmica máxima a la que está expuesto el sistema de climatización. De esta manera, se asegura que el sistema mantenga condiciones óptimas de funcionamiento durante los períodos críticos.

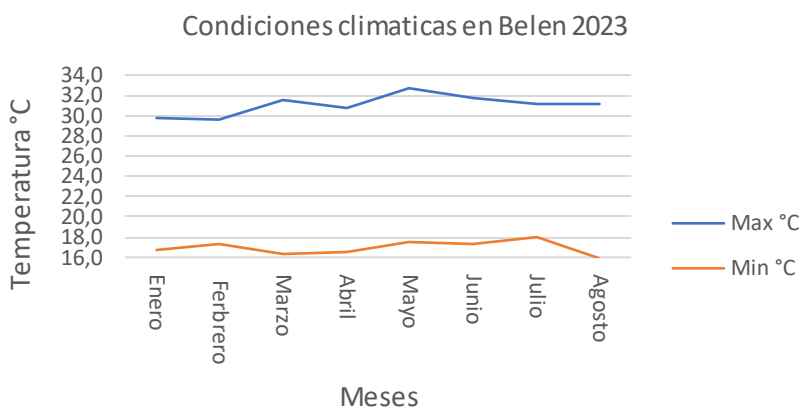
Como parte del análisis, se revisaron los datos correspondientes a los años 2023, 2024 y 2025, con el objetivo de identificar el valor máximo de temperatura registrado al mediodía. A continuación, se presentan los datos obtenidos:

- 25/5/2023, 12:00 p. m.: 32,7 °C
- 22/4/2024, 12:00 p. m.: 33,5 °C
- 3/4/2025, 12:00 p. m.: 32,5 °C

A partir de estos datos, se identificó que el 22 de abril de 2024 registró la temperatura más alta durante los períodos analizados, con 33,5 °C. Por lo tanto, este día se toma como referencia para el diseño del sistema de climatización.

Imagen 3

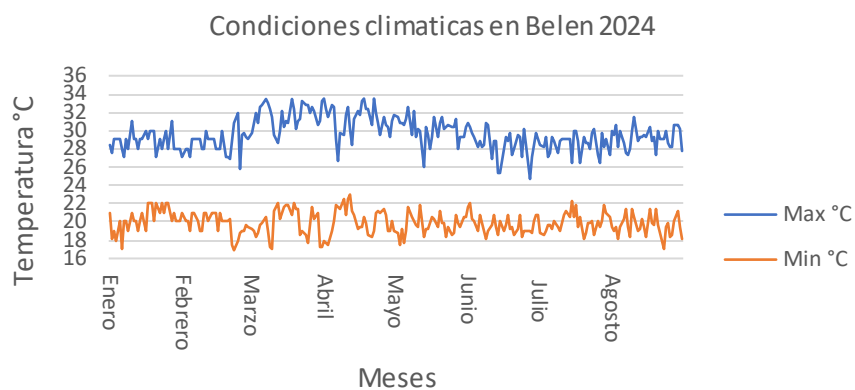
Condiciones climatológicas de los meses de enero a agosto de 2023, a las 12 p. m



Fuente: IMN.

Imagen 4

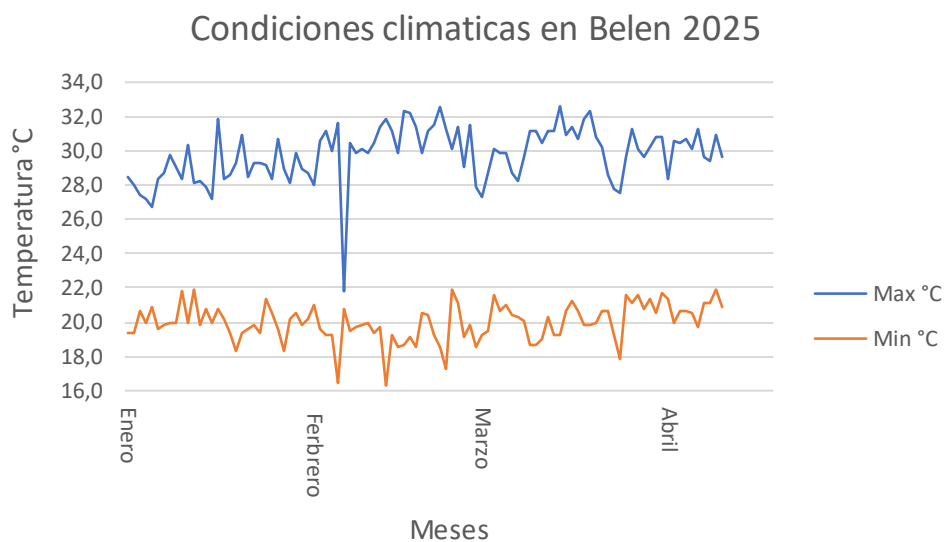
Condiciones climatológicas de los meses de enero a agosto de 2024, a las 12 p. m.



Fuente: IMN.

Imagen 5

Condiciones climatológicas de los meses de enero a abril de 2025, a las 12 p. m.



Fuente: IMN.

Los parámetros considerados son los siguientes:

- TBS: 33,5 °C (92,3 °F).
- TBH: 22 °C (72 °F).
- HR: 45.91 %

- Tr: 27°C (81 °F).
- Mes: abril de 2024, 12 p. m.

Estos valores se seleccionaron a partir de datos meteorológicos históricos, lo que garantiza que el sistema de climatización diseñado pueda operar de manera eficiente y estable en las condiciones típicas de Belén, Costa Rica. Según Ashrae TC9.9 (2012), se recomienda que el rango de temperatura más confiable y eficiente sea de 18 a 27 °C (64 a 81 °F) y una humedad relativa del 60 %. Por lo tanto, estos valores se toman como parte del criterio para el diseño del centro de procesamiento de datos.

Tabla 3

Rango de temperatura recomendado para los centros de datos

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
Recommended (applies to all A classes, evaluate ITE metrics in this paper for conditions outside this range)								
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP						

Fuente: Ashrae TC9.9 (2012).

Límites geográficos

Para el diseño del sistema de climatización se utilizan como referencia los datos geográficos específicos del lugar. Esto permite disponer de información confiable y actualizada, necesaria para determinar las condiciones de diseño y definir de manera adecuada los parámetros del proyecto.

- Altitud: 983 m s. n. m.
- Latitud: 9°59'23.6"N
- Longitud: 84°10'21.1"W

Cálculo de cargas térmicas

Para garantizar un sistema de climatización eficiente y funcional resulta indispensable determinar la carga térmica del recinto. Este cálculo permite conocer la energía requerida para

mantener un ambiente adecuado en un centro de procesamiento de datos, considerando las condiciones específicas del espacio y los factores que inciden en las ganancias térmicas.

A continuación, se analizan las cargas térmicas que influyen en las ganancias de calor del recinto, las cuales son fundamentales para garantizar un diseño adecuado y una selección correcta de equipos.

Cálculo a través de paredes. Para el diseño del sistema de climatización, se determina que todas las paredes del recinto son de concreto pesado con acabado. Por lo tanto, el coeficiente por utilizar se establece según la Tabla 5, incluida en los anexos de este documento.

- Pared norte.

$$DTCE_e = [(DTCE+LM) * K + (78-Tr) + (To-85)] * f$$

Fórmula para DTCE corregida

Donde:

- DTCE: diferencial de temperaturas tabuladas = 13 (véase la Tabla 4).
- LM: corrección para latitud respecto al color y al mes. = -3 (véase la Tabla 8).
- K: corrección debido al color de la superficie (industrial) = 1
- Tr: temperatura del recinto = 81 °F
- To: temperatura de diseño exterior promedio: 92,3 °F
- f: factor de corrección según el tipo de pared = 0,92.

Sustituyendo valores:

$$DTCE_e = [(13+ -3) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92.$$

$$DTCE_e = 14,30$$

Cálculo de la carga térmica (Q).

$$Q = U * A * DTCE_e$$

Donde:

- U: coeficiente global de transmisión térmica para concreto con acabado: 0,585 (véase la Tabla 5).
- A: área de la pared norte = 774,74 ft².
- DTCE_e: valor corregido de DTCE = 14,30.

$$Q = 0,585 * 774,74 * 14,30 = 5938,65 \text{ BTU/h.}$$

- Pared sur.

$$DTCE_e = [(DTCE+LM) * K + (78-Tr) + (To-85)] * f$$

Fórmula para DTCE corregida

Donde:

- DTCE: diferencial de temperaturas tabuladas = 24 (véase la Tabla 4).
- LM: corrección para latitud respecto al color y al mes = 0 (véase la Tabla 8).
- K: corrección debida al color de la superficie (industrial) = 1
- Tr: temperatura del recinto = 81 °F
- To: temperatura de diseño exterior promedio: 92,3 °F
- f: factor de corrección según el tipo de pared = 0,92.

Sustituyendo valores:

$$DTCE_e = [(24 + 0) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92$$

$$DTCE_e = 28,30$$

Cálculo de la carga térmica (Q).

$$Q = U * A * DTCE_e$$

Donde:

- U: coeficiente global de transmisión térmica para concreto con acabado: 0,585 (véase la Tabla 5).
- A: área de la pared sur = 774,74 ft².
- DTCE_e: valor corregido de DTCE = 28,30.

$$Q = 0,585 * 774,74 * 28,30 = 11752,72 \text{ BTU/h.}$$

- Pared este.

$$DTCE_e = [(DTCE+LM) * K + (78-Tr) + (To-85)] * f$$

Fórmula para DTCE corregida

Donde:

- DTCE: diferencial de temperaturas tabuladas = 37 (véase la Tabla 4).
- LM: corrección para latitud respecto al color y al mes = -1 (véase la Tabla 8).
- K: corrección debido al color de la superficie (industrial) = 1
- Tr: temperatura del recinto = 81 °F
- To: temperatura de diseño exterior promedio: 92,3 °F
- f: factor de corrección según el tipo de pared = 0,92.

$$DTCE_e = [(37 + -1) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92$$

$$DTCE_e = 40,30$$

Cálculo de la carga térmica (Q).

$$Q = U * A * DTCE_e$$

Donde:

- U: coeficiente global de transmisión térmica para concreto con acabado: 0,585 (véase la Tabla 5).
- A: área de la pared este = 645,6 ft².
- DTCE_e: valor corregido de DTCE = 40,30.

$$Q = 0,585 * 645,6 * 40,30 = 13947,31 \text{ BTU/h.}$$

- Pared oeste.

$$DTCE_e = [(DTCE+LM) * K + (78-Tr) + (To-85)] * f.$$

Fórmula para DTCE corregida

Donde:

- DTCE: diferencial de temperaturas tabuladas = 14 (véase la Tabla 4).
- LM: corrección para latitud respecto al color y al mes. = -1 (véase la Tabla 8).
- K: corrección debido al color de la superficie (industrial) = 1
- Tr: temperatura del recinto = 81 °F
- To: temperatura de diseño exterior promedio: 92,3 °F
- f: factor de corrección según el tipo de pared = 0,92.

Sustituyendo valores:

$$DTCE_e = [(14 + -1) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92.$$

$$DTCE_e = 17,30$$

Cálculo de la carga térmica (Q).

$$Q = U * A * DTCE_e$$

Donde:

- U: coeficiente global de transmisión térmica para concreto con acabado: 0,585 (véase la Tabla 5).
- A: área de la pared oeste = 645,6 ft².
- DTCE_e: valor corregido de DTCE = 17,30.

$$Q = 0,585 * 645,6 * 17,30 = 5987,31 \text{ BTU/h.}$$

Cálculo a través de techos. El coeficiente empleado para el cálculo de la carga térmica se seleccionó conforme a los valores presentados en la Tabla 6 (anexos), la cual se basa en las propiedades térmicas del concreto ligero de 4 pulgadas.

Al aplicar la fórmula correspondiente, se obtuvo:

$$DTCE_e = [(DTCE+LM) * K + (78-Tr) + (To-85)] * f.$$

$$DTCE_e = [(71 + 0) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92.$$

$$DTCE_e = 75,30$$

$$Q = U * A * DTCE_e$$

$$Q = 0,134 * 2905,9 * 75,30.$$

$$Q = 26866,77 \text{ BTU/h.}$$

Cálculo a través de puertas. Para el cálculo de la carga térmica en las dos puertas el material por utilizar es acero. Por lo tanto, el coeficiente se determina según la Tabla 7 de los anexos. A continuación, se presentan los cálculos correspondientes a cada puerta:

- Puerta este.

$$DTCE_e = [(33 - 1) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92.$$

$$DTCE_e = 36,30$$

$$Q = 0.46 * 41,7 * 36,30 * 0.92.$$

$$Q = 637,36 \text{ BTU/h.}$$

- Puerta sur.

$$DTCE_e = [(45 - 7) * 1 + (78-81) + (92,3-85)] * 0,92.$$

$$DTCE_e = 42,30$$

$$Q = 0.46 * 41,7 * 42,30 * 0.92.$$

$$Q = 742,71 \text{ BTU/h.}$$

Cálculo a través de vidrios. Este cálculo no se incluye, ya que el *data center* no cuenta con áreas de vidrio. Por lo tanto, no influye en la carga térmica. Este aspecto es relevante, pues contribuye a mejorar la eficiencia energética, lo que permite que el sistema de climatización se concentre en otras fuentes internas de calor.

Cálculo por alumbrado. Según ANSI/TIA-942, la iluminación recomendada es de 500 lux. Las luminarias que se utilizan en este proyecto son de 40 W (Tecnolite, modelo :40BKLED40MVB). El cálculo de la iluminación se realiza teniendo en cuenta las características técnicas de estas luminarias y se desarrolla de la siguiente manera:

$$Q = 3.4 * W * FB * FCE$$

Donde:

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

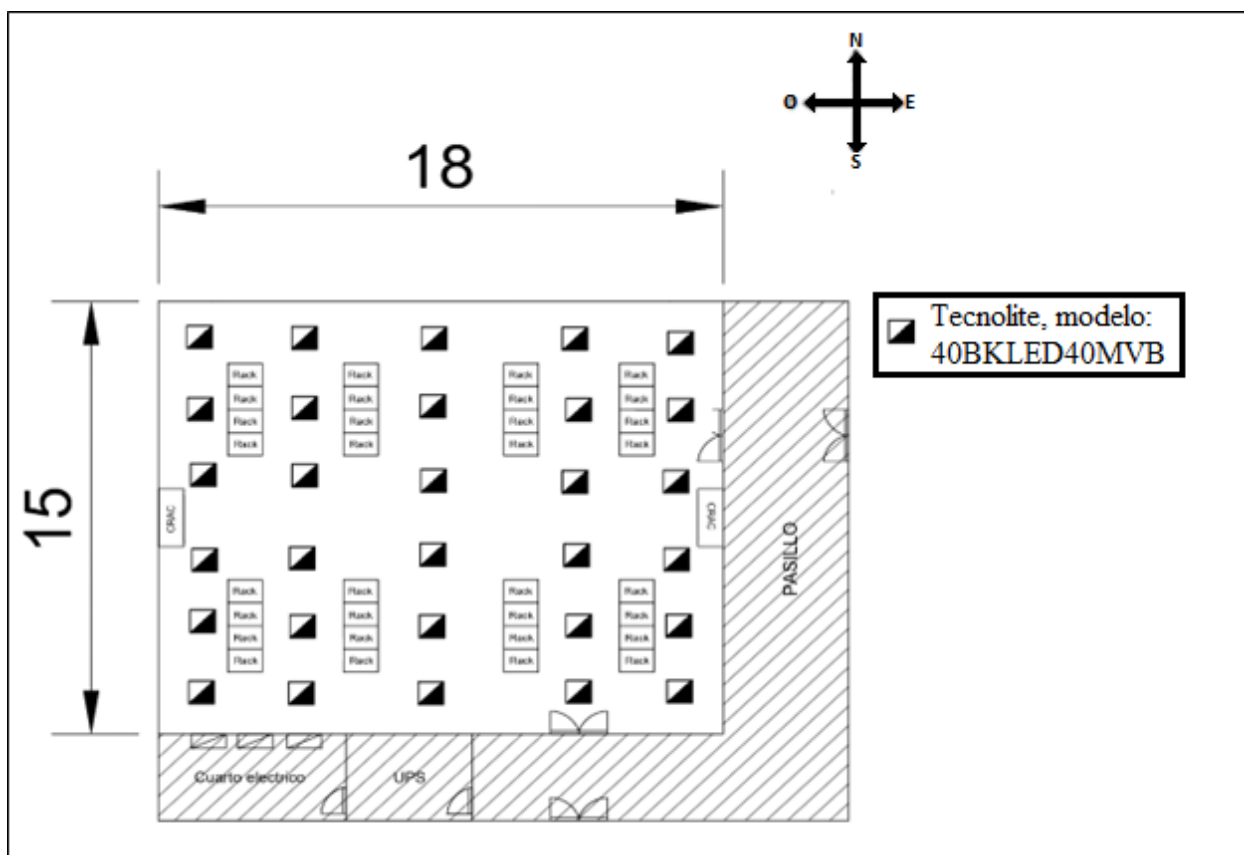
W: capacidad del alumbrado, igual a 40 W.

FB: factor de balastro.

FCE = factor de carga de enfriamiento para el alumbrado.

$$Q = 3.4 * 40 * 1,25 * 1 * 30.$$

$$Q = 4710 \text{ BTU/h.}$$



Cálculo por personas. No se considera el cálculo de la carga térmica generada por las personas en el centro de datos, ya que su impacto resulta mínimo en comparación con el calor producido por los equipos. Además, los centros de datos cuentan con acceso restringido y únicamente el personal autorizado ingresa para realizar tareas específicas, lo que disminuye aún

más la contribución térmica de las personas.

Cálculo por equipos. La Tabla 4 muestra el desglose de los equipos que se instalan en el centro de datos, su consumo individual y el consumo total:

Tabla 4
Equipos destinados a los racks del centro de datos

RACK			W	W (TOTAL)	BTU Rating de equipos
1	Servidor	HP Proliant DL360 G9	500	500	1965
1	Servidor	IBM System x3250 4365	350	350	1024
1	Servidor	IBM System x3500 M2	475	475	1221
1	PC Servidor	Biométricos (Core i3)	150	150	471
1	Adaptador	POE90U-560 Cisco	90	90	282.6
1	Switch	3COM	48	48	101
15	Adaptadores POE para Access Point		12	180	565.2
1	Switch	LINKSYS 24 Puertos	20	20	60
1	Switch Router	Mikrotik 24 puertos	15	15	47.1
1	Router Board	Mikrotik 1100 X2 25	25	25	78.5
				1853	5815

Con base en la información anterior, se tiene un consumo por *rack* de 1853 W, lo que genera una carga térmica de:

$$Q = 3,41 * W.$$

$$Q = 3,41 * 1853.$$

$$Q = 5818,42 \text{ BTU/h.}$$

Para el recinto se instalan 32 equipos, por lo que el cálculo de la carga térmica es:

$$Q = 29776,62 * 32.$$

$$Q = 186189,44 \text{ BTU/h.}$$

Cálculo infiltraciones. Las ganancias de calor sensible y latente por infiltración de aire se determinaron utilizando las ecuaciones propuestas por Pita (2001), que se presentan a continuación:

- Ganancia de calor sensible por infiltración:

$$Q_s = 1,1 * CFM * CT$$

$$CFM = CA * V/60.$$

$$CFM = 0,5 * 38124,75/60.$$

$$CFM = 317,71.$$

$$Q_s = 1,1 * CFM * CT$$

$$Q_s = 1,1 * 317,71 * 6.8.$$

$$Q_s = 2376,44 \text{ BTU/h.}$$

- Ganancia de calor latente por infiltración:

$$Q_l = 0,68 * CFM * (w_e' - w_i').$$

$$Q_l = 0,68 * 317,71 * 20.$$

$$Q_l = 4320,81 \text{ BTU/h.}$$

$$Q_{total} = Q_s + Q_l = 4320,81 + 2376,44.$$

$$Q_{total} = 6697,25 \text{ BTU/h.}$$

Cálculo de la carga total de enfriamiento

Para este proyecto se calcularon las diferentes ganancias de calor que afectan al centro de datos. Al sumar todos estos aportes, se obtuvo una carga térmica total de 263 469,54 BTU/h, equivalente a 22 t de refrigeración. Con base en este resultado es posible definir la capacidad del equipo de aire acondicionado necesario para el centro de datos.

Tabla 5

Cálculo de la carga térmica según las condiciones del lugar para el mes de abril, a las 12:00 p. m

Proyecto	Datacenter	
Ubicación	Belen, Heredia	
Fecha pico	lunes, 22 de abril de 2024	
Hora max	12:00 p. m.	

Condiciones de diseño		
	Bulbo Seco °F	Bulbo humedo °F
Exterior	92,3	88,7
Interior	81	64,18

Conduccion	Orientacion	U	LM	Area (Ft ²)			CLTD °F			Fc	BTU/h	Tonetaldas		
				Largo	Ancho	Total (Ft ²)	Tabla	CLTD	Corr					
Pared	Tipo	E	NORTE	0,585	-3	59,05	13,12	774,74	6,2	13	14,30	0,92	5 938,65	0,495
		E	SUR	0,585	0	59,05	13,12	774,74	6,2	24	28,30	0,92	11 752,72	0,979
		E	ESTE	0,585	-1	49,21	13,12	645,6	6,2	37	40,30	0,92	13 947,31	1,162
		E	OESTE	0,585	-1	49,21	13,12	645,6	6,2	14	17,30	0,92	5 987,31	0,499
Techo	Tipo	#1	N/A	0,134	0	59,05	49,21	2905,9	6,1	71	75,30	0,92	26 866,77	2,239
Puerta #1	Tipo	G	ESTE	0,46	-1	7,05	5,91	41,7	6,2	33	36,30	0,92	637,36	0,053
Puerta #2	Tipo	G	SUR	0,46	-7	7,05	5,91	41,7	6,2	45	42,30	0,92	742,71	0,062

Iluminación y Equipos eléctrico		FB	Watts	FCE	BTU/h	Tonetaldas
Iluminación	Iluminación incandescente	1			-	0,000
	Iluminación fluorescente	1,25	40	1	4 710,00	0,392
Equipo eléctrico	Racks		1853		186 189,44	15,516

Infiltraciones	Sensible	Latente	CFM	CT, W	BTU/h	Tonetaldas
			1,1	317,71	6,8	2 376,44
	0,68	317,71	20	4 320,81	0,360	

Carga total	263 469,54	Btu/h
	21,956	TONS

Análisis de carga térmica software HAP

Con base en el análisis de carga térmica realizado mediante el *software* HAP (Hourly Analysis Program), se estima que el centro de datos presenta una carga total aproximada de 238,800 BTU/h, equivalente a 19.9 t de refrigeración (TR).

La mayor carga térmica obtenida en el cálculo teórico se debe al uso de datos más precisos, como la ubicación y las condiciones del lugar. Aunque HAP estima una carga menor, de 19,9 t, se decidió utilizar unidades de 21 t con configuración N+1 para garantizar un sistema robusto y confiable.

Air System Sizing Summary for data center		
Project Name: Data center		04/05/2025
Prepared by: og		08:39p. m.

Air System Information

Air System Name data center
Air System Type VAV

Number of zones 1
Floor Area 2905,9 ft²
Location San Jose, Costa Rica

Sizing Calculation Information

Calculation Months Jan to Dec
Sizing Data Calculated

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load 19,9 Tons
Total coil load 238,4 MBH

Selección de equipos

Los equipos que mejor se adaptan a las necesidades del centro de datos, según la carga térmica total obtenida (22 t), son los modelos de precisión Liebert DS. En comparación con otras opciones del mercado, el Liebert DS destaca por su respaldo técnico local, ya que el fabricante cuenta con presencia y soporte técnico en Costa Rica, lo que facilita el mantenimiento, la disponibilidad de repuestos y el soporte posventa.

Además de ser un equipo robusto y adaptable a las normativas de infraestructura crítica, constituye la opción más adecuada para garantizar la estabilidad operativa del centro de datos. Se contempla un factor de seguridad del 15 %, lo que eleva la capacidad requerida por encima de la carga térmica obtenida. Esto garantiza una operación confiable, incluso ante condiciones variables o futuras ampliaciones. Por lo tanto, el equipo debe ser de 25 t.

Planos mecánicos

El siguiente plano presenta la distribución de *racks* y unidades CRAC (Computer Room Air Conditioner) en un recinto de 18 × 15 m, con una disposición de pasillos frío y caliente. Se incluyen dos equipos de precisión tipo CRAC de 22 t en configuración N+1, lo que garantiza la redundancia y cumple con los requisitos de climatización establecidos para TIER II.

Imagen 6
Propuesta inicial para el diseño del centro de datos 2025

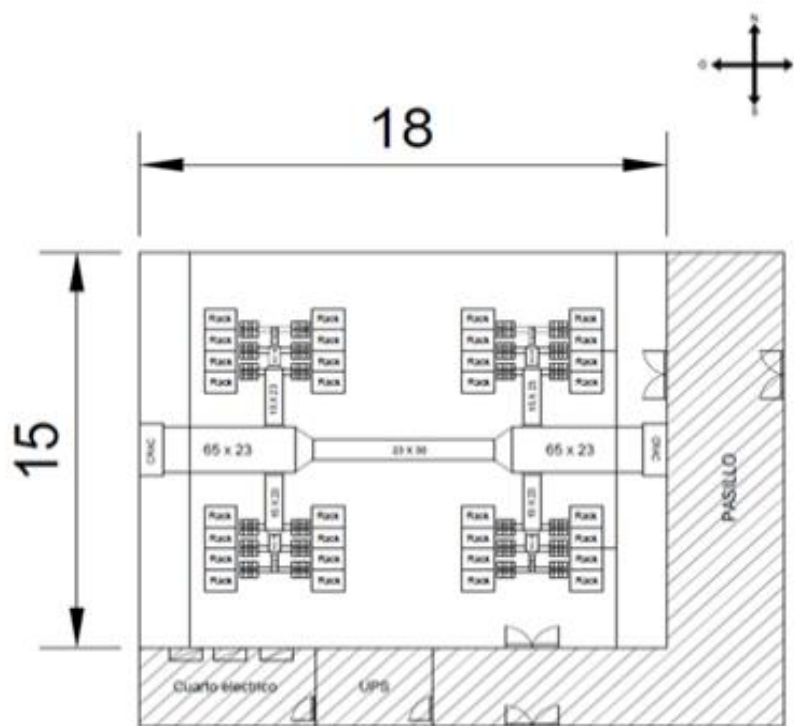
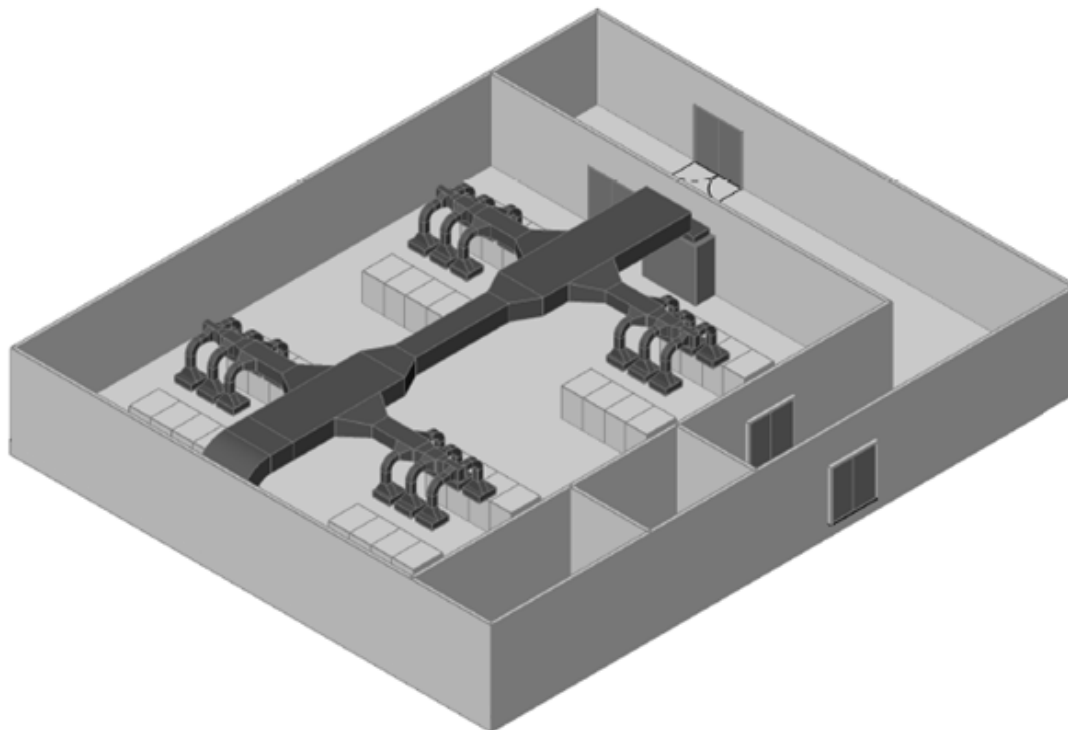


Imagen 7

Plano isométrico del centro de datos 2025

**Mantenimiento del sistema de climatización**

Para el sistema de climatización del centro de datos se propone el siguiente plan de mantenimiento con el objetivo de garantizar que el equipo funcione siempre en óptimas condiciones, reducir fallas inesperadas del sistema y asegurar el cumplimiento de la disponibilidad de operación según lo que se indica en la normativa. Este plan corresponde a un mantenimiento programado, ya que contempla tareas regulares realizadas para evitar fallos, las cuales están organizadas dentro de un cronograma definido de acuerdo con frecuencias específicas (semanal, mensual, trimestral, etc.).

Este plan de mantenimiento no solo responde a las buenas prácticas para una infraestructura crítica, sino que también se encuentra alineado con las recomendaciones del fabricante Vertiv para el modelo Liebert DS, lo cual resulta esencial para conservar la garantía del equipo y asegurar su operación eficiente a largo plazo. A continuación, se presentan las actividades que se implementan dentro del plan de mantenimiento.

Filtros de aire

- Inspeccionar el estado de los filtros.
- Reemplazarlos filtros si presentan obstrucción o pérdida de eficiencia.
- Delimitar el área de libre acceso, con el fin de facilitar el mantenimiento.
- Limpiar el compartimento de los filtros con un paño húmedo.
- Limpiar visualmente el serpentín del equipo.

Sección de turbina

- Retirar los residuos acumulados en las ruedas de las correas.
- Revisar y ajustar la tensión de las correas (reemplazar si presentan desgaste).
- Lubricar los cojinetes de acuerdo con el manual del fabricante.
- Revisar las poleas del motor y de la turbina (sustituirlas si presentan desgaste).
- Verificar el montaje mecánico del motor.
- Medir el consumo eléctrico (amperaje del motor).
- Comprobar si se detectan las vibraciones.

Recuperador de calor

- Inspeccionar el estado físico de los intercambiadores.
- Revisar el cableado interno de la caja del recuperador.
- Medir el consumo de corriente del sistema.

Bomba de condensado

- Verificar la presencia de residuos en el sumidero.
- Confirmar el funcionamiento correcto de los flotadores.

Tubería de refrigeración

- Revisar el estado general de las líneas asegurándose de que no presenten fugas y se encuentren bien sujetas.
- Comprobar la presencia de humedad mediante el visor.
- Confirmar aislamiento térmico adecuado.

Compresor

- Revisar el nivel y las posibles fugas de aceite.
- Verificar soportes del compresor.
- Inspeccionar el cableado interno de la caja.
- Confirmar la presión de succión y de descarga.
- Comprobar sobrecalentamiento.
- Verificar las presiones de alta y baja.
- Medir consumo en amperios.
- Revisar la presencia de vibraciones o ruidos anómalos.
- Validar los sensores de presión y temperatura.

Panel eléctrico

- Verificar los fusibles y el estado de los contactores.
- Revisar el cableado y verificar la presencia de posibles signos de corrosión o sobrecalentamiento.
- Confirmar el inicio de las terminales eléctricas.

Humidificador

- Revisión para la detección de obstrucciones en la válvula, los drenajes y el sifón.
- Revisión para detectar fugas en la válvula de entrada y en todas las mangueras.

- Limpieza de la malla filtrante.
- Reemplazo de la botella del humidificador, si resulta necesario.
- Verificación del funcionamiento correcto del humidificador.
- Consumo en amperios del humidificador: L1 ____; L2 ____ L3 ____

Análisis financiero

El presente análisis financiero tiene como objetivo evaluar la viabilidad económica del sistema de climatización propuesto para el centro de datos, considerando tanto los costos de inversión inicial como los gastos asociados.

El siguiente cuadro presenta las inversiones iniciales, que incluyen dos unidades de precisión tipo Liebert DS, con un costo unitario de \$68,866.63. A estos se suman los costos por la instalación de ductería, que ascienden a \$5,336.05 y por la instalación y puesta en marcha del sistema, que corresponden a \$5,000.

La inversión total asciende a \$148,069.31, la cual se amortizará mediante el proceso de depreciación lineal a lo largo de una vida útil de 10 años. Esto genera una depreciación anual de \$14,306.93.

Inversiones inicial	Costo	Unidades	Total	Depreciación	Deprec.Anual
Unidad de precisión Liebert DS (25 TR)	\$68 866,63	2	\$137 733,26	10	\$13 773,33
Suministro e instalación de conducto en lámina de P-ductal	\$5 336,05	1	\$5 336,05	10	\$533,61
Instalación y puesta en marcha	\$5 000,00	1	\$5 000,00	0	
	TOTALES	4	\$ 148 069,31		\$ 14 306,93

En esta sección se identifican y proyectan los gastos operativos asociados al sistema de climatización.

Detalle	Mensual	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gastos mantenimiento	\$313,12	\$3 757,44	\$3 870,16	\$3 986,27	\$4 105,86	\$4 229,03	\$4 355,90	\$4 486,58	\$4 621,18	\$4 759,81	\$4 902,61
Gastos por repuestos	\$66,10	\$793,20	\$817,00	\$841,51	\$866,75	\$892,75	\$919,54	\$947,12	\$975,54	\$1 004,80	\$1 034,95
Totales	\$379,22	\$4 550,64	\$4 687,16	\$4 827,77	\$4 972,61	\$5 121,79	\$5 275,44	\$5 433,70	\$5 596,71	\$5 764,61	\$5 937,55

Posteriormente, se analiza el financiamiento para implementar el sistema de climatización del centro de datos. Se plantea un escenario en el que el 50 % de la inversión inicial se cubre con recursos propios, mientras que el 50 % restante se financia a través de un banco.

La tasa de interés aplicada al financiamiento es del 3 % anual, según el dato publicado por el Banco Central de Costa Rica para créditos a empresas. Este enfoque reduce el aporte inicial de capital por parte de la empresa y distribuye el impacto financiero a lo largo del tiempo, ya que mejora la liquidez del proyecto.

INVERSION PROYECTO	\$150 336,05	
APORTE SOCIOS	\$75 168,03	50%
FINANCIAMIENTO	\$75 168,03	50%
TASA INTERES	3%	0,25%
PLAZO	10	120
Cuota Mensual	\$725,83	

	Saldo Inicial	Cuota	Intereses	Amortizaciones	Saldo final
0		- 75 168,03			
12	\$69 176,52	\$725,83	172,94	\$552,89	\$68 623,63
24	\$62 449,89	\$725,83	156,12	\$569,70	\$61 880,18
36	\$55 518,66	\$725,83	138,80	\$587,03	\$54 931,63
48	\$48 376,61	\$725,83	120,94	\$604,89	\$47 771,72
60	\$41 017,33	\$725,83	102,54	\$623,28	\$40 394,04
72	\$33 434,21	\$725,83	83,59	\$642,24	\$32 791,96
84	\$25 620,44	\$725,83	64,05	\$661,78	\$24 958,66
96	\$17 569,01	\$725,83	43,92	\$681,91	\$16 887,10
108	\$9 272,68	\$725,83	23,18	\$702,65	\$8 570,04
120	\$724,02	\$725,83	1,81	\$724,02	\$0,00

Es importante considerar que, al tratarse de un proyecto en fase de diseño, no se contemplan ingresos directos ni es posible proyectarlos con precisión, ya que aún no existe una operación real que proporcione datos concretos. En este sentido, el sistema de climatización actualmente no genera ingresos económicos directos, pero representa un aporte fundamental: protege los activos tecnológicos, reduce los riesgos operativos y garantiza la continuidad del servicio.

Enseguida, se presenta el cálculo del valor actual neto (VAN), considerando la inversión inicial, los gastos operativos, los intereses del financiamiento y la depreciación de los activos. Esta información permite analizar la rentabilidad del sistema de climatización para el centro de datos.

INVERSION INICIAL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
- 148 069	- 13 129,25	- 13 265,77	- 13 406,38	- 13 551,22	- 13 700,40	- 13 854,05	- 14 012,31	- 14 175,32	- 14 343,22	- 14 516,16
VAN	-\$250 716,41									

Después de analizar los costos del sistema de climatización propuesto, se observa que el valor actual neto (VAN) es negativo. Sin embargo, su implementación resulta financieramente justificada y estratégicamente necesaria, ya que la ausencia de un sistema de climatización adecuado impediría operar dentro de los parámetros normativos, lo que comprometería el rendimiento, la vida útil de los equipos y la calidad del servicio. Aunque la inversión inicial

asciende a \$148,069.31, este monto se justifica por el valor que el sistema aporta a la operación segura y continua del centro de datos.

Uno de los aspectos más relevantes del sistema de climatización es su capacidad comprobada para prevenir fallas graves por sobrecalentamiento, las cuales ocasionan pérdidas económicas considerables, especialmente en servicios que dependen de la disponibilidad constante de información. Asimismo, la falta de un sistema de climatización adecuado imposibilitaría la operación en las condiciones establecidas por normativas internacionales, como Ashrae y ANSI/TIA-942, lo que generaría una inconsistencia técnica crítica en la operación. Incluso al evitar una sola interrupción crítica durante la vida útil de los equipos, el sistema puede prevenir pérdidas económicas superiores al monto invertido.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

A partir del desarrollo del presente proyecto, se pueden destacar las siguientes conclusiones principales:

- Se logró estimar de manera confiable la carga térmica total que debe afrontar el sistema. Esto permitió dimensionar el equipo de forma adecuada, considerando, además, un margen de seguridad que garantiza un buen desempeño, incluso si las condiciones de operación varían en el futuro.
- La elección del equipo Liebert DS obedece, tanto a razones técnicas como prácticas. Este es un equipo robusto, eficiente y cuenta con respaldo técnico local, lo que facilita el mantenimiento y reduce los tiempos de respuesta ante cualquier eventualidad. Este aspecto resulta especialmente relevante en un entorno donde la continuidad del servicio es prioritaria.
- Otro aspecto clave fue la elaboración de un plan de mantenimiento bien estructurado, que considera distintas frecuencias de revisión. Esto permite anticipar posibles fallos y preservar el estado del equipo a largo plazo, lo cual resulta fundamental para centros de datos que deben permanecer operativos las 24 horas del día, los 7 días de la semana.
 - Desde el punto de vista económico, se comprobó que, aunque la inversión inicial no resulta rentable, es necesaria para el centro de datos y que los beneficios a largo plazo superarán a la inversión realizada.

Recomendaciones

- Implementar auditorías para verificar que el sistema opere dentro de parámetros óptimos y detectar posibles pérdidas de eficiencia causadas por el desgaste debido al uso continuo o por cambios en la carga térmica del CPD.
- Crear una base de datos de fallos históricos, lo que permite identificar patrones y prevenir incidentes antes de que ocurran.

- Capacitar y certificar al personal en el manejo de refrigerantes, la operación de sistemas de climatización de precisión y la eficiencia energética.
- Realizar pruebas de presión en los ductos de aire acondicionado, lo que permite detectar posibles fugas. Esta acción mejora la eficiencia energética del sistema y garantiza el cumplimiento de normativas técnicas, como SMACNA.
- Para futuras remodelaciones del centro de datos, se recomienda utilizar materiales con bajo coeficiente de conductividad térmica, ya que estos contribuyen a mejorar la eficiencia del sistema de climatización, así como actualizar los planos en cada etapa.

Capítulo VI. Propuesta

Esta propuesta es el resultado de un proceso de investigación aplicada orientado al diseño de un sistema de climatización para un centro de procesamiento de datos ubicado en Belén, Heredia. El trabajo responde a la necesidad de garantizar condiciones térmicas óptimas en un entorno de operación continua 24/7, con un enfoque de cumplimiento normativo, como Ashrae TC 9.9 y TIA-942.

El documento aborda el análisis de la carga térmica mediante cálculos con base en fórmulas y realiza una comparación con el *software* HAP, con el objetivo de verificar la coherencia de los valores que se obtienen.

Además, se seleccionan equipos de precisión tipo CRAC (Computer Room Air Conditioner) marca Liebert DS, considerando un sistema redundante N+1, de acuerdo con los requisitos establecidos para un TIER II.

Finalmente, se propone una distribución de aire basada en la configuración de pasillo frío y pasillo caliente, ya que constituye una estrategia eficiente para optimizar el flujo de aire y el rendimiento térmico del centro de procesamiento de datos.

REFERENCIAS

- Acosta Acevedo, J. S. y Ricaurte Zarta, R. E. (2020). *Diseño de un sistema de aire acondicionado para la Procuraduría General de la Nación Sede Judicial de Ibagué*. Fundación Universidad de América.
- Alfaro Haro, A. (2017). *Diagnóstico energético de los sistemas de Aire Acondicionado e Iluminación en los edificios administrativos de P&G para la mejora de la gestión BMS por la empresa ControlSoft*.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9640/diagnostico_energetico_sistemas_aire_acondicionado_iluminacion_edificios_administrativos_p%26g_para_mejora_gestion_bms_empresa_controlsoft.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Altimira, J. (s. f.). *Aprende a calcular el VAN y TIR*. <https://www.upbizer.com/estrategia-financiera/van-y-tir>
- Alvarado García, F. (2021). *Diseño del sistema de aire acondicionado para la sucursal de La Uruca del Banco Nacional de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13408/TF8980_BIB303156_Felipe_Alvarado_Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Álvarez Parajeles, E. (2011). *Herramienta para la estimación de costos en la construcción de viviendas para la empresa Fomento Urbano, S. A.*
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6035/herramienta-estimaci%3%b3n-costos-construcci%3%b3n-viviendas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ashrae Technical Committee 9.9. (2012). *Thermal guidelines for data processing environments* (3.^a ed.). ASHRAE.
- Ashrae. (2009). *Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation*. Industrial Press INC.
- ATN Ingeniería y Servicios. (2021). *Principales diferencias entre un aire acondicionado de precisión y uno de confort*. <https://atn.com.mx/blog/aire-acondicionado-de-precision-vs-aire-de-confort/>

Bermúdez León, M. J. (2020). *Generalidades de los centros de datos*.

<https://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/11506/2197/LEC%20ING%20SIST%200113%20%202020.pdf?isAllowed=y&sequence=1>.

Bonilla Arévalo, L. D.; Almachi Pucó, J. E. y Andrade, R. (s. f.). *Diseño de un Centro de Procesamiento de Datos, elaborando un modelo detallado para cálculos del Sistema de Climatización y su Consumo de Energía. CPD de aproximadamente 600 m², para certificación TIER IV*.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/43764/BONILLA%20AR%c3%89VALO%20LEONARDO%20DARIO%20Y%20ALMACHI%20PUCO%20JORGE%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cabello, R. y Lázaro, A. (2010). *Sistemas de climatización* (2.^a ed.). Thomson-Paraninfo.

<https://books.google.es/books?id=iI74AgAAQBAJ&pg=PA178>

Camareno Núñez, M. J. (2016). *Cálculo de carga térmica para el suministro de aire acondicionado del laboratorio clínico y planes de mantenimiento preventivo para equipo de aire acondicionado clínico*. Hospital Dr. Maximiliano Peralta Jiménez. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6858/calculo_carga_termica_suministro_aire.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carrier Air Conditioning Company. (1999). *Manual de Aire Acondicionado (Handbook Of Air Conditioning System Design)*.

Castellón Arguedas, N. (2021). *Diseño del sistema de climatización eficiente para cinco pisos en el edificio académico de una universidad privada con diversas áreas*. Universidad Internacional de Las Américas. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/2124>

Castellón Arguedas, N. (2021). *Diseño del sistema de climatización eficiente para cinco pisos en el edificio académico de una universidad privada con diversas áreas*. Universidad Internacional de Las Américas.

<http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/9790c722-ad5c-41b9-a79a-15926d9b3174/content>

- DataMercantil. (2024). *Sistemas de infraestructura de data center: Guía completa para una operación eficiente*. <https://datamercantil.com/sistemas-de-infraestructura-de-data-center-guia-completa-para-una-operacion-eficiente>
- Ejemplos.net. (s. f.). *Clasificación de la materia prima*. <https://ejemplos.net/clasificacion-de-la-materia-prima/>
- Galván, V. G. (2013). *Datacenter: una mirada por dentro*. https://www.researchgate.net/publication/282611136_DATACENTER_-_UNA_MIRADA_POR_DENTRO
- García Flores. (2019). *¿Cuáles son los objetivos del protocolo de Kyoto?* <http://la-respuesta.com/articulos-populares/cuales-son-los-objetivos-del-protocolo-de-kyoto>
- González Cruz, D. (2022). *Diseño de un sistema de aire acondicionado para un cuarto limpio de una nave de industria farmacéutica*. Universidad de Costa Rica. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/20722>
- Grau López, D. (2023). *Simulación CFD de una sala IT de un data center*. Universidad Técnica de Cataluña.
- Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana editores, S. A. de C. V. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Iniciativa de Divulgación de Activos Climáticos de América Latina (Lacadi). (2022). *¿En qué consiste el Acuerdo de París?* <https://lacadi.transforma.global/en-que-consiste-el-acuerdo-de-paris/>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2025). *Instituto Meteorológico Nacional*. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/>
- Jiménez Cordero, L. D. (2022). *Análisis energético de los sistemas de aire acondicionado tipo expansión directa y agua helada en edificios de oficinas en Costa Rica con el fin de obtener la certificación LEED BD+C*. Universidad de Costa Rica. <https://cedi.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/1659/35/IM-8436.pdf>

- Jiménez Grech, I. (2022). *Climatización mediante free cooling de un centro de proceso de datos*. Universidad Europea de Madrid.
https://titula.universidadeuropea.com/bitstream/handle/20.500.12880/2074/tfg_jimenezgr echignacio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- KeepSolid Inc. (s. f.). *Pasillo Caliente/Pasillo Frio*.
<https://www.vpnunlimited.com/es/help/cybersecurity/hot-aisle-cold-aisle>
- Ley n.º 7223. (1991). *Protocolo de Montreal*.
https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=55361&nValor3=79824¶m2=1&strTipM=TC&IR esultado=2&strSim=simp
- Ley n.º 8219. (1998). *Protocolo de Kioto*.
<https://www.bvs.sa.cr/ambiente/textos/cambioclimatico.pdf>
- Ley n.º 9405. (2016). *Acuerdo de París*.
https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=94307&nValor3=125509&strTipM=TC
- Ley n.º 9522. (2018). *Enmienda de Kigali*.
- Linacal. (s. f.). *Historia del aire acondicionado*. <https://linacal.com/historia-del-aire-acondicionado/>
- Marqueño Navarro, F. (2020). *Diseño y cálculo de las instalaciones de una sala dedicada en un centro de datos de misión crítica y alta disponibilidad*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Molina, V. (2022). *El presupuesto de capital y las herramientas de evaluación*. Universidad San Marcos. <https://www.coursehero.com/es/file/189318870/Trabajo-de-Investigaci%C3%B3n-2-El-presupuesto-de-capital-y-las-herramientas-de/>
- Morocho Tenezaca, W. G. y Quito Lojano, H. D. (2023). *Diseño de un sistema de climatización con monitoreo y control automatizado para un data center de una institución financiera*. Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24342/1/UPS-CT010346.pdf>

- Naciones Unidas. (s. f.). *¿Qué es el Acuerdo de París?* <https://unfccc.int/es/most-requested/que-es-el-acuerdo-de-paris>
- Oficina Técnica del Ozono; Dirección de Gestión de Calidad Ambiental; Ministerio de Ambiente y Energía y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *Acciones implementadas por Costa Rica para la preservación de la capa de ozono*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cr/undp_cr_ozono_2014.pdf
- Pita, E. G. (2001). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. Compañía Editorial Continental.
- Porras Huete, M. (2021). *Optimización del sistema de climatización acorde con la normativa ambiental vigente en Costa Rica para el ICE telecomunicaciones en la zona metropolitana este*. Universidad Internacional de Las Américas. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/2122>
- Quimbita Chiluisa, O. R. (2015). *Diseño de un data center para la empresa Elipe, S. A. de acuerdo a las especificaciones técnicas de la Norma TIA -942*. Universidad Internacional SEK. <https://1library.co/document/y4g7wjvy-diseno-center-empresa-elipe-acuerdo-especificaciones-tecnicas-norma.html>
- Rosa, B. (2021). *Cómo climatizar un data center con HVAC*. <https://hardwaresfera.com/articulos/tutoriales/como-climatizar-un-data-center-con-hvac>
- Salazar de Puertas, E. (s. f.). *Cálculo de la Humedad Relativa del Ambiente*. https://kupdf.net/download/compilacion-de-psicometria_59a7b7f4dc0d605378568edf_pdf
- Santa Ramírez, D. M. (2013). *Diseño y recomendaciones de fabricación, con asistencia de computador, de un tanque de enfriamiento en acero inoxidable para conservación de leche*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://core.ac.uk/download/pdf/71397646.pdf>
- Suárez Cruz, I. L.; Escobar Díaz, A. y Vacca González, H. (2019). *Unidades de climatización para centros de datos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7030510>

- Tello Parrales, Y. I. (2024). *Aplicación de las normas TIA 942 para el fortalecimiento del data center en el complejo universitario de la UNESUM*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7240/1/TELLO%20PARRALES%20YANDRY%20IVAN.pdf>
- Torres Araya, J. I. (2022). *Propuesta de mejora para el sistema de Agua Helada en el acondicionamiento de aire de la compañía Micro Technologies, S. A.-Coyol de Alajuela; mediante el análisis y diagnóstico técnico, ambiental y financiero, según la norma ASHRAE*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2021). *Home*.
<https://unfccc.int/>
- Universidad de Oriente. (s. f.). *Psicrometría y aire acondicionado*.
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-oriente-venezuela/laboratorio-de-ingenieria-mecanica-iii/laboratorio-de-ing-mecanica-iii- psicrometria-y-aire-acondicionado-iii-sem-2023/95919812>
- Valverde Pérez, J. B. (2018). *Diseño Mecánico de un Sistema de Agua Helada para Acondicionamiento del Ambiente de la Ciudad Interactiva Kidzania. Tecnológico de Costa Rica*. <https://1library.co/document/q2n1nn2q-diseno-mecanico-sistema-helada-acondicionamiento-ambiente-interactiva-kidzania.html>

ANEXOS

Imagen 8
Dimensiones del equipo Liebert DS

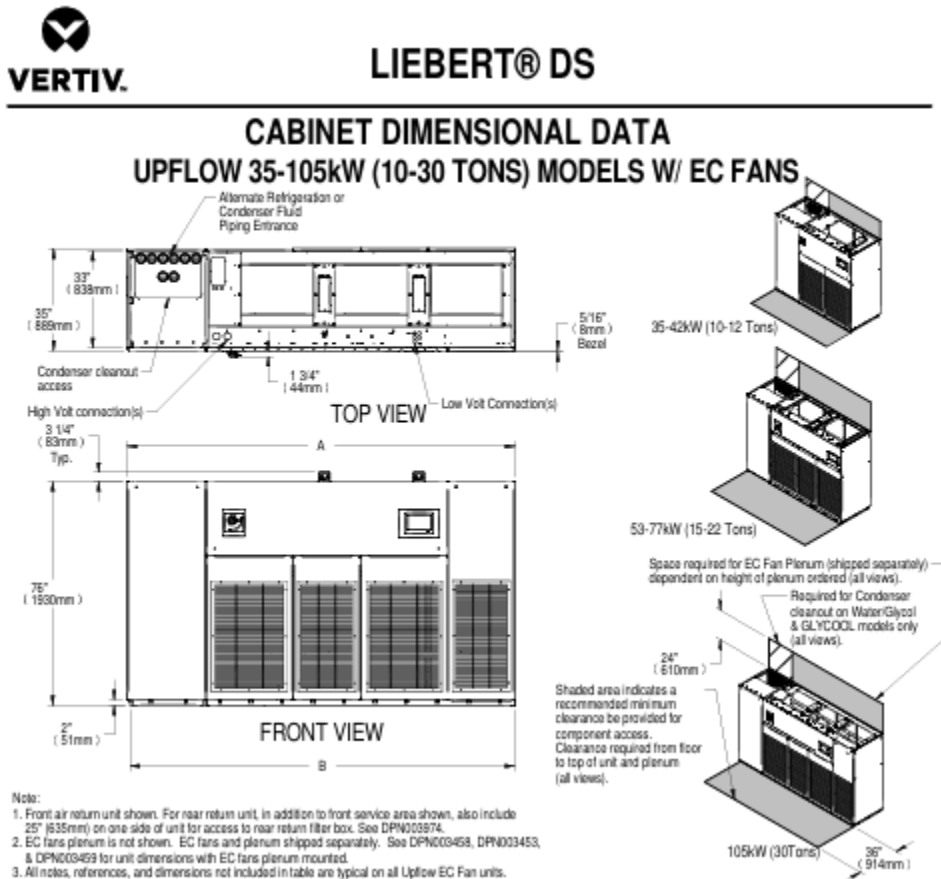


Tabla 8

Diferencias de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE) que se utilizan en el cálculo de la carga térmica de paredes expuestas al sol

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

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

Fuente: Pita (2001).

Tabla 9
Coficiente 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	0.7
Pared de bastidor				
	G Aislamiento de 1 a 3 in	16	0.081-0.178	3.2

Reproducido con permiso de 1985 *Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory*

Fuente: Pita (2001).

Tabla 10

Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE) que se utilizan en el cálculo de cargas atribuibles a techos

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

Reproducido con permiso del 1985 *Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory*.

Fuente: Pita (2001).

Tabla 11
Coefficiente de construcción de puertas

Construcción	Valor de U en BTU/h-ft ² -°F	
	Verano	Invierno
PUERTAS		
Madera maciza:		
de 1 in de espesor	.61	.64
de 1 1/2 in de espesor	.47	.49
de 2 in de espesor	.42	.43
Acero:		
de 1 1/2 in de espesor con relleno de lana mineral	.58	.59
de 1 1/2 in de espesor con relleno de poliestireno	.46	.47
de 1 1/2 in de espesor con relleno de espuma de uretano	.39	.40

Fuente: Pita (2001).

Tabla 12

Corrección de la DTCE según la latitud y el mes, para su aplicación en paredes y techos

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

Latitud	Mes	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HORA
0	Dic	-3	-5	-5	-5	-2	-0	3	6	9	-1
	Ene/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	-0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	-1
	Abr/Ago	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5
8	Dic	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Ene/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Abr/Ago	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2
16	Dic	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Ene/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Abr/Ago	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	-7	0
24	Dic	-5	-7	-9	-10	-7	-3	3	9	13	-13
	Ene/Nov	-4	-6	-8	-9	-6	-3	3	9	13	-11
	Feb/Oct	-4	-5	-6	-6	-3	-1	3	7	10	-7
	Mar/Sept	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-3
	Abr/Ago	-2	-1	0	-1	-1	-2	-1	-2	-3	0
	May/Jul	1	2	2	0	0	-3	-3	-5	-6	1
	Jun	3	3	3	1	0	-3	-4	-6	-6	1
32	Dic	-5	-7	-10	-11	-8	-5	2	9	12	-17
	Ene/Nov	-5	-7	-9	-11	-8	-4	2	9	12	-15
	Feb/Oct	-4	-6	-7	-8	-4	-2	4	8	11	-10
	Mar/Sept	-3	-4	-4	-4	-2	-1	3	5	7	-5
	Abr/Ago	-2	-2	-1	-2	0	-1	0	1	1	-1
	May/Jul	1	1	1	0	0	-1	-1	-3	-3	1
	Jun	1	2	2	1	0	-2	-2	-4	-4	2
40	Dic	-6	-8	-10	-13	-10	-7	0	7	10	-21
	Ene/Nov	-5	-7	-10	-12	-9	-6	1	8	11	-19
	Feb/Oct	-5	-7	-8	-9	-6	-3	3	8	12	-14
	Mar/Sept	-4	-5	-5	-6	-3	-1	4	7	10	-8
	Abr/Ago	-2	-3	-2	-2	0	0	2	3	4	-3
	May/Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Jun	1	1	1	0	1	0	0	-1	-1	2
48	Dic	-6	-8	-11	-14	-13	-10	-3	2	6	-25
	Ene/Nov	-6	-8	-11	-13	-11	-8	-1	5	8	-24
	Feb/Oct	-5	-7	-10	-11	-8	-5	1	8	11	-18
	Mar/Sept	-4	-6	-6	-7	-4	-1	4	8	11	-11
	Abr/Ago	-3	-3	-3	-3	-1	0	4	6	7	-5
	May/Jul	0	-1	0	0	1	1	3	3	4	0
	Jun	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2
56	Dic	-7	-9	-12	-16	-16	-14	-9	-5	-3	-28
	Ene/Nov	-6	-8	-11	-15	-14	-12	-6	-1	2	-27
	Feb/Oct	-6	-8	-10	-12	-10	-7	0	6	9	-22
	Mar/Sept	-5	-6	-7	-8	-5	-2	4	8	12	-15
	Abr/Ago	-3	-4	-4	-4	-1	1	5	7	9	-8
	May/Jul	0	0	0	0	2	2	5	6	7	-2
	Jun	2	1	2	1	3	3	4	5	6	1

Reproducido con permiso del 1979 ASHRAE Load Calculations Manual

Fuente: Pita (2001).

Tabla 13
Cálculo de ductería mediante el método de igual fricción

Seccion	CFM	V, ft/min	Perdidas por fricción, in de agua por 100 ft	D equivalente, in	Tamaño del ducto rectangular, in
AB	12000	1156	0,057	40	23 x 65
B1	3000	1252	0,057	20	15 x 23
D1	2500	1200	0,057	18,5	15 x 20
E1	2500	1200	0,057	18,5	15 x 20
12	2000	1371	0,057	16,3	14 x 15
F2	1500	1403	0,057	14	14 x 11
G2	1500	1403	0,057	14	14 x 11
23	1000	1143	0,057	11,7	14 x 9
H3	500	889	0,057	8	9 x 9
I3	500	889	0,057	8	9 x 9
BC	6000	1252	0,057	28	23 x 30
C4	3000	1252	0,057	20	15 x 23
J4	2500	1200	0,057	18,5	15 x 20
K4	2500	1200	0,057	18,5	15 x 20
45	2000	1371	0,057	16,3	14 x 15
L5	1500	1403	0,057	14	14 x 11
M5	1500	1403	0,057	14	14 x 11
56	1000	1143	0,057	11,7	14 x 9
N6	500	889	0,057	8	9 x 9
O6	500	889	0,057	8	9 x 9

Imagen 9
Cotización del equipo Liebert DS



VITALTECH GLOBAL LLC
11401 SW 40th Street Suite 204
Miami FL 33165
PH: (305)979-2666

COMPANY:	N/A	PROPOSAL #:	V-6766
ATTN:		PAGES:	2
VALID TO:		DATE:	7/11/2025
FROM:	Pablo Romo		
PROJECT:			

We are pleased to provide our Quotation for the following Vertiv products and services:

Line	Part Number	Description	Quantity	Net Price	Ext. Net price
1.0	DS105ASC1005BD0	"Liebert DS"	1	\$68,866.63	\$68,866.63