



Unidades de climatización para centro de datos

Climate control units for Data Center

Ivan Leonardo Suarez Cruz¹ Andrés Escobar Díaz² Harold Vacca González³

Para citar este artículo: I. L. Suarez-Cruz; A. Escobar-Díaz; H. Vacca-González, "Unidades de climatización para Centro de datos". *Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol 16, n° 1, enero-junio 2019, 128-147. DOI: <https://doi.org/10.14483/2322939X.15273>.

Recibido: 12-03-2019 / Aprobado: 03-06-2019

Resumen

La ejecución de un proyecto de ingeniería -cuyos requerimientos y características supone el análisis exhaustivo de necesidades, entornos, riesgos de operación, normatividad, equipos e instrumentos, espacios físicos, documentación, y recursos presupuestales- involucra el desarrollo de tres fases secuenciales y complementarias: conceptual, básica y de detalle; cuyos resultados son: un *Estado del Arte* del *sistema-solución* factible a instalar, la *Arquitectura* y características de equipos y elementos del *sistema-solución*, y las especificaciones de *Equipos*, instrumentos, materiales y recursos para implementar el *sistema-solución*, respectivamente. En el presente artículo se revisan, tomando como referencia un modelo matemático de los tres componentes de las Unidades de Climatización: compresor, condensador y evaporador, las fases correspondientes para proyectar Unidades de Climatización en Centro de Datos (UCDC, por sus siglas en inglés) de acuerdo con requerimientos, normas,

y características técnicas e ingenieriles de implementación. Finalmente se presentan casos de éxito de centro de datos implementados y los sistemas de climatización respectivos.

Palabras clave: aire acondicionado, chiller, condensador, evaporador, humidificador, modelo, refrigeración.

Abstract

The execution of an Engineering Project - whose requirements and characteristics implies an exhaustive analysis of needs, environments, operational risks, regulations, equipment and instruments, physical spaces, documentation, and budgetary resources - involves the development of three sequential and complementary phases: Conceptual, Basic and Detail; whose results are: a *State of the Art* of the *system-solution* feasible to install, the *Architecture* and characteristics of equipment and elements of the *system-solution*, and the specifications of *Equipment*, instruments, materials

1. Tecnólogo Electrónico, Ing. En Control, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Lugar de trabajo: Ingeniería y Soluciones en Control Automatización y Diseño: ISCAD-SAS. Correo electrónico: ivan.suarez@iscadsas.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9794-1792>
2. Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital, Francisco José de Caldas (Colombia). Magíster en Ingeniería y Magíster en Administración - MBA, Universidad de los Andes (Colombia). Profesor e Investigador Asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Investigador Asociado, Colciencias. Asesor PMP, TIC, Control y Automatización, SIS. Correo electrónico: aescobard@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0527-8776>
3. Lic. Matemáticas, Esp. En Ing. De Software, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). MSc. En Matemáticas aplicadas, Universidad EAFIT (Colombia). Profesor e investigador del grupo SciBas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Correo electrónico: hvacca@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7017-0070>

and resources to implement the *system-solution*, respectively. This article reviews, taking as a reference a mathematical model of the three components of the Air Conditioning Units: Compressor, Condenser and Evaporator, the corresponding phases to project Air Conditioning Units in Data Center (ACUDC) according to requirements, norms and technical and engineering characteristics of implementation. Finally, success cases of Data Center implemented and its respective air conditioning systems are presented.

Keywords: air conditioning, chiller, condenser, evaporator, humidifier, model, refrigeration.

1. Introducción

La ejecución de un proyecto de ingeniería cuyos requerimientos y características supone el análisis exhaustivo de necesidades, entornos, riesgos de operación, normatividad, equipos e instrumentos, espacios físicos, documentación, y recursos presupuestales, entre otros aspectos. Cuando el proyecto de ingeniería trata sobre implementar un centro de datos -y su Unidad de Climatización- [1] Figura 1, se está frente a la determinación de un espacio con determinadas características físicas de refrigeración, protección y redundancia, cuyo objetivo es alojar todo el equipamiento tecnológico computacional y de telecomunicaciones de una compañía, de manera que se garantice seguridad y confiabilidad tecnológica [2].

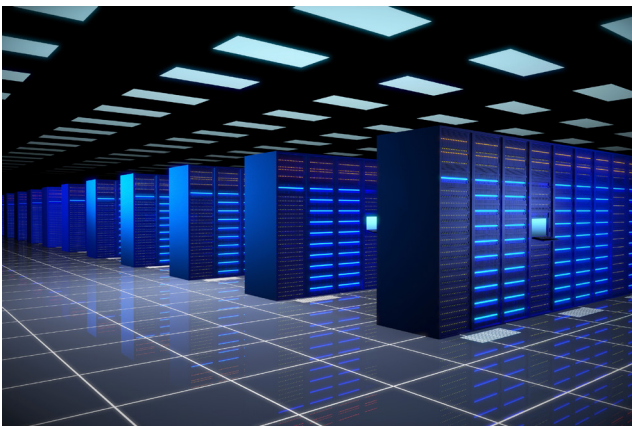


Figura 1. Unidad de Climatización [1].

Aunado a lo anterior, el desarrollo del proyecto debe cuidar las tres fases secuenciales y complementarias: Ingeniería conceptual, básica y de detalle [3], de manera que sus resultados sean en este caso: un *Estado del Arte* del *sistema-solución* de UCDC factible a instalar; una *Arquitectura* y características de equipos y elementos del *sistema-solución* de una UCDC; y las especificaciones de *Equipos*, instrumentos, materiales y recursos para implementar el *sistema-solución* de una UCDC, respectivamente. Por otra parte, se debe tener en cuenta que dentro de un centro de datos se alojan sistemas de cómputo y componentes asociados a sistemas de telecomunicaciones y de almacenamiento dentro de los cuales se contienen y ejecutan aplicaciones e información en forma remota -conectados a través de internet-. Para ello, se debe tener la confiabilidad suficiente en sus instalaciones con respecto al riesgo de fallas y confidencialidad de la información; asuntos adicionales a los sistemas de alimentación de energía eléctrica, aire acondicionado, y su seguridad. En este sentido, tales aspectos son inherentes a la correspondiente Ingeniería Conceptual -Figura 2-, [4] [5]. El asunto, lejos de estar resuelto, se ha convertido en una práctica técnica con poca profundidad y sujeta a normas con dudoso carácter de certificación. Por lo anterior, en este documento se establece inicialmente un modelo matemático con enfoque sistémico que representa los tres componentes de las Unidades de Climatización (Compresor, Condensador y Evaporador) examinando las variables del fenómeno fundamentado en balances de masa y energía, y las respectivas condiciones y circunstancias termodinámicas, de manera que se ilustren los sistemas de climatización que pueden componer un centro de datos. Luego se dan a conocer los requerimientos mínimos para Unidades de Climatización para centro de datos según el nivel que se requiera y dependiendo la norma a utilizar (TIER e ICREA). Posteriormente, se exponen las razones de la necesidad de las Unidades de Climatización frente a la selección de una aire acondicionado de confort, aplicadas a un centro de datos; así como los tipos de aires acondicionados comerciales aplicados a

centro de datos y sus variantes. Además, se explica la aplicación y utilidad que tienen los equipos de reserva y los consumos energéticos que generan las Unidades de Climatización dentro de un centro de datos; finalmente, se exponen implementaciones documentadas de Unidades de Climatización Instaladas en un centro de datos.

2. Materiales y Métodos

La eficiencia y el desempeño de un centro de datos depende directamente de la forma de mantener las variables ambientales de operación de los sistemas críticos, así como sus sistemas de climatización de precisión, garantizadas para ejercer un verdadero control de cada parámetro ambiental, Figura 3. De esta forma se posibilita una gestión del calor eficiente, confiable y rentable de sus instalaciones críticas, logrando índices de eficiencia que son sensibles en la industria (efectividad del uso de la energía de <1.1, disponibilidad cercana al 100%, y un 50% menos en costos de capital y operativos) [7].

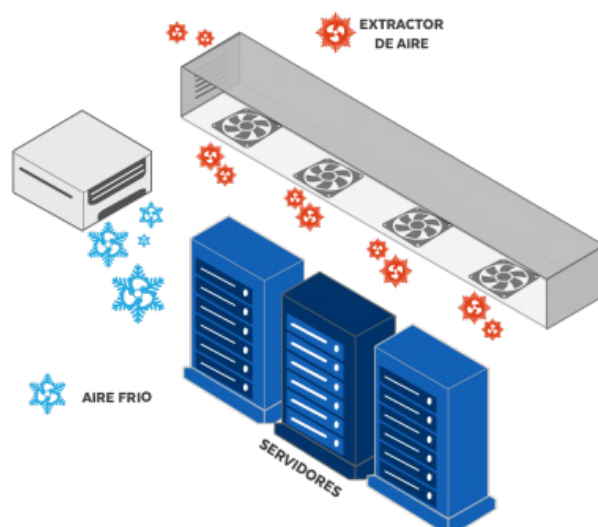


Figura 3. Unidad de Climatización centro de datos [8].

Es por lo anterior, que en un primer momento se debe determinar un glosario para establecer un lenguaje técnico común. En un segundo momento, realizar un modelamiento matemático para la comprensión de las variables del fenómeno que se va a discutir. En un tercer momento, asumir la normatividad

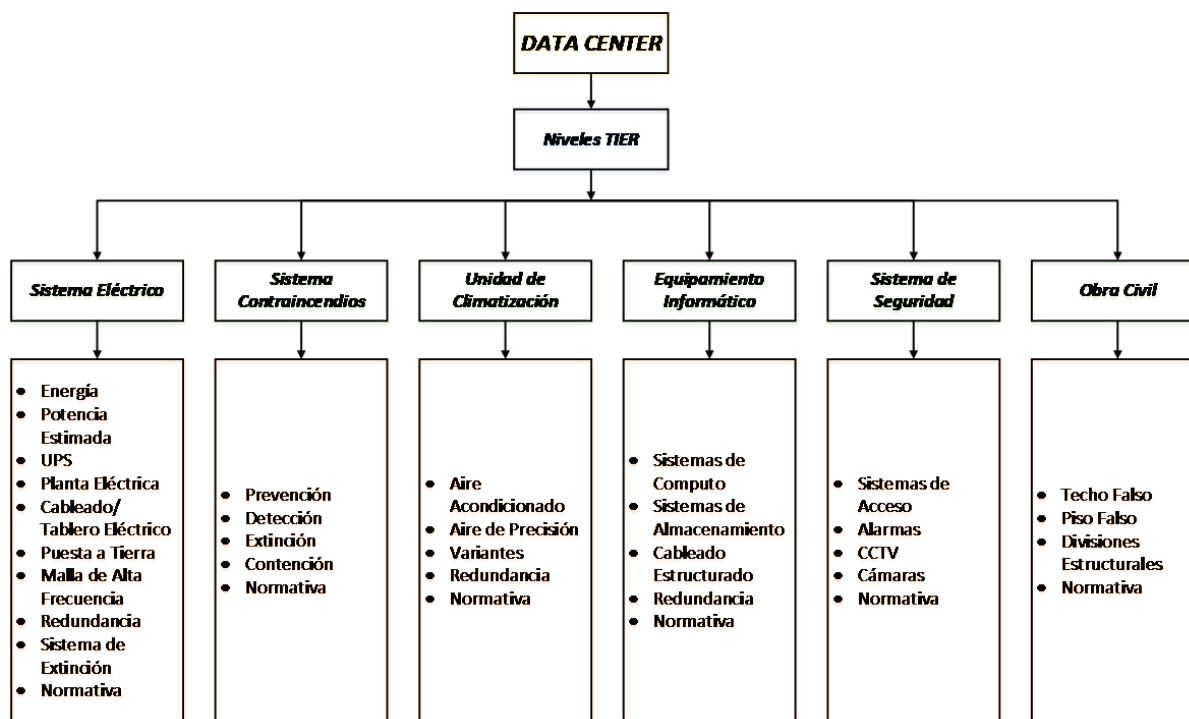


Figura 2. Ingeniería conceptual centro de datos [6].

vigente que regla todo el procedimiento técnico y tecnológico de caso, y sus aplicaciones vigentes en la industria. En un cuarto momento establecer un caso de precisión. Finalmente asumir un algoritmo de cálculo, que se ajuste a lo expuesto, de manera que se pueda evaluar algún caso de uso.

- **Glosario**

- 1. Aire acondicionado:** El acondicionamiento del aire es el proceso que enfría, limpia y circula el aire, controlando, además, su contenido de humedad. En condiciones ideales se logra todo esto de manera simultánea. Como enfriar significa eliminar calor, otro término utilizado para decir refrigeración es: aire acondicionado, [9].
 - 2. Climatizador Inverter:** Inverter es la tecnología que permite regular la potencia del compresor de un climatizador. El circuito Inverter proporciona un óptimo control de la potencia y un funcionamiento extremadamente eficiente. De esta forma, ahora puede lograrse un funcionamiento rápido, eficaz y adaptable con un consumo inferior al de los aparatos convencionales y, por supuesto, un menor consumo de electricidad implica una mayor protección del medio ambiente [9].
 - 3. EPO:** Emergency Power Off System o en español, Sistema de Apagado de Emergencia [10].
 - 4. Equipo de TI:** Maneja, procesa, almacena y direcciona información dentro de centro de datos, como: computadoras, elementos de red dispositivos de almacenamiento e impresoras [11].
 - 5. Equipo de enfriamiento:** Mantiene la temperatura y humedad deseadas en el centro de datos [11].
 - 6. Equipo Mini Split:** El término Mini Split se traduce literalmente como mini-dividido. Esto se refiere a que un sistema Mini Split, en realidad, consta de 2 unidades: la unidad interior y la unidad exterior. La unidad interior es la unidad que va dentro del cuarto a acondicionar [9].
 - 7. Equipo Tipo Cassette:** Sistema Split cuya unidad interior está preparada para su instalación
- incrustada en el techo y cubierta por un panel decorativo. Dependiendo de la cantidad de salidas de aire se conocen como Cassette de 4, 2 o 1 vías [9].
- 8. Equipo Tipo Piso Techo:** Sistema Split cuya unidad interior está preparada para su instalación en el suelo o suspendida en la parte baja de una pared [9].
 - 9. Evaporador:** Un evaporador es un intercambiador de calor entre fluidos, de modo que mientras uno de ellos se enfría, disminuyendo su temperatura el otro se calienta pasando, habitualmente, de su estado líquido original a estado vapor [9].
 - 10. Humedad Relativa:** Cantidad de humedad del aire, en términos porcentuales [12].
 - 11. Equipos Adicionales:** Iluminación, seguridad, contraincendios y cualquier otro que consuma energía [11].
 - 12. PDU (Power Distribution Unit):** Equipos como: Transformadores de Aislamiento, supresores de transientes, paneles de distribución, monitoreo, entre otros [10].
 - 13. Tonelada de refrigeración (TR):** Cantidad de frío producido mediante el derretimiento de 1 tonelada de hielo en 24 horas [12].
 - 14. Unidad Condensadora:** Es la parte del sistema de climatización que va ubicada en el exterior del ambiente a climatizar. Generalmente el compresor está ubicado en la unidad exterior o condensadora [9].
 - 15. Unidad Manejadora:** Es la parte del sistema de climatización que va ubicada en el interior de la habitación a climatizar. Estos tipos de unidades pueden ser de conductos, pared, suelo, techo, o Cassette, [9].
- En síntesis, las Unidades de Climatización son sistemas encargados de tratar los tres parámetros elementales de la calidad del ambiente climatizado: renovación y limpieza del aire, control de temperatura, y control de humedad relativa. Su objetivo es suministrar un caudal de aire tratado o acondicionado para ser distribuido por una red de conductos a los espacios tratados. Las Unidades de Climatización

están compuestas principalmente por: una entrada de aire (aire a tratar, limpiar), filtros de aire encargados de limpiar y retener partículas, intercambiadores de frío y calor (serpentines), control de humedad, ventilación y distribución de aire encargados de hacer circular el aire por conductos a las rejillas o difusores [13].

3. Modelamiento Matemático [14]

El modelamiento matemático analizado se basa en balances de masa y energía, y las respectivas circunstancias termodinámicas. Para lo anterior se establece un modelo con enfoque sistémico de los componentes de las Unidades de Climatización: compresor, condensador y evaporador. Su desarrollo clarifica el *Estado del Arte* que supone la fase de Ingeniería Conceptual a partir de la cual se toman las decisiones de las fases básica y de detalle

3.1. Modelo del Compresor [14] [15]

El modelo considera intercambios de calor en la entrada y salida del compresor, y el intercambio con el ambiente. Para esto se define una pared ficticia a la cual se transfieren estos calores al igual que las pérdidas electromecánicas del compresor. La compresión se descompone en dos partes: a entropía constante y a volumen constante, y se supone como adiabática. El principio de la modelación del compresor se expone en la Figura 4.

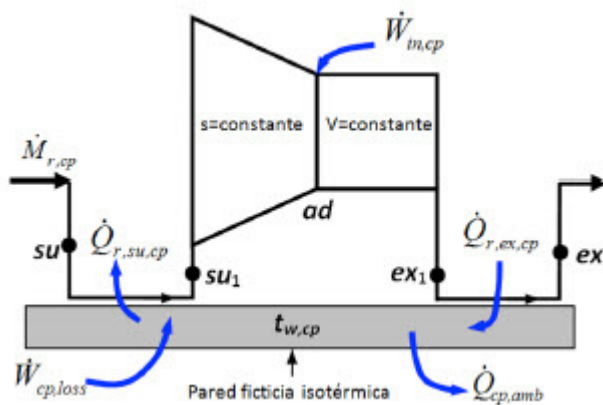


Figura 4. Principio de la modelación del compresor [14].

Por el modo de funcionamiento de los compresores, y la variación en su volumen y presión, el trabajo interno del compresor (1) se calcula de la siguiente forma:

$$w_{in,cp} = w_{in,s,cp} + w_{in,v,cp} = (h_{r,ad} - h_{r,su1}) + v_{r,ad} \cdot (P_{r,ex1} - P_{r,ad}) \quad (1)$$

Donde $w_{in,s,cp}$ es el trabajo interno de compresión del proceso isentrópico (adaptado), y $w_{in,v,cp}$ es el trabajo de compresión del proceso isocoro (no adaptado), se calcula como si el fluido fuera incompresible multiplicando el volumen específico por la diferencia de presiones. Multiplicando este trabajo interno por el flujo de refrigerante se obtiene la potencia interna del compresor (2):

$$\dot{W}_{in,cp} = \dot{M}_{r,cp} \cdot w_{in,cp} \quad (2)$$

La potencia eléctrica del compresor es finalmente determinada adicionando la potencia interna y las pérdidas electromecánicas del compresor, con la relación siguiente (3):

$$\dot{W}_{cp} = \dot{W}_{in,cp} + \dot{W}_{cp,loss} = \dot{W}_{in,cp} + (\dot{W}_{loss,0} + \alpha \cdot \dot{W}_{in,cp}) \quad (3)$$

Donde $\dot{W}_{loss,0}$ y α son parámetros empíricos del modelo. El primer término representa las pérdidas en vacío del compresor y el segundo es una constante de proporcionalidad para tomar en cuenta el aumento de las pérdidas a medida que se solicita más demanda al compresor. El flujo de refrigerante se predice con la siguiente expresión (4):

$$\dot{M}_{r,cp} = \frac{N_{cp} \cdot V_s}{v_{r,su1}} \quad (4)$$

Donde V_s es el volumen barrido del compresor, el cual es también un parámetro del modelo, N_{cp} es la velocidad del compresor y $v_{r,su1}$ es el volumen específico a la entrada de la cámara de compresión. La transferencia de calor a la entrada y salida del compresor se predice utilizando el método $\epsilon - NUT$ (eficiencia - Número de Unidades de Transferencia), donde el coeficiente de transferencia de calor se calcula como (5):

$$AU = AU_{nom} \left(\frac{\dot{M}_{r,cp}}{\dot{M}_{ref}} \right)^{0,8} \quad (5)$$

El coeficiente nominal AU_{nom} es un parámetro del modelo y \dot{M}_{ref} es un parámetro que corresponde a un flujo de refrigerante de referencia. Para el caso de las pérdidas al ambiente, el coeficiente global de transferencia de calor se determina experimentalmente [14].

4. Modelo del Condensador [14]

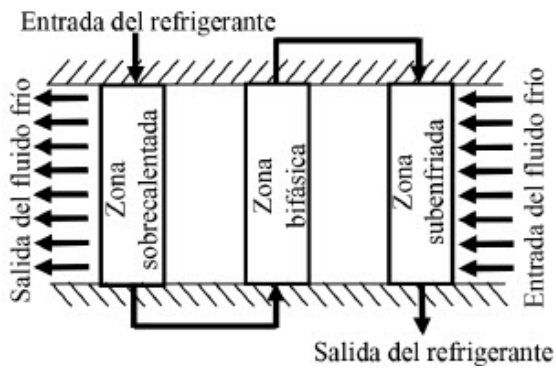


Figura 5. Principio de la modelación del condensador [14].

El condensador es modelado como se indica en la Figura 5, considerando tres zonas las cuales se encuentran en flujo cruzado con el flujo de aire, que globalmente está en contraflujo.

Se asume que ambos fluidos se distribuyen de forma homogénea tanto del lado refrigerante como del lado aire. El balance de energía para cada zona se realiza como se indica a continuación (6):

$$\dot{H}_{r,sh,cd} - \dot{H}_{cf,sh,cd} = 0 \quad (6)$$

Los flujos de entalpía se determinan como el producto entre los respectivos flujos másicos y sus diferencias de entalpía en la zona considerada (7), (8)

$$\dot{H}_{r,sh,cd} = \dot{M}_{r,sh,cd} \cdot (h_{r,su,sh,cd} + h_{r,ex,sh,cd}) \quad (7)$$

$$\dot{H}_{cf,sh,cd} = \dot{M}_{cf,sh,cd} \cdot (h_{cf,ex,sh,cd} + h_{cf,su,sh,cd}) \quad (8)$$

El modelo asume que tanto el flujo de refrigerante como el de aire son iguales en cada una de las zonas y que se distribuyen homogéneamente a través del

intercambiador de calor. De la ecuación de transferencia de calor se tiene que el calor transferido entre ambos fluidos está dado por (9):

$$\dot{Q}_{sh,cd} = \epsilon_{sh,cd} \cdot \dot{C}_{min,sh,cd} \cdot (t_{r,su,sh,cd} - t_{cf,su,sh,cd}) \quad (9)$$

Donde $\epsilon_{sh,cd}$ es la eficiencia del intercambiador de calor de la zona sobrecalentada, $\dot{C}_{min,sh,cd}$ es el flujo capacitivo mínimo de dicha zona y t es la temperatura del refrigerante “r” y del aire “cf” a la entrada “su” de la zona sobrecalentada “sh”.

La nomenclatura de los subíndices se establece así: fluido (r: refrigerante, cf: cold fluid); zona (sh: sobrecalentada, tp: bifásica, sc: subenfriada) equipo (cd: condensador); (su: supply y ex: exhaust) [14].

5. Modelo del Evaporador.

Este modelo, Figura 6, predice principalmente la presión de trabajo del condensador, la cual se determina a partir de los balances de energía de cada zona y de las ecuaciones de transferencia de calor. Esto permite determinar el flujo de calor transferido por el condensador.

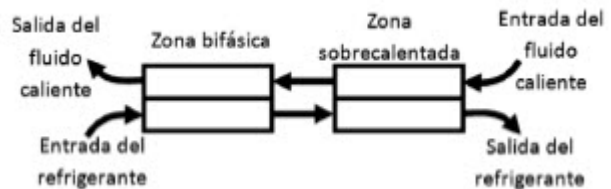


Figura 6. Principio de la modelación del condensador [13].

La principal diferencia con el sistema anterior estriba en el número de zonas; en este caso se tienen dos: la zona bifásica y la zona sobrecalentada. En el modelamiento se supone que el refrigerante y la mezcla agua-glicol se reparten uniformemente en cada uno de los canales del intercambiador. Los coeficientes convectivos para los escurrimientos monofásicos se calculan con la correlación propuesta por el fabricante del intercambiador (10):

$$Nu = C \cdot Re^n Pr^m \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^s \quad (10)$$

μ, μ_w representan la viscosidad dinámica determinada a la temperatura media del fluido y a la temperatura de la pared del tubo.

Para la parte bifásica, los coeficientes convectivos se determinan con la siguiente correlación (11), [16]:

$$h_{tp} = E \cdot h_l + S \cdot h_{pool} \quad (11)$$

Donde E es el factor de mejoramiento y S es el factor de supresión. En este caso se considera una ebullición de tipo combinada: forzada y nucleada. h_l es el coeficiente convectivo calculado para la fase líquida con la correlación de Dittus-Boelter [17], que toma en cuenta la parte forzada, y h_{pool} es el coeficiente convectivo de la ebullición nucleada.

6. Modelo del sistema de refrigeración

Finalmente, el modelo del sistema de refrigeración se obtiene interconectando los modelos del compresor, del condensador y del evaporador.

	Compresor/ condensador	Evaporador/ Compresor
Flujo Másico:	$\dot{M}_{r,cd} = \dot{M}_{r,cp}$	$\dot{M}_{r,ev} = \dot{M}_{r,cp}$
Entalpia:	$h_{r,su,cd} = h_{r,ex,cp}$	$h_{r,su,cp} = h_{r,ex,ev}$
Presión:	$P_{r,ex,cp} = P_{r,su,cd}$	$P_{r,su,cp} = P_{r,ex,ev}$

En este caso se supone que el compresor impone el flujo de refrigerante que circula en la instalación y la temperatura del refrigerante en su descarga, que el condensador impone la presión de condensación y que el evaporador impone la presión de evaporación.

Las entradas del modelo global se reducen a las siguientes:

1. Compresor: temperatura ambiente, velocidad.
2. Condensador: flujo másico del fluido frío, temperatura de entrada del fluido frío, subenfriamiento del refrigerante (se supone que este está impuesto por la carga de refrigerante).

3. Evaporador: flujo másico del fluido caliente, temperatura de entrada del fluido caliente, sobrecalentamiento del refrigerante (se supone que este está impuesto por el modelo de la válvula de expansión).

El modelo del sistema de refrigeración, mostrado en la Figura 7, predice la potencia eléctrica del compresor, el calor disipado en el condensador, el calor absorbido en el evaporador, las pérdidas de carga, presiones y temperaturas del refrigerante y de los fluidos secundarios. Se toman en cuenta la mayor cantidad de variables que intervienen en el sistema, lo cual se debe tener en cuenta a la hora de aplicarlo en las Unidades de Climatización que se utilizan para centros de datos de elevado Nivel Técnico y de seguridad.

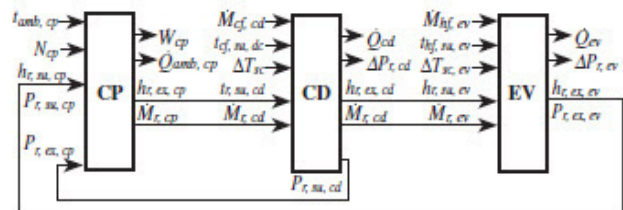


Figura 7. Principio del modelado del sistema de refrigeración [14].

Con la aplicación de estos modelos matemáticos a la hora de implementar centros de datos, se pueden tener en cuenta todas las variables que afectan el sistema, y así obtener un sistema de climatización que cumpla con las necesidades que demande el centro de datos, obteniendo mejores resultados energéticos y económicos en la implementación.

6.1. Estándares y Normativas

El diseño del centro de datos se rige por las siguientes normas y estándares aplicables a nivel nacional e internacional.

6.1.1. Normas y Estándares Internacionales

1. Estándar ANSI EIA/TIA 942 Estándar de Infraestructura de Telecomunicaciones para centros de Datos [18-20].

2. Estándar ANSI/EIA/TIA-568, especifica los requerimientos de un sistema integral de cableado, independiente de las aplicaciones y de los proveedores, para los edificios comerciales. Permite la planeación e instalación de un sistema de cableado estructurado que soporte independientemente del proveedor y sin conocimiento previo, los servicios y dispositivos de telecomunicaciones que serán instalados durante la vida útil del centro de datos. El estándar especifica:

- Requerimientos mínimos para cableado de telecomunicaciones dentro de un ambiente de oficina, para distintas tecnologías de cables (cobre y fibra).
- Topología y distancias recomendadas.
- Parámetros de desempeño de los medios de comunicación (cables de cobre, fibra) [21].

1. EIA/TIA607 Requisitos de conexión a tierra y conexión de edificios comerciales para telecomunicaciones, que describe los métodos y estándares para distribuir las señales de tierra a través de un edificio [21].
2. ANSI/TIA/EIA/862 sistemas de automatización de edificios estándares de cableado, que establece la infraestructura de cableado, conectores, interfaces, salidas y componentes de cableado horizontal en los sistemas de automatización de edificios [21].
3. ASHRAE Directrices térmicas para entornos de procesamiento de datos [21].
4. NSR-98, “Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente”, ley 400 1997, decreto-ley 33 de 1998, AIS, 4 tomos, Bogotá, febrero de 1998 [21].
5. RITE, “Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios” [22] [23].
6. ASHRAE American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers [24] [25].

6.1.2. Normas Nacionales

1. RETIE. Reglamento Técnico Para Instalaciones Eléctricas [26].

2. NTC 2050. Código Eléctrico Nacional Colombiano [27].
3. NTC 105 segunda revisión. Tubería metálica. Tubos de acero tipo EMT, recubiertos de zinc para la conducción y protección de conductores eléctricos (tubería conduit).
4. Normas UL: Normas esenciales para la confianza y seguridad pública, la reducción de costes, mejora de la calidad y comercialización de productos y servicios.
5. Normas ISO 9000: Normas sobre Calidad y gestión de calidad [28].
6. NOM-001-SEDE-1999: Cubre las instalaciones destinadas a la utilización de energía eléctrica en: propiedades públicas/privadas, comerciales/industriales/ residenciales/institucionales; conexión de los equipos; plantas generadoras de emergencia/reserva.

6.2. Aplicación de Niveles TIER TIA-942

Ver Tablas 1 y 2 [19] [20].

6.3. Aplicación de los Niveles Norma ICREA STD-131-2017.

Ver Tabla 3 [31].

7. Aire acondicionado de precisión

Los equipos de aire acondicionado se clasifican en dos grandes grupos: equipos de confort y equipos de precisión. Los equipos de confort están diseñados para asegurar la comodidad de las personas. Los equipos de precisión se utilizan para asegurar, más que la comodidad, las condiciones de operación de un ambiente determinado. Cuando se hace referencia al enfriamiento de centros de datos, es inevitable reflexionar en cuál es el equipo de aire acondicionado más apropiado para la aplicación realizada, principalmente cuando lo que se analiza son los costos de estos. Sin embargo, hay una serie de consideraciones que justifican la inversión en equipos de precisión para asegurar la continuidad del negocio y la confiabilidad del servicio [34].

Tabla 1. Aplicación Niveles TIER, bajo Norma TIA 942 [6], [10], [29], [30].

TIER I	TIER II
<ul style="list-style-type: none"> Una o varias unidades de aire acondicionado sin redundancia. Tuberías con una sola ruta. [10], [29], [30] 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de enfriamiento combinada, temperatura y humedad. Sistemas 7x24x365. [10], [29], [30]
TIER III	TIER IV
<ul style="list-style-type: none"> Múltiples unidades de aire acondicionado. Tuberías y bombas duales. Detección de derrames. [10], [29], [30] 	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes de agua alternas Sistema de climatización será redundante con separación de equipos y rutas para mantener la disponibilidad del centro de datos. El sistema de enfriamiento será por agua refrigerada (Chiller) y compensación de agua. Controles de temperatura y Humedad. Optimización de las cargas de calor de mayor densidad, por el elevado consumo eléctrico que genera el equipo. Respaldo mínimo N+1 que cubran todas las necesidades de la sala de equipos principalmente. Capacidad de enfriamiento para cuartos de Equipos TI y cuartos adyacentes. [10], [29], [30]

Tabla 2. Unidades de Climatización para centro de datos según Nivel TIER [6].





UNIDAD DE CLIMATIZACIÓN PARA CENTRO DE DATOS				
Nivel TIER	Aire acondicionado mínimo requerido	Redundancia	Fabricantes	Imagen
TIER I	AA de Confort Inverter	N	LG, Samsung, ConfortFresh, Trane York, etc.	
TIER II	AA Tipo Cassette o Piso Techo	N	ConfortFresh, Trane, York, APC, Carrier, AireFlex, etc.	
TIER III	AA Tipo Cassette o Piso Techo con Control de Humedad, In Row	N+1	Confort Fresh, Trane, York, APC, Carrier, AireFlex, etc.	
TIER IV	AA de Precisión, Schiller	N+1	Liebert, Emerson, APC, Uniflair, Data Aire, Carrier, AireFlex, etc.	

Tabla 3. Aplicación Niveles Norma ICREA STD 131-2017 [6], [32], [33].

NIVEL I	NIVEL II
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de Enfriamiento con Redundancia N. • Equipos de Climatización con capacidad N. • Circuitos Hidráulicos con redundancia N en sistemas de agua helada. • Alimentación eléctrica a equipos de enfriamiento con SVA (Simple Vía de Alimentación). • Climatización en zona de UPS con redundancia N. [32], [33] 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de Enfriamiento con Redundancia N+1. • Equipos de Climatización con capacidad N+1. • Circuitos Hidráulicos con redundancia N en sistemas de agua helada. • Alimentación eléctrica a equipos de enfriamiento con SVA (Simple Vía de Alimentación). • Climatización en zona de UPS sin redundancia, con redundancia N+1. [32], [33]
NIVEL III	NIVEL IV
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de Enfriamiento con Redundancia N+1. • Equipos de Climatización con capacidad N+1. • Circuitos Hidráulicos con redundancia N en sistemas de agua helada. • Se permite el uso de elementos portátiles como apoyo para permitir el mantenimiento sin suspender el servicio. • Alimentación eléctrica a equipos de enfriamiento con SVA (Simple Vía de Alimentación) o DVA (Doble Vía de Alimentación). • La topología deberá permitir dar mantenimiento a cualquier elemento del sistema de enfriamiento y climatización sin necesidad de suspender la operación del centro de datos. Incluye válvulas de Bypass en el circuito hidráulico, en el equipo de bombeo y en todo aquello que requiera alguna maniobra de mantenimiento para lo que se consideran acoplamientos temporales, a fin de reparar el circuito hidráulico completo sin suspender el servicio. • Climatización en zona de UPS con redundancia N+1, y con las mismas características mencionadas anteriormente. [32], [33] 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de Enfriamiento con Redundancia 2N. • Equipos de Climatización con capacidad 2N. • Doble rama de distribución hidráulica 2N. • Circuitos Hidráulicos con redundancia 2N en sistemas de agua helada. • Alimentación eléctrica a equipos de enfriamiento con DVA (Doble Vía de Alimentación) para generadores de agua helada. • La topología deberá permitir dar mantenimiento con equipos propios y fijos a cualquier elemento del sistema de enfriamiento y climatización sin necesidad de suspender la operación del centro de datos. Incluye válvulas de Bypass en el circuito hidráulico, en el equipo de bombeo y en todo aquello que requiera alguna maniobra de mantenimiento para lo que se consideran acoplamientos temporales, a fin de reparar el circuito hidráulico completo sin suspender el servicio. • Sistema de Detección automática de fugas. • Enfriamiento continuo para densidades superiores a 6kW/m² o cargas puntuales esperadas superiores a 12kW/ rack • Climatización en zona de UPS 2N con alimentación en DVA. [32], [33]
NIVEL V	
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de Enfriamiento con Redundancia 2N. • Equipos de Climatización con capacidad 2N+1 en generadores de agua helada y 2N+1 en CRAC (Aire Acondicionado de Expansión Directa) adicionando al menos una CRAC por cada circuito hidráulico y sea de agua o de refrigerante (para el caso de expansión directa). • Doble rama de distribución hidráulica principal para el caso de agua helada. • Circuitos Hidráulicos con redundancia 2N en sistemas de agua helada. • Alimentación eléctrica a equipos de enfriamiento con DVA (Doble Vía de Alimentación) para generadores de agua helada y CRAC. • La topología deberá permitir dar mantenimiento con equipos propios y fijos a cualquier elemento del sistema de enfriamiento y climatización sin necesidad de suspender la operación del centro de datos. Incluye válvulas de Bypass en el circuito hidráulico, en el equipo de bombeo y en todo aquello que requiera alguna maniobra de mantenimiento para lo que se consideran acoplamientos temporales, a fin de reparar el circuito hidráulico completo sin suspender el servicio. • Sistema de Detección automática de fugas. • Enfriamiento continuo para densidades superiores a 6kW/m² o cargas puntuales esperadas superiores a 12kW/ rack. • Respuesta automática a fallos. • Compartimentación de elementos principales como Chillers, tableros e interruptores principales. • Climatización en zona de UPS 2N+1 con alimentación en DVA. Cada unidad deberá alimentarse de diferente circuito hidráulico. • Monitoreo automático de parámetros de climatización. [32], [33] 	

Es necesario tener claro qué es lo que se enfría y cuál es el verdadero concepto tras esta expresión. El calor o carga térmica que se genera en equipos eléctricos tiene efecto neto que es el aumento de la temperatura del aire a su alrededor y se denomina calor sensible. También existe otro tipo de calor, que es menos común en la aplicación tratada, y es el responsable de que una sustancia realice un cambio de fase (asociado con la humedad en el aire y la transpiración humana), a este se le denomina calor latente.

En un centro de datos, Figura 8, donde existen equipos eléctricos funcionando las 24 horas del día durante todo el año, es comprensible que la mayor parte del calor generado sea del tipo sensible. Caso aparte es el de una oficina, donde además de equipo eléctrico, se tiene una considerable cantidad de personal trabajando por lo que el control de la carga latente toma relevancia.

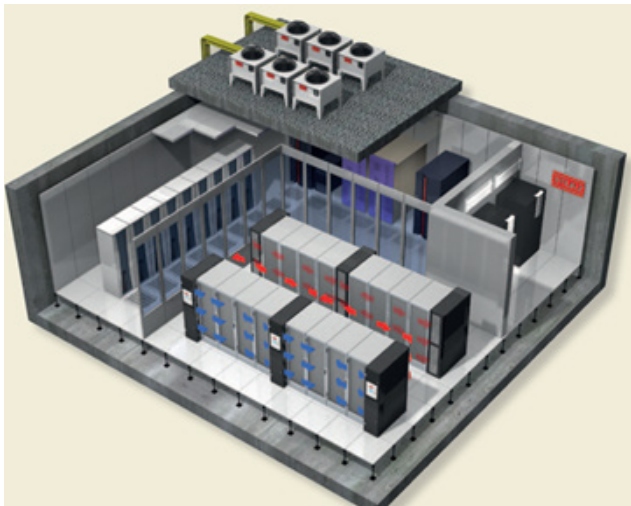


Figura 8. Centro de datos y sistema de refrigeración [34].

Si se analizan, de otro lado, las características de los aires acondicionados de precisión se tiene que el porcentaje de calor sensible que pueden extraer ronda el 95% de su capacidad nominal, mientras que un equipo de confort está entre un 60% y 70%. Esto hace que en un ambiente donde la ocupación es mínima y la mayor parte del calor es debido a los equipos eléctricos, se desperdicie un 30% de su capacidad. Esto debido a que el equipo buscará

remover calor latente que no se está generando siquiera y que más bien puede resultar en problemas de baja humedad en el aire (aire muy seco se traduce en carga estática y posible afectación en datos).

Por otro lado, es importante la confiabilidad de operación. Los equipos de precisión están diseñados para operar 365 días al año a capacidad pico y de manera constante. Para los equipos de confort, en cambio, el promedio de diseño es de 1200h/año (aproximadamente 8 h/día). Además, solo una pequeña porción del tiempo se operaría a su capacidad pico, ya que la carga térmica varía durante el día dependiendo de la ocupación, carga por iluminación, hora del día, entre otros factores. Cuando se trabaja con equipos de cómputo tan especializados, es importante asegurar la limpieza de estos. Por esta razón los equipos de aire acondicionado de precisión cuentan con filtros de aire que pueden tener una capacidad de entre 60 y 90%. En contraste los equipos de confort cuentan con filtros cuya eficiencia ronda entre 20 y 30% debido a la poca especialidad de su aplicación, [34].

7.1. Tipos de Montajes Aires Acondicionados de Precisión

Ver Tabla 4.

8. Activos y de Reserva



En general, los sistemas operan bajo la modalidad N+1, equipo o equipos de punta funcionando y equipo o equipos de reserva parados.

1. Equipo Activo (N): es el o los equipos que están cumpliendo su función principal de refrigeración.
2. Equipo Reserva (+1): es el o los equipos a la espera de entrar como activo, [36].

8.1. Puesta en Marcha de los equipos de reserva

El o los equipos de reserva se habilitan por:

Tabla 4. Tipos de montajes para aires acondicionados de precisión [2], [6], [35], [36].

Montajes de Piso	Montaje en Techo
<p>Los equipos electrónicos sensibles de alto rendimiento requieren un control preciso y confiable de la temperatura del cuarto, la humedad y el flujo de aire para un comportamiento óptimo. Los sistemas de montaje en piso cumplen con estos requerimientos desde los años 80's. Esta línea de producto es muy eficiente en cuanto a consumo de energía, y viene en tamaños y capacidades que cumplen con cualquier requerimiento incluso se pueden instalar en ambientes de procesos industriales corrosivos. Vienen en capacidades de 2 a 60 toneladas en sistemas con compresor, de 2 a 70 toneladas en "Chilled Water Systems.",[35].</p>	<p>Fabricantes has diseñado sistemas de montaje en techo con características que aumentan la confiabilidad, la facilidad de mantenimiento, y la eficiencia energética. En capacidades de 1 a 20 toneladas, los aires de montaje en techo pueden ser configurados para aplicaciones de descarga con ducto o sin ducto. Con amplias posibilidades de configuración, existe el sistema perfecto para las necesidades de temperatura y humedad de cualquier cuarto. Gracias al fácil acceso a todos los componentes del sistema, la instalación es rápida, la operación es silenciosa, y el mantenimiento se simplifica. Los sistemas de techo se instalan encima de un techo falso o en el techo como tal, ahorrando espacio para equipos críticos en el centro de datos, [35].</p>
<p>Montaje en Pared Interior</p>	<p>Sistemas In Row</p>
<p>Sistemas diseñados específicamente para proveer control de humedad y de temperatura para centros de cómputo pequeños y medianos, o para enfriamiento localizado en cuartos más grandes, y pueden ser instalados en sitios en donde seres humanos y sistemas sensibles electrónicos deben compartir un mismo espacio. Están diseñados para ser montados en una pared adentro del cuarto, [35].</p>	<p>Los sistemas In Row de aire acondicionado de precisión están diseñados para tener ganancias en eficiencia y capacidad, al mover los equipos de refrigeración más cerca de las cargas que están produciendo calor. Los sistemas In Row proveen refrigeración localizada, y están diseñados para ser instalados en centros de cómputo con pasillos frío y caliente, [35].</p>
<p>Variantes</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Inyección Superior y Retorno frontal (Compresor Interior o Exterior) • Inyección Superior y Retorno Posterior (Compresor Interior o Exterior) • Inyección Inferior y Retorno Superior (Compresor Interior o Exterior para Piso Técnico.), [36]. <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div>	
<p>Refrigeración por Agua</p>	<p>Refrigeración por Agua Helada (Chilled Water)</p>
<p>El método de refrigeración por agua posee una unidad de refrigeración en el interior del centro de datos y una bomba que toma el agua de un depósito exterior para refrigerar el aire por medio del módulo interior. El agua del circuito se reutiliza, tomando agua a menor temperatura y retornando el agua para ser utilizada (a mayor temperatura). Si las condiciones exteriores en invierno son muy extremas, el tanque deberá estar preparado para que el agua allí contenida no se congele; en verano debe prevenirse la evaporación. La instalación de cañerías es muy crítica, ya que se pueden producir filtraciones dentro del centro de datos con consecuencias peligrosas, pero permite distancias más largas que los sistemas exteriores e interiores, [2]</p>	<p>Es similar al sistema de refrigeración por agua, pero en este caso, existe en el módulo exterior. Posee un enfriador que disminuye la temperatura del agua a 7°C, haciendo que el agua llegue al módulo interior a menor temperatura, luego aire caliente pasa por las cañerías y se enfría por medio de los radiadores. Se utiliza en centros de Datos grandes, o donde la densidad de enfriamiento requerida es alta. Las cañerías pueden recorrer mayores distancias. Se recomienda para instalaciones de alta densidad que requieran mínimo 100kW (de lo contrario es demasiado costoso). Si bien es el método más eficiente de disipación de calor, su principal desventaja es que las tuberías con agua deben ingresar a la superficie del centro de datos donde se encuentran los servidores, lo que genera un riesgo que debe ser tenido en cuenta, [2].</p>

1. Fallas del o los equipos activos.
2. Esfuerzo adicional para satisfacer la demanda en horarios pico.
3. Rotación Manual/Automática en formas periódicas.
4. Mantenimientos programados de equipos Activos, [36].

8.2. Energía en Equipo de refrigeración y flujo de aire

El 99% de la energía eléctrica consumida en un centro de datos se transfiere en forma de calor al espacio. A menos que este calor sea removido, la temperatura del centro de datos se incrementa hasta el punto en que el equipo de TI se sobrecalienta y falla.

El equipo de TI está diseñado para trabajar a ciertos rangos de temperatura, por lo que debe existir un sistema de refrigeración que mantenga una temperatura óptima mediante la extracción del calor generado. El calor es simplemente una forma de energía, y para extraerla se necesita de otras energías. Por cada unidad de energía eléctrica consumida, se genera casi una unidad de energía en forma de calor, la cual hace que el equipo de refrigeración necesite más o menos una unidad de energía para extraerla. Así, se deduce que un gran gasto en energía eléctrica implica un gran gasto en energía dedicada al enfriamiento, y por esta razón la eficiencia del equipo de refrigeración es de gran importancia. Mejorar la eficiencia tiene varios retos, ya que la dinámica del calor en los centro de datos es muy compleja. Se recomiendan las siguientes tecnologías de equipo de refrigeración:

1. Aires Acondicionados de precisión, especiales para mantener una temperatura y humedad muy precisas.
2. Unidades de aire tipo Closely Coupled Cooling: enfrían áreas específicas, como pasillos, rack o servidor, a distancia cercana evitando mezclas de aire frío con el caliente por trayectorias cortas.

3. Tecnologías de compresores como digital scroll.
4. Dimensionar el sistema de enfriamiento tomando en cuenta cargas presentes y futuras.
5. Sobredimensionar el equipo de enfriamiento.
6. Enfocarse en los espacios más difíciles de enfriar.
7. Si se poseen diferentes unidades de climatización, coordinar por medio de sistemas de control los momentos de enfriamiento y humidificación/deshumidificación [11].

Para tener un flujo de aire óptimo y así reducir el incremento energético se recomienda:

1. Rutas de aire cortas.
2. Rangos de temperaturas dependiendo el diseño y recomendación del fabricante de los equipos TI.
3. Cableado estructurado ordenado para maximizar el flujo de aire dentro de los Racks
4. Pisos elevados.
5. Pasillos de aire frío /aire caliente.
6. Analizar el centro de datos con termografía infrarroja [11].

8.3. Cargas Eléctrica de Sistemas de Refrigeración

Los sistemas de refrigeración varían enormemente en cuanto a su eficiencia, pero pueden clasificarse en sistemas de agua enfriada y sistemas de expansión directa. Los sistemas de agua enfriada son en general más eficientes y, como regla general, para el consumo de energía puede considerarse el 70% de la carga de cresta total a la que se ofrece soporte. Los sistemas de expansión directa requieren aproximadamente el 100% de la carga de cresta total a la que se ofrece soporte. Las cargas de refrigeración tienen cargas de cresta iniciales que exceden los valores en estado estable que se contemplan en este cálculo [37].

8.4. Método Pasillo Frío/Caliente

Los servidores, dispositivos de áreas de almacenamiento y los equipos de comunicación vienen

cada vez más pequeños y potentes. La tendencia es usar más equipos en espacios más pequeños, y de esta forma se concentra una cantidad increíble de calor. La circulación de aire también es muy importante. Para favorecer la circulación de aire, la industria ha adoptado un procedimiento conocido como “hot aisle/cold aisle” (“pasillo caliente/pasillo frío”). En una configuración hot aisle/cold aisle, los racks de los equipos se disponen en filas alternas de pasillos calientes y fríos. En el pasillo frío, los racks de los equipos se disponen frente a frente. En el pasillo caliente, están dorso contra dorso. Las placas perforadas en el piso elevado de los pasillos fríos permiten que llegue aire frío al frente de los equipos. Este aire frío envuelve al equipo y se expulsa por la parte trasera hacia pasillo caliente. En el pasillo caliente, desde luego, no hay placas perforadas para evitar que se mezclen el aire caliente con el frío [18].

Este método, Figura 9, obtuvo una gran aprobación por parte de la industria. De hecho, forma parte de la recomendación de la norma TIA-942. Lamentablemente, el sistema no es perfecto. Si bien es normal que los equipos expulsen calor por la parte trasera, no es un procedimiento universal. Algunos equipos succionan aire por la parte inferior y expulsan el aire calentado por la parte superior o los costados. Algunos toman aire frío por los costados y expulsan aire caliente por la parte superior. Si se exigen más medidas, se pueden probar las siguientes alternativas:

1. Dispersar los equipos por las partes sin usar del piso elevado. Obviamente, es una alternativa válida sólo si hay espacio sin usar disponible.
2. Aumentar la altura del piso elevado. Duplicar la altura del piso ha demostrado aumentar la corriente de aire hasta un 50%.
3. Usar racks abiertos en lugar de gabinetes. Si no se puede usar racks por motivos de seguridad o por la profundidad de los servidores, se puede usar gabinetes con una malla en el frente y el dorso como alternativa [18].

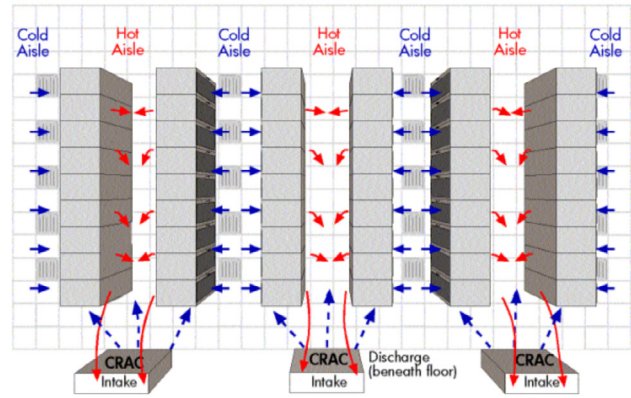


Figura 9. Disposición general de un centro de datos. Sistema pasillo frío/caliente [38].

9. Ejemplos de centro de datos Implementados

9.1. Aire Acondicionado de centro de datos Nivel TIER I, en el Gobierno Descentralizado Municipal de San Pedro de Pimampiro (Ecuador) 2015, [39].

El aire Acondicionado implementado contó con las siguientes características técnicas:

Equipamiento energizado en forma exclusiva, sin compartir alimentación con otras cargas. Ubicación adecuada para optimizar el suministro de flujo de aire Figura 10a. El aire acondicionado suministra flujo de aire desde el suelo, sin utilizar mangueras ni accesorios complementarios. Los gabinetes se encuentran ubicados en fila para formar un corredor de aire frío (frontal), y uno de aire caliente (posterior) Figura 10b.

Se utilizó refrigerante R407c que circulara a través de los componentes del sistema de refrigeración. Para detección de vapor contaminante en la sala, el sistema requirió un humidificador infrarrojo. Incorpora microprocesadores con precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $\pm 5\%$ de humedad relativa. El sistema tiene pantalla digital frontal que indica las condiciones ambientales y el estado de operación en modo normal. Permite monitoreo remoto de alarmas mediante Interfaz TCP/IP. Posee sensor de detección de líquidos dentro del

plénium del Piso Técnico Figura 11b. La ubicación de los paneles de salida evita el retorno del aire frío prematuramente o sin que pase por todos los equipos, [39].

9.2 Centro de datos y centro de Monitoreo TIER III

Ver Figura 12, 13 y Tabla 5 [40].

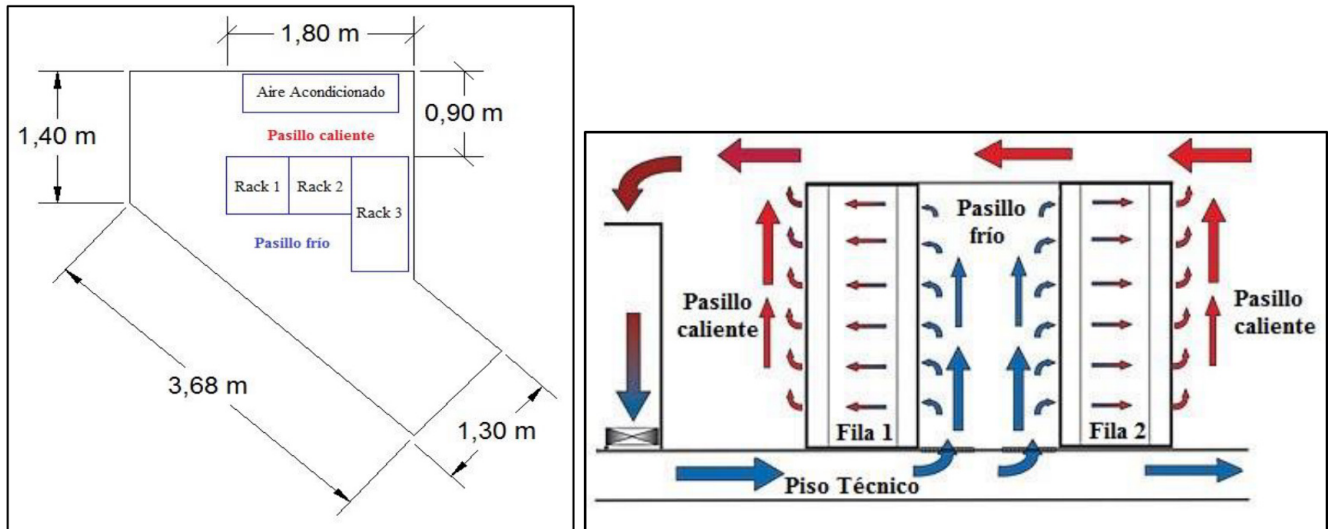


Figura 10. a) Ubicación del equipo de aire acondicionado dentro de centro de datos.
b) Distribución de flujo de aire en el centro de datos. Ejemplo 1 [39].

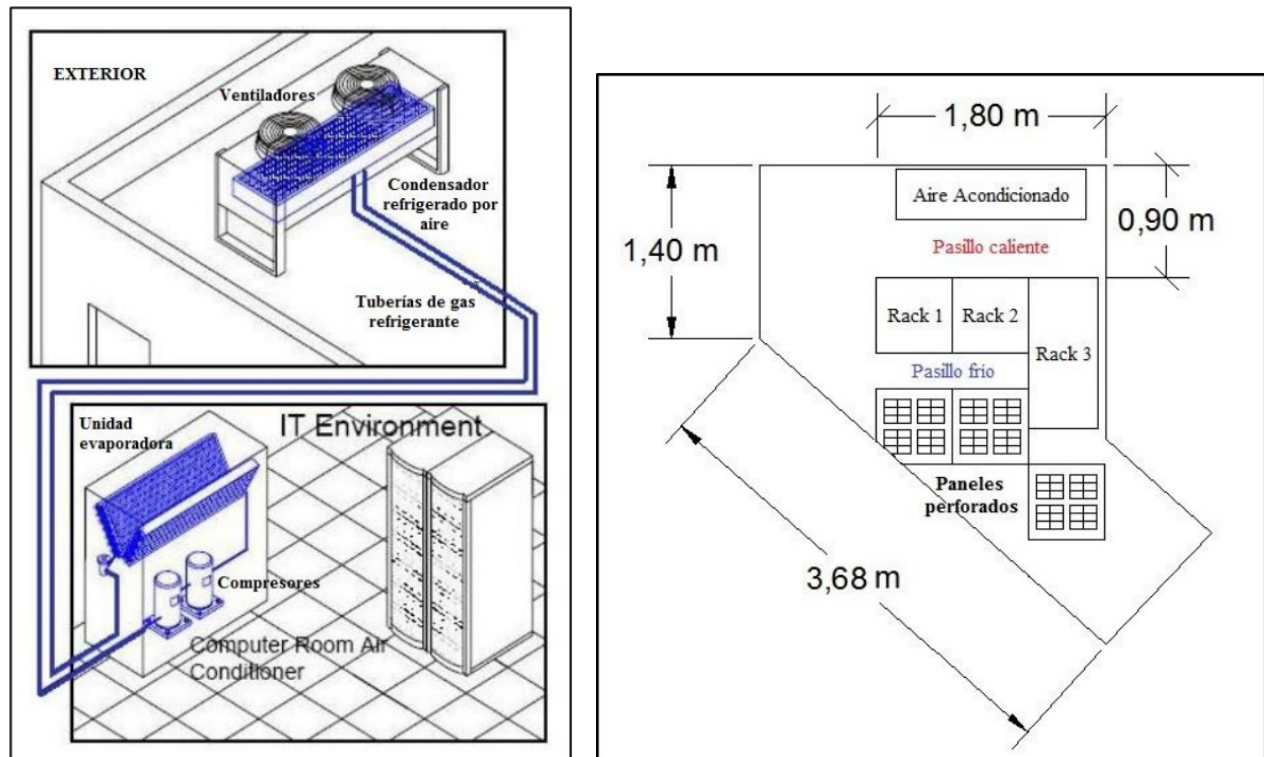


Figura. 11 a) Componentes del sistema de climatización.
b) Ubicación de paneles de salida [39].



Figura 12. Equipo de Precisión que se instalado en centro de datos TIER III, marca Liebert [40].

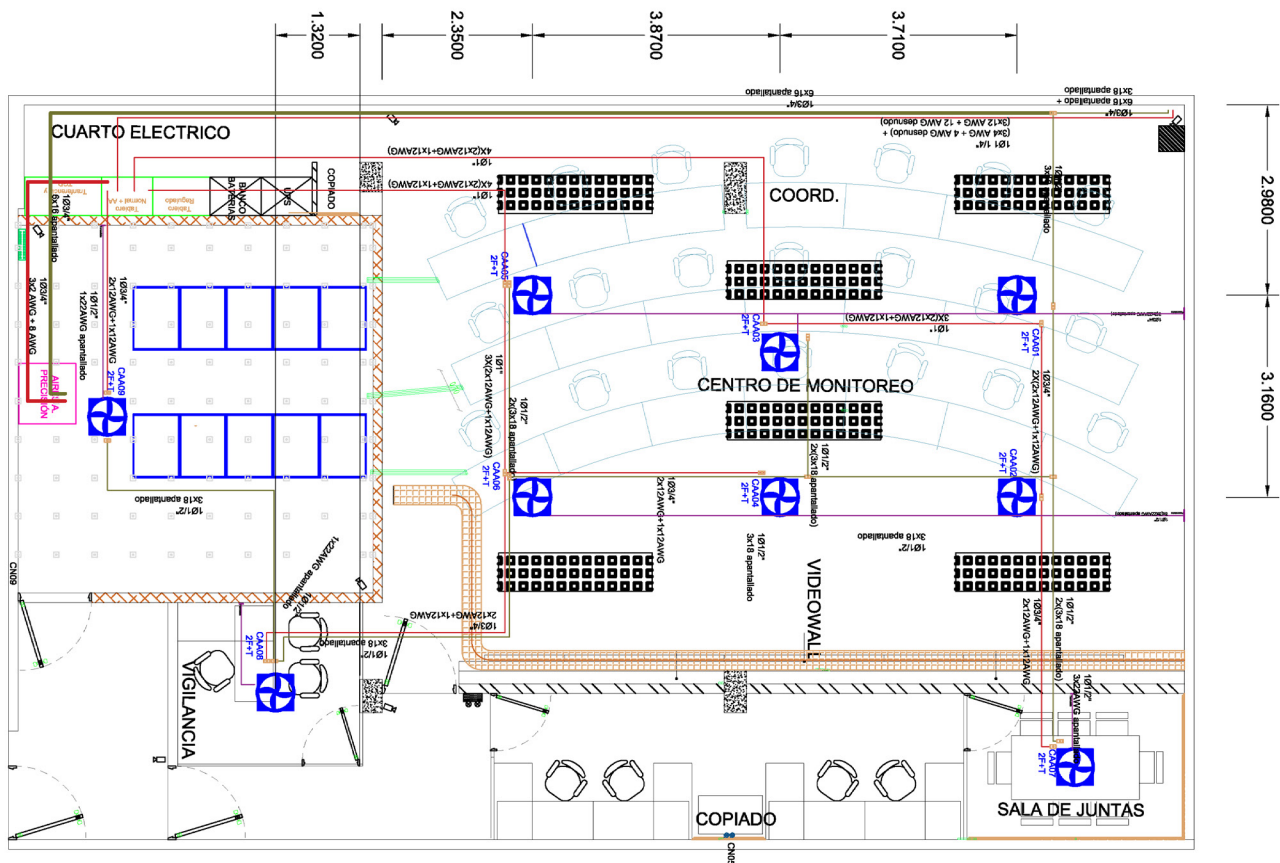


Figura 13. Plano de distribución aire acondicionado y aire de precisión instalado en centro de datos TIER3, 2017 [41].

Tabla 5. Características equipo de precisión Nivel TIER III [40].

Características Generales
Tensión de funcionamiento: 208 VAC, 3 fases+N+T
Frecuencia de Operación: 60 Hz
Capacidad nominal mínimo 5TR
Tipo de enfriamiento: Expansión directa
Tipo de condensadora: exterior enfriada por Aire
Posibilidad de trabajar en grupo
Características de la estructura y las cubiertas
La estructura conformada por perfiles metálicos soldados con proceso de soldadura MIG (Metal Inert Gas) con recubrimiento resistente a la corrosión
Las cubiertas de la evaporadora con aislante de mínimo 1"
Características de Ventilación
Refrigerante: R410-A
Circulación del Aire: downflow
Acceso para mantenimiento: Frontal y posterior exclusivamente (No debe requerir acceso lateral)
Compresor: Digital Scroll
Circuitos de refrigeración independientes: uno (1)
Filtros ASHRAE 52.1 (G4) - MERV 8
Serpentín de la evaporadora construida con tubos de cobre y aletas de aluminio. Debe incluir bandeja de condensado
Ventiladores tipo ECFAN
Capacidad de ventilación mínimo 6500 m ³ /h

10. Conclusiones

- Haciendo uso del modelo matemático expuesto, es posible establecer -a partir de tener en cuenta la mayor cantidad de variables que intervienen en un proyecto de UCDC- la Ingeniería conceptual que derive en un *Estado del Arte* del *sistema-solución* más factible a instalar. En consecuencia, la *Arquitectura* y características del equipo y los elementos del *sistema-solución* de una UCDC serán transparentes para las organizaciones; y las especificaciones de los *Equipos*, instrumentos, materiales y recursos a invertir, más cercanos a la realidad de implementación del *sistema-solución*.
- Encontrar el equipo que se adapte a las demandas del centro de datos que se requiera implementar, y adicionalmente aplicar estándares y normativas expuestas, redundando en un centro de datos óptimo y amigable con el medio ambiente.
- Observar y revisar las normas que abarcan la implementación del centro de datos, específicamente a las Unidades de Climatización según el nivel que se requiera implementar -así como las exigencias que se tienen gubernamentalmente- permiten adoptar implementaciones y estándares que hacen eficientes las aplicaciones.
- Los ejemplos prácticos de caso exitosos de Unidades de Climatización implementadas en un centro de datos, logran contextualizar mejor los sistemas, la ubicación y distribución y la relación/necesidad que tienen las Unidades de Climatización con los centro de datos. Adicionalmente, en la literatura [29], [42–47] se encuentran muchos otros sistemas implementados con el uso de estos estándares y normativas.
- Dar a conocer las diferencias que existen entre las Unidades de Climatización de Precisión y

los aires acondicionados de confort, y la razón principal por la cual no deben ser utilizados en centro de datos especializados, especialmente de Nivel II en adelante, y viceversa, justifica porqué una unidad de precisión no puede ser aplicada a recintos donde se encuentre personal laborando permanentemente.

6. En términos del modelamiento matemático, se puede encontrar en la literatura [48-56] enfoques diversos cuyas variables de entrada salida no son diferentes a las aquí mostradas, pero se basan en distribuciones de calor de tipo adaptativo.

Referencias

- [1] Tempco Blog, "Centro de datos cooling can save energy", 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.tempco.it/blog/en/4512/data-center-cooling-can-save-energy/>
- [2] G. Pacio, "Centro de datos Hoy", 1.ª ed. Buenos Aires: Alfaomega, 2014.
- [3] I. J. Guerrero G., M. F. Molina R., "Ingeniería conceptual Básica y de Detalle para el Sistema de Automatización de un edificio comercial de gran superficie", 2010, Trabajo de Grado Ingeniería Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7046/tesis491.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] L. D. López, "DataCenter Diseño Sostenible", RCDD, BICSI ANDINO y 7º Congreso y Muestra Comercial, Latinoamerica, 2012.
- [5] Acens, "¿Qué es un Centro de datos?", Acens Technologies. Madrid, España, p. 1, 2008.
- [6] I. L. Suarez, "Análisis de Sistemas que componen un Centro de datos", Ponencia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2018.
- [7] Grupo Electrotécnica, "Aires acondicionados de precisión, Grupo Electrotecnica", Centro America, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.grupoelectrotecnica.com/es/productos/aires-acondicionados-de-precision>
- [8] Hostname, "Infraestructura de Datacenter", Santiago de Chile, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.hostname.cl/datacenter>
- [9] MÁS AIRE, "Más Aire | Glosario De Componentes", Medellín, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.masaire.com/glosario-de-componentes/>
- [10] J. M. Monge Gómez y IT Ingenieros y Asesores Grupo Electrotécnica, "Estándares sobre Diseño y Funcionamiento de Centro de datos", Present. TIER, [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/7857274/Est%C3%A1ndares_sobre_Dise%C3%B1o_y_Funcionamiento_de_Data_Center
- [11] Ing. Peter De Ford y Departamento de Investigación y Desarrollo. Grupo Electrotécnica, "Eficiencia Energetica en Centro de datos White Paper #4", Costa Rica, 4, 2014.
- [12] SIMULSA, "Glosario de Refrigeración y Aire Acondicionado | SIMULSA", Mexico, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://simulsa.com.mx/glosario-de-refrigeracion-y-aire-acondicionado/>
- [13] Wikipedia, "Climatizador - Wikipedia, la enciclopedia libre", 2017. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Climatizador>
- [14] C. Cuevas y N. Fonseca, "Modelado de un sistema de refrigeración caracterizado en un rango amplio de condiciones de operación", *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 24, no. 4, pp. 728-739, 2016. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052016000400016>
- [15] W. E. S. C. y L. J., "Experimental analysis and simplified modelling of a hermetic scroll refrigeration compressor", *Appl. Therm. Eng.*, vol. 22, pp. 107-120, 2002.
- [16] K. Gungor y R. Winterton, "A general correlation for flow boiling in tubes and annuli", *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 29, pp. 351-358, 1986. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(86\)90205-x](https://doi.org/10.1016/0017-9310(86)90205-x)
- [17] F. Dittus y L. Boelter, "Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type", *Univ. Calif. Publ. Eng.*, vol. 2, pp. 443-461, 1930.

- [18] ADC Telecommunications Inc, "Informe Técnico, Cómo diseñar un centro de datos óptimo", ADC Informe Técnico, Minneapolis, Minnesota USA, pp. 1-12, 2005.
- [19] ANSI/TIA, *ANSI/TIA 942*. Europa, 2015.
- [20] W. P. Turner IV, J. H. Seader, y K. G. Brill, "Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance", *UPTIME Inst.*, 2005.
- [21] J. Joskowicz y Instituto de Ingeniería Eléctrica Facultad de Ingeniería Universidad de la Republica, "Cableado estructurado", Comunicaciones Corporativas Unificadas, vol. 11, Montevideo, Uruguay, pp. 1-78, 2013.
- [22] L. Vinet y A. Zhedanov, "A "missing" family of classical orthogonal polynomials", *Clim. Chang. 2013 - Phys. Sci. Basis*, pp. 1-30, nov. 2010.
- [23] PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, "Normas Internacionales de Refrigeración y Aire Acondicionado", Paris, Francia, 2015.
- [24] ASHRAE, "Ashrae Colombia". [En línea]. Disponible en: <http://colombia.ashraechapters.org/>
- [25] ASHRAE, "ASHREA org". [En línea]. Disponible en: <https://www.ashrae.org/>
- [26] Ministerio de Minas y Energía - Colombia, "Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE". [En línea]. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/retie>
- [27] ICONTEC Colombia, NTC 2050, Código Eléctrico Colombiano. Colombia: ICONTEC - COLOMBIA, 1998, p. 1020.
- [28] ISO, ISO 9000:2015(es), Sistemas de Gestión de la Calidad. 2015.
- [29] J. Pérez y M. Rebollo, "Diseño de centro de datos niveles III y IV para su implementación e interconexión, en una empresa prestadora de servicios médicos en la ciudad de cartagena de indias", Trabajo de monografía para obtener el título de especialista en Redes y telecomunicaciones, Universidad tecnológica de bolívar, 2011.
- [30] Uptime Institute, "Infraestructura para Centros de datos Tier Standard : Topología", Seattle, Washington. [En línea]. Disponible en: <https://es.uptimeinstitute.com/resources/asset/tier-standard-topology>
- [31] ICREA "International Computer Room Experts Association", Norma ICREA. Mexico, 2017.
- [32] ICREA International Computer Room Experts Association, "Criterios Generales de Certificación ICREA 2017 Nota Técnica", Norma ICREA Std-131-2017, pp. 1-10, 2017.
- [33] Rafael Lopez Pabello, "Climatización para un futuro sustentable". [En línea]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2017/12/climatizacion-futuro-sustentable/>
- [34] Pablo Hernandez, "Aire acondicionado de precisión en centros de datos". [En línea]. Disponible en: <http://www.datacenterconsultores.com/aire-acondicionado-de-precision-en-centros-de-datos>
- [35] Energex, "Energex | Aires Acondicionados - Energex". [En línea]. Disponible en: <http://www.energex.com.co/productos/aires-acondicionados/>
- [36] Clima Control, "Sistema de Aire Acondicionado de Precisión Climatización en CENTRO DE DATOS", Argentina. [En línea]. Disponible en: http://www.asoc.egresados.efn.uncor.edu/archivos/Sist_AA_3_mod_Climatizacion_Data_Center.pdf
- [37] V. Avelar, "Cálculo del requisito total de potencia para los centros de datos", APC, pp. 1-12, 2010.
- [38] R. Ramos Pollán, "Diseño y dimensionamiento de Centro de datos Universidad Nacional 2013", Univ. Nac., pp. 1-55, 2013.
- [39] D. E. Onofre Garrido, "Diseño de la Infraestructura Física del Centro de datos en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Pedro de Pimampiro basado en la Norma Internacional ICREA-Std-131-2013", Univ. Tec. del Norte, pp. 1-43, 2013.
- [40] A. Escobar D, "Notas de Clase, Ingeniería de Detalle Centro de datos". UDFJC-FT , Bogota, pp. 1-47, 2018.
- [41] A. Escobar D, "Notas de Clase Diagrama Aire Centro de datos UDFJC-FT". UDFJC-FT, Bogota, p. 1, 2018.

- [42] K. Dunlap, "Auditoría de esquemas de enfriamiento para identificar posibles problemas de enfriamiento en centros de datos" [En línea] Disponible en: https://www.apc.com/salestools/vavr-5ugvcn/vavr-5ugvcn_r2_ls.pdf
- [43] L. Castillo, "Diseño De Infraestructura De Telecomunicaciones Para Un Centro de datos", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2008.
- [44] J. Maldonado Mahauad, "Diseño De Un Centro De Datos Basado En Estandares. Caso Práctico: Diseño Del Centro De Datos Del Colegio Latinoamericano", Universidad de Cuenca, 2010.
- [45] L. N. Polo Soria, "Diseño de un Centro de datos para el ISP readynet cía. Ltda. fundamentado en la norma ansi/tia/eia-942", Escuela politécnica nacional, 2013.
- [46] E. H. Yaselga Yaselga, "Diseño del Centro de Datos para Petroecuador en el edificio matriz en base al Estándar TIA-942-2", 2013.
- [47] A. Enciso-Arias, "Alta Confiabilidad para Centros de Computo". Ponencia, Gran Estación Centro Comercial, p. 34, 2015.
- [48] P. A. Ortiz Valencia, A. Arias Londoño, y D. A. Guerreño Peña, "Modelo matemático no lineal en un sistema de temperatura para un recinto cerrado", *ITECKNE*, vol. 7, no. 2, pp. 165-174, 2010. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v7i2.284>
- [49] J. M. González López, E. Villalvazo Laureano, J. C. Rosas Caro, L. Ortiz Cortes, y F. J. Hernandez, "Modelado dinámico de un aire acondicionado basado en una estrategia electro-térmica", *Congr. Int. Energías Renov. y Mantén. Ind.* 2012, pp. 282-293, 2012.
- [50] M. G. Ortega Linares, "Modelado y control de sistemas de refrigeración por compresión de vapor", [En línea] Disponible en: https://canal.uned.es/uploads/material/Video/19321/Conferencia_Manuel_Gil_Ortega.pdf
- [51] J. E. Alonso Alfaya, M. G. Ortega Linares, y F. Rodríguez Rubio, "Modelado y Control Multivariable de un Sistema de Refrigeración por Compresión de Vapor". Trabajo Final de Máster Universitario en Automática, Robótica y Telemática, Univ. Sevilla, 2014.
- [52] P. Montes *et al.*, "Modelado de sistemas de refrigeración por compresión de vapor", *Dep. Termodinámica Apl. Univ. Politécnica Val.*, pp. 1-8.
- [53] P. Fernandez de Cordoba Castella, "Aplicaciones del modelado matemático en problemas energéticos: un recorrido desde la investigación a la creación de empresas", *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, vol. 36, no. 138, pp. 93-103, 2012.
- [54] P. P. Mogollón Vilca, "Modelación y control avanzado de un sistema de aire acondicionado para ahorro de consumo energético", *Repos. Inst. PIRHUA, Univ. PIURA*, pp. 1-162, 2016.
- [55] A. Bula y A. Márquez, "Modelación matemática y simulación de un sistema de acondicionamiento de aire en estado transitorio", *Ing. y Desarro. Univ. del Norte, Barranquilla, Colomb.*, n.º 11, pp. 107-121, 2002.
- [56] E. Martín Guillenm y E. Velasco Gomez, "Diseño de un Sistema de Aire Acondicionado/ Calefacción, Incluyendo Métodos Recuperativos y Energía Solar", *Univ. Valladolid, Esc. Ing. Ind., Tesis de grado para optar al título de Ingeniero mecánico*, 2014.

