



**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

**Diseño del sistema de climatización para un centro de datos con carga de 400  
kW.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

**Magister en Ingeniería y proyectos de climatización**

Presentado por:

**Jimmy Anchundia Zamora**

Guayaquil - Ecuador

Año: 2026

## Dedicatoria

---

Quiero dedicar este proyecto de grado a mi madre, Rosa Zamora, por sus sabios consejos, su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de toda mi trayectoria académica, personal y profesional, aun cuando la distancia nos separaba. A mi padre, Manuel Anchundia, quien, aunque no esté físicamente presente para acompañarme, me dejó como legado la perseverancia, la disciplina y la determinación para alcanzar cada objetivo en la vida. Gracias a sus enseñanzas y valores, soy el profesional que busca sobresalir y aportar en cada proyecto que emprende, tanto en el ámbito personal como profesional.

Con especial cariño, dedico también este logro a mi esposa, Mariuxi, y a mi hijo, Jimmy Demián, quienes son mi mayor motivación y fortaleza. Ellos representan el motor que me impulsa a seguir adelante, superar desafíos y crecer cada día, guiándome con su amor y apoyo incondicional hacia la realización de mis sueños y metas.

## Agradecimientos

---

Quiero expresar, en primer lugar, mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme la vida y permitirme alcanzar este importante logro académico y personal. A mis padres, esposa e hijo, por ser mi apoyo constante, por su amor incondicional y por motivarme cada día a superarme en todos los ámbitos de mi vida.

Mis sinceros agradecimientos al Msc. Fernando Garnica, director de este proyecto, por su guía y apoyo constante durante todo el desarrollo del trabajo, contribuyendo a mi formación profesional y académica. A la Ing. Tanya Barreto, por la confianza depositada en mí, y por apoyar tanto mi crecimiento profesional como académico.

Extiendo también mi gratitud a mis amigos y demás familiares, quienes, con su respaldo, palabras de aliento y acompañamiento han sido un pilar fundamental en todo momento de mi vida. Gracias a cada uno de ustedes, este proyecto ha sido posible, y cada logro alcanzado se ve fortalecido por su apoyo incondicional.

## **Declaración Expresa**

---

Yo Jimmy Hernan Anchundia Zamora acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 15 abril del 2026.

---

Jimmy Hernan Anchundia Zamora

## **Evaluadores**

---

**Msc. Frank Porras**

Evaluador

---

**Msc. Fernando Garnica**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente trabajo de investigación desarrolla el diseño de ingeniería de un sistema de climatización de alta disponibilidad para un centro de datos de 400 kW de carga de Tecnologías de la Información (TI), ubicado en Guayaquil, Ecuador. El desafío principal radica en las condiciones climáticas extremas de la zona (clima tropical húmedo con temperaturas de diseño de 37.1 °C) y la necesidad de garantizar una operación continua 24/7 bajo criterios de infraestructura concurrentemente mantenible (Tier III).

La metodología empleada integró el cálculo de cargas térmicas detalladas mediante el software HAP 5.1, considerando no solo la densidad de los racks (5 kW/rack), sino también las ineficiencias de los sistemas de soporte eléctrico (UPS, PDU) y las condiciones de la envolvente según estándares ASHRAE TC 9.9 y ANSI/TIA-942. Se evaluaron distintas alternativas tecnológicas, seleccionando un sistema de expansión directa (DX) por su balance óptimo entre costo inicial (CAPEX), escalabilidad modular y eficiencia operativa para la escala del proyecto.

Los resultados determinaron una carga térmica total de 124.08 TR para la sala TI y aproximadamente 20.7 TR por cada cuarto eléctrico. El diseño final propone una configuración de redundancia N+2 para la sala principal, utilizando seis manejadoras de aire de precisión de 35 TR, y un esquema N+1 para los cuartos eléctricos. Se concluye que la solución propuesta no solo garantiza el control estricto de temperatura (20-22 °C) y humedad (35-45 %), sino que asegura la viabilidad técnica y económica con una inversión aproximada de USD 806,440, cumpliendo con los niveles de resiliencia exigidos para infraestructuras de misión crítica.

**Palabras clave:** Centro de Datos, Climatización de Precisión, Carga Térmica, Redundancia, Expansión Directa, Concurrentemente Mantenible, Eficiencia Energética (PUE).

## Abstract

This research work develops the engineering design of a high-availability climate control system for a data center with a 400 kW Information Technology (IT) load, located in Guayaquil, Ecuador. The primary challenge lies in the region's extreme climatic conditions, a humid tropical climate with design temperatures of 37.1 ° and the necessity of ensuring continuous 24/7 operation under Concurrently Maintainable infrastructure criteria (Tier III).

The methodology employed integrated detailed thermal load calculations using HAP 5.1 software, considering not only rack density (5 kW/rack) but also the inefficiencies of electrical support systems (UPS, PDU) and building envelope conditions according to ASHRAE TC 9.9 and ANSI/TIA-942 standards. Various technological alternatives were evaluated, leading to the selection of a Direct Expansion (DX) system due to its optimal balance between initial cost (CAPEX), modular scalability, and operational efficiency for the project's scale.

The results determined a total thermal load of 124.08 TR for the IT room and approximately 20.7 TR for each electrical room. The final design proposes an N+2 redundancy configuration for the main room, utilizing six 35 TR precision air handling units, and an N+1 scheme for the electrical rooms. It is concluded that the proposed solution not only guarantees strict control of temperature (20-22 °C) and humidity (35-45%) but also ensures technical and economic viability with an approximate investment of USD 806,440, meeting the resilience levels required for mission-critical infrastructure.

**Keywords:** Data Center, Precision Cooling, Thermal Load, Redundancy, Direct Expansion, Concurrently Maintainable, Power Usage Effectiveness (PUE).

## Índice general

Resumen .....	6
Abstract .....	7
Índice general .....	8
Abreviaturas .....	10
Índice de figuras .....	11
Índice de tablas.....	11
Índice de anexos .....	12
Capítulo 1 .....	14
1 Introducción .....	15
1.1 Descripción del Problema .....	16
1.2 Justificación del Problema .....	17
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo general .....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Marco teórico .....	18
1.4.1 Centro de datos.....	18
1.4.2 Climatización y carga térmica en centro de datos.....	19
1.4.3 Eficiencia energética en centro de datos. ....	20
1.4.4 Redundancia y confiabilidad.....	20
Capítulo 2 .....	22
2 Metodología.....	23
2.1 Revisión de normativas internacionales.....	23
2.2 Condiciones ambientales de diseño de la sala TI.....	23
2.3 Condiciones ambientales exterior para diseño y selección de equipos.....	24
2.4 Definición de equipos de climatización utilizados en centros de datos.....	25
2.5 Marco normativo sobre la configuración de los equipos de clima.....	27
2.6 Cálculo de cargas de climatización en sala TI.....	28

2.7 Cálculo de cargas de climatización en cuartos eléctricos. ....	31
2.8 Selección de manejadora de aire sala TI. ....	34
2.9 Selección de manejadora de aire cuartos eléctricos. ....	35
2.10Requerimientos adicionales de las manejadoras de aire. ....	35
2.11Costos de equipos e instalación.....	36
2.12Capex y opex.....	39
Capítulo 3 .....	42
3 Resultados y análisis .....	43
3.1 Resultados de la carga térmica en la sala TI. ....	43
3.1.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas. ....	44
3.2 Resultados de la carga térmica en los cuartos eléctricos.....	45
3.2.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas. ....	45
3.3 Dimensionamiento de los equipos de climatización. ....	46
3.3.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas. ....	47
3.4 Dimensionamiento de los equipos de climatización que mantengan la temperatura, humedad y flujo de aire dentro de los rangos recomendados por las normativas internacionales.....	48
3.4.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas. ....	48
3.5 Establecer los requerimientos de redundancia y confiabilidad para mantener la operación continua del sistema concurrentemente mantenible.....	49
3.5.1 Análisis de resultados.....	51
Capítulo 4 .....	52
4 Conclusiones y recomendaciones .....	53
4.1 Conclusiones .....	53
4.2 Recomendaciones.....	54
Anexos.....	56
Referencias .....	76

## Abreviaturas

**ICREA:** International Computer Room Experts Association.

**UPTIME INSTITUTE:** Organización especializada en certificación de centro de datos.

**ASHRAE:** American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, Engineers.

**TIA:** Telecommunication Industry Association.

**TIER:** Nivel de clasificación de confiabilidad y disponibilidad en centro de datos.

**M3:** Nivel 3 de infraestructura mecánica (según TIA-942).

**CRAC:** Computer Room Air Conditioner (Manejadora de aire de precisión de agua helada de expansión directa).

**DX:** Direct Expansion (Expansión Directa).

**CRAH:** Computer Room Air Handler (Manejadora de aire de precisión de agua helada).

**HVAC:** Heating, Ventilation and Air Conditioning (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado)

**VRLA:** Valve Regulated Lead Acid (Baterías de plomo-ácido reguladas por válvula).

**ATS:** Automatic Transfer Switch (Tablero de Transferencia Automática).

**UMA:** Unidad Manejadora de Aire.

**TR:** Tonelada de Refrigeración.

**CFM:** Cubic Feet per Minute (Pies cúbicos por minuto - Caudal de aire).

**DB / WB:** Dry Bulb / Wet Bulb (Bulbo Seco / Bulbo Húmedo).

**kW / kWc:** Kilovatios eléctricos/Kilovatios térmicos.

**RH:** Relative Humidity (Humedad Relativa).

**DP:** Dew Point (Punto de Rocío).

**TI:** Tecnología de la Información (En el contexto de sala, es donde se aloja y soporta los sistemas de Tecnología de la Información)

**PUE:** Power Usage Effectiveness.

**UPS:** Uninterruptible Power Supply.

**PDU:** Power Distribution Unit.

**CAPEX:** Capital Expenditure (Inversión en activos fijos / Inversión inicial).

**OPEX:** Operating Expenditure (Gastos de operación y mantenimiento).

**HAP:** Hourly Analysis Program (Programa de análisis horario).

**ESPOL:** Escuela Superior Politécnica del Litoral

**BMS:** Building Management System (Sistema de gestión de edificios)

**DCIM:** Data Center Infrastructure Management (Gestión de infraestructura de centro de datos)

## Índice de figuras

Figura 1. Sistemas redundantes común en un centro de datos tipo TIER III.....	21
Figura 2. Carta psicrométrica de condiciones ambientales en sala TI.....	24
Figura 3. Sistemas de enfriamiento aplicables, según la densidad de carga por rack.....	26
Figura 4. Modelos y capacidades de equipos de climatización.....	34

## Índice de tablas

Tabla 1. Condiciones recomendadas, permisibles y de diseño en salas TI.....	24
Tabla 2. Tabla comparativa de selección de equipos.....	25
Tabla 3. Resumen de guía de referencia de instalaciones mecánicas.....	28
Tabla 4. Dimensiones y orientaciones de paredes de la sala TI.....	29
Tabla 5. Condiciones de construcción de envolvente y supuestos considerados.....	29
Tabla 6. Condiciones de diseño internas de la sala y ambiental.....	29
Tabla 7. Valores de densidad y calor específico del aire.....	30
Tabla 8. Cargas de climatización y flujo de aire requerido en sala TI.....	30
Tabla 9. Dimensiones y orientaciones de paredes de cuartos eléctricos.....	31
Tabla 10. Condiciones de construcción de envolvente y supuestos considerados en cuartos eléctricos.....	31
Tabla 11. Condiciones de diseño internas de la sala y ambiental.....	32
Tabla 12. Resumen de cálculo de capacidades en cuartos eléctricos S1.....	32
Tabla 13. Resumen de cálculo de capacidades en cuartos eléctricos S2.....	33
Tabla 14. Cargas totales requeridas en cuartos eléctricos S1.....	33
Tabla 16. Resumen de requerimiento para selección de manejadora de aire sala TI.....	34
Tabla 17. Resumen de requerimiento para selección de manejadora de aire cuartos eléctricos.....	35
Tabla 18. Requerimientos adicionales al estándar.....	36
Tabla 19. Valores generales de manejadoras y accesorios de instalación para sala TI.....	37
Tabla 20. Valores generales de manejadoras y accesorios de instalación para cuartos eléctricos.....	38
Tabla 21. CAPEX total del proyecto del sistema de climatización.....	39
Tabla 22. Tabla de condiciones de diseño según requerido para concurrentemente mantenible.....	50

## Índice de anexos

Anexo 1. Condiciones de climatización ASHRAE para Guayaquil [12]. .....	57
Anexo 2. Resumen de cálculo de la envolvente de la sala TI. ....	58
Anexo 3. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto eléctrico S1. ....	59
Anexo 4. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto UPS-Rectificador S1. ....	60
Anexo 5. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto baterías S1. ....	61
Anexo 6. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto de manejadoras S1. ....	62
Anexo 7. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto eléctrico S2. ....	63
Anexo 8. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto UPS-Rectificador S2. ....	64
Anexo 9. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto baterías S2. ....	65
Anexo 10. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto de manejadoras S1. ....	66
Anexo 11. Tabla de característica de equipos según diseño. ....	67
Anexo 12. Tabla de característica de equipos según diseño. ....	67
Anexo 13. Tabla de característica adicionales para las manejadoras. ....	68
Anexo 14. Tabla de performance de manejadora de aire P2120DA. ....	69
Anexo 15. Tabla de performance de manejadora de aire P2090DA. ....	70
Anexo 16. Dimensiones y peso de unidades condensadoras. ....	71
Anexo 17. Dimensiones y peso de unidades evaporadoras. ....	72
Anexo 18. Dimensiones para base de unidades evaporadoras. ....	73
Anexo 19. Dimensiones para base de unidades condensadoras. ....	74
Anexo 20. Diámetro de tuberías de succión y descarga según distancias entre condensador y evaporador. ....	74
Anexo 21. Planos finales de ubicaciones. ....	75

# Capítulo 1

## 1 Introducción

En la era digital actual, los centros de datos se han consolidado como pilares esenciales de la infraestructura global, impulsando el crecimiento económico ciudades o inclusive países enteros, gestionando un volumen de información en constante expansión proveniente de plataformas digitales, aplicaciones empresariales, servicios financieros, redes sociales, entre otros. No obstante, su operación demanda un elevado consumo energético, derivado del funcionamiento ininterrumpido de equipos como routers, clústeres de cómputo, servidores y dispositivos de almacenamiento. Estos equipos generan una gran cantidad de calor durante su operación y requieren mantenerse dentro de rangos de temperatura específicos para garantizar un desempeño confiable y continuo 24/7. Por ello, resulta indispensable contar con un sistema de climatización robusto, eficiente y con redundancia, el cual puede llegar a representar hasta un 40% del consumo energético total de un centro de datos [1].

Este trabajo aborda el desafío crítico de diseñar un sistema de climatización eficiente y fiable para una instalación de mediana densidad con una carga eléctrica de 400 kW. El problema central radica en la disipación efectiva del calor generado por los equipos de TI (Tecnología de la Información) para garantizar la continuidad operativa, evitar fallos en los componentes y, a su vez, reducir los elevados costos operativos y el impacto ambiental. La optimización de la Eficiencia en el Uso de la Energía (PUE – Power Usage Effectiveness) se convierte, por tanto, en un objetivo primordial para justificar la viabilidad y sostenibilidad del diseño en un sector cada vez más competitivo y regulado; además que el data center estará ubicado en la ciudad de Guayaquil, región costa de Ecuador, es una ciudad de clima tropical húmedo, caracterizado por temperaturas elevadas durante todo el año y con una humedad elevada. La temperatura media anual oscila entre 26 y 28 °C, con máximos que pueden superar los 32 °C en época seca. La humedad relativa generalmente se mantiene arriba del 70%, generando una alta sensación térmica [2].

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar el diseño de ingeniería de un sistema de climatización de alto rendimiento para el centro de datos de 400 kW eléctrico, enfocado en maximizar la eficiencia y la resiliencia. Para lograrlo, se analizarán en detalle las cargas térmicas, se evaluarán y compararán tecnologías avanzadas como la contención de pasillos y las estrategias, y se seleccionará la solución más adecuada para desarrollar el diseño detallado. El alcance del proyecto se concentra en los aspectos térmicos y energéticos del sistema de climatización, utilizando una metodología que combina la revisión de estándares internacionales como los de ASHRAE, TIA e ICREA y complementando con el uso de herramientas de simulación para modelar y validar el rendimiento de la solución propuesta [3].

## 1.1 Descripción del Problema

El propósito es diseñar la infraestructura de climatización crítica de un centro de datos en la ciudad de Guayaquil, abarcando tanto los cuartos eléctricos como la sala de servidores, garantizando condiciones ambientales estables, continuas y controladas. El diseño se basa en la aplicación de estándares internacionales para centro de datos, asegurando que la solución propuesta cumpla con los requisitos de una instalación concurrentemente mantenible. Esto corresponde a un TIER III según el Uptime Institute, TIER/Nivel III conforme a la TIA-942 (Telecommunications Industry Association), o Nivel III según criterios de ICREA (International Computer Room Experts Association). Para cumplir con estas clasificaciones, se consideran principios fundamentales como redundancia N+1, alta disponibilidad, capacidad de mantenimiento sin interrupción, y la implementación de un sistema HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) independiente, y controles de operación que aseguren continuidad térmica incluso en escenarios de “falla” o mantenimiento programado. Asimismo, el diseño contempla la optimización energética [4], [5], [6].

La inyección de aire de este centro de datos va realizar a través de piso técnico con una altura de 60 cm medidos desde la base del piso, el aire será contenido en pasillo frío; además se establece una densidad de 5 kW eléctricos por rack para un total de 80 racks, por lo que deben considerarse estas condiciones para el diseño y la selección de equipos.

El funcionamiento continuo de un centro de datos depende directamente de mantener condiciones ambientales óptimas en las salas de TI (tecnología de la información) y en los cuartos eléctricos. La generación de calor en estos espacios es elevada debido a la potencia instalada, que en este caso alcanza los 400 kW eléctricos en la sala de TI, sumada a la carga térmica de equipos críticos como PDU, UPS, rectificadores y tableros eléctricos. Por ello, se requiere un sistema capaz de disipar eficientemente toda la carga térmica, garantizando parámetros estables de temperatura y humedad relativa [7].

La ausencia de un sistema de climatización adecuado incrementa el riesgo de superar los rangos de temperatura y humedad establecidos por normativas internacionales como ASHRAE. Esto puede derivar en sobrecalentamientos, condensación y, en consecuencia, fallas en los equipos, reducción de la vida útil de los sistemas e interrupciones en la operación del centro de datos. Tales interrupciones comprometen la disponibilidad de los servicios informáticos, ocasionando pérdidas económicas, disminución de la productividad y una menor confiabilidad de la infraestructura tecnológica [7].

## 1.2 Justificación del Problema

El diseño busca satisfacer las necesidades de un centro de datos y sus respectivos cuartos eléctricos para una compañía privada, la cual ya consta con centros de datos operativos, funcionales TIER IV y otro TIER III certificados en diseño y facilidades por UPTIME Institute. Lo que busca es la incorporación de un nuevo centro de datos con miras a certificación a corto plazo, garantizando que la infraestructura sea concurrentemente mantenible. Esto implica la incorporación de equipos de respaldo que aseguren la continuidad del sistema de climatización, evitando afectaciones de operación durante el mantenimiento en equipos de climatización.

El diseño de un sistema de climatización para un centro de datos con una carga instalada de 400 kW en equipos de TI exige un análisis integral de todas las cargas térmicas involucradas. No solo debe contemplarse la potencia disipada directamente por los equipos de procesamiento, sino también las pérdidas energéticas derivadas de la ineficiencia de los sistemas de distribución, como UPS, rectificadores y tableros eléctricos. Estos aportes adicionales de calor deben ser considerados según las características de cada equipo, a fin de garantizar un dimensionamiento adecuado y confiable de los sistemas de climatización [8].

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de climatización para la sala de TI de 400 kW eléctricos y sus respectivos cuartos eléctricos de un centro de datos concurrentemente mantenible, que logre un equilibrio óptimo entre el costo inicial y la eficiencia energética

### 1.3.2 Objetivos específicos

- i. Determinar la carga térmica generada por los equipos de TI en la sala, mediante el análisis de la potencia instalada (400 kW).
- ii. Determinar la carga térmica generada por los equipos en los cuartos eléctricos, tales como UPS's, rectificadores, tableros eléctricos, tableros de transferencias, mediante el análisis de la potencia instalada en la sala TI (400 kW).
- iii. Dimensionar los equipos de climatización que mantengan la temperatura, humedad y flujo de aire dentro de los rangos recomendados por las normativas internacionales.
- iv. Seleccionar equipos de climatización, realizando un análisis del costo inicial.
- v. Establecer los requerimientos de redundancia y confiabilidad para mantener la operación continua del sistema concurrentemente mantenible.

- vi. Realizar un estudio del costo total del proyecto de climatización, incluyendo los costos de inversión inicial, operación, mantenimiento y eficiencia energética, con el fin de evaluar la viabilidad económica y optimizar los recursos disponibles.

## **1.4 Marco teórico**

### ***1.4.1 Centro de datos.***

Un centro de datos es una instalación destinada a concentrar, procesar, almacenar y distribuir grandes volúmenes de información digital, mediante equipos TI, como servidores, dispositivos de almacenamiento, clústeres de cómputo y sistemas de comunicación. Estas infraestructuras constituyen el núcleo de la economía digital moderna, al soportar servicios críticos como aplicaciones empresariales, plataformas en la nube, comercio electrónico, servicios financieros y redes sociales [4].

Una infraestructura de los centros de datos requiere sistemas de climatización especializados para garantizar condiciones ambientales que permitan el funcionamiento continuo y confiable de los equipos de TI. Debemos tener en cuenta que la gestión térmica es uno de los componentes críticos de estas infraestructuras, ya que una temperatura inadecuada o una distribución deficiente del aire puede generar fallas prematuras, reducción del rendimiento o interrupciones operativas [9].

Las guías del ASHRAE Technical Committee 9.9 constituyen la principal referencia internacional para el control ambiental en centros de datos. Estas especifican rangos recomendados y permitidos de temperatura y humedad, así como lineamientos para el diseño de flujos de aire, la contención térmica, la selección de equipos de enfriamiento y el análisis del comportamiento térmico en espacios críticos. Estas recomendaciones se han aplicado en diversos proyectos globales para optimizar la eficiencia energética y reducir riesgos asociados al sobrecalentamiento[9].

En paralelo, estándares como ANSI/TIA-942, Uptime Institute Tier Standard e ICREA integran dentro de sus requisitos criterios de diseño para los sistemas de climatización, destacando aspectos como redundancia, capacidad de mantenimiento concurrente, confiabilidad operativa y continuidad del servicio. Por ejemplo, TIA-942 establece configuraciones mínimas de enfriamiento según el nivel de disponibilidad, mientras que Uptime Institute detalla topologías de infraestructura mecánica que aseguran operación ininterrumpida ante fallas o mantenimientos [4], [5], [6], [9].

### **1.4.2 Climatización y carga térmica en centro de datos.**

La carga térmica en un centro de datos corresponde a la cantidad de calor que debe ser retirada para mantener las condiciones ambientales dentro de los parámetros establecidos. Esta se genera principalmente por:

- La potencia eléctrica disipada en los equipos de TI (servidores, switches, routers, dispositivos de almacenamiento), los cuales disipan el consumo eléctrico como energía térmica casi en su totalidad dentro de la sala, por lo que se considera toda la carga consumida eléctricamente como carga disipada en calor dentro de la sala [8].
- Las pérdidas por ineficiencia de los sistemas eléctricos de soporte como UPS (Uninterruptible Power Supply), rectificadores, tableros de distribución, PDU (Power Distribution Unit), entre otros, se considera que la ineficiencia de estos equipos es disipada en calor, estas ineficiencias varían según el equipo y fabricante, pero siempre se encuentran en rangos cercanos, por lo que dependiendo del equipo se puede asumir pérdidas estándar [2].
- El aporte térmico de la envolvente de factores externos como infiltraciones de aire y transmisión de calor a través de muros, pisos y techos aumentan la carga térmica de la sala o cuartos eléctricos, por lo que también debe ser considerada en los cálculos de dimensionamiento [2].

Un cálculo preciso de la carga térmica es esencial para dimensionar adecuadamente los sistemas de climatización y así evitar deficiencias operativas o, en su defecto, un sobredimensionamiento que incremente innecesariamente los costos de inversión y operación. Este análisis no solo contempla el calor disipado por los equipos de TI, sino también las cargas internas (iluminación, ocupación, UPS, transformadores) y las cargas externas (transmisión a través de muros, techos y pisos) [10].

La climatización en centros de datos es el conjunto de procesos y sistemas destinados a mantener la temperatura, la humedad relativa y el flujo de aire dentro de rangos específicos establecidos por normativas y estándares internacionales (como ASHRAE o TIA o UPTIME INSTITUTE). El objetivo es asegurar la operación confiable, continua y eficiente de los equipos electrónicos críticos que sustentan la infraestructura digital [3], [10], [11].

A diferencia de los sistemas de climatización en aplicaciones residenciales o comerciales, los centros de datos requieren un enfriamiento de precisión, donde el control de las variables ambientales debe ser estable, redundante y altamente predecible. Esto implica la implementación de estrategias de distribución de aire (pasillo frío/pasillo caliente, contención, piso técnico, in-row cooling, entre otros), además del monitoreo constante de parámetros ambientales en diferentes puntos de la sala [10].

Un fallo en el sistema de climatización puede ocasionar consecuencias severas como sobrecalentamiento de racks, degradación del desempeño, pérdida de disponibilidad de servicios críticos, e incluso la reducción significativa de la vida útil de los equipos electrónicos. Por este motivo, se incorporan principios de redundancia (N+1, N+2, 2N), escalabilidad y eficiencia energética (PUE, DCiE), buscando no solo garantizar la continuidad operativa, sino también optimizar el consumo energético y la sostenibilidad de la infraestructura [3].

### **1.4.3 Eficiencia energética en centro de datos.**

La eficiencia energética constituye un factor crítico en la operación de un centro de datos, dado que estas instalaciones demandan grandes volúmenes de energía de manera continua, siendo la climatización responsable de aproximadamente entre el 30% y el 40% del consumo energético total. Una gestión ineficiente de este recurso no solo incrementa los costos operativos, sino que también eleva la huella de carbono de la infraestructura [11].

Para evaluar y optimizar el desempeño energético, se emplea el PUE, indicador definido por The Green Grid y adoptado internacionalmente como métrica estándar. Este índice relaciona el consumo energético total del centro de datos con el consumo energético exclusivamente destinado a los equipos de TI, proporcionando una visión clara sobre la proporción de energía utilizada en sistemas auxiliares, como climatización, iluminación o distribución eléctrica [2].

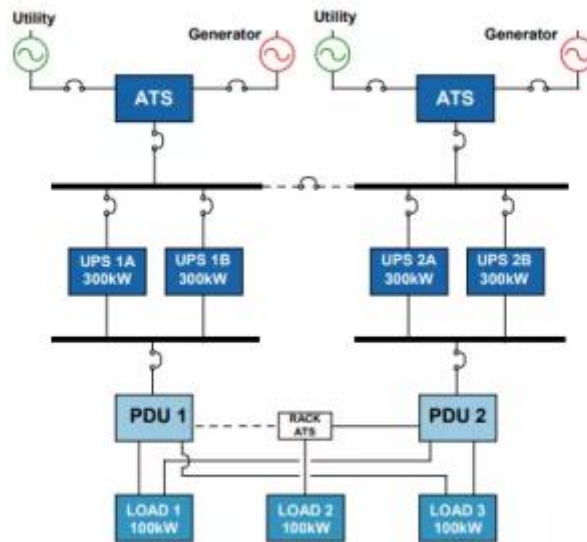
$$PUE = \frac{\text{Consumo energético total de centro de datos}}{\text{Consumo energético de los equipos de la sala TI}}$$

Además, la implementación de un sistema inteligente de gestión del aire (control de caudal, monitoreo en tiempo real, sensores distribuidos y sistemas de control automatizado) ayuda a reducir pérdidas energéticas y evita sobre enfriamientos innecesarios, lo que impacta positivamente en el PUE. De este modo, la correcta selección, operación y mantenimiento de los sistemas de climatización no solo asegura la continuidad de los servicios, sino que también es determinante para alcanzar objetivos de eficiencia y sostenibilidad en los centros de datos modernos[2].

### **1.4.4 Redundancia y confiabilidad.**

Para comprender el concepto de redundancia, primero es necesario entender qué es un sistema en un centro de datos. Un sistema se define como el conjunto de equipos, componentes, procesos y controles que cumplen una función específica para garantizar la operación continua, segura y eficiente de la infraestructura[2].

Figura 1. Sistemas redundantes común en un centro de datos tipo TIER III.



Nota. Tomada de [4]

La redundancia en un centro de datos se entiende como la duplicación estratégica de uno o más componentes y sistemas críticos, con el objetivo de garantizar la continuidad operativa frente a fallas, mantenimientos programados o eventos inesperados.

En el ámbito de la climatización, la redundancia se implementa mediante esquemas como N+1, 2N o 2(N+1), definidos según el nivel de confiabilidad y disponibilidad requerido[3]:

- N+1: incluye un equipo adicional de respaldo por cada conjunto de equipos necesarios para la operación.
- 2N: cada equipo principal cuenta con un duplicado exacto, lo que permite operar con plena capacidad incluso en caso de falla total de un sistema.
- 2(N+1): combina redundancia completa con un equipo adicional de respaldo en cada sistema, proporcionando el más alto nivel de tolerancia a fallas.

Este principio se encuentra estrechamente vinculado con la clasificación de niveles de infraestructura (Tiers) del Uptime Institute. A partir de Tier III, se exige la concurrent maintainability, es decir, la capacidad de realizar mantenimientos preventivos o correctivos en cualquier componente de la infraestructura sin que esto implique interrupciones en la operación. En niveles superiores, como Tier IV, además de la mantenibilidad concurrente, se requiere fault tolerance, lo que significa que el centro de datos puede soportar fallas inesperadas en cualquier componente sin afectar la continuidad del servicio [6].

## **Capítulo 2**

## 2 Metodología.

En este capítulo se describió la metodología que permitió desarrollar el diseño y dimensionamiento del sistema de climatización para un data center con una carga de TI de 400 kW, con sus respectivos cuartos eléctricos. Se formularon distintas alternativas técnicas, se establecieron los criterios de selección de la opción más adecuada y se desarrolló el diseño conceptual y detallado del sistema seleccionado.

Asimismo, se incluyeron las normativas técnicas internacionales aplicadas, los fundamentos de diseño, la justificación de las decisiones técnicas adoptadas, La metodología se desarrolla en fases secuenciales que permiten garantizar un dimensionamiento técnico adecuado, con base en estándares internacionales de referencia y el uso de herramientas de análisis y simulación.

### 2.1 Revisión de normativas internacionales.

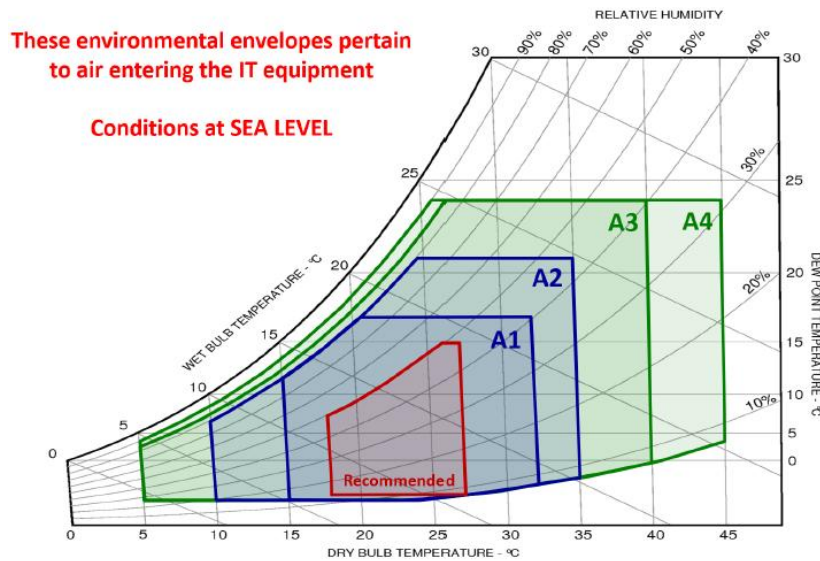
Se recopilarán y analizarán las principales normas internacionales que regulan las condiciones ambientales, la eficiencia energética y la confiabilidad en centros de datos. Entre las más relevantes se incluyen:

- **ASHRAE TC 9.9:** Rangos de temperatura y humedad recomendados y permitidos para salas de TI.
- **Uptime Institute / TIA 942 / ICREA:** Clasificación *Tier I-IV* y criterios de *concurrent maintainability*.
- **ISO/IEC 30134:** Indicadores de eficiencia energética y sostenibilidad (PUE, WUE, CUE).
- **IEEE e IEC:** Normas aplicables a la gestión de energía y confiabilidad en infraestructuras críticas.
- **NFPA 75 y 76:** Normativas sobre protección contra incendios en equipos electrónicos y telecomunicaciones, que inciden en el diseño ambiental.

### 2.2 Condiciones ambientales de diseño de la sala TI.

Para definir las condiciones ambientales internas de la sala TI, se tomó como referencia la guía ASHRAE TC 9.9. Estas especificaciones determinan rangos recomendados y permisibles de temperatura y humedad relativa para equipos TI, garantizando un funcionamiento seguro, eficiente y con vida útil prolongada. Asimismo, estos parámetros sirven de base para el diseño del sistema de climatización, asegurando estabilidad térmica, eficiencia energética y cumplimiento de posibles certificaciones [9].

Figura 2. Carta psicrométrica de condiciones ambientales en sala TI.



Nota. Tomado de [9]

Tabla 1. Condiciones recomendadas, permisibles y de diseño en salas TI.

	Rango recomendado	Rango permisible	Configuración recomendada para diseño
Temperatura de bulbo seco	18°C – 27°C	15°C – 32°C	20°C – 22°C
Punto de rocío y humedad relativa (%RH)	9°C DP a 15 RH 15 DP y 50 RH	12°C DP y 8% RH 17°C DP y 80% RH	35° RH a 45%RH
Diferencial de temperatura ingreso/salida rack	Hasta 20 °C de diferencial de temperatura entre ingreso y salida de aire al rack.		

Nota. Resumido de [9].

### 2.3 Condiciones ambientales exterior para diseño y selección de equipos.

Para la selección de los equipos de climatización se consideró la condición climática más extrema esperable (el día más caluroso en un registro histórico relevante de 20 años) para una certificación, lo que asegura que el sistema tenga la capacidad de mantener la carga térmica total incluso en escenarios externos críticos. Esto es fundamental para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los servicios alojados y que los equipos seleccionados sean capaces de suplir la carga de climatización en las condiciones más extremas.

Con base en los registros climáticos de Guayaquil y siguiendo la metodología ASHRAE para condiciones extremas, se adopta como temperatura de diseño una temperatura de bulbo seco de 37.1 °C (98.78 °F) y una temperatura de bulbo húmedo de 28.5 °C (83.3 °F) [12]. Estos valores

representan la condición crítica de mayor exigencia térmica y sirven como punto de partida para el cálculo de cargas térmicas, selección de unidades de precisión (CRAC/CRAH) y verificación de la capacidad del sistema HVAC bajo condiciones de máxima demanda.

## 2.4 Definición de equipos de climatización utilizados en centros de datos.

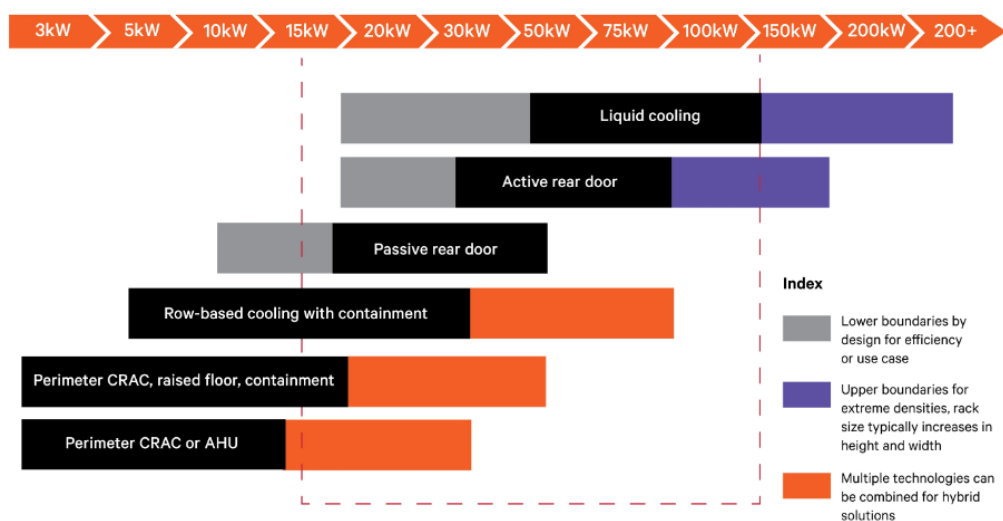
El problema identificado fue la necesidad de establecer un sistema de climatización capaz de garantizar condiciones térmicas y de humedad controladas en una sala de TI. Durante la fase inicial del proyecto se analizaron tres alternativas principales:

**Tabla 2. Tabla comparativa de selección de equipos.**

<b>Criterio</b>	<b>DX – CRAC (Expansión directa)</b>	<b>Agua enfriada – CRAH</b>	<b>Sistema mixto (DX + Líquido)</b>
<b>Descripción general</b>	Unidades de precisión que operan con circuito de refrigerante DX; operación independiente por módulos.	Manejo de aire mediante serpentines alimentados por agua helada generada por chillers.	Equipos con doble serpentín: uno DX y otro de agua helada.
<b>Ventajas principales</b>	Costo inicial bajo. Instalación rápida. Crecimiento modular según demanda. Dependencia de condensadores individuales.	Mayor eficiencia energética. Integración con economizadores. Control térmico centralizado.	Flexibilidad operativa al tener dos modos de enfriamiento.
<b>Desventajas principales</b>	Eficiencia reducida en cargas parciales.	Inversión inicial alta por infraestructura (chillers, tuberías, aislamiento).	Costo total muy alto (infraestructura de chillers + sistema DX). Mantenimiento complejo.
<b>Costo inicial (CAPEX)</b>	Bajo (favorable)	Alto	Muy alto
<b>Costo operativo (OPEX)</b>	Medio	Medio	Alto

<b>Eficiencia energética</b>	Media/Alta	Alta	Media
<b>Escalabilidad</b>	Alta (crecimiento por módulos)	Alta, pero requiere ampliación de planta de agua helada	Media
<b>Redundancia y confiabilidad</b>	Media – configurable por módulos	Alta	Media – Alta (con mayor costo)
<b>Requerimientos de infraestructura</b>	Mínimos (unidades + condensadores)	Elevados	Muy elevados
<b>Adecuación para expansión futura</b>	Muy adecuada por modularidad y ampliación sin grandes obras	Adecuada, pero requiere ampliaciones en el sistema central	Limitada por costo y complejidad
<b>Conclusión técnica</b>	Alternativa seleccionada por su bajo costo inicial, simplicidad y capacidad de crecimiento modular conforme aumenten las cargas térmicas.	Alternativa eficiente, pero económicamente menos viable en fases iniciales.	Alternativa descartada por su alto costo y complejidad de implementación.

**Figura 3. Sistemas de enfriamiento aplicables, según la densidad de carga por rack.**



Nota. Tomado de [13].

Para este proyecto se seleccionó una manejadora de expansión directa debido a que ofrecía una solución de climatización adecuada para la densidad térmica prevista y para las condiciones operativas de la sala TI. Esta tecnología permitió asegurar un control preciso de temperatura y humedad, con tiempos de respuesta rápidos ante variaciones de carga térmica y una operación eficiente dentro del rango de disipación requerido. Además, su configuración resultó compatible con el espacio disponible y con la infraestructura eléctrica existente, evitando la necesidad de implementar sistemas hidráulicos adicionales. En comparación con otras alternativas, la manejadora DX (Direct Expansion) proporcionó un equilibrio óptimo entre costo, eficiencia y capacidad de mantener la continuidad operativa del centro de datos bajo las condiciones ambientales de diseño consideradas, además de proporcionar una instalación progresiva de los equipos según la demanda de equipos TI instalados.

## **2.5 Marco normativo sobre la configuración de los equipos de clima.**

Para lograr un sistema de climatización concurrentemente mantenible, fue necesario incorporar al menos un equipo de respaldo (back-up) que garantizara la continuidad operativa durante las intervenciones de mantenimiento preventivo o correctivo en cualquiera de las manejadoras principales. Este equipo debía ser capaz de cubrir, como mínimo, el 20 % de la carga térmica total[4], [5], de manera que el sistema pudiera considerarse verdaderamente redundante bajo el esquema N+1. Con esta capacidad adicional se aseguró que, ante la salida de servicio de una unidad, la infraestructura de climatización pudiera sostener las condiciones ambientales requeridas por la sala TI sin comprometer la disponibilidad, cumpliendo así con los lineamientos de un diseño concurrentemente mantenible.

A continuación, se detalla un resumen de las consideraciones mecánicas para un centro de datos concurrentemente mantenible (M3); según el ANSI/TIA 942 B.

**Tabla 3. Resumen de guía de referencia de instalaciones mecánicas.**

	<b>3 (M3)</b>
Redundancia para equipos mecánicos (p. ej., unidades de aire acondicionado, refrigeradores, bombas, torres de refrigeración, condensadores). Estos requisitos de redundancia se extienden a todas las áreas de soporte que son críticas para el funcionamiento ininterrumpido de la sala de servidores.	Redundancia N+1 para equipos mecánicos para permitir el mantenimiento simultáneo. La pérdida temporal de energía eléctrica o la interrupción del suministro de agua (cuando corresponda) no provocará pérdida de refrigeración, pero puede aumentar la temperatura dentro del rango operativo de los equipos críticos.  El cambio de N +1 puede realizarse manualmente.
Trazado de tuberías de agua o desagüe no asociadas con los equipos del centro de datos en los espacios del centro de datos.	No permitido
Desagües en el suelo de la sala de ordenadores para el desagüe del agua de condensación agua de descarga del humidificador y agua de descarga del sistema de riego	Si
Sistemas mecánicos con generador de reserva	Si
Control de humedad para sala de ordenadores	Se proporcionará deshumidificación / humidificación, cuando corresponda.
Unidades de aire acondicionado de terminales interiores	Una unidad de aire acondicionado adicional por cada 5-8 unidades instaladas.
Servicio eléctrico a equipos mecánicos	N+1 configurado para permitir el mantenimiento simultáneo.
Sistemas de tuberías	Los sistemas de tuberías permiten el mantenimiento simultáneo.
Sistema de control de climatización	El diseño del sistema de control debe ser mantenible simultáneamente.
Fuente de alimentación al sistema de control de climatización	Doble ruta de alimentación eléctrica en configuración N+1 diseñada para ser mantenible simultáneamente.

Nota. Tomado de [5].

## 2.6 Cálculo de cargas de climatización en sala TI.

Para el dimensionamiento de la carga de clima, fue necesario determinar la carga térmica total que debía disiparse en la sala TI. Este valor constituye el parámetro fundamental para la selección y configuración de las unidades de enfriamiento, ya que define la capacidad mínima que el sistema HVAC debe proporcionar para mantener las condiciones ambientales dentro de los

rangos recomendados por ASHRAE. Para este propósito se tomó como referencia la potencia eléctrica total consumida por los equipos TI, considerando que prácticamente el 100 % de dicha energía se transforma en calor dentro del recinto y, que la potencia eléctrica disipada es prácticamente igual a la potencia térmica disipada al ambiente [14], [15]. Adicionalmente, se incorporaron factores complementarios como pérdidas de equipos como PDU, la envolvente de la sala (paredes, techo, piso, luces y posibles infiltraciones de aire) y, equipos electrónicos adicionales que pudieran incorporarse en la sala.

**Tabla 4. Dimensiones y orientaciones de paredes de la sala TI.**

Coordenadas	Área paredes sala TI				Área Piso/Techo
	0°	90°	180°	270°	
	N	S	E	W	Área
<b>Área (Ft<sup>2</sup>)</b>	1666,7	580,2	1666,7	580	3741,7

Nota. Elaboración propia a partir de plano y supuestos.

**Tabla 5. Condiciones de construcción de envolvente y supuestos considerados.**

Sala TI	
Paredes	Bloques de 8 pulgadas, revestida con 1 pulgada cemento ambas caras.
Techo	Losa de concreto con bloques livianos de 8 pulgadas y revestimiento aislante superior.
Personas	5 personas en sala, con baja actividad laboral.
Luces	2000 W de luces leds distribuida en la sala.
Adicionales	3000 W de electrónicos varios.
Puertas	3 puertas metálicas de 6,56 pies x 9,84 pies.
Ventanas	Sin ventanas.

Nota. Elaboración propia a partir de plano y supuestos.

**Tabla 6. Condiciones de diseño internas de la sala y ambiental.**

Condiciones de diseño		
Condiciones exterior	Temp. Amb. Bulbo seco (DB)	92 °F
	Temp. Amb. Bulbo húmedo (WB)	80 °F
	Hum. Relativa amb. (RH)	80%
Condiciones interior	Temp. Suministro Diseño.	58 °F
	Hum. Relativa (%RH)	45%
	Temp. Retorno (DB)	77,1 °F
	Temp. Retorno (WB)	63,1 °F

Nota. Condiciones tomadas de [9], [12], [16].

Con fundamento en los parámetros constructivos y operacionales previamente establecidos, se procede a determinar las cargas térmicas asociadas a la envolvente de la sala de TI mediante el software HAP 5.1 (Hourly Analysis Program). Dicho cálculo se ejecuta bajo la metodología de análisis horario y en cumplimiento de los criterios establecidos en las normas ASHRAE 62.1-2016 y ASHRAE 90.1-2013, asegurando la correcta consideración de los factores de transferencia térmica, ventilación e interacción energética con el ambiente exterior; el resumen de los cálculos lo podemos ver en la sección de adjuntos.

Para realizar el cálculo del flujo de aire a través de la manejadora de aire utilizamos las ecuaciones de calor sensible y densidad.:

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

Dónde:

**Tabla 7. Valores de densidad y calor específico del aire.**

Valores típicos del aire a nivel del mar 25 °C.	
Cp (kJ/Kg-K)	1,007
ρ (Kg/m3)	1,184

Nota. Valores tomados de tablas libres.

$$Q = 1.2 \dot{V} \Delta T$$

De acuerdo con la Tabla 1, definimos un  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{K}$ ; la carga de sala, sumado a la perdida por ineficiencia de los transformadores de las PDU, los cuales siempre tendrán una eficiencia mayor al 98% de la carga de la sala, esto quiere decir 8 kW perdidos por ineficiencia de las PDU dentro de la sala; sumado a los 400 kW perdidos por equipos electrónicos instalados en la sala, nos da una carga de  $Q = 408 \text{ kW}$ , con esto calculamos el flujo de aire requerido en la sala.

$$\dot{V} = 24.28 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{V} = 51458.5 \text{ CFM}$$

**Tabla 8. Cargas de climatización y flujo de aire requerido en sala TI.**

	Carga eléctrica kW	Carga Sensible (TR)	Carga Latente (TR)	CFM
Envolvente	0	8,167	0,975	4121
Sala TI (Racks)	400	113,64	0	50429,3
PDU (>98% eff)	8	2,27	0	
Total:		124,0760909	0,975	54550,3

Nota. Condiciones de diseño según especificaciones de equipos.

## 2.7 Cálculo de cargas de climatización en cuartos eléctricos.

Para el cálculo de la carga térmica en los cuartos eléctricos se considera que las pérdidas por ineficiencia de los equipos como UPS, rectificadores, tableros electrónicos y sistemas de distribución se disipan íntegramente en forma de calor dentro del recinto. Por este motivo, la capacidad de climatización debe cubrir no solo estas pérdidas internas, sino también las ganancias térmicas asociadas a la envolvente del cuarto (paredes, techo, piso, luces y posibles infiltraciones de aire). De esta manera se garantiza que las condiciones ambientales se mantengan dentro de los parámetros operativos establecidos para los equipos eléctricos y de respaldo.

**Tabla 9. Dimensiones y orientaciones de paredes de cuartos eléctricos.**

	Área paredes (ft <sup>2</sup> )				Área Piso/Techo
	0 N	90 S	180 E	270 W	Ft <sup>2</sup> Área
Cuartos eléctricos S1	210,97	0,00	414,52	414,52	338,42
UPS S1	0,00	0,00	277,92	277,92	227,76
BAT S1	0,00	0,00	130,78	130,78	100,00
C UMA S1	0,00	210,97	210,97	210,97	172,22
Cuartos eléctricos S2	305,91	0,00	290,63	290,63	344,44
UPS S2	0,00	0,00	190,95	190,95	226,04
BAT S2	0,00	0,00	130,78	130,78	155,00
C UMA S2	0,00	305,91	96,88	96,88	156,08

Nota. Elaboración a partir de plano.

**Tabla 10. Condiciones de construcción de envolvente y supuestos considerados en cuartos eléctricos.**

Paredes	Bloques de 8 pulgadas, revestida con 1 pulgada cemento ambas caras.
Techo	Losa de concreto con bloques livianos de 8 pulgadas.
Personas	1 personas por cuarto
Luces	144 W de luces leds distribuida en cada cuarto
Adicionales	150 W de electrónicos varios en cada cuarto.
Puertas	3 puertas metálicas de 6,56 pies x 9,84 pies
Ventanas	Sin ventanas.

Nota. Elaboración a partir de plano.

**Tabla 11. Condiciones de diseño internas de la sala y ambiental.**

Condiciones de diseño		
Condiciones exterior	Temp. Amb. Bulbo seco (DB)	92 °F
	Temp. Amb. Bulbo húmedo (WB)	76 °F
	Hum. Relativa amb. (RH)	80%
Condiciones interior	Temp. Suministro Diseño.	58 °F
	Hum. Relativa (%RH)	45%
	Temp. Retorno (DB)	77,1 °F
	Temp. Retorno (WB)	63,1 °F

Nota. Condiciones tomadas de [9], [12], [16].

De igual forma, las cargas térmicas asociadas a la envolvente se evalúan mediante el software HAP. Para los cuartos de tableros eléctricos se considera que los equipos de distribución eléctrica presentan eficiencias superiores al 99%, mientras que para los sistemas UPS y rectificadores se adopta una eficiencia mínima del 92%. En el caso de los bancos de baterías, se asume la presencia de baterías VRLA, con una eficiencia del 96% durante la descarga, escenario que representa la condición operativa más crítica.

Estos valores corresponden a los mínimos niveles de eficiencia actualmente disponibles en el mercado para equipos operando bajo condiciones exigentes, por lo que constituyen un enfoque conservador de diseño. Las pérdidas asociadas a dichas ineficiencias son consideradas totalmente disipadas en forma de calor hacia el ambiente interior, la carga de estos equipos se asume la carga total de la sala (400 kW). El caudal de aire requerido para su disipación se determina mediante la ecuación de calor sensible.

Se considera que la carga total de la sala se reparte en energía AC y energía DC, por lo que la carga eléctrica de UPS y Rectificadores en conjunto es de 400kW.

**Tabla 12. Resumen de cálculo de capacidades en cuartos eléctricos S1.**

	Carga eléctrica kW	Carga Sensible (TR)	Carga Latente (TR)	CFM
<b>Tableros eléctricos S1</b>				
Envolvente	0	1,03	0,07	698
Tableros eléctricos (>99% eff)	4	1,14	0	504,5
Celda de media tensión (>99% eff)	4	1,14	0	504,5
<b>Total</b>		<b>3,31</b>	<b>0,07</b>	<b>1707,00</b>
<b>UPS-RECT S1</b>				
Envolvente	0	0,625	0,05	418
UPS-RECT (>92% eff)	32	9,10	0	4035
<b>Total</b>		<b>9,72</b>	<b>0,05</b>	<b>4453,00</b>

Cuarto de baterías S1				
Envolvente	0	0,32	0,04	210
Descarga de Baterías VRLA (>96% eff)	24	6,82	0	3026
Total		7,14	0,04	3236,00
Cuarto de manejadoras S1				
Envolvente	0	0,32	0,04	210

Nota. Elaboración propia, cálculo a través de software de cargas HAP.

**Tabla 13. Resumen de cálculo de capacidades en cuartos eléctricos S2.**

	Carga eléctrica kW	Carga Sensible (TR)	Carga Latente (TR)	CFM
Tableros eléctricos S2				
Envolvente	0	0,83	0,06	576
Tableros eléctricos (>99% eff)	4	1,14	0	504,5
Celda de media tensión (>99% eff)	4	1,14	0	504,5
Total		3,11	0,06	1585,00
UPS-RECT S2				
Envolvente	0	0,467	0,05	310
UPS-RECT (>92% eff)	32	9,10	0	4035
Total		9,57	0,05	4345,00
Cuarto de baterías S2				
Envolvente	0	0,34	0,03	224
Descarga de Baterías VRLA (>96% eff)	24	6,82	0	3026
Total		7,17	0,03	3250,00
Cuarto de manejadoras S2				
Envolvente	0	0,60	0,05	414

Nota. Elaboración propia, cálculo a través de software de cargas HAP.

**Tabla 14. Cargas totales requeridas en cuartos eléctricos S1.**

	Carga Neta (TR)	Carga Sensible (TR)	Carga Latente (TR)	CFM
Cargas totales en cuartos S1				
Total	20,69	20,49	0,20	9606,00

Nota. Suma de valores de tabla 12.

	Carga Neta (TR)	Carga Sensible (TR)	Carga Latente (TR)	CFM
Cargas totales en cuartos S2				
Total	20,63	20,44	0,19	9594,00

Nota. Suma de valores de tabla 13.

## 2.8 Selección de manejadora de aire sala TI.

Vamos a considerar una sala con una redundancia N+2, donde el N=4; lo que quiere decir que tendremos un total de 6 manejadoras, de las cuales 4 deberán soportar toda la carga de la sala TI; a continuación, se muestra un resumen de características principales para selección de la manejadora de aire.

**Tabla 15. Resumen de requerimiento para selección de manejadora de aire sala TI.**

Condiciones requeridas	Sistema Ingles	Sistema internacional
Temp. Crítica N=20 años.	98,8 °F	37,1 °C
Cap. Requerida total	125 TR	439,6 kW
Flujo de aire requeridos total	55567.4 CFM	94409.5 CHM
Cap. Requerida (C/U) N=4 unidades	31,26 TR	109,9 kW
Flujo de aire requerido (C/U) N=4 unidades	13891,8 CFM	23602,3 CHM

Primero realizamos una pre selección de equipo, esto revisando tablas de libre acceso al público, descargando tablas de performance establecido a condiciones ideales del fabricante, esto dependerá de cada fabricante de equipo, en este caso tenemos la siguiente tabla:

**Figura 4. Modelos y capacidades de equipos de climatización.**

Parameters	P2080	P2090	P2100	P2110	P2120
Dimensions (W×D×H) (mm)	2430 × 995 × 1975				
Operational Weight (kg)	755	760	780	785	790
Test condition & Loading : RAT 35°C/26%RH, Condensing temp 45°C & 100% loading					
Net Sensible Cooling Capacity (kW)*	816	92.4	101.8	112.3	123.2
Air Flow (m³/h)	16900	19000	21200	22350	24400
No of Compressor** & Fan	2	2	2	2	2
EC Fan (ESP) (Pa)	Available ESP : 20 - 200; Standard for down flow: 20Pa & up flow: 50Pa				
Type of filter	Dry media type (G4 rating)				
Electrical Characteristics	460V ; 3P+N, 50Hz/60Hz				

En función de la capacidad y el caudal de aire requeridos, se procede a la preselección de la manejadora modelo P2120DA. No obstante, esta preselección debe ser validada mediante el análisis de performance a las condiciones de diseño, considerando la temperatura exterior crítica asociada a un periodo de 20 años. En caso de que el equipo no alcance la capacidad requerida bajo dichas condiciones críticas, se deberá realizar la verificación de performance con la manejadora del modelo inmediatamente superior.

Como se muestra en la sección de anexos, la tabla de performance de la manejadora P2120 cumple con los requerimientos técnicos necesarios para esta aplicación, incluso operando a la temperatura exterior crítica para un periodo de retorno de 20 años. Por lo tanto, este equipo ha sido seleccionado para la sala TI del presente proyecto.

## 2.9 Selección de manejadora de aire cuartos eléctricos.

Para los cuartos eléctricos se requiere la instalación de una unidad manejadora de aire con capacidad suficiente para cubrir el 100% de la carga térmica y del flujo de aire requerido. Adicionalmente, se dispone una segunda unidad con idénticas características operativas, destinada a funcionar como respaldo. De esta manera se garantiza un esquema de redundancia operativa que asegura la continuidad del servicio ante fallas o detenciones por mantenimiento.

Por criterios de estandarización de diseño, facilidad de mantenimiento y optimización de inventario de repuestos, se seleccionan las mismas unidades manejadoras de aire para todos los cuartos eléctricos involucrados en el proyecto. De los dos cuartos eléctricos el que tiene mayor carga es el de sistema eléctrico de sistema 1, por lo que vamos a tomar este para la selección de las manejadoras de aire.

**Tabla 16. Resumen de requerimiento para selección de manejadora de aire cuartos eléctricos.**

Temp. Crítica N=20 años	98,8 °F	37,1 °C
Cap. Requerida total	20,69 TR	72,76 kW
Cap. Sensible requerida	20,49 TR	72,06 kW
Flujo de aire requeridos total	9606 CFM	16320 CHM

A partir de la imagen 2, se procede a la preselección del equipo P2080, el cual cumple de manera preliminar con los requerimientos de capacidad térmica y caudal de aire establecidos para los cuartos eléctricos. Sin embargo, al realizar la validación del performance del equipo bajo las condiciones de diseño del proyecto, considerando la temperatura exterior crítica correspondiente a un periodo de 20 años, se verifica que la capacidad efectiva disponible del equipo resulta ligeramente inferior a la demanda térmica calculada.

En consecuencia, y con el fin de garantizar el cumplimiento de las condiciones operativas de diseño, se procede a la evaluación del equipo del modelo inmediatamente superior, P2090. Dicho equipo cumple con los requerimientos de carga térmica y flujo de aire necesarios para la climatización de los cuartos eléctricos, por lo que se selecciona para su instalación en estas áreas.

## 2.10 Requerimientos adicionales de las manejadoras de aire.

Para alimentación eléctrica se establece que la manejadora cuente con doble fuente de entrada, esto para el mantenimiento concurrente de los tableros eléctricos, ya que es una buena práctica contar con doble fuente para realizar el cambio de alimentación de sistema al realizar mantenimiento al ramal de tableros eléctrico que alimenta a las manejadoras de aire y así no se vea afectada la temperatura de la sala TI.

Además, se ha considerado que se incluyan tarjetas de comunicación, sensor de inundación, doble fuente de alimentación y damper inferior para mantener la presurización en piso técnico y evitar la recirculación de aire a través de las manejadoras de aire que estén de respaldo.

**Tabla 17. Requerimientos adicionales al estándar.**

<b>Adicionales</b>	
<b>Comunicación</b>	Modbus / BACnet
<b>Numero de fuentes alimentación</b>	2
<b>Control de humedad/temperatura</b>	Si
<b>Comunicación entre manejadoras</b>	Si
<b>Sensor de inundación</b>	Si
<b>Damper inferior</b>	SI

Nota. Requerimientos mínimos para una operación segura.

## **2.11 Costos de equipos e instalación.**

En esta sección se presenta el costo detallado del proyecto de climatización, alcance económico del suministro e instalación, se ha considerado las manejadoras de aire con todos sus accesorios antes descritos, materiales a utilizar para una correcta instalación, mano de obra, puesta en marcha y verificación operativa de las manejadoras.

La siguiente cotización incluye lo siguiente:

- Suministro de las manejadoras de aire con las características descritas anteriormente.
- Sensor de inundación, humidificador, dampers inferiores y doble fuente de alimentación como accesorios adicionales.
- Instalación de bases de condensadoras y evaporadoras.
- Tuberías de succión y descarga según manual de fábrica.
- Aislante térmico de tuberías.
- Recarga de refrigerante según lo descrito por el fabricante.
- Conexión mecánica, eléctrica, de control y comunicación.
- Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.

Se excluye lo siguiente:

- Suministro de acometidas eléctricas.
- Integración con BMS o similares.
- Obra civil (bases de concreto, demoliciones estructurales, perforaciones especiales).

- Permisos debido a normativas locales.
- Mantenimiento de equipos.
- Commissioning.
- Pruebas de equipo en fabrica.

**Tabla 18. Valores generales de manejadoras y accesorios de instalación para sala TI.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>EQUIPO</b>					
1	Equipo de precisión 35TR, 460V/3Ph/60Hz	U	6	\$ 87.469,00	\$ 524.814,00
<b>ACCESORIOS E INSTALACIÓN</b>					
2	Ducto de tool galvanizado, aislado con lana de vidrio	Kg	760	\$ 7,81	\$ 5.935,60
3	Tubería de cobre de 1"	m	280	\$ 24,29	\$ 6.801,20
4	Tubería de cobre de 3/4"	m	280	\$ 8,78	\$ 2.458,40
5	Aislante térmico rubatex de 1"	m	280	\$ 2,68	\$ 750,40
6	Aislante térmico rubatex de 3/4"	m	280	\$ 1,75	\$ 490,00
7	Codo de cobre de 1"	U	200	\$ 4,22	\$ 844,00
8	Codo de cobre de 3/4"	U	200	\$ 1,20	\$ 240,00
9	Unión de cobre 1"	U	70	\$ 3,34	\$ 233,80
10	Soldadura de plata al 5%	U	402	\$ 3,85	\$ 1.547,70
11	Refrigerante R-410A	Lb	160	\$ 5,28	\$ 844,80
12	Damper inferior y accesorios para equipo de precisión	U	4	\$ 394,35	\$ 1.577,40
13	Soportería metálica para tubería de cobre	U	90	\$ 4,46	\$ 401,40
14	Base metálica para unidad evaporadora	U	4	\$ 419,07	\$ 1.676,28
15	Pintura de serpentines condensador con pintura luvata	U	4	\$ 847,08	\$ 3.388,32
16	Sellado de ductos con poliuretano ignifugo	U	4	\$ 880,00	\$ 3.520,00
17	Instalación y puesta en marcha del equipo	U	4	\$ 2.750,44	\$ 11.001,76
18	Grúa para izaje de equipos	U	1	\$ 3.696,00	\$ 3.696,00
<b>TOTAL</b>					\$ 570.221,06

**Tabla 19. Valores generales de manejadoras y accesorios de instalación para cuartos eléctricos.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>EQUIPO</b>					
1	Equipo de precisión 25TR, 460V/3Ph/60Hz	U	4	\$ 47.781,00	\$ 191.124,00
<b>ACCESORIOS E INSTALACIÓN</b>					
2	Ducto de tool galvanizado, aislado con lana de vidrio	Kg	720	\$ 7,81	\$ 5.623,20
3	Tubería de cobre de 1"	m	280	\$ 24,29	\$ 6.801,20
4	Tubería de cobre de 3/4"	m	280	\$ 8,78	\$ 2.458,40
5	Aislante térmico rubatex de 1"	m	280	\$ 2,68	\$ 750,40
6	Aislante térmico rubatex de 3/4"	m	280	\$ 1,75	\$ 490,00
7	Codo de cobre de 1"	U	200	\$ 4,22	\$ 844,00
8	Codo de cobre de 3/4"	U	200	\$ 1,20	\$ 240,00
9	Unión de cobre 1"	U	70	\$ 3,34	\$ 233,80
10	Soldadura de plata al 5%	U	402	\$ 3,85	\$ 1.547,70
11	Refrigerante R-410A	Lb	160	\$ 5,28	\$ 844,80
12	Damper inferior y accesorios para equipo de precisión	U	4	\$ 394,35	\$ 1.577,40
13	Soportería metálica para tubería de cobre	U	90	\$ 4,46	\$ 401,40
14	Base metálica para unidad evaporadora	U	4	\$ 419,07	\$ 1.676,28
15	Pintura de serpentines condensador con pintura luvata	U	4	\$ 847,08	\$ 3.388,32
16	Sellado de ductos con poliuretano ignifugo	U	4	\$ 880,00	\$ 3.520,00
17	Instalación y puesta en marcha del equipo	U	4	\$ 2.750,44	\$ 11.001,76
18	Grúa para izaje de equipos	U	1	\$ 3.696,00	\$ 3.696,00
<b>TOTAL</b>					\$ 236.218,66

## 2.12 Capex y opex.

Se procede a cálculo del CAPEX de los equipos de clima, si bien inicialmente el centro de datos no funcionará a capacidad de diseño, se realiza el cálculo económico considerando todos los equipos de clima necesarios para operar a capacidad de diseño, es decir 6 manejadoras para cuartos de sala TI y 4 manejadoras de cuartos eléctricos, esto permite una estimación realista de la inversión total del proyecto.

**Tabla 20. CAPEX total del proyecto del sistema de climatización.**

<b>Sector</b>	<b>Descripción</b>	<b>Inversión Total</b>
<b>Sala TI</b>	6 Manejadoras 35TR + Instalación	\$570.221,06
<b>Cuartos Eléctricos</b>	4 Manejadoras 25TR + Instalación	\$236.218,66
<b>TOTAL, CAPEX</b>		<b>\$806.439,72</b>

El costo operativo (OPEX) del sistema de climatización está compuesto principalmente por el consumo energético anual, los costos de mantenimiento preventivo y correctivo, y el costo de personal técnico asociado a la operación del sistema, considerando un operador. Para este cálculo también se asume que el sistema de clima esté operando a capacidad de diseño, esto nos permite una perspectiva más real de los costos operativos del sistema de climatización a capacidad de diseño.

A continuación, se presenta el cálculo detallado de cada uno de estos componentes.

### ***Consumo energético del sistema de climatización***

La tonelada de refrigeración (TR) es una unidad utilizada en climatización que representa la capacidad de enfriamiento de un sistema. Esta unidad equivale a:

$$EER = \frac{\text{Capacidad de enfriamiento}}{\text{Potencia eléctrica}}$$

Para el presente análisis se considera un valor de EER igual a 12 BTU/h-W, aunque en la tabla de performance es mayor, pero no siempre va operar bajo esas condiciones, por lo que se elige ese valor conservador.

$$\text{Potencia eléctrica} = \frac{\text{Capacidad de enfriamiento}}{EER}$$

$$\text{Potencia eléctrica} = \frac{12000 \text{ BTU/h}}{12 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} - \text{W}}$$

$$\text{Potencia eléctrica} = 1 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se establece la relación aproximada, que 1 TR equivale al consumo de 1 kW eléctrico.

### ***Potencia eléctrica de los equipos***

#### ***Sala TI***

Cada manejadora de aire tiene una capacidad de 35 TR, y cuatro estarán en funcionamiento.

$$P_{Sala\ TI} = 35\ TR \times 4 \times 1 \frac{kW}{TR}$$

$$P_{Sala\ TI} = 140\ kW$$

#### ***Cuartos eléctricos.***

$$P_{C.Eléctrico} = 25 \times 2 \times 1 \frac{kW}{TR}$$

$$P_{C.Eléctrico} = 50\ kW$$

#### ***Potencia total del sistema***

$$P_{Total} = P_{C.Eléctrico} + P_{Sala\ TI}$$

$$P_{Total} = 50\ kW + 140\ kW$$

$$P_{Total} = 190\ kW$$

#### ***Consumo energético anual***

Los centros de datos operan de manera continua durante todo el año, es decir, los 365 días del año (8760 horas/año).

$$E = P_{Total} \times t$$

$$E = 190\ kW \times 8760 \frac{h}{año}$$

$$E = 1664400 \frac{kWh}{año}$$

#### ***Costo anual de energía eléctrica***

Considerando una tarifa eléctrica industrial promedio en Ecuador de aproximadamente 0.10 USD por cada kWh.

$$Costo_{energía} = 1664400 \frac{kWh}{año} \times 0.1 \frac{USD}{kWh}$$

$$Costo_{energía} = 166440 \frac{USD}{año}$$

### ***Costos de mantenimiento***

Los costos de mantenimiento de sistemas de climatización de precisión en centros de datos suelen estimarse el 2 % del CAPEX del sistema.

$$Costo_{Mantenimiento} = 806439,72 \times 0.02$$

$$Costo_{Mantenimiento} = 16128,8 \frac{USD}{año}$$

### ***Costos de mano de operación***

Para la operación y supervisión del sistema de climatización se considera un técnico HVAC encargado de realizar actividades de monitoreo, mantenimiento preventivo y atención de incidencias.

El salario promedio de un técnico especializado en sistemas HVAC en Ecuador se estima en aproximadamente 1500 USD/mes ya incluido costos de seguro y demás, por lo tanto.

$$Costo_{Técnico\ operación} = 1500 \frac{USD}{mes} \times 12\ mes$$

$$Costo_{Técnico\ operación} = 18000 \frac{USD}{año}$$

### ***OPEX anual del sistema de climatización***

El costo operativo anual total del sistema se obtiene sumando los costos de energía, mantenimiento y mano de obra.

$$OPEX = Costo_{energía} + Costo_{Mantenimiento} + Costo_{Técnico\ operación}$$

$$OPEX = 166440 \frac{USD}{año} + 16128,8 \frac{USD}{año} + 18000 \frac{USD}{año}$$

$$OPEX = 200568,8 \frac{USD}{año}$$

## Capítulo 3

### 3 Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología definida para el diseño y dimensionamiento del sistema de climatización de un centro de datos con una carga de tecnología de la información (TI) de 400 kW. Los resultados incluyen la determinación de las cargas térmicas generadas en la sala TI y en los cuartos eléctricos, el dimensionamiento de los equipos de climatización, la selección de la tecnología más adecuada y la definición de los criterios de redundancia y confiabilidad del sistema.

El análisis se desarrolló con base en normativas internacionales de referencia, tales como ASHRAE TC 9.9, ANSI/TIA-942 e ISO/IEC 30134, considerando condiciones ambientales internas recomendadas y escenarios climáticos externos críticos correspondientes a un periodo de retorno de 20 años. Asimismo, se evaluaron distintas alternativas tecnológicas de climatización, priorizando criterios de desempeño térmico, eficiencia energética, continuidad operativa y viabilidad económica.

Finalmente, se presenta un análisis del costo total del sistema de climatización, que incluye la inversión inicial asociada a equipos e instalación, permitiendo evaluar la viabilidad técnica y económica de la solución propuesta. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema diseñado cumple con los requerimientos térmicos, operativos y normativos exigidos para infraestructuras de misión crítica, garantizando condiciones ambientales adecuadas para la operación continua y confiable del centro de datos.

#### 3.1 Resultados de la carga térmica en la sala TI.

A partir del análisis de la potencia instalada de los equipos de tecnología de la información (TI), se determinó que la carga térmica principal de la sala corresponde directamente al consumo eléctrico de los racks, ya que son equipos de procesamiento de información, por esto se considera que prácticamente el 100 % de la energía eléctrica consumida se transforma en calor dentro del recinto, esto por el principio de conservación de la energía.

Para una potencia instalada de 400 kW, se obtuvo una carga térmica sensible equivalente a 113,64 TR, a la cual se adicionaron las pérdidas por ineficiencia de los equipos de distribución eléctrica (PDU), estimadas en 8 kW, considerando una eficiencia mínima superior al 98 %. Como resultado, la carga térmica total atribuible a los equipos TI y PDU asciende a 408 kW, equivalentes a 116 TR aproximadamente.

Adicionalmente, al incorporar las cargas asociadas a la envolvente de la sala (paredes, techo, piso), iluminación y cargas internas menores, calculadas mediante el software HAP 5.1, se obtuvo una carga térmica total para la sala TI de 124,08 TR, con una carga latente marginal de

0,98 TR, lo cual confirma que el comportamiento térmico del recinto es predominantemente sensible.

El caudal de aire requerido para disipar esta carga térmica, considerando un diferencial de temperatura de 14 °C entre el aire de suministro y el retorno, fue determinado en 54.550 CFM, valor coherente con la densidad térmica y la configuración de racks del proyecto.

### **3.1.1 *Análisis de resultados de cálculo de cargas.***

A partir del análisis de la potencia eléctrica instalada de los equipos de TI, se determinó que la carga térmica predominante de la sala TI está directamente asociada al consumo eléctrico de los racks. En concordancia con el principio de conservación de la energía, y tal como lo establecen las guías técnicas para centros de datos, prácticamente el 100 % de la energía eléctrica consumida por los equipos de TI se transforma en calor dentro del recinto, dado que no existen procesos de almacenamiento energético ni trabajo mecánico útil que extraiga energía del sistema, se establece que un  $1\text{kW} \approx 1\text{kWc}$ ; es por esto que para una potencia instalada de 400 kW, se obtuvo una carga térmica sensible equivalente a 113,64 toneladas de refrigeración (TR), considerando el factor de conversión de  $1\text{ TR} = 3,517\text{ kWc}$ . Esta carga representa el aporte térmico directo de los servidores, equipos de red y dispositivos de almacenamiento instalados en la sala; a dicha carga se adicionaron las pérdidas térmicas asociadas a los equipos PDU, estimadas en 8 kW, valor coherente con una eficiencia mínima superior al 98 %, típica en infraestructuras de centros de datos de alta disponibilidad. En consecuencia, la carga térmica total atribuible a los equipos de TI y PDU asciende a 408 kW, lo que equivale aproximadamente a 116 TR, constituyéndose como la base de diseño del sistema de climatización.

Se incorporaron las cargas térmicas secundarias, tales como las pérdidas por transmisión a través de la envolvente de la sala (paredes, techo y piso), la iluminación, y otras cargas internas menores. Estas fueron calculadas mediante el software especializado HAP 5.1, ampliamente utilizado para el análisis térmico de edificaciones y espacios técnicos. Como resultado de este análisis integral, se obtuvo una carga térmica total para la sala TI de 124,08 TR.

En conjunto, el análisis realizado permite concluir que la carga térmica de la sala TI está dominada por el consumo eléctrico de los equipos críticos, y que la incorporación de cargas secundarias representa un incremento moderado pero necesario para garantizar un dimensionamiento adecuado y conservador del sistema de climatización, acorde con los requerimientos de confiabilidad y disponibilidad de un centro de datos de misión crítica.

### **3.2 Resultados de la carga térmica en los cuartos eléctricos.**

El análisis de los cuartos eléctricos consideró las pérdidas por ineficiencia de los equipos de respaldo y distribución eléctrica, tales como UPS, rectificadores, tableros eléctricos, celdas de media tensión y bancos de baterías VRLA. Para efectos de diseño, se adoptaron valores conservadores de eficiencia, alineados con los mínimos disponibles en el mercado actual.

Los resultados obtenidos indican que:

- La carga térmica total de los cuartos eléctricos del sistema S1 asciende a 20,69 TR, con un caudal de aire requerido de 9.606 CFM.
- La carga térmica total de los cuartos eléctricos del sistema S2 es de 20,63 TR, con un caudal requerido de 9.594 CFM.

En ambos casos, la carga latente es prácticamente despreciable, lo que confirma que la disipación térmica en estos espacios es fundamentalmente sensible. El mayor aporte de carga térmica proviene de los sistemas UPS y rectificadores, los cuales representan aproximadamente el 70 % de la carga total de cada sistema.

#### **3.2.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas.**

El análisis térmico de los cuartos eléctricos se centró en la evaluación de las pérdidas por ineficiencia de los equipos de respaldo y distribución eléctrica, incluyendo sistemas UPS, rectificadores, tableros eléctricos, celdas de media tensión y bancos de baterías VRLA. Dado el carácter crítico de estos espacios y su operación continua, para efectos de diseño se adoptaron valores conservadores de eficiencia, alineados con los mínimos típicamente disponibles en el mercado actual, con el fin de garantizar un dimensionamiento seguro del sistema de climatización.

A partir de este enfoque, los resultados obtenidos muestran que la carga térmica total de los cuartos eléctricos asociados al sistema S1 asciende a 20,69 toneladas de refrigeración (TR), lo que requiere un caudal de aire de 9.606 CFM para mantener las condiciones térmicas dentro de los rangos operativos recomendados por los fabricantes de los equipos. De manera análoga, el sistema S2 presenta una carga térmica total de 20,63 TR, con un caudal de aire requerido de 9.594 CFM, evidenciando una distribución térmica prácticamente simétrica entre ambos sistemas.

En ambos casos, la carga latente resulta prácticamente despreciable, lo cual confirma que la disipación térmica en los cuartos eléctricos es predominantemente sensible. Esta condición es coherente con la naturaleza de los equipos instalados, los cuales transforman la energía eléctrica en calor sin generar aportes significativos de humedad, y con la baja ocupación humana característica de estos espacios.

Desde el punto de vista del diseño del sistema de climatización, estos resultados justifican la selección de equipos orientados al manejo eficiente de cargas sensibles, así como la implementación de esquemas de redundancia acordes al nivel de criticidad de los cuartos eléctricos. Asimismo, la similitud entre las cargas térmicas de los sistemas S1 y S2 contribuye a una estandarización del diseño, facilitando la operación, el mantenimiento y la gestión de repuestos a lo largo del ciclo de vida de la instalación.

En síntesis, el análisis térmico de los cuartos eléctricos confirma que las pérdidas por ineficiencia de los equipos de respaldo y distribución eléctrica representan una carga térmica significativa y continua, la cual debe ser considerada en el dimensionamiento del sistema de climatización, garantizando así la confiabilidad y continuidad operativa de la infraestructura eléctrica del centro de datos.

### **3.3 Dimensionamiento de los equipos de climatización.**

Con base en las cargas térmicas determinadas y en los rangos recomendados por ASHRAE TC 9.9, se definieron las condiciones internas de diseño para la sala TI, estableciendo una temperatura de operación entre 20 y 22 °C y una humedad relativa controlada entre 35 % y 45 %.

Para la sala TI se dimensionó un sistema de climatización compuesto por seis (6) manejadoras de aire de precisión, configuradas bajo un esquema N+2, donde cuatro (4) unidades cubren la carga total y dos (2) actúan como respaldo, conociendo que cada manejadora en funcionamiento cubrirá el 25% del total de la carga de la sala TI y, en cada cuarto eléctrico corresponde una manejadora al 100% de la carga, por lo que cada manejadora se establece como una redundancia adicional para certificación como concurrentemente mantenible.

Para la sala TI, se estableció que cada unidad seleccionada posee una capacidad individual superior a 31 TR y un caudal de aire mayor a 13.900 CFM. Estos requerimientos fueron evaluados considerando condiciones ambientales extremas, correspondientes a una temperatura máxima de 37,1 °C registrada en un período de 20 años. Los resultados obtenidos confirman que la manejadora modelo P2120DA cumple con los criterios de diseño establecidos, de acuerdo con la tabla de desempeño proporcionada por el fabricante, la cual se presenta en el Anexo 14.

Para el cuarto eléctrico, se estableció que cada unidad seleccionada posee una capacidad individual superior a 20,7 TR y un caudal de aire mayor a 9.606 CFM. De igual manera, estos requerimientos fueron evaluados bajo condiciones ambientales extremas, correspondientes a una temperatura máxima de 37,1 °C registrada en un período de 20 años. Se verificó que la manejadora modelo P2090DA cumple con los criterios de diseño establecidos, conforme a la tabla de desempeño entregada por el fabricante, la cual se incluye en el Anexo 15.

### ***3.3.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas.***

La configuración de seis manejadoras de aire de precisión bajo un esquema N+2 demuestra que la capacidad instalada excede los requerimientos mínimos para cubrir la carga térmica total de la sala TI. El hecho de que cuatro unidades sean suficientes para cubrir el 100 % de la carga, mientras que dos permanecen como respaldo, implica que el sistema puede tolerar la indisponibilidad simultánea de hasta dos unidades sin comprometer las condiciones ambientales del recinto. Este resultado valida el cumplimiento del criterio de concurrentemente mantenible, al permitir la ejecución de mantenimientos programados sin interrupción del servicio.

El análisis de reparto de carga muestra que cada manejadora en operación cubre aproximadamente el 25 % de la carga térmica total de la sala TI, lo cual concuerda con los requerimientos para que cada manejadora adicional se establezca como una redundancia en el sistema de climatización.

La verificación de desempeño de las unidades seleccionadas bajo condiciones ambientales extremas, correspondientes a una temperatura exterior máxima de 37,1 °C (valor representativo de un período de retorno de 20 años), confirma que el sistema mantiene su capacidad de enfriamiento incluso en escenarios climáticos desfavorables. En particular, la manejadora modelo P2120DA, con una capacidad individual superior a 31 TR y un caudal de aire mayor a 13.900 CFM, demuestra ser adecuada para satisfacer los requerimientos térmicos y de flujo de aire de la sala TI, según lo evidenciado en la tabla de desempeño presentada en el Anexo 14. Este resultado refuerza la robustez del diseño y reduce el riesgo de subdimensionamiento.

En el caso de los cuartos eléctricos, los resultados indican que la selección de una manejadora capaz de cubrir el 100 % de la carga térmica de cada recinto (superior a 20,7 TR y 9.606 CFM) proporciona un margen de seguridad adicional, al establecer cada unidad como una redundancia efectiva dentro del sistema global. La validación del desempeño de la manejadora modelo P2090DA bajo las mismas condiciones ambientales extremas, conforme a la tabla de desempeño incluida en el Anexo 15, confirma que el diseño es consistente y replicable en diferentes áreas del centro de datos.

En términos globales, los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema de climatización propuesto cumple y supera los criterios de diseño establecidos, tanto en capacidad como en confiabilidad y mantenibilidad. La combinación de condiciones internas conservadoras, redundancia N+2 en la sala TI y equipos verificados bajo escenarios climáticos extremos evidencia un diseño orientado a alta disponibilidad, alineado con los objetivos de certificación como infraestructura concurrentemente mantenible y con las mejores prácticas internacionales para centros de datos de alta criticidad.

### **3.4 Dimensionamiento de los equipos de climatización que mantengan la temperatura, humedad y flujo de aire dentro de los rangos recomendados por las normativas internacionales.**

Como resultado del proceso de selección de equipos de climatización, se determinó que la solución más adecuada para el data center analizado corresponde a un sistema basado en manejadoras de aire de precisión de expansión directa (DX), tanto para la sala TI como para los cuartos eléctricos.

Para la sala TI, cuya carga térmica total fue calculada en 124,1 TR, se adoptó una configuración de redundancia N+2, conformada por un total de seis manejadoras de aire de 35 TR, de las cuales cuatro unidades son suficientes para cubrir el 100 % de la carga térmica y dos operan como respaldo. Esta configuración cumple con los criterios establecidos por el estándar ANSI/TIA-942 para un nivel M3. El costo total de adquisición, instalación y accesorios del sistema de climatización para la sala TI asciende a USD 570.221,06.

Para los cuartos eléctricos, cuya carga térmica máxima por sistema fue determinada en aproximadamente 20,7 TR, se seleccionaron manejadoras de aire de precisión de 25 TR, instaladas bajo un esquema de redundancia N+1, garantizando la continuidad operativa ante fallas o actividades de mantenimiento. Se optó por la estandarización de los equipos en todos los cuartos eléctricos, lo que permite simplificar las tareas de operación y mantenimiento. El costo total de equipos, materiales e instalación para los cuartos eléctricos alcanza un valor de USD 236.218,66.

En conjunto, el costo inicial total (CAPEX) asociado al sistema de climatización del data center, considerando sala TI y cuartos eléctricos, es de aproximadamente USD 806.440, lo que incluye equipos de precisión, accesorios, materiales, mano de obra e instalación.

#### **3.4.1 Análisis de resultados de cálculo de cargas.**

Los resultados obtenidos evidencian que la selección de manejadoras de aire de expansión directa constituye una alternativa técnicamente viable y económicamente eficiente para un data center con una carga de TI de 400 kW. La decisión se fundamenta en el balance entre capacidad térmica requerida, confiabilidad del sistema y control del costo inicial del proyecto.

Desde el punto de vista económico, los sistemas DX presentan un menor costo inicial en comparación con soluciones basadas en agua helada, ya que eliminan la necesidad de infraestructura adicional como chillers, sistemas de bombeo, redes hidráulicas y aislamiento térmico, los cuales incrementan significativamente el CAPEX. Esta característica resulta especialmente relevante en proyectos de mediana escala, donde la inversión inicial es un factor determinante para la viabilidad del diseño.

Asimismo, la configuración de redundancia adoptada (N+2 para sala TI y N+1 para cuartos eléctricos) permite cumplir con los criterios de concurrentemente mantenible, sin requerir sobredimensionamientos excesivos que impacten negativamente en el costo inicial. La modularidad del sistema DX facilita además la implementación progresiva de las unidades de climatización conforme se incrementa la carga de TI, optimizando la inversión en etapas tempranas del proyecto.

La estandarización de los equipos seleccionados para los cuartos eléctricos contribuye adicionalmente a la reducción de costos indirectos, al simplificar el inventario de repuestos, las rutinas de mantenimiento y la capacitación del personal técnico. De esta manera, aunque el análisis se centra en el costo inicial, la solución adoptada también genera beneficios operativos a mediano y largo plazo.

En conclusión, la selección de manejadoras de aire de precisión tipo DX permite satisfacer los requerimientos térmicos y normativos del data center, asegurando altos niveles de disponibilidad y confiabilidad, al tiempo que mantiene el costo inicial de inversión dentro de rangos razonables, coherentes con la escala y objetivos del proyecto.

### **3.5 Establecer los requerimientos de redundancia y confiabilidad para mantener la operación continua del sistema concurrentemente mantenible.**

El sistema de climatización fue diseñado bajo criterios de concurrentemente mantenible, siguiendo las recomendaciones del estándar ANSI/TIA-942 para un nivel M3. Se implementó redundancia N+2 en la sala TI y N+1 en los cuartos eléctricos, junto con doble fuente de alimentación eléctrica y sistemas de control redundantes; a continuación, mostramos una tabla con los mínimos requeridos y lo establecido en el diseño para data center nivel M3.

**Tabla 21. Tabla de condiciones de diseño según requerido para concurrentemente mantenible.**

	<b>Requerido</b>	<b>Condiciones de diseño establecidas</b>
Redundancia para equipos mecánicos (p. ej., unidades de aire acondicionado, refrigeradores, bombas, torres de refrigeración, condensadores). Estos requisitos de redundancia se extienden a todas las áreas de soporte que son críticas para el funcionamiento ininterrumpido de la sala de servidores.	Redundancia N+1 para equipos mecánicos para permitir el mantenimiento simultáneo. La pérdida temporal de energía eléctrica o la interrupción del suministro de agua (cuando corresponda) no provocará pérdida de refrigeración, pero puede aumentar la temperatura dentro del rango operativo de los equipos críticos.  El cambio de N +1 puede realizarse manualmente.	Se cuenta con redundancia N+2  Cada manejadora es capaz de soportar el 25% de la carga total, por lo cual cada manejadora adicional establece una redundancia.  El cambio puede realizarse manual o automático en caso de fallo.
Trazado de tuberías de agua o desagüe no asociadas con los equipos del centro de datos en los espacios del centro de datos.	No permitido	No se establece paso de tuberías dentro de la sala
Desagües en el suelo de la sala de ordenadores para el desagüe del agua de condensación agua de descarga del humidificador y agua de descarga del sistema de riego	Si	Se establecen tuberías de desagüe y alimentación de agua a los humidificadores al exterior de la sala.
Sistemas mecánicos con generador de reserva	Si	Las manejadoras estarán conectadas a un tablero eléctrico, el mismo que a su vez estará a un ATS conectado a red pública y generación eléctrica.
Control de humedad para sala de ordenadores	Se proporcionará deshumidificación / humidificación, cuando corresponda.	Las manejadoras cuentan con sistema de humidificación y deshumidificación.
Unidades de aire acondicionado de terminales interiores	Una unidad de aire acondicionado adicional por cada 5-8 unidades instaladas.	N+2  Cada manejadora corresponde a un 25% de la carga total.
Servicio eléctrico a equipos mecánicos	N+1 configurado para permitir el mantenimiento simultáneo.	Si hay redundancia de tablero eléctrico y doble fuente de alimentación
Sistemas de tuberías	Los sistemas de tuberías permiten el mantenimiento simultáneo.	No aplica.
Servicio eléctrico a equipos mecánicos	N+1 configurado para ser mantenido simultáneamente	Si hay redundancia
Sistema de control de climatización	El diseño del sistema de control debe ser mantenible simultáneamente.	Cada UMA cuenta con tarjeta independiente.
Fuente de alimentación al sistema de control de climatización	Doble ruta de alimentación eléctrica en configuración N+1 diseñada para ser mantenible simultáneamente.	Si cumple con doble alimentación eléctrica.

Nota. Tomado de [5] y comparación con diseño establecido.

### **3.5.1 *Análisis de resultados.***

El estándar ANSI/TIA-942 establece como requisito mínimo para sistemas mecánicos críticos una redundancia N+1, aplicables unidades manejadoras de aire, sistemas de enfriamiento y componentes auxiliares. En el diseño analizado, se implementa una redundancia N+2 en la sala TI, superando el mínimo normativo, mientras que en los cuartos eléctricos se adopta una configuración N+1, adecuada al nivel de criticidad térmica de estos espacios.

De acuerdo con el estándar, la pérdida temporal de energía eléctrica no debe ocasionar una pérdida inmediata de refrigeración, aunque se acepta un incremento transitorio de la temperatura dentro de los límites operativos del equipamiento crítico. El diseño propuesto cumple este criterio mediante la combinación de capacidad redundante, respaldo eléctrico mediante generador y sistemas de transferencia automática.

Los sistemas de desagüe y alimentación de agua necesarios para la humidificación y manejo de condensados fueron dispuestos fuera del área crítica, minimizando el riesgo de afectación directa a los equipos de TI.

Las manejadoras cuentan con sistema de control de humedad (relativa/absoluta) y temperatura, además de redundancia en la alimentación eléctrica de los sistemas mecánicos. El diseño contempla doble fuente de alimentación eléctrica, tableros redundantes.

El análisis comparativo entre los requisitos mínimos del estándar ANSI/TIA-942 M3 y las condiciones de diseño establecidas evidencia que el sistema de climatización no solo cumple con los criterios normativos, sino que en varios aspectos los supera, particularmente en lo referente a niveles de redundancia y flexibilidad operativa. La adopción de una arquitectura N+2 en la sala TI, junto con redundancia eléctrica y de control, incrementa el nivel de confiabilidad y reduce significativamente el riesgo de indisponibilidad por fallas o mantenimientos programados.

## **Capítulo 4**

## 4 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

***Se determinó la carga térmica con su respectiva normativa para cuartos eléctricos y sala TI.***

Se realizó el cálculo de la envolvente y demás equipos eléctricos y electrónicos dentro de la sala TI, de los cálculos realizados obtuvimos una carga térmica de 109,9 kWc teniendo 4 equipos enfriando activamente la carga total de la sala, seleccionando un equipo con un rendimiento de 116,9 kWc operando a temperatura exterior de 37,1 °C; mientras que el caudal de aire requerido por diseño es de 23602,3 CHM, siendo el equipo seleccionado tiene una capacidad de 24400 CHM, siendo mayor a las características requeridas por diseño, pero muy cercanas para evitar sobredimensionar el requerimiento y evitar consumos de energía y costos elevados innecesarios.

Para cuartos eléctricos los cálculos de carga térmica calculada son de 72.76 kWc, seleccionando un equipo con un rendimiento de 82,4 kWc operando a una temperatura exterior de 37,1 °C; con un caudal de aire requerido en cuartos eléctricos de 16320 CHM, y se selecciona un equipo capaz de dar un flujo de aire de 19000 CHM, superando también las características requeridas por diseño.

***Selección de equipos para cumplir normativas internacionales.***

Por las condiciones ambientales de un centro de datos se establece una carga sensible casi en su totalidad, siendo una cantidad casi despreciable la carga sensible, por lo que se modela todo como una carga sensible, esto justifica la selección de manejadoras de aire de precisión diseñadas específicamente para este perfil de carga.

Mientras que la temperatura de 37,1 °C es tomada de un historial de n=20 años tomado de una estación meteorológica cercana al proyecto, lo cual es un requerimiento de certificación; a esta temperatura exterior y condiciones de diseño seleccionadas los equipos satisfacen las necesidades de climatización de la sala y cuartos eléctricos respectivamente. Para justificar la selección de equipo el fabricante facilitó la tabla de rendimiento de los equipos, verificando que en la condición crítica de un historial de 20 años el sistema de clima va a continuar satisfaciendo la demanda de climatización sin inconvenientes.

***Requerimientos de redundancia y confiabilidad.***

Se tiene un esquema de redundancia N+2 en la sala TI y N+1 en los cuartos eléctricos, cumpliendo los requerimientos para un sistema concurrentemente mantenible cumpliendo los criterios de certificación, esto quiere decir que puede realizarse actividades de mantenimiento programado de un equipo, teniendo al menos un equipo de respaldo, de tal forma que no se vea

afectada la operación normal de la sala TI o cuartos eléctricos, esto sin afectar las condiciones ambientales requeridas para la operación de los equipos críticos.

La redundancia de cuartos eléctricos y sala TI garantiza alta disponibilidad del sistema de climatización y permite la continuidad operativa bajo condiciones normales y de contingencia, proporciona un sistema de rotación de equipos con el fin de prolongar la vida útil de los equipos y un desgaste uniforme de los mismos.

#### ***Costo inicial del proyecto.***

Para este proyecto se seleccionó manejadoras de aire de expansión directa, ya que resulto ser una opción viable sin elevar tanto el costo inicial, ya que los costos iniciales de un sistema de agua helada son elevados, así se empleen equipos modulares, ya que se necesitan instalaciones adicionales. Este proyecto estipula una inversión de USD 806.440 para el sistema de clima de expansión directa, eliminando la necesidad de infraestructura hidráulica, chillers, grupo de bombeo y, todo esto con equipos redundantes para cumplir el criterio concurrentemente mantenible.

## **4.2 Recomendaciones**

#### ***Implementación de Pasillos Fríos.***

Se recomienda implementar un sistema de pasillo frío confinado en la sala TI, esto con el fin de maximizar la eficiencia del sistema de clima, este pasillo frío debe estar correctamente contenido, con el fin de evitar mezcla, recirculación y by pass de aire.

#### ***Humedad y temperatura en la sala TI.***

Se debe tener un control estricto de la humedad y temperatura de la sala TI con el fin de evitar condensación en el caso de humedad relativa alta o generación de estática en caso de humedad relativa baja, ambas perjudican a los equipos incluso generando daños irreversible en los equipos de TI, se recomienda que el sellado sea hermético de los pasos de canaletas, cables y demás accesorios desde el exterior de la sala.

Las manejadoras seleccionadas son capaces de mantener estos dos parámetros dentro de los rangos recomendados por el ASHRAE TC 9.9, deben realizarse revisiones periódicas durante los mantenimientos de los sensores integrados, con el fin de mantener una correcta lectura de los parámetros.

Es posible implementar deshumidificadores en caso que la humedad sea alta por infiltraciones no deseadas, o si se requiere menor consumo de energía en las manejadoras de aire si mantienen demasiado tiempo encendidas las resistencias.

### ***Operación alternada de equipos.***

Las manejadoras de aire cuentan con tarjetas de comunicación integradas para implementar un sistema de operación alternada de forma automática, se recomienda que se realice al menos una vez por semana, preferiblemente que la rotación se realice los martes, esto con en caso de presentar algún tipo de inconveniente, pueda ser solucionado de la forma más ágil posible, por el tema de repuesto y disponibilidad de estos en fines de semana.

### ***Implementación de monitoreo.***

Se recomienda integrar un sistema de monitoreo al sistema de climatización, tipo BMS o DCIM, con el fin de tener un control de las variables de climatización en tiempo real y poder incrementar la eficiencia del sistema. Además, se podría tener como proyecto de aumento de eficiencia implementar un sistema dinámico como el EcoStruxure con su Cooling Optimize, para tener un sistema de enfriamiento dinámico según las condiciones de operación .

## **Anexos**

# Anexo 1. Condiciones de climatización ASHRAE para Guayaquil [12].

2025 ASHRAE Handbook - Fundamentals (IP)

Compare



GUAYAQUIL, ECUADOR (WMO: 842030)

Lat: 2.157S Lon: 79.884W Elev: 19 StdP: 14.69 Time zone: -5.00 (W05) Period: 1999-2023 Grade: A WBAN: 99999

## Annual Heating, Humidification, and Ventilation Design Conditions

Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB		WSF
			99.6%			99%			0.4%		1%		MCWS	PCWD	
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB			
8	65.9	67.1	59.3	75.3	72.0	60.2	77.8	71.9	18.2	73.2	17.2	72.8	8.5	230	0.336

## Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions

Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%		MCWS	PCWD
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB		
4	12.1	91.4	75.1	90.1	75.3	89.0	75.4	79.5	86.7	78.7	85.8	77.8	84.9	6.2	150

Dehumidification DP/MCDB and HR									Enthalpy/MCDB						Extreme Max WB
0.4%			1%			2%			0.4%		1%		2%		
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	
77.3	142.0	83.4	76.2	136.8	82.3	75.7	134.5	81.8	42.7	86.8	41.9	86.3	41.1	84.9	83.7

## Extreme Annual Design Conditions

Extreme Annual WS			Extreme Annual Temperature				n-Year Return Period Values of Extreme Temperature								
1%	2.5%	5%	Mean		Standard deviation		n=5 years		n=10 years		n=20 years		n=50 years		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
16.4	14.9	13.6	DB	66.5	94.4	2.1	2.3	65.0	96.1	63.8	97.4	62.6	98.8	61.1	100.5
			WB	61.9	80.2	2.0	1.7	60.5	81.4	59.3	82.4	58.2	83.3	56.7	84.6

## Monthly Climatic Design Conditions

		Annual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		Temperatures, Degree-Days	DB <sub>Avg</sub>	79.0	80.6	80.3	81.1	81.2	80.1	77.8	76.6	76.5	77.5	77.7
DB <sub>Std</sub>	2.98		2.54	2.35	2.11	2.08	2.46	2.77	2.72	2.44	2.49	2.38	2.27	2.50
HDD50	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HDD65	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CDD50	10589		948	848	965	936	933	834	825	823	824	857	848	948
	CDD65	5114	483	428	500	486	468	384	360	358	374	392	398	483
Wind	WS <sub>Avg</sub>	6.8	5.3	4.6	4.8	5.1	5.9	7.0	7.8	8.7	8.8	8.6	8.3	7.2
Precipitation	Prec <sub>Avg</sub>	47.8	7.9	11.2	11.9	8.2	2.9	1.3	0.5	0.0	0.1	0.2	1.0	2.7
	Prec <sub>Max</sub>	164.3	27.6	29.6	35.9	44.8	24.3	24.1	11.5	0.8	0.8	3.9	21.9	32.8
	Prec <sub>Min</sub>	13.0	0.6	1.7	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Prec <sub>Std</sub>	36.3	6.3	7.7	8.8	8.9	4.8	4.5	2.2	0.2	0.2	0.7	4.1	6.1

Monthly Design Dry Bulb and Mean Coincident Wet Bulb Temperatures	0.4%	DB	93.0	90.6	90.9	91.4	90.8	89.6	89.0	88.7	90.2	90.5	90.5	93.1
		MCWB	74.1	76.3	76.9	76.9	76.7	75.8	74.9	74.7	74.8	74.8	74.8	74.1
2%	DB	90.5	88.8	89.4	89.8	89.1	87.6	86.6	86.5	87.9	88.1	88.4	91.0	
	MCWB	74.4	76.3	76.7	76.7	76.7	75.2	74.5	73.7	73.8	74.0	73.5	73.9	
5%	DB	88.6	87.5	88.1	88.4	87.7	85.9	84.7	84.8	86.1	86.1	86.6	89.3	
	MCWB	74.4	76.2	76.7	76.6	76.2	74.6	73.5	73.1	73.2	73.2	72.9	73.8	
10%	DB	86.8	85.9	86.7	87.1	86.2	84.1	82.9	83.1	84.3	84.2	84.7	87.4	
	MCWB	74.3	75.9	76.5	76.3	75.7	73.9	72.6	72.2	72.5	72.5	72.3	73.4	

Monthly Design Wet Bulb and Mean Coincident Dry Bulb Temperatures	0.4%	WB	78.1	79.7	80.7	80.7	80.2	78.7	77.7	76.5	76.5	77.0	76.8	77.7
		MCDB	86.0	86.5	88.5	87.9	87.7	86.1	86.2	86.5	88.2	88.0	87.7	88.6
2%	WB	77.4	78.9	79.3	79.2	78.9	77.1	76.0	74.9	75.0	75.3	75.2	76.4	
	MCDB	85.2	85.5	86.3	86.7	86.0	84.5	84.3	84.8	86.3	86.2	86.2	86.9	
5%	WB	76.3	77.8	78.3	77.9	77.7	75.7	74.4	73.8	73.9	74.0	73.9	75.4	
	MCDB	84.1	84.0	84.9	85.4	84.7	83.5	82.4	83.3	84.7	84.3	84.5	86.0	
10%	WB	75.6	77.1	77.5	77.3	76.7	74.5	73.2	72.6	72.8	72.9	72.7	74.2	
	MCDB	83.4	83.1	84.1	84.8	83.8	82.3	81.5	81.8	83.1	82.8	83.0	84.4	

Mean Daily Temperature Range	5% DB	MDBR	11.9	10.8	11.4	12.1	11.9	12.2	12.4	13.6	14.5	13.9	14.0	13.9
		MCDBR	14.8	12.8	12.9	13.7	13.6	14.1	14.6	15.7	16.5	16.3	16.3	16.5
5% WB	MCWBR	5.3	5.2	5.5	6.2	6.2	6.3	6.5	7.1	7.3	7.2	6.9	6.3	
	MCDBR	12.1	11.3	11.8	12.6	11.9	12.9	13.5	14.7	15.5	15.2	14.6	14.2	
5% WB	MCWBR	5.0	4.9	5.3	6.0	5.9	6.2	6.3	6.9	7.1	7.0	6.6	5.9	

Clear Sky Solar Irradiance	taub	0.522	0.498	0.526	0.537	0.541	0.515	0.515	0.522	0.561	0.580	0.626	0.622
	taud	2.098	2.188	2.090	2.054	2.027	2.100	2.091	2.078	1.969	1.911	1.790	1.803
	Ebn at noon	259	267	257	247	238	240	242	248	245	243	231	232
	Edn at noon	53	49	54	54	53	49	49	52	60	64	72	71

All-Sky Solar Radiation	Rad <sub>Avg</sub>	1296	1328	1434	1453	1302	1146	1134	1191	1316	1283	1336	1355
	Rad <sub>Std</sub>	114	75	109	77	110	95	98	108	92	110	140	103

## Historical Trends

Station	Trend Variability	DB <sub>Avg</sub>	Heating			Cooling			Degree-Days			
		99% DB	99% DP	1% DB	1% WB	1% DP	HDD50	HDD65	CDD50	CDD65		
Station	Trend	+1.82	+1.93	+2.45	+1.46	+1.64	+1.51	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Station	Variability	1.6	2.0	2.3	1.6	1.4	1.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Regional Trend ( neighbors)		+1.44	N/S	+2.72	+1.30	+1.48	+1.53	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

**Anexo 2. Resumen de cálculo de la envolvente de la sala TI.**

<b>Air System Sizing Summary for Sala TI</b>		01/02/2026
Project Name: Proyecto integrador		07:38p. m
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1		

**Air System Information**

Air System Name ..... Sala TI	Number of zones ..... 1
Equipment Class ..... SPLT AHU	Floor Area ..... 3741,5 ft <sup>2</sup>
Air System Type ..... SZCAV	Location ..... Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months ..... Jan to Dec	Zone CFM Sizing ..... Sum of space airflow rates
Sizing Data ..... Calculated	Space CFM Sizing ..... Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load ..... 9,1 Tons	Load occurs at ..... Jan 1500
Total coil load ..... 109,7 MBH	OA DB / WB ..... 92,0 / 76,0 °F
Sensible coil load ..... 98,0 MBH	Entering DB / WB ..... 77,1 / 63,1 °F
Coil CFM at Jan 1500 ..... 4121 CFM	Leaving DB / WB ..... 55,1 / 53,8 °F
Max block CFM ..... 4121 CFM	Coil ADP ..... 52,6 °F
Sum of peak zone CFM ..... 4121 CFM	Bypass Factor ..... 0,100
Sensible heat ratio ..... 0,893	Resulting RH ..... 45 %
CFM/Ton ..... 450,6	Design supply temp. .... 58,0 °F
ft <sup>2</sup> /Ton ..... 409,1	Zone T-stat Check ..... 1 of 1 OK
BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) ..... 29,3	Max zone temperature deviation ..... 0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise ..... N/A	

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load ..... 93,6 MBH	Load occurs at ..... Des Htg
Coil CFM at Des Htg ..... 4121 CFM	BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) ..... 25,0
Max coil CFM ..... 4121 CFM	Ent. DB / Lvg DB ..... 49,7 / 70,8 °F
Water flow @ 20,0 °F drop ..... N/A	

**Humidifier Sizing Data**

Max steam flow at Des Htg ..... 0,00 lb/hr	Air mass flow ..... 0,00 lb/hr
Airflow Rate ..... 0 CFM	Moisture gain ..... ,00000 lb/lb

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM ..... 4121 CFM	Fan motor BHP ..... 0,00 BHP
Standard CFM ..... 4116 CFM	Fan motor kW ..... 0,00 kW
Actual max CFM/ft <sup>2</sup> ..... 1,10 CFM/ft <sup>2</sup>	Fan static ..... 0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM ..... 310 CFM	CFM/person ..... 61,98 CFM/person
CFM/ft <sup>2</sup> ..... 0,08 CFM/ft <sup>2</sup>	

Anexo 3. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto eléctrico S1.

<b>Air System Sizing Summary for Cuarto electrico 1</b>	
Project Name: Proyecto integrador	12/31/2025
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1	11:20a. m

**Air System Information**

Air System Name ..... Cuarto electrico 1	Number of zones ..... 1
Equipment Class ..... SPLT AHU	Floor Area ..... 338,5 ft <sup>2</sup>
Air System Type ..... SZCAV	Location ..... Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months ..... Jan to Dec	Zone CFM Sizing ..... Sum of space airflow rates
Sizing Data ..... Calculated	Space CFM Sizing ..... Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load ..... 1,1 Tons	Load occurs at ..... Feb 1900
Total coil load ..... 13,2 MBH	OA DB / WB ..... 87,5 / 74,8 °F
Sensible coil load ..... 12,4 MBH	Entering DB / WB ..... 76,6 / 65,2 °F
Coil CFM at Feb 1900 ..... 698 CFM	Leaving DB / WB ..... 60,2 / 59,1 °F
Max block CFM ..... 698 CFM	Coil ADP ..... 58,4 °F
Sum of peak zone CFM ..... 698 CFM	Bypass Factor ..... 0,100
Sensible heat ratio ..... 0,940	Resulting RH ..... 54 %
CFM/Ton ..... 636,2	Design supply temp. .... 58,0 °F
ft <sup>2</sup> /Ton ..... 308,6	Zone T-stat Check ..... 1 of 1 OK
BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) ..... 38,9	Max zone temperature deviation ..... 0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise ..... N/A	

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load ..... 1,1 MBH	Load occurs at ..... Des Htg
Coil CFM at Des Htg ..... 698 CFM	BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) ..... 3,2
Max coil CFM ..... 698 CFM	Ent. DB / Lvg DB ..... 69,7 / 71,1 °F
Water flow @ 20,0 °F drop ..... N/A	

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM ..... 698 CFM	Fan motor BHP ..... 0,00 BHP
Standard CFM ..... 697 CFM	Fan motor kW ..... 0,00 kW
Actual max CFM/ft <sup>2</sup> ..... 2,06 CFM/ft <sup>2</sup>	Fan static ..... 0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM ..... 25 CFM	CFM/person ..... 25,31 CFM/person
CFM/ft <sup>2</sup> ..... 0,07 CFM/ft <sup>2</sup>	

Anexo 4. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto UPS-Rectificador S1.

<b>Air System Sizing Summary for UPS S1</b>	
Project Name: Proyecto integrador	12/31/2025
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1	11:22a. m

**Air System Information**

Air System Name .....	UPS S1	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	227,8 ft <sup>2</sup>
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,7 Tons	Load occurs at .....	Feb 1900
Total coil load .....	8,1 MBH	OA DB / WB .....	87,5 / 74,8 °F
Sensible coil load .....	7,5 MBH	Entering DB / WB .....	76,7 / 65,4 °F
Coil CFM at Feb 1900 .....	418 CFM	Leaving DB / WB .....	60,2 / 59,1 °F
Max block CFM .....	418 CFM	Coil ADP .....	58,4 °F
Sum of peak zone CFM .....	418 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,923	Resulting RH .....	55 %
CFM/Ton .....	621,6	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft <sup>2</sup> /Ton .....	338,5	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) .....	35,4	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,6 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	418 CFM	BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) .....	2,6
Max coil CFM .....	418 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	69,7 / 71,0 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	418 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	418 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft <sup>2</sup> .....	1,84 CFM/ft <sup>2</sup>	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	19 CFM	CFM/person .....	18,67 CFM/person
CFM/ft <sup>2</sup> .....	0,08 CFM/ft <sup>2</sup>		

Anexo 5. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto baterías S1.

<b>Air System Sizing Summary for Batt S1</b>		12/31/2025
Project Name: Proyecto integrador		11:17a.m
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1		

**Air System Information**

Air System Name .....	Batt S1	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	100,0 ft <sup>2</sup>
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,4 Tons	Load occurs at .....	Feb 1600
Total coil load .....	4,3 MBH	OA DB / WB .....	91,6 / 75,9 °F
Sensible coil load .....	3,8 MBH	Entering DB / WB .....	76,8 / 65,7 °F
Coil CFM at Feb 1600 .....	210 CFM	Leaving DB / WB .....	60,2 / 59,2 °F
Max block CFM .....	210 CFM	Coil ADP .....	58,4 °F
Sum of peak zone CFM .....	210 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,877	Resulting RH .....	56 %
CFM/Ton .....	589,6	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft <sup>2</sup> /Ton .....	280,2	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) .....	42,8	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,3 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	210 CFM	BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) .....	3,5
Max coil CFM .....	210 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	69,9 / 71,4 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	210 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	210 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft <sup>2</sup> .....	2,10 CFM/ft <sup>2</sup>	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	11 CFM	CFM/person .....	11,00 CFM/person
CFM/ft <sup>2</sup> .....	0,11 CFM/ft <sup>2</sup>		

Anexo 6. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto de manejadoras S1.

<b>Air System Sizing Summary for C UMA S1</b>		12/31/2025
Project Name: Proyecto integrador		11:19a. m
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1		

**Air System Information**

Air System Name .....	C UMA S1	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	172,2 ft²
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,8 Tons	Load occurs at .....	Dec 1800
Total coil load .....	9,1 MBH	OA DB / WB .....	88,2 / 75,3 °F
Sensible coil load .....	8,5 MBH	Entering DB / WB .....	76,6 / 65,2 °F
Coil CFM at Dec 1800 .....	481 CFM	Leaving DB / WB .....	60,1 / 59,0 °F
Max block CFM .....	481 CFM	Coil ADP .....	58,3 °F
Sum of peak zone CFM .....	481 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,938	Resulting RH .....	54 %
CFM/Ton .....	635,2	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft³/Ton .....	227,6	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft²) .....	52,7	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,8 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	481 CFM	BTU/(hr-ft²) .....	4,6
Max coil CFM .....	481 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	70,0 / 71,5 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	481 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	480 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft² .....	2,79 CFM/ft²	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	15 CFM	CFM/person .....	15,33 CFM/person
CFM/ft² .....	0,09 CFM/ft²		

Anexo 7. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto eléctrico S2.

<b>Air System Sizing Summary for Cuarto electrico 2</b>	
Project Name: Proyecto integrador	12/31/2025
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1	11:20a. m

**Air System Information**

Air System Name .....	Cuarto electrico 2	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	344,4 ft²
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,9 Tons	Load occurs at .....	Jan 1900
Total coil load .....	10,7 MBH	OA DB / WB .....	87,5 / 74,8 °F
Sensible coil load .....	10,0 MBH	Entering DB / WB .....	76,8 / 65,7 °F
Coil CFM at Jan 1900 .....	576 CFM	Leaving DB / WB .....	60,8 / 59,7 °F
Max block CFM .....	576 CFM	Coil ADP .....	59,0 °F
Sum of peak zone CFM .....	576 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,929	Resulting RH .....	56 %
CFM/Ton .....	644,0	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft³/Ton .....	385,1	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft²) .....	31,2	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,8 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	576 CFM	BTU/(hr-ft²) .....	2,4
Max coil CFM .....	576 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	69,6 / 70,9 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	576 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	575 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft² .....	1,67 CFM/ft²	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	26 CFM	CFM/person .....	25,66 CFM/person
CFM/ft² .....	0,07 CFM/ft²		

Anexo 8. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto UPS-Rectificador S2.

<b>Air System Sizing Summary for UPS S2</b>		12/31/2025
Project Name: Proyecto integrador		11:22a. m
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1		

**Air System Information**

Air System Name .....	UPS S2	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	226,0 ft <sup>2</sup>
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,5 Tons	Load occurs at .....	Feb 1900
Total coil load .....	6,2 MBH	OA DB / WB .....	87,5 / 74,8 °F
Sensible coil load .....	5,6 MBH	Entering DB / WB .....	76,8 / 65,5 °F
Coil CFM at Feb 1900 .....	310 CFM	Leaving DB / WB .....	60,1 / 59,0 °F
Max block CFM .....	310 CFM	Coil ADP .....	58,2 °F
Sum of peak zone CFM .....	310 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,900	Resulting RH .....	55 %
CFM/Ton .....	597,3	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft <sup>2</sup> /Ton .....	436,0	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) .....	27,5	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,5 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	310 CFM	BTU/(hr-ft <sup>2</sup> ) .....	2,1
Max coil CFM .....	310 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	69,8 / 71,2 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	310 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	309 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft <sup>2</sup> .....	1,37 CFM/ft <sup>2</sup>	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	19 CFM	CFM/person .....	18,56 CFM/person
CFM/ft <sup>2</sup> .....	0,08 CFM/ft <sup>2</sup>		

Anexo 9. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto baterías S2.

<b>Air System Sizing Summary for Batt S2</b>		12/31/2025
Project Name: Proyecto integrador		11:19a. m
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1		

**Air System Information**

Air System Name .....	Batt S2	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	100,0 ft²
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,4 Tons	Load occurs at .....	Feb 1900
Total coil load .....	4,5 MBH	OA DB / WB .....	87,5 / 74,8 °F
Sensible coil load .....	4,1 MBH	Entering DB / WB .....	76,6 / 65,3 °F
Coil CFM at Feb 1900 .....	224 CFM	Leaving DB / WB .....	59,9 / 58,8 °F
Max block CFM .....	224 CFM	Coil ADP .....	58,0 °F
Sum of peak zone CFM .....	224 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,902	Resulting RH .....	55 %
CFM/Ton .....	599,1	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft³/Ton .....	267,1	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft²) .....	44,9	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,3 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	224 CFM	BTU/(hr-ft²) .....	3,5
Max coil CFM .....	224 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	69,9 / 71,4 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	224 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	224 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft² .....	2,24 CFM/ft²	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	11 CFM	CFM/person .....	11,00 CFM/person
CFM/ft² .....	0,11 CFM/ft²		

Anexo 10. Resumen de cálculo de la envolvente del cuarto de manejadoras S1.

<b>Air System Sizing Summary for C UMA S2</b>		12/31/2025
Project Name: Proyecto integrador		11:19a.m
Prepared by: ESPOL - ALUMNOS 1		

**Air System Information**

Air System Name .....	C UMA S2	Number of zones .....	1
Equipment Class .....	SPLT AHU	Floor Area .....	156,0 ft²
Air System Type .....	SZCAV	Location .....	Guayaquil, Ecuador

**Sizing Calculation Information**

Calculation Months .....	Jan to Dec	Zone CFM Sizing .....	Sum of space airflow rates
Sizing Data .....	Calculated	Space CFM Sizing .....	Individual peak space loads

**Central Cooling Coil Sizing Data**

Total coil load .....	0,7 Tons	Load occurs at .....	Dec 1700
Total coil load .....	7,8 MBH	OA DB / WB .....	89,7 / 75,7 °F
Sensible coil load .....	7,2 MBH	Entering DB / WB .....	76,6 / 65,5 °F
Coil CFM at Dec 1700 .....	414 CFM	Leaving DB / WB .....	60,5 / 59,4 °F
Max block CFM .....	414 CFM	Coil ADP .....	58,7 °F
Sum of peak zone CFM .....	414 CFM	Bypass Factor .....	0,100
Sensible heat ratio .....	0,920	Resulting RH .....	56 %
CFM/Ton .....	633,6	Design supply temp. ....	58,0 °F
ft²/Ton .....	238,6	Zone T-stat Check .....	1 of 1 OK
BTU/(hr-ft²) .....	50,3	Max zone temperature deviation .....	0,0 °F
Water flow @ 10,0 °F rise .....	N/A		

**Central Heating Coil Sizing Data**

Max coil load .....	0,6 MBH	Load occurs at .....	Des Htg
Coil CFM at Des Htg .....	414 CFM	BTU/(hr-ft²) .....	4,0
Max coil CFM .....	414 CFM	Ent. DB / Lvg DB .....	70,0 / 71,3 °F
Water flow @ 20,0 °F drop .....	N/A		

**Supply Fan Sizing Data**

Actual max CFM .....	414 CFM	Fan motor BHP .....	0,00 BHP
Standard CFM .....	414 CFM	Fan motor kW .....	0,00 kW
Actual max CFM/ft² .....	2,66 CFM/ft²	Fan static .....	0,00 in wg

**Outdoor Ventilation Air Data**

Design airflow CFM .....	14 CFM	CFM/person .....	14,36 CFM/person
CFM/ft² .....	0,09 CFM/ft²		

Anexo 11. Tabla de característica de equipos según diseño.

MANEJADORA DE AIRE SALA TI													
DATSO DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE					VENTILADOR DE SUMINISTRO		CONDEN.	SERPENTÍN DE ENFRIAMIENTO					
Tipo	Construcción	Configuración. (fujo de aire)	VSD (comp. variable)	Alimentación de energía	E.S.P (ln.w.g.)	Suministro de aire (CFM)		Temperatura exterior (°F)	Entrada al serpentín		Salida al serpentín		Capacidad
							EAT-DB (bulbo seco) (°F)		AET-WB (Bulbo húmedo) (°F)	LAT-DB (bulbo seco) (°F)	LAT-WB (Bulbo húmedo) (°F)	Qt Cap. total (TR)	Qs Cap. Sensible (TR)
UMA	Exterior	Down Flow	Si	480/3PH/60Hz	1,25	13891,8	37,1	86,6	73,4	64,5	59	32	31,01

Anexo 12. Tabla de característica de equipos según diseño.

MANEJADORA DE AIRE CUARTOS ELÉCTRICOS													
DATSO DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE					VENTILADOR DE SUMINISTRO		CONDEN.	SERPENTÍN DE ENFRIAMIENTO					
Tipo	Construcción	Configuración. (fujo de aire)	VSD (comp. variable)	Alimentación de energía	E.S.P (ln.w.g.)	Suministro de aire (CFM)		Temperatura exterior (°F)	Entrada al serpentín		Salida al serpentín		Capacidad
							EAT-DB (bulbo seco) (°F)		AET-WB (Bulbo húmedo) (°F)	LAT-DB (bulbo seco) (°F)	LAT-WB (Bulbo húmedo) (°F)	Qt Cap. total (TR)	Qs Cap. Sensible (TR)
UMA	Exterior	Down Flow	Si	480/3PH/60Hz	1,25	9606	37,1	86,6	73,4	64,5	59	20,69	20,49

**Anexo 13. Tabla de característica adicionales para las manejadoras.**

<b>Adicionales</b>	
<b>Comunicación</b>	Modbus / BACnet
<b>Numero de fuentes alimentación</b>	2
<b>Control de humedad/temperatura</b>	Si
<b>Comunicación entre manejadoras</b>	Si
<b>Sensor de inundación</b>	Si
<b>Damper inferior</b>	SI

**Anexo 14. Tabla de performance de manejadora de aire P2120DA.**

**P2120DA**

<b>Unit Information</b>		<b>Indoor Fan</b>		<b>Heater(Optional)</b>	
Model Range	PEX4	Quantity	2	Type	PTC
Unit Model	P2120DA	Total Air Flow	24400 CMH	Stage	2-Stage
Air Discharge	Downflow	ESP	100 Pa	Total Power	24 kW
System Type	AirCooled	Total Power	4.6 kW	FLA	36.3 A
Refrigerant	R410A	FLA	11 A	<b>Humidifier(Optional)</b>	
Application Scene	Room Cooling	Fan Material	PP plastic	Type	Electrode
Exp. Valve Type	EEV	<b>Condenser</b>		Total Power	6 kW
Service Space	Front min.900mm	Model	LVC170SE4	FLA	8.3 A
<b>Electrical Information</b>		Power Supply	480V/3ph/60Hz	<b>Connection Details</b>	
Power Supply	460 V/ 3ph/60Hz+N	Quantity	1	Liquid Qty	2
System FLA	126.1 A	Cond Heat	137.5 kW	Discharge Qty	2
System Total Power	30.5 kW	Ambient DB	37.1 °C	Liquid OD	16 mm
<b>General Input/Output Data</b>		Cond Fan Power	2.9 kW	Discharge OD	22 mm
Return Air DB	32 °C	FLA	10.0 A	Drain ID	19 mm
Return Air WB	22.7 °C	Outdoor LpA	68 dB(A)	<b>Filter</b>	
Return Air RH	45.0 %	Width	1250 mm	Grade	G4
Altitude	0 m	Height	2222 mm		
Grs Total Cap	121.5 kW	Depth	2330 mm		
Grs Sens Cap	121.5 kW	Weight	450 kg		
Net Total Cap	116.9 kW	<b>Compressor</b>			
Net Sens Cap	116.9 kW	Type	VS		
SHR	1	Total Power	23.0 kW		
Supply Air DB	21.7 °C	FLA	68.7 A		
Supply Air WB	18.7 °C	Comp Load	100 %		
Supply Air RH	75.5 %				
Indoor Sens EER	3.99 kW/kW				
Indoor Power	27.6 kW				
Unit Width	2430 mm				
Unit Height	1975 mm				
Unit Depth	995 mm				
Unit Weight	790 kg				

1) FLA is full load amperes.

2) Declared performance according to GB/T 19413-2010. Performance tolerance is ±5%.

**Anexo 15. Tabla de performance de manejadora de aire P2090DA.**

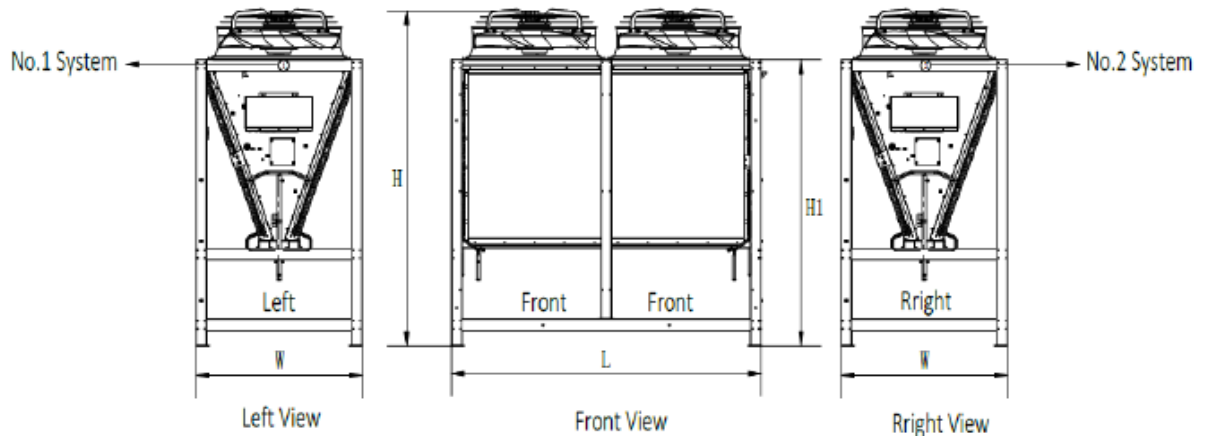
**P2090DA**

<b>Unit Information</b>		<b>Indoor Fan</b>		<b>Heater(Optional)</b>	
Model Range	PEX4	Quantity	2	Type	PTC
Unit Model	P2090DA	Total Air Flow	19000 CMH	Stage	2-Stage
Air Discharge	Downflow	ESP	100 Pa	Total Power	24 kW
System Type	AirCooled	Total Power	4.1 kW	FLA	36.3 A
Refrigerant	R410A	FLA	9.5 A	<b>Humidifier(Optional)</b>	
Application Scene	Room Cooling	Fan Material	PP plastic	Type	Electrode
Exp. Valve Type	EEV	<b>Condenser</b>		Total Power	6 kW
Service Space	Front min.900mm	Model	LVC152SE4	FLA	8.3 A
<b>Electrical Information</b>		Power Supply	480V/3ph/60Hz	<b>Connection Details</b>	
Power Supply	460V/ 3ph/60Hz+N	Quantity	1	Liquid Qty	2
System FLA	94.7 A	Cond Heat	123.1 kW	Discharge Qty	2
System Total Power	23.1 kW	Ambient DB	38 °C	Liquid OD	16 mm
<b>General Input/Output Data</b>		Cond Fan Power	2.6 kW	Discharge OD	22 mm
Return Air DB	32 °C	FLA	7.5 A	Drain ID	19 mm
Return Air WB	22.7 °C	Outdoor LpA	68 dB(A)	<b>Filter</b>	
Return Air RH	45.0 %	Width	1250 mm	Grade	G4
Altitude	0 m	Height	2222 mm		
Grs Total Cap	85.9 kW	Depth	2330 mm		
Grs Sens Cap	85.9 kW	Weight	430 kg		
Net Total Cap	82.4 kW	<b>Compressor</b>			
Net Sens Cap	82.4 kW	Type	VS		
SHR	1	Total Power	17.5 kW		
Supply Air DB	21.7 °C	FLA	51.7 A		
Supply Air WB	18.7 °C	Comp Load	100 %		
Supply Air RH	75.5 %				
Indoor Sens EER	3.99 kW/kW				
Indoor Power	20.6 kW				
Unit Width	2430 mm				
Unit Height	1975 mm				
Unit Depth	995 mm				
Unit Weight	760 kg				

1) FLA is full load amperes.

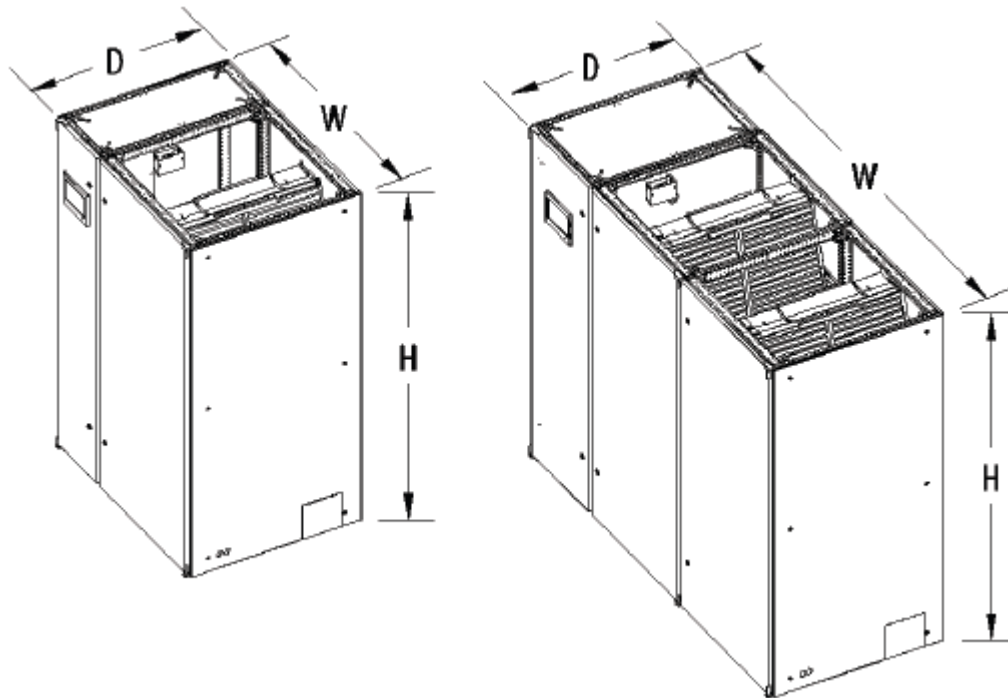
2) Declared performance according to GB/T 19413-2010. Performance tolerance is ±5%.

**Anexo 16. Dimensiones y peso de unidades condensadoras.**



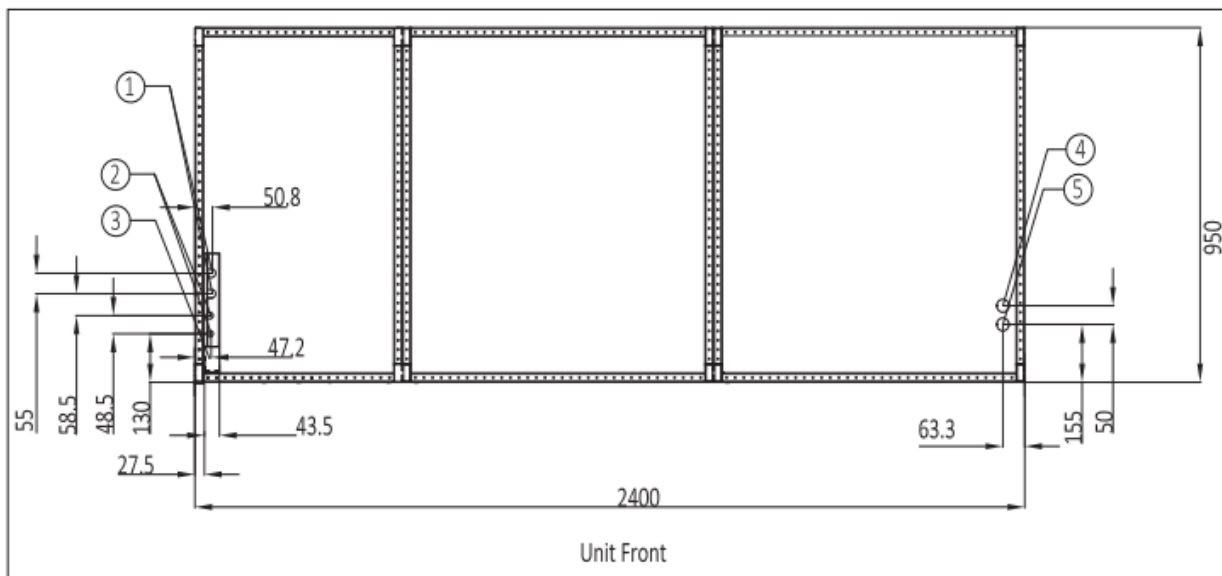
Model	Weight without Spray (kg)	Weight with Spray (kg)	Fan Number	Dimension (mm/inches)			
				L	H	W	H1
LVC088	315	355	2	2330 / 91.7"	1709 / 67.3"	1100 / 43.3"	1442 / 56.8"
LVC106	340	380	2	2330 / 91.7"	1709 / 67.3"	1100 / 43.3"	1442 / 56.8"
LVC140	415	460	2	2330 / 91.7"	2222 / 87.5"	1250 / 49.2"	1912 / 75.3"
LVC152	430	475	2	2330 / 91.7"	2222 / 87.5"	1250 / 49.2"	1912 / 75.3"
LVC170	450	495	2	2330 / 91.7"	2222 / 87.5"	1250 / 49.2"	1912 / 75.3"

**Anexo 17. Dimensiones y peso de unidades evaporadoras.**

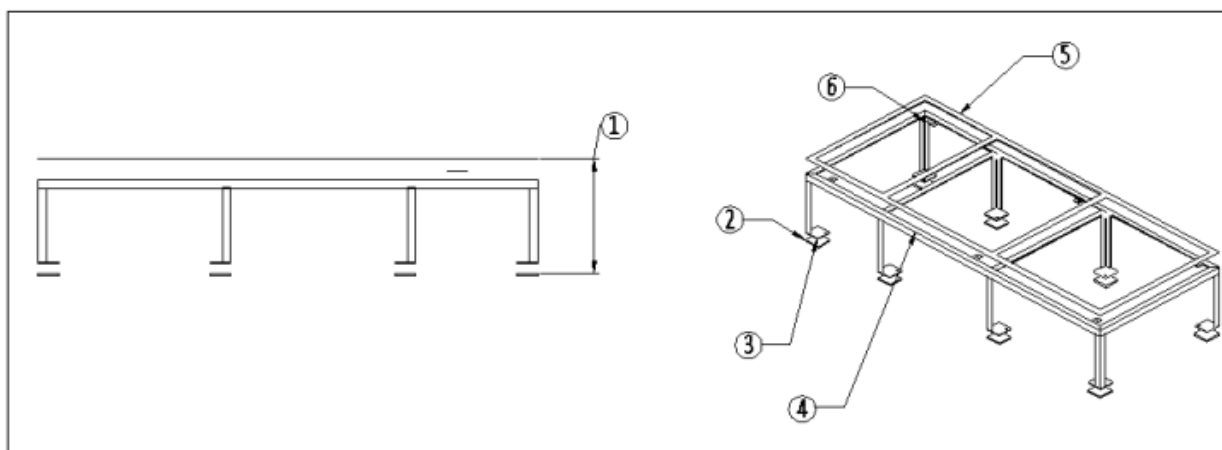


Product Model	Mechanical Parameter (WxDxH)		Operational Weight (Kg)
	mm	inch	
P1035	1330x995x1975	52.4"x39.2"x77.8"	425
P1045	1330x995x1975	52.4"x39.2"x77.8"	430
P1050	1330x995x1975	52.4"x39.2"x77.8"	460
P1060	1330x995x1975	52.4"x39.2"x77.8"	465
P2070	2430x995x1975	95.7"x39.2"x77.8"	750
P2080	2430x995x1975	95.7"x39.2"x77.8"	755
P2090	2430x995x1975	95.7"x39.2"x77.8"	760
P2100	2430x995x1975	95.7"x39.2"x77.8"	780
P2110	2430x995x1975	95.7"x39.2"x77.8"	785
P2120	2430x995x1975	95.7"x39.2"x77.8"	790

**Anexo 18. Dimensiones para base de unidades evaporadoras.**

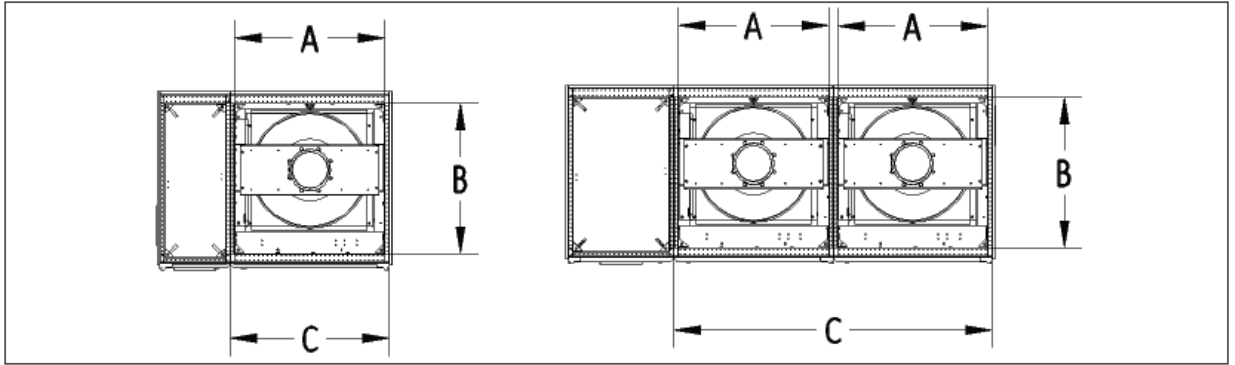


No.	Description	No.	Description
1	Discharge pipe Ø22	4	Condensate drain outlet
2	Liquid pipe inlet Ø16	5	Humidification pipe inlet
3	Cable entry 65x25		



No.	Description	No.	Description
1	400 mm< According to the site installer height ≤550 mm	4	Fixed steel plate
2	Bottom plate cushion	5	Upper rubber damping pad
3	Bottom plate	6	Incline tie joint

**Anexo 19. Dimensiones para base de unidades condensadoras.**



Type	A		B		C	
	mm	inch	mm	inch	mm	inch
Module Series 1	850	33.5"	900	35.4"	900	35.4"
Module Series 2	850	33.5"	900	35.4"	1800	70.9"

**Anexo 20. Diámetro de tuberías de succión y descarga según distancias entre condensador y evaporador.**

Model	P2090		P2100		P2110		P2120	
Pipe Length	D	L	D	L	D	L	D	L
10m	19/19	16/16	19/19	16/16	19/19	16/16	22/19	16/16
20m	22/19	16/16	22/22	16/16	22/22	16/16	22/22	19/16
30m	22/22	16/16	22/22	19/16	25/22	19/16	25/22	19/16
40m*	25/22	19/16	25/22	19/16	25/22	19/16	25/25	19/19
50m*	25/22	19/16	25/22	19/16	25/25	19/19	28/25	22/19
60m*	25/22	19/16	28/22	19/19	28/25	22/19	28/25	22/19

Anexo 21. Plano final de ubicaciones.



NOMBRE PROYECTO: PROYECTO DE TITULACION	NOMBRE DEL CLIENTE: N/A	VERSION: V3
UBICACION DEL PROYECTO: GUAYAQUIL	FECHA: 15/04/2026	ESCALA: 1:1

## Referencias

- [1] International Energy Agency, «Topics – Analysis», IEA. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/topics>
- [2] International Energy Agency, «Annual investment in energy efficiency in the buildings sector in the Net Zero Scenario, 2017-2030 – Charts – Data & Statistics», IEA. Accedido: 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-investment-in-energy-efficiency-in-the-buildings-sector-in-the-net-zero-scenario-2017-2030-2>
- [3] C. Ceela, «Estudio de casos internacionales de regulación para la construcción sostenible».
- [4] F. Silvero, F. Rodrigues, S. Montelpare, E. Spacone, y H. Varum, «The path towards buildings energy efficiency in South American countries», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 44, pp. 646-665, 2019.
- [5] C. Zepeda-Gil y S. Natarajan, «A review of “green building” regulations, laws, and standards in Latin America», *Buildings*, vol. 10, n.º 10, p. 188, 2020.
- [6] Ministerio de Energía y Minas, «Balance Energético Nacional 2023». 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/5900-2/>
- [7] S. Uribe, J. D. Villacís, y M. Villaseñor, «Consultoría para la estimación de la línea base de emisiones del sector de la construcción y posibles acciones de mitigación para el Ecuador», Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina (CEELA), Ecuador, Ejecutivo, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://proyectoceela.com/>
- [8] J. Corfee-Morlot *et al.*, «Towards a green investment policy framework: The case of low-carbon, climate-resilient infrastructure», 2012.
- [9] J. Cárdenas-Rangel, J. Jaramillo-Ibarra, A. Mayorga-Sierra, y J. Flórez-Reyes, «Hoja de ruta para la obtención de un sistema de etiquetado energético de edificaciones para Colombia».
- [10] Proyecto CEELA, «Marco Regulatorio – Proyecto CEELA – Eficiencia energética en edificios». Accedido: 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://proyectoceela.com/marco-regulatorio/>
- [11] «Herramienta Eco-Eficiencia de Quito», Interlace Hub. Accedido: 28 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://interlace-hub.com/es/herramienta-eco-eficiencia-de-quito>
- [12] Municipio de Samborondón, «Ordenanza de régimen especial e incentivos para edificaciones sostenibles.» 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.samborondon.gob.ec/pdf/Ordenanzas/OrdenanzaQueCreaRegimenEspecialEIncentivosParaEdificacionesSostenibles.pdf>
- [13] T. Hill y R. Westbrook, «SWOT Analysis: It’s Time for a Product Recall, long range planning, 30 (1): 46-52 <https://doi.org/10.1016>», *S0024-6301 96*, pp. 00095-7, 1997.

[14] «Ordenanza Que Crea Regimen Especial E Incentivos Para Edificaciones Sostenibles.pdf». Accedido: 28 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.samborondon.gob.ec/pdf/Ordenanzas/OrdenanzaQueCreaRegimenEspecialEIncentivosParaEdificacionesSostenibles.pdf>