

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTRALES DE
TELECOMUNICACIONES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
DE AA TIPO PRECISIÓN CON FREECOOLING INDIRECTO**

FABIO ANDRÉS ALFONSO GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN
BUCARAMANGA
2019**

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTRALES DE
TELECOMUNICACIONES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
DE AA TIPO PRECISIÓN CON FREECOOLING INDIRECTO**

FABIO ANDRES ALFONSO GONZALEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
INGENIERÍA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN**

**DIRECTOR
DAVID FUENTES
PHD. TECNOLOGÍA ENERGÉTICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2019**

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios y a la vida por permitirme tener la salud y los recursos para realizar este proceso de aprendizaje que estaba pendiente en mi formación.

A mis hijas y a mi esposa por su comprensión y apoyo incondicional durante las ausencias y momentos difíciles.

A las personas que me compartieron su tiempo y conocimiento y que de una u otra forma ayudaron a llevar a cabo este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
Justificación.....	16
Planteamiento del problema.....	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. ANÁLISIS DE LITERATURA RECOPIADA.....	20
2.1 MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.1 Centrales de telecomunicaciones como CPD'S.....	20
2.1.2 Climatización del Centro de Procesamiento de Datos.....	21
2.1.3 Estudio de carga térmica en CPD.....	22
2.1.4 Selección de equipos.....	24
2.1.5 Distribución de aire en un CPD.....	25
2.1.6 Redundancia.....	29
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	33
2.2.1 Aire acondicionado Precisión Vs Confort.....	33
2.2.2 Eficiencia Energética en CPD's.....	36
2.2.2.1 El clima.....	39
2.2.2.2 Nivel de redundancia eléctrica y de climatización de la instalación	39
2.2.2.3 Eficiencia del sistema de climatización.....	39
2.2.2.4 La eficiencia del sistema eléctrico y UPS.....	39
2.2.2.5 Ocupación y capacidad del Data Center.....	39
2.2.3 Enfriamiento Libre o Free Cooling en CPD'S.....	41
2.2.3.1 Free Cooling Directo.....	42
2.2.3.2 Free Cooling Indirecto.....	44
2.2.3.3 Free Cooling Indirecto Simple Aire – Aire.....	45
2.2.3.4 Free Cooling Indirecto de Dos Etapas.....	47
2.2.3.5 Free Cooling Indirecto de Dos Etapas CRAC con Dry Cooler.....	47
2.2.3.6 Free Cooling Indirecto de Dos Etapas CRAH con Chiller.....	49
3. PLAN DE TRABAJO	51
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES A INTERVENIR	51

3.1.1 Central Tunja	51
3.1.1.1 Ubicación..	51
3.1.1.2 Climatología.....	51
3.1.1.3 Distribución arquitectónica.....	54
3.1.2 Central Sogamoso	54
3.1.2.1 Ubicación..	54
3.1.2.2 Climatología.....	55
3.1.2.3 Distribución arquitectónica.....	55
3.1.2.4 Sistema de climatización existente..	58
3.1.3 Central Tunja	58
3.1.3.1 Equipos.....	58
3.1.3.2 Condiciones actuales de temperatura y humedad relativa.	58
3.1.4 Central Sogamoso	62
3.1.4.1 Equipos.....	62
3.1.4.2 Condiciones actuales de temperatura y humedad relativa	62
4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	64
4.1 SELECCIÓN DE SISTEMA A IMPLEMENTAR	64
4.1.1 Descripción del Sistema a Implementar.....	69
4.1.2 Modos de funcionamiento.....	71
4.1.2.1 Modo free cooling total o FC.....	71
4.1.2.2 Modo free cooling parcial o MIX.....	72
4.1.2.3 Modo expansión directa DX.....	74
4.1.3 Condiciones esperadas de temperatura y humedad relativa	74
4.1.4 Cálculo de carga térmica	74
4.2 CENTRAL TUNJA	74
4.3 CENTRAL SOGAMOSO	76
4.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS	81
4.4.1 Consumo Energético Actual	82
4.4.2 Consumo Energético Esperado	83
5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA SOLUCIÓN	87
6. CONCLUSIONES	90
7. RECOMENDACIONES.....	91

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de redundancia estándar ANSI/TIA 942	30
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema AA freecooling directo	44
Tabla 3. Ventajas y desventajas sistema free cooling indirecto simple.....	46
Tabla 4. Ventajas y desventajas sistema free cooling indirecto dos etapas.	49
Tabla 5. Ventajas y desventajas sistema free cooling indirecto CRAH y Chiller.	50
Tabla 6. Equipos sistema AA actual Central Tunja	61
Tabla 7. Equipos sistema AA actual Central Sogamoso	62
Tabla 8. Matriz de selección sistema aire acondicionado free cooling.....	68
Tabla 9. Estimación carga térmica sala Conmutación Central Tunja.....	75
Tabla 10. Estimación carga térmica sala Transmisión Central Tunja.	76
Tabla 11. Estimación carga térmica sala Conmutación Central Sogamoso.....	79
Tabla 12. Estimación carga térmica sala Transmisión Central Sogamoso.	81
Tabla 13. Mediciones consumo de energía sistemas existentes central Tunja.	82
Tabla 14. Mediciones consumo de energía sistemas existentes central Sogamoso.	83
Tabla 15. Consumo sistema AA por componente según modo de operación	84
Tabla 16. Consumo sistema AA por componente según modo de operación.	85
Tabla 17. Costo operación anual sistema AA existente central Tunja	87
Tabla 18. Costo operación anual sistema AA proyectado central Tunja.....	87
Tabla 19. Presupuesto Implementación sistema AA Free cooling central Tunja ...	88
Tabla 20. Costo operación anual sistema AA existente central Sogamoso	88
Tabla 21. Costo operación anual sistema AA proyectado central Sogamoso.....	88
Tabla 22. Presupuesto Implementación sistema AA Free cooling central Sogamoso	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Causas de falla en componentes electrónicos.....	22
Figura 2. Cálculo carga térmica CPD.....	24
Figura 3. Distribución de aire mediante conductos en Datacenter.....	26
Figura 4. Distribución de aire por piso falso.	26
Figura 5. Equipo AA de descarga superior.	27
Figura 6. Equipo AA descarga inferior.	28
Figura 7. Distribución de aire por pasillos en CPD.....	29
Figura 8. Temperaturas data center ASHRAE 9.9	32
Figura 9. Enfriamiento sensible y latente en aires de confort y precisión	34
Figura 10. Distribución tipo del consumo energético del CPD.	37
Figura 11. Enfriamiento por compresor (1) vs free cooling (2).....	42
Figura 12. Free cooling directo.	43
Figura 13. Free cooling indirecto simple Aire - Aire.	46
Figura 14. Free cooling Indirecto Dos Etapas CRAH y Dry cooler.....	48
Figura 15. Free cooling Indirecto Dos Etapas CRAH y Chiller.....	50
Figura 16. Ubicación Central Movistar Tunja.	52
Figura 17. Registro anual temperatura Tunja	53
Figura 18. Registro anual humedad relativa Tunja.	53
Figura 19. Ubicación Central Movistar Sogamoso.	54
Figura 20. Distribución arquitectónica actual sala de conmutación Tunja.....	56
Figura 21. Distribución actual sala de transmisión Tunja.....	57
Figura 22. Registro anual temperatura Sogamoso.	57
Figura 23. Registro anual humedad relativa Sogamoso	58

GLOSARIO

CA:	Corriente alterna.
Calor Latente:	al calor que, al ser recibido por un cuerpo, no incrementa su temperatura, sino que es utilizado para que se produzca un cambio de estado o fase.
Calor Sensible:	energía calorífica que, suministrada a un cuerpo o un objeto, hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado o fase.
Carga Térmica:	en climatización o refrigeración es la cantidad de energía que se requiere vencer dentro de un recinto con el fin de mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica.
CD:	Corriente directa.
CFM:	pies cúbicos por minuto.
Chiller:	Enfriador de agua
COLTEL:	Colombia Telecomunicaciones
Confiabilidad:	probabilidad en que un sistema realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas
CPD:	Centro de procesamiento de Datos.
CRAC:	Computer Room Air Conditioner.
CRAH:	Computer Room Air Handler.
Datacenter:	Centro de procesamiento de datos.
DCE:	Data center Efficiency
Dry Cooler:	Intercambiador de calor aire agua que permite transferir calor del agua de un sistema al ambiente.
E.C.:	Electrónicamente Conmutado.
Eficiencia:	Relación entre la energía de entrada y la energía de salida de un sistema.

Entalpía:	La entalpía es la cantidad de energía contenida en una sustancia.
Equipo IT:	equipo informático para telecomunicaciones.
Free Cooling o Enfriamiento Libre:	Sistema de climatización que aprovecha las condiciones ambientales del lugar para realizar enfriamiento con ahorro de energía.
H.R.:	Humedad Relativa.
PAC:	Precision Air Conditioning.
PUE:	Power Usage Effectiveness
Rack:	elemento estándar diseñado para alojar físicamente equipo de comunicaciones y sus accesorios.
Redundancia:	en comunicaciones es la capacidad de un sistema para seguir operando ante posibles fallos que puedan ocurrir.
SAI:	Sistema de Alimentación Ininterrumpida.
T.R.:	toneladas de refrigeración.

RESUMEN

TÍTULO: MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTRALES DE TELECOMUNICACIONES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AA TIPO PRECISIÓN CON FREECOOLING INDIRECTO.¹

AUTOR: FABIO ANDRÉS ALFONSO GONZÁLEZ.²

PALABRAS CLAVES: Aire, eficiencia, free cooling, climatización, temperatura, humedad, clima, viabilidad.

DESCRIPCION:

Conforme la utilización de los sistemas modernos de comunicaciones se ha desarrollado y masificado, las tecnologías que los hacen posibles requieren cada vez más energía. Este es el caso de los sistemas de enfriamiento necesarios para que los recintos que albergan equipos puedan evacuar el calor generado por estos de manera que cuenten con las condiciones ambientales ideales para su adecuado funcionamiento.

Así las cosas, se ha hecho necesario explorar alternativas de acondicionamiento tendientes a la disminución del consumo energético las cuales, aunque son ofrecidas por los diferentes fabricantes no pueden ser aplicadas de manera generalizada.

En este estudio se ha planteado la implementación de sistemas de enfriamiento libre o free cooling para centrales de comunicaciones ubicadas en las ciudades de Tunja y Sogamoso, esperando lograr un mejoramiento de la eficiencia energética en los sistemas de climatización mediante el aprovechamiento de las condiciones ambientales.

Para tal fin, primeramente, se ha hecho énfasis en la diferencia que existe entre la climatización de confort y la de precisión debido a la pertinencia de esta última para recintos como las centrales de comunicaciones donde el componente de calor latente es mínimo comparado con el de calor sensible. Igualmente se ha realizado un análisis de literatura con el fin de contar con las bases teóricas que rigen este tipo de soluciones y determinar las diferentes alternativas de ahorro energético ofrecidas actualmente en el mercado, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas de los sitios de implementación.

Basados en lo anterior se realiza la selección de equipos y todo lo concerniente al desarrollo de la solución planteada, para finalmente realizar un análisis técnico económico de la misma y determinar el grado de ahorro energético que permite establecer el grado de recuperación de la inversión para el proyecto.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: David Fuentes, PhD Tecnología Energética

SUMMARY

TITLE: IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN TELECOMMUNICATION PLANS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF PRECISION-TYPE AA SYSTEMS WITH INDIRECT FREECOOLING.³

AUTHOR: FABIO ANDRES ALFONSO GONZALEZ.⁴

KEY WORDS: Air, efficiency, free cooling, air conditioning, temperature, humidity, weather, viability.

DESCRIPTION:

As the use of modern communications systems has developed and massified, the technologies that make them possible require more and more energy. This is the case of the necessary cooling systems so that the enclosures that house equipment can evacuate the heat generated by these so that they have the ideal environmental conditions for their proper functioning.

Thus, it has become necessary to explore alternatives for conditioning tending to the reduction of energy consumption which, although offered by different manufacturers cannot be applied in a generalized manner.

In this study, the implementation of free cooling or free cooling systems has been proposed for communication centers located in the cities of Tunja and Sogamoso, hoping to achieve an improvement in energy efficiency in air conditioning systems by taking advantage of environmental conditions.

For this purpose, firstly, emphasis has been placed on the difference between comfort and precision air conditioning due to the relevance of the latter for venues such as communications centers where the latent heat component is minimal compared to that of sensible heat. Likewise, a literature analysis has been carried out in order to have the theoretical bases that govern this type of solutions and to determine the different energy saving alternatives currently offered in the market, considering the weather conditions of the implementation sites.

Based on the above, the selection of equipment and everything related to the development of the proposed solution is carried out, to finally perform a technical economic analysis of it and determine the degree of energy saving that allows to establish the degree of recovery of the investment for the draft.

³ Degree Work

⁴ Faculty of physical-mechanical engineering. School of Mechanical Engineering. Director: David Fuentes, PhD Energy Technology

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se realiza a nivel de monografía, con el fin de explorar el estado del arte y las diferentes alternativas existentes actualmente en el mercado del acondicionamiento de aire de precisión, encaminadas al mejoramiento de la eficiencia energética en recintos que requieren enfriamiento constante con altos niveles de confiabilidad, como es el caso de las centrales de telecomunicaciones.

Dada la importancia que los sistemas de comunicaciones tienen en el día a día de las sociedades modernas y teniendo en cuenta los niveles de energía destinados al acondicionamiento de recintos dentro de dichos sistemas, se hace relevante la realización de trabajos en los que se referencien las técnicas o estrategias disponibles encaminadas a la disminución del consumo energético.

A nivel de acondicionamiento de aire, las técnicas de enfriamiento libre o free cooling son ampliamente utilizadas y probadas por los diferentes fabricantes, en países con climas estacionales donde las condiciones ambientales favorecen el intercambio de calor durante un gran número de horas al año. Sin embargo, en países como Colombia, ubicados a nivel del trópico y donde las bajas temperaturas son determinadas por la altitud, no existen estudios que permitan determinar la viabilidad para la implementación de sistemas de enfriamiento libre.

De acuerdo con lo anterior, se ha realizado este trabajo con el fin de evaluar la posibilidad real de mejoramiento de la eficiencia energética en sistemas de acondicionamiento de aire, para ciudades que en Colombia son conocidas como “de clima frío”, tal es el caso de Tunja y Sogamoso; de manera que sirva como referencia

JUSTIFICACIÓN

Dentro de su infraestructura, las empresas de telecomunicaciones deben contar con sitios para albergar equipos electrónicos de conmutación, transmisión y demás elementos necesarios para la prestación de los servicios de comunicaciones. Factores como la cobertura, el tráfico manejado y la ubicación estratégica, hacen que estos equipos deban instalarse en diferentes espacios que van desde casetas o contenedores, pasando por cuartos denominados radio bases, hasta edificaciones con grandes salas informáticas, conocidas como centrales.

Con el constante desarrollo tecnológico, estas centrales que antes albergaban un gran componente de equipos analógicos han venido migrando a tecnologías electrónicas lo que las ha convertido en centros de procesamiento de datos. Lo anterior, hace que cobren especial relevancia las condiciones de temperatura y humedad con que operen los diferentes equipos electrónicos encargados de la transmisión y recepción de señales dentro de dichos recintos. Unos valores de temperatura o humedad demasiado altos o bajos hacen que las tarjetas electrónicas o sus componentes no funcionen de manera adecuada, causando inconvenientes que van desde la afectación de la velocidad y calidad de la comunicación, hasta el deterioro y acortamiento de la vida útil del componente.

De acuerdo con lo anterior, las centrales de telecomunicaciones cuentan dentro de su infraestructura con sistemas de acondicionamiento de aire, que proveen las condiciones ambientales necesarias para el apropiado funcionamiento de los equipos de comunicaciones.

El consumo de energía eléctrica de estos sistemas de aire acondicionado representan un amplio porcentaje del consumo total requerido para la operación de la central, lo que genera en la actualidad la necesidad de buscar alternativas tendientes a minimizar dichos consumos, mediante el uso de sistemas energéticamente más eficientes, que por un lado cuenten con modernos desarrollos en componentes electromecánicos y avanzados sistemas de control y por otro lado, puedan aprovechar las condiciones ambientales del sitio para reducir el consumo eléctrico.

Dentro de estos desarrollos para mejorar eficiencia energética, se enmarcan los sistemas de acondicionamiento libre o freecooling, los cuales buscan aprovechar las condiciones ambientales del sitio, bajas temperaturas, con el fin realizar procesos térmicos que permitan de una u otra forma, evacuar el calor generado por los equipos de comunicaciones garantizando los requerimientos de temperatura y humedad relativa dentro de las salas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia Telecomunicaciones S.A. ESP y en general, todas las empresas de telecomunicaciones cuentan dentro de su infraestructura, con centrales en ciudades donde las temperaturas exteriores alcanzadas en algunas épocas del año son lo suficientemente bajas, para pensar en la implementación de sistemas de enfriamiento libre o freecooling, mediante los cuales se puedan obtener ahorros de energía en la operación del sistema de aire acondicionado.

Dentro de las centrales que se hallan ubicadas en regiones de clima frío, cobran especial importancia las que se encuentran ubicadas en el departamento de Boyacá, en las ciudades de Tunja y Sogamoso. Estas son estaciones de importancia estratégica a nivel nacional, de acuerdo con la jerarquización que les da el sistema, basándose en el tamaño de los servicios prestados a los clientes de la región y el impacto en la conectividad de estos con las demás regiones del país. Estas centrales son representativas en área y gasto de energía, si se tiene en cuenta que operan de manera ininterrumpida todo el año, por lo que se ha evaluado que son las indicadas para realizar el estudio que aquí se presenta.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad técnico-económica de la utilización de sistemas de enfriamiento libre para centrales de Colombia Telecomunicaciones ubicadas en las ciudades de Tunja y Sogamoso.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar características de funcionamiento del sistema de climatización actual.
- Determinar el nuevo sistema de aire acondicionado a implementar y cuál es la afectación de este en la climatización de las centrales a intervenir.
- Realizar el estudio de viabilidad económica del proyecto.

2. ANÁLISIS DE LITERATURA RECOPIADA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Centrales de telecomunicaciones como CPD'S. A lo largo de las últimas décadas, los sistemas de comunicaciones como la telefonía fija, la telefonía móvil, el internet y la televisión se han desarrollado y masificado de tal forma, que en la actualidad estas tecnologías hacen parte fundamental de la actividad humana en las sociedades modernas.

Conforme los desarrollos en hardware, software y aplicaciones se han venido haciendo cada vez más parte de la cotidianidad, las Tecnologías de Información y Telecomunicaciones, TIC, han venido también necesitando de crecimiento acelerado para garantizar conectividad, la cual hace parte fundamental de la globalización.

Las centrales que forman parte de las redes de comunicación hoy en día albergan equipos de diferentes tecnologías, encargados de la transmisión y conmutación de tráfico de llamadas fijas y móviles, datos, internet, sistemas de trabajo en línea, distribuidores y en general todos los servicios de conectividad que se manejan a nivel particular y corporativo.

Además de su función principal de conectar el circuito de entrada, que corresponde al originador de la llamada, con el circuito de salida que corresponde con el del destinatario de la misma de acuerdo con el número marcado por el primero, las centrales telefónicas también tienen otras funciones tales como prestar servicios de internet, generar los datos para facturación, el control de la red, la generación de estadísticas del servicio, guardar información de tráfico y todas las actividades que el desarrollo diario del servicio y la competencia entre operadores genera.

Por lo anterior, el componente de equipos electrónicos que se encuentra en una central de telecomunicaciones es muy alto respecto al resto de su infraestructura, convirtiendo estas centrales, que en el pasado eran prácticamente analógicas, en verdaderos centros de procesamiento de datos (CPD) o salas informáticas, con ordenadores, racks, equipos de almacenamiento de información, y demás sistemas necesarios para el tráfico de comunicaciones y procesamiento de la información.

2.1.2 Climatización del Centro de Procesamiento de Datos. Dada la importancia que tiene para la operación de un centro de procesamiento de datos, el garantizar las condiciones ambientales requeridas para el adecuado funcionamiento de los equipos de comunicaciones, se hace relevante contar con sistemas de climatización que garanticen dichas condiciones de manera ininterrumpida, con un alto nivel de confiabilidad y eficiencia.

Además de requerirse un adecuado control de la temperatura de las salas, en este tipo de aplicaciones el control cuidadoso de la humedad adquiere especial relevancia, por cuanto niveles de humedad baja pueden generar corrientes electrostáticas en los componentes electrónicos, que pueden ocasionar daños irreparables en los mismos. De otro lado humedades altas podrían generar condensaciones con efectos de oxidación y corto circuitos sobre estos componentes.

Como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, factores asociados a las variaciones de temperatura y humedad inciden de manera importante en más de la mitad de las fallas de estos componentes electrónicos, seguidos por vibraciones y presencia de polvo en los mismos (BCC, Inc.), haciendo evidente que dentro de la operación de esta infraestructura el papel de la adecuada climatización juegue un papel preponderante.

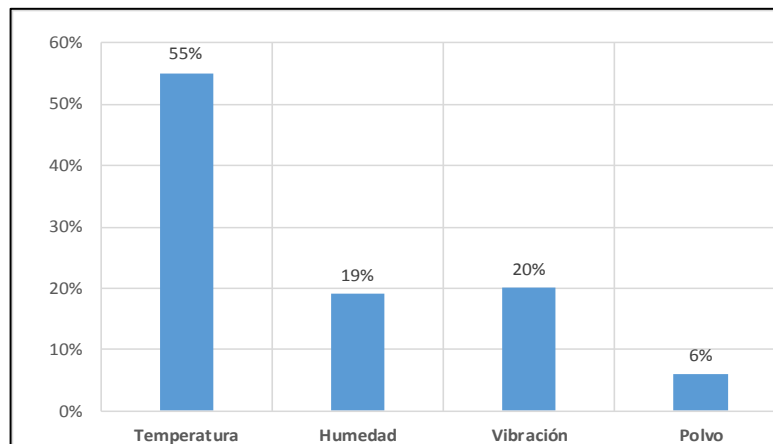


Figura 1. Causas de falla en componentes electrónicos

2.1.3 Estudio de carga térmica en CPD. Diferentes autores y compañías especializadas en climatización de CPD's enfocan el estudio de carga térmica de este tipo de aplicación de la manera que se describe a continuación.

La energía transmitida mediante informática u otros equipos de IT a través de las líneas de datos es insignificante. Por tanto, toda la energía que se consume de la red de suministro de alimentación de CA y CD se convierte esencialmente en calor. Este hecho hace posible que la energía térmica producida por los equipos de IT en vatios simplemente iguale al consumo energético en vatios.

La energía térmica total producida por un sistema es la suma de la energía térmica producida por cada uno de sus componentes. El sistema completo incluye los equipos de IT, además de otros elementos como SAI, distribución de alimentación, unidades de aire acondicionado, iluminación y personas. Afortunadamente, las tasas de energía térmica producida por estos elementos pueden determinarse fácilmente utilizando reglas simples y estandarizadas. (Neil Rasmussen, 2003)⁵.

Basada en lo anterior, existe una hoja de cálculo utilizada por implementadores como APC de Schneider Electric, que permite calcular de una manera rápida y fiable la carga térmica total producida por un centro de datos (Avelar, 2003). La tabla y su modo de empleo se muestran en la figura 2. En el análisis anterior se ignoran las cargas térmicas generadas a la envolvente por fuentes de calor ambiental como la luz del sol que entra por las ventanas y el calor que transmiten las paredes exteriores. Sin embargo, muchos pequeños centros de datos y salas de red no tienen paredes o ventanas al exterior, como lo recomiendan los estándares, (ANSI-TIA (American National Standards Institute – Telecommunications Industry Association), 2004), por lo que esta suposición no conlleva ningún error. No obstante, para los grandes centros de datos con paredes o techo expuestos al exterior, existe ganancia de calor adicional en el centro de datos que debe ser eliminado por el sistema de aire acondicionado.

Si la sala de datos está situada en los confines de un centro con aire acondicionado, pueden ignorarse las otras fuentes de calor. Si el centro de datos tiene una exposición significativa al exterior a través de las paredes o el techo, se deberá evaluar la carga térmica máxima de la envolvente, y ésta deberá sumarse a los requisitos térmicos de todo el sistema determinados para el equipo IT. Igualmente, en el estudio de carga térmica de un CPD debe tenerse en cuenta el control de humedad, pues el aire acondicionado en su función de refrigerar causa condensación con la consiguiente baja en la humedad, con lo que se hace necesario que el equipo de aire acondicionado controle los niveles de esta además de la temperatura.

⁵ Nota: la única excepción a esta regla son los routers de voz sobre IP (VoIP, Voice Over IP); en estos dispositivos hasta un 30% de la energía consumida por el dispositivo puede transmitirse a terminales remotos, de modo que su carga térmica puede ser inferior a la energía eléctrica que consumen. La suposición de que toda la energía eléctrica se disipa localmente, tal como se da a entender en este documento, dará una ligera sobrevaloración de la energía térmica producida por los routers de VoIP, un error insignificante en la mayoría de los casos. (Neil Rasmussen, 2003)

Elemento	Datos necesarios	Cálculo de la energía térmica producida	Subtotal de energía térmica producida
Equipos de TI	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de TI en vatios	_____ vatios
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	(0,04 x valor nominal del sistema de alimentación) + (0,06 x total alimentación carga TI)	_____ vatios
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	(0,02 x valor nominal del sistema de alimentación) + (0,02 x total alimentación carga TI)	_____ vatios
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	2,0 x superficie del suelo (sq ft) o 21,53 x superficie del suelo (m ²)	_____ vatios
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	100 x nº máx. personas	_____ vatios
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	_____ vatios

Figura 2. Cálculo carga térmica CPD

Fuente: Neil Rasmussen, *Cálculo de los requisitos de refrigeración para centros de datos*, APC, 2003. Disponible en internet: < https://www.apc.com/salestools/NRAN-5TE6HE/NRAN-5TE6HE_R1_ES.pdf >

2.1.4 Selección de equipos. La humidificación suplementaria crea una carga de calor adicional en la unidad de aire acondicionado de la sala de ordenadores (CRAC), disminuyendo de forma clara la capacidad de refrigeración de la unidad y haciendo necesario un sobredimensionamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta en los cálculos de carga térmica y la selección de los equipos de climatización es el sobredimensionamiento tanto para crear redundancia como para requerimientos futuros.

La redundancia hace referencia a la confiabilidad del sistema ante posibles fallas en los equipos de climatización y la posibilidad de efectuar paradas de mantenimiento preventivo o correctivo sin afectar la operación del CPD.

Los requerimientos futuros tienen que ver con la dinámica que manejan los CPD's en lo referente a la cantidad y el cambio constante de tecnologías de equipos IT. Esto hace necesario que se deba prever un número futuro de equipos con la correspondiente estimación de climatización para atender esta carga térmica.

Una vez determinados los requisitos de refrigeración, es posible dimensionar un sistema de aire acondicionado, teniendo en cuenta los siguientes factores, descritos anteriormente en este documento:

- El tamaño de la carga de refrigeración de los equipos (incluidos los de alimentación)
- El tamaño de la carga de refrigeración del edificio
- El sobredimensionamiento para compensar los efectos de la humidificación
- El sobredimensionamiento para crear redundancia
- El sobredimensionamiento para futuros requisitos

Las cargas en vatios de cada uno de estos factores pueden sumarse para determinar la carga térmica total. (Neil Rasmussen, 2003).

2.1.5 Distribución de aire en un CPD. Básicamente, existen dos maneras de llevar el aire frío de suministro desde los equipos de climatización hasta el equipo IT. Por medio de una red de conductos de distribución la cual se instala en la parte superior de la sala y entrega aire utilizando de rejillas, o mediante la implementación de piso elevado, el cual crea una cámara inferior presurizada que entrega el aire de manera localizada por medio de plafones perforados. (Figuras 3 y 4)

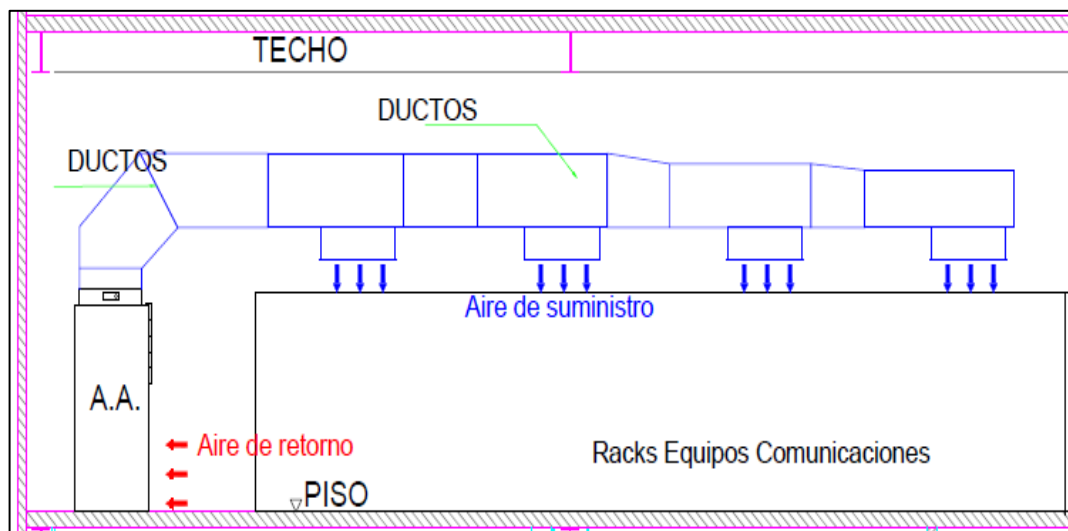


Figura 3. Distribución de aire mediante conductos en Datacenter.

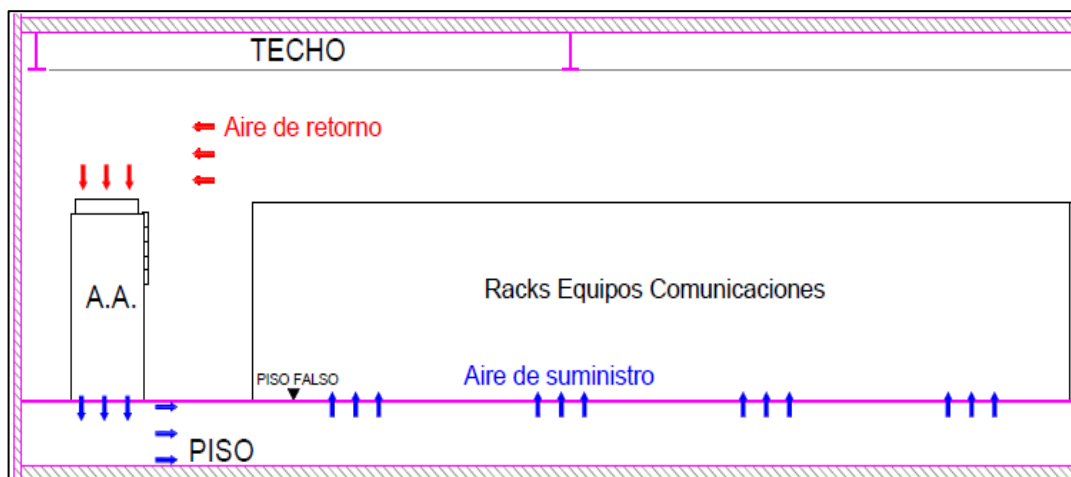


Figura 4. Distribución de aire por piso falso.

Una vez el aire frío de suministro llega a los racks, los equipos instalados dentro de estos cuentan con ventiladores internos que lo hacen circular por su interior, donde se da la transferencia de calor, para luego ser retornado al equipo de aire acondicionado y enfriado nuevamente. (Figura 7)

Dependiendo de la manera como se efectuó esta distribución de aire y el grado de mezcla entre aire de suministro y retorno, el sistema de climatización logrará un mayor o menor grado de eficiencia.

De acuerdo con esto, los equipos de aire acondicionado utilizados para enfriamiento de CPD's son diseñados para entregar el suministro de aire por la parte superior, up flow, para la utilización con conductos, figura 5, o por la parte inferior de la unidad, down flow, para la utilización con piso falso. Figura 6.

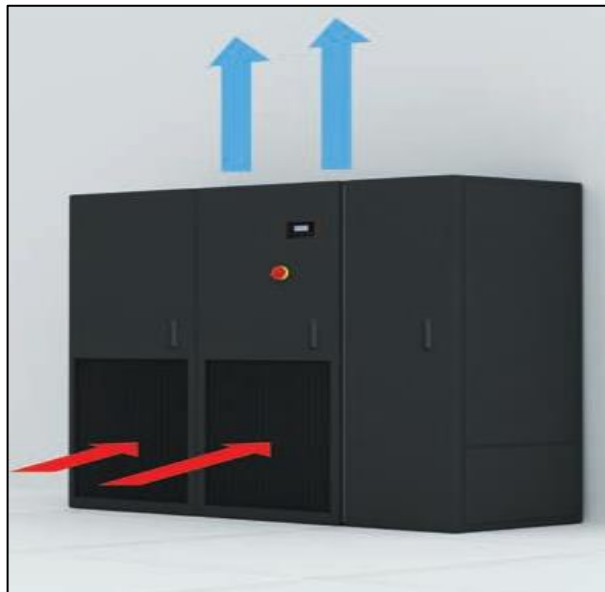


Figura 5. Equipo AA de descarga superior.

Fuente: Tecnair LV, *Catálogo genaral close control, Tecnair, 2017. Disponible en internet:* <tecnairlv.it/upload/products/Catlogo_General_close_control_10_2017.pdf>

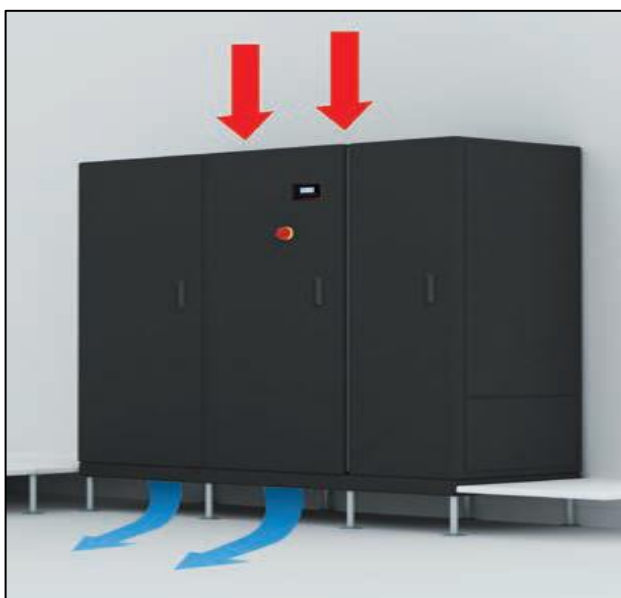


Figura 6. Equipo AA descarga inferior.

Fuente: Tecnair LV, *Catálogo genaral close control*, Tecnair, 2017. Disponible en internet:<tecnairlv.it/upload/products/Catlogo_General_close_control_10_2017.pdf>

Sabiendo que el sistema de climatización es uno de los grandes consumidores de energía en un CPD, se deben implementar estrategias con el fin de hacerlo lo más eficiente posible y una de ellas, la más básica, es lograr que el aire se distribuya y fluya de manera ordenada desde la unidad de climatización hasta el equipo IT y de vuelta.

Teniendo en cuenta que los equipos IT se instalan en gabinetes denominados racks, desde donde toman aire frío y disipan calor, se ha implementado la ubicación de los racks en filas de tal manera que se creen pasillos fríos y calientes de manera que se propicie una distribución ordenada del aire desde los equipos hacia los racks y de vuelta como se aprecia en el ejemplo de la figura 7.

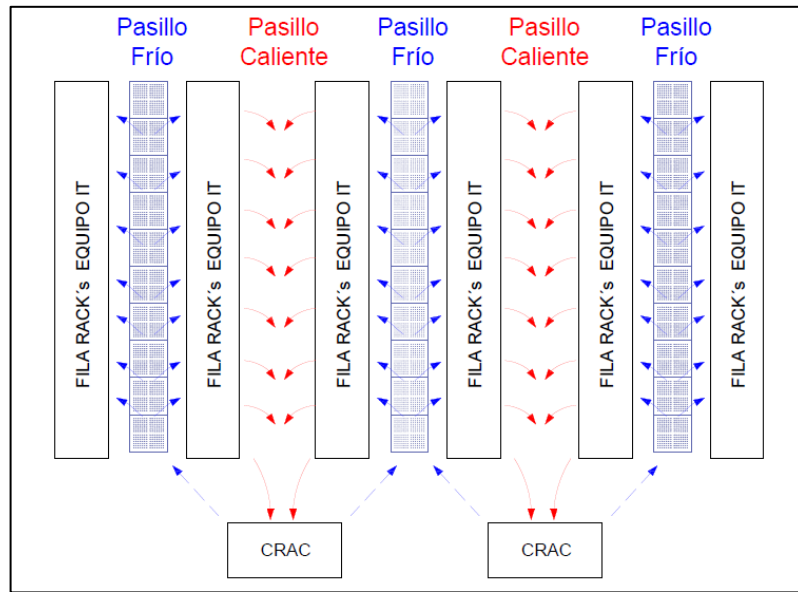


Figura 7. Distribución de aire por pasillos en CPD.

2.1.6 Redundancia. Debido a que los sistemas de climatización en un CPD deben garantizar las condiciones de operación en horario 7 x 24 durante todo el año, se hace necesario contar con equipos adicionales que permitan garantizar la suplencia durante eventos de fallo o mantenimiento.

Esta redundancia se logra mediante el funcionamiento de equipos adicionales que provean el 100% de la capacidad de refrigeración requerida, aun después del cierre de una unidad o falla de una o más unidades. El costo de la redundancia debe sopesarse en comparación con los costos proyectados que genere el tiempo de inactividad de la sala informática. (APC, 2003). Uptime Institute creó el sistema Tier Classification Estándar para evaluar de manera efectiva la infraestructura de los centros de datos en términos de los requisitos de una empresa para la disponibilidad de sistemas. El sistema Tier Classification ofrece a la industria de los centros de datos un método coherente para comparar las instalaciones personalizadas y normalmente únicas en función del rendimiento o el tiempo de productividad esperado de la infraestructura del sitio (<https://es.uptimeinstitute.com/tiers>, s.f.). Los diferentes niveles de redundancia conocidos como TIER, se encuentran plasmados dentro del estándar ANSI/TIA 942 del Uptime Institute, se aplican para los diferentes sistemas que conforman un CPD y se resumen en la tabla 1. (<http://www.clatec.com>, 2018)

Tabla 1. Niveles de redundancia estándar ANSI/TIA 942

Tier	% disponibilidad	% de indisponibilidad	Tiempo de indisponibilidad al año.
Tier I	99.67%	0.33%	28.82 horas
Tier II	99.74%	0.25%	22.68 horas
Tier III	99.98%	0.02%	1.57 horas
Tier IV	100.00%	0.01%	52.56 minutos

De acuerdo con lo anterior, se debe contar con un número de componentes en cada sistema que garantice el nivel de redundancia requerido. Dicho número de componentes se configura principalmente de dos maneras:

N+1 en que se cuenta con los componentes necesarios para la operación, más un componente de suplencia (Niveles TIER I, II Y III) o 2 (N+1) en se cuenta con doble componente redundante (TIER IV).

Rangos de operación. Los rangos de temperatura y humedad aceptables para el adecuado funcionamiento de un CPD dependen del tipo de equipo IT instalado dentro del mismo, así como del grado de confiabilidad que requiera la operación.

De acuerdo con lo anterior, ASHRAE en su estándar 9.9, (ASHRAE T.C. 9.9, 2011), ha clasificado los data centers en cuatro clases y recomienda condiciones de operación para cada clasificación. Ver figura 8.

A1: Equipos de cómputo que requieren un control riguroso de la temperatura, humedad relativa y punto de rocío. Generalmente son aplicaciones de misión crítica. Los equipos típicos son servidores comerciales y dispositivos de almacenamiento.

A2, A3 y A4: Estos ambientes requieren algún control sobre las variables medio ambientales (temperatura, humedad relativa y punto de rocío). Los equipos que encontramos son servidores de volumen, computadores personales, estaciones de trabajo y almacenamiento. La clase A2 tiene requerimientos más reducidos y la A4 los más amplios. (www.frclima.org, 2018).

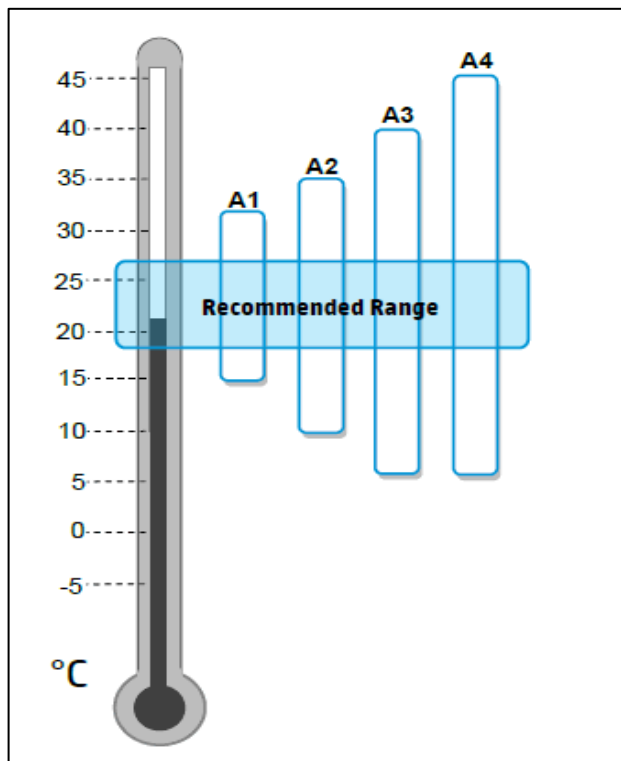


Figura 8. Temperaturas data center ASHRAE 9.9

Fuente: Carlos, Rangos de temperatura y humedad recomendados en CPD's, Friclima, 2018. Disponible en internet:< <https://www.friclima.org/rangos-de-temperatura-y-humedad-recomendados-en-cpds/>>

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Aire acondicionado Precisión Vs Confort. Los sistemas de aire acondicionado de confort estándares no han sido diseñados para hacer frente a la concentración y al perfil de las cargas de calor que se registra en las salas informáticas, ni para proporcionar los puntos de referencia precisos en materia de temperatura y humedad que se requieren para estas aplicaciones. Los sistemas de aire de precisión están diseñados para posibilitar un control riguroso de la temperatura y la humedad. Estos sistemas ofrecen altos niveles de confiabilidad funcionando todo el año, y brindan la facilidad de mantenimiento, la redundancia y la flexibilidad necesarias para que la sala informática se encuentre en actividad 24 horas al día.

Al realizar la climatización de un Centro de procesamiento de Datos (CPD), por pequeño que sea, no se debe utilizar un sistema de aire acondicionado de confort. Existe una gran diferencia entre climatizar equipos electrónicos y proporcionar un ambiente agradable para el confort de las personas. Para empezar, la gente agrega humedad al ambiente de una habitación y los equipos no. De tal manera que se debe tomar en consideración el “enfriamiento latente” (la habilidad de remover la humedad) y el “enfriamiento sensible” (la habilidad de remover el calor seco). Los aires acondicionados de ventana y los sistemas centrales en los edificios de oficinas están diseñados con una relación de enfriamiento sensible de 0.60 a 0.70. Lo anterior significa que el 60-70% del trabajo que un sistema de confort hace es remover calor y el otro 30-40% es remover humedad. Eso es suficiente para una habitación llena de gente con un tráfico moderado entrando y saliendo de la misma. En cambio, el aire acondicionado de precisión tiene una relación mucho más alta de enfriamiento sensible a enfriamiento total de 0.85 a 0.95. Esto es, el 85-95% del trabajo del Sistema de Precisión se dedica al enfriamiento efectivo del aire y apenas el 5-15% a remover la humedad. (P. Nuno, 2006). Ver figura 9.

Es decir, que hay dos cosas importantes a la hora de enfriar un CPD:

Se tendrá que instalar mayor capacidad de aire acondicionado de confort para obtener los mismos resultados que con un Sistema de Aire Acondicionado de Precisión.

Un sistema de confort extraerá la humedad por debajo de los límites aceptables para la operación eficiente de sus equipos. Lo cual significa que, o se expone a los problemas ocasionados por un ambiente muy seco, o tendrá que adquirir sistemas de humidificación adicionales. Con un sistema de precisión no existen tales problemas. Por un lado, no extraerá tanta humedad de aire y por otro, viene provisto de un sistema de humidificación integral que mantendrá, pase lo que pase, la humedad relativa exigida por los fabricantes de CPDs.

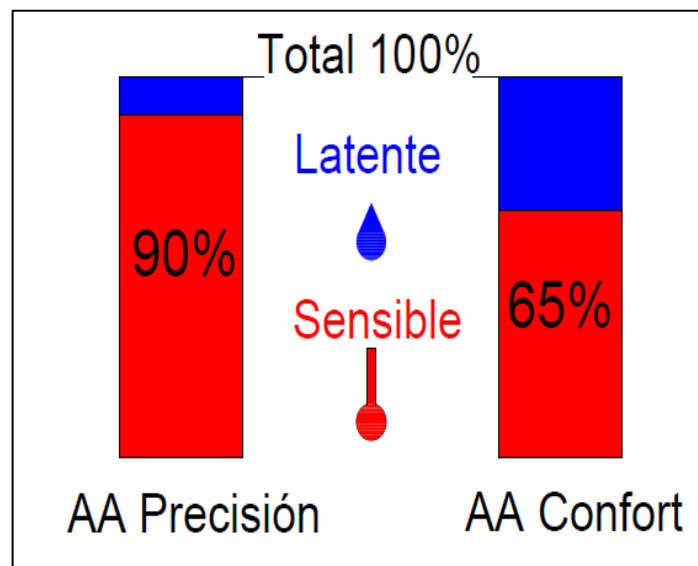


Figura 9. Enfriamiento sensible y latente en aires de confort y precisión

Otra gran diferencia entre sistemas de confort y de precisión es el volumen de aire que deberá moverse. Un sistema de precisión lo hará a través de los serpentines de enfriamiento a casi el doble de volumen que un sistema de confort para alcanzar su alta relación de enfriamiento total, manejar la densa carga térmica en los CPD y mantener, estrictamente, los niveles de temperatura y humedad relativa programados previamente. El movimiento de volúmenes mayores contribuye también a una mejor filtración de aire. (P. Nuno, 2006).

Una carga térmica consta de dos componentes independientes: calor sensible y calor latente. La incorporación o la extracción de calor sensible provocan cambios en la temperatura del bulbo seco. El calor latente se relaciona con el aumento o la disminución de la humedad que contiene el aire. La capacidad total de refrigeración de un aire acondicionado es la suma del calor sensible extraído y el calor latente extraído.

$$Q_{TOTAL} = Q_{SENSIBLE} + Q_{LATENTE}$$

El Factor de calor sensible (SHR) es la fracción sensible de la refrigeración total.

$$SHR = \frac{Q_{SENSIBLE}}{Q_{TOTAL}}$$

La densidad de calor en sistemas electrónicos es entre tres y cinco veces mayor que una instalación típica de confort, esta relación es incremental. Para ejemplificarlo, se requiere una tonelada de confort de capacidad de aire acondicionado (12,000BTU/hr o 3413 W) para 250-300 pies cuadrados de espacio de oficina, esto significa 15 W por pie cuadrado, en contraste, una tonelada de capacidad en aire acondicionado de precisión es requerida por cada 50-100 pies cuadrados de espacio de centro de datos. Lo cual significa más de 75 W. por pie cuadrado. Esto es un número promedio que va incrementando año tras año, algunos sitios pueden tener densidades tan grandes como 200-300 W. por pie cuadrado.

Desde el punto de vista de flujo de aire, los sistemas de precisión son diseñados para manejar mayores densidades de carga en centros de datos, un sistema de aire acondicionado de precisión logra una mayor relación de calor sensible, ayudando a mantener el objetivo de temperatura y humedad; además de que contribuye a una mejor filtración de aire ya que el volumen de aire desplazado es significativamente mayor. Los aires acondicionados de precisión proveen típicamente de 500 a 900 pies cúbicos por minuto (CFM) por tonelada de enfriamiento, en contraste con los 350 a 400 CFM típicamente entregados por un aire de confort.

Los sistemas de aire acondicionado de confort están diseñados para operar 8 horas por día y 5 días a la semana, esto significa unas 1,200 horas por año, asumiendo que el enfriamiento es requerido solo en horarios específicos, mientras que la mayoría de los centros de datos requieren disipación de calor 24 horas los 365 días por año sin importar las condiciones exteriores. Los sistemas de precisión y sus componentes están diseñados para cumplir con esta demanda y operar continuamente 8,760 horas por año, incluyendo ventiladores y componentes de conmutación y control. (Alejandra Castellanos, 2014)

A pesar de lo expuesto anteriormente, en Colombia existen operadores que realizan la climatización de algunas de sus centrales, mediante sistemas de aire acondicionado tipo confort, los cuales no son la solución más eficiente y confiable para este tipo de aplicación como se expondrá a continuación.

2.2.2 Eficiencia Energética en CPD's. Mantener operativo un CPD las veinticuatro horas del día durante todo el año, demanda una gran cantidad de energía, dado el número, diversidad de equipos y sistemas que lo conforman. Como puede apreciarse en la ilustración, el consumo energético de un Datacenter tipo está originado en gran parte por el sistema de enfriamiento de este, el cual garantizará las condiciones ambientales adecuadas para la operación de los equipos instalados.

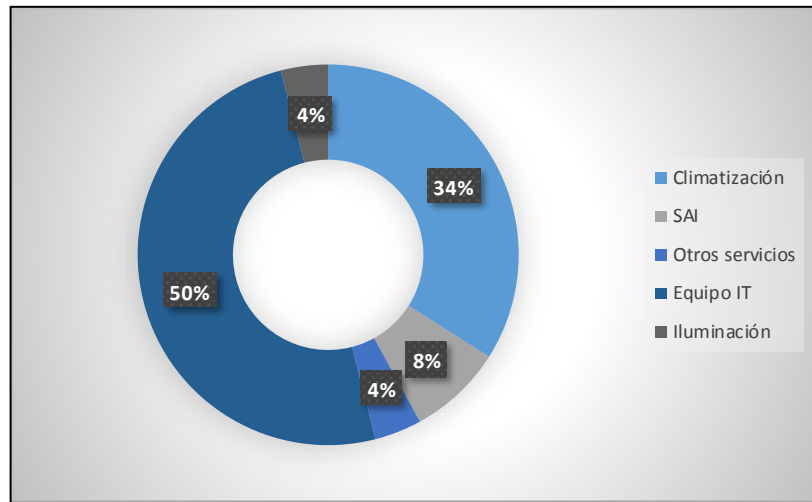


Figura 10. Distribución tipo del consumo energético del CPD.

En los Centros de Procesamiento de datos el factor energético es tan crítico que tiene un indicador específico: el PUE o Eficiencia en el Uso de la Energía (Power Usage Effectiveness por sus siglas en inglés), definido mediante la normativa emitida por The Green Grid, entidad de ámbito mundial constituida por más de 175 empresas de renombre internacional. (www.circuitor.es)

El gran consumo energético de estas edificaciones y el crecimiento esperado en los próximos años requiere un esfuerzo por lograr una alta eficiencia energética. El PUE es la principal métrica aceptada de forma generalizada por la industria, y proporciona al operador del Centro de Datos una estimación rápida de su eficiencia, comparando los resultados contra mediciones en otros proyectos similares.

Se calcula de la siguiente forma:

$$PUE = \frac{\text{Potencia eléctrica total del CPD}}{\text{Potencia eléctrica total equipos informáticos}}$$

El valor del PUE puede estar en un rango que va desde 1.0 hasta infinito. Un 1.0 de valor indicaría una eficiencia del 100%. Estudios demuestran que la mayoría de los centros de datos tienen valores de PUE cercanos a 3.0. Con la implementación de buenas prácticas y la optimización de la infraestructura, puede ser factible alcanzar valores de hasta 1.16, como el caso de empresas que enfatizan en la alta eficiencia energética, como Google, que para 2011 publicó un valor de 1,14 en el PUE de sus Datacenter. (Rojas, 2013)

El inverso del PUE es el DCiE (Datacenter Infraestructura Eficiencia), es decir, la potencia eléctrica consumida por el equipamiento TI dividida por la potencia eléctrica total del centro en porcentaje. Su valor máximo teórico es 100%, y sus valores típicos estarían entre 85% y 28%. (Carrero, 2016)

El PUE da una medida de la cantidad total de energía que necesita un centro que aloja sistemas informáticos y de comunicaciones en relación con la energía que estos sistemas utilizan directamente. Sumado a esto, las instalaciones de los centros de datos requieren mantener ciertas condiciones de temperatura y humedad para el correcto funcionamiento de los sistemas informáticos, que constituyen el principal costo energético. Además, un centro de datos debe proporcionar determinados niveles de redundancia eléctrica.

Todo este equipo e infraestructura requiere energía, que sumada al consumo directo de los sistemas conforman la factura eléctrica de un centro de datos. El PUE y el DCiE indican qué parte de la factura eléctrica es debido a los sistemas de TI directamente y cuál al resto de la infraestructura de soporte del centro de datos. A continuación, se hace referencia a los cinco factores que afectan el PUE

2.2.2.1 El clima. El valor de PUE medido cambia según la época del año. El clima afecta directamente a cualquier sistema de refrigeración que se esté utilizando en la instalación.

2.2.2.2 Nivel de redundancia eléctrica y de climatización de la instalación. A mayor disponibilidad de las infraestructuras y mayor redundancia de las instalaciones, mayor consumo eléctrico y menor eficiencia energética. No pueden compararse PUE de instalaciones con distinto nivel de redundancia.

2.2.2.3 Eficiencia del sistema de climatización. Es posiblemente el elemento que mayor impacto puede tener en el PUE, influyendo desde la tecnología utilizada en el sistema de climatización hasta la disposición de los Racks, retornos de aire y demás elementos que conforman el sistema de climatización.

2.2.2.4 La eficiencia del sistema eléctrico y UPS. Los UPS no son eficientes al 100%. La eficiencia de estos equipos es dependiente de la carga que alimenta y entre menor sea la carga que soporte con respecto a su capacidad nominal, menor será la eficiencia. La mayor parte de las instalaciones de centros de datos operan a bajos niveles de carga y los UPS raramente superan cargas de un 40% por motivos de redundancia, causando bajos niveles de eficiencia. Cuanto mayor sea la eficiencia de los UPS y a mayor carga se operen, obtendremos un mejor PUE.

2.2.2.5 Ocupación y capacidad del Data Center. La eficiencia del consumo eléctrico del centro también varía según su grado de ocupación. A menor ocupación, la eficiencia de tener el centro funcionando es menor debido tanto a la falta de carga de los UPS como al consumo en “stand-by” de los sistemas de climatización. (<http://centrodedatos.blogspot.com>, 2009).

Se considera que el mejor PUE es el más cercano al 1,0, aunque las ratios de 2,0 son, lamentablemente, muy comunes. Para mejorarlo muchas compañías como Apple, Google y Microsoft, junto a las empresas de hosting de centros de datos, han instalado algunos de sus grandes data centers en sitios adecuados para mejorar su eficiencia energética (es conocido el caso de Google, que tiene muchos de sus servidores en medio del océano Pacífico, y que además usa técnicas de enfriamiento por evaporación; no en vano, los centros de datos diseñados por Google utilizan la mitad de la energía de un centro de datos convencional). Además, muchos diseñadores de estos centros están empezando a utilizar otras fuentes de energía que no consuman combustible o que tengan una huella de carbono más baja (por ejemplo, Verne Global ha diseñado un centro de datos neutral en carbono en Islandia, que se nutre de fuentes de energía hidroeléctricas y geotermales) (Macias E. , 2012).

Miguel Ángel Ordoñez, director del área de CPD en IBM España, destaca en este sentido que “el uso de tecnologías de refrigeración basadas en enfriamiento gratuito por aire exterior, directo o indirecto se imponen en los entornos que son climatológicamente favorables. Se plantean proyectos con directrices claras de aprovechamiento de las condiciones del entorno. La fase de selección del sitio para un nuevo centro de datos está ahora protagonizada por la búsqueda de factores energéticamente favorables, como zonas con suministros más económicos, energías renovables, construcciones más sostenibles y certificables energéticamente. El avance ha sido significativo”, concluye.

La incorporación de tecnologías de virtualización extrema, hardware con refrigeración líquida o la implantación de avanzados sistemas de gestión energética en el centro de datos son otros aspectos al alza en este mercado. (Macias E. , 2012)

Las centrales que forman parte del presente estudio cuentan en la actualidad con sistemas tipo confort por expansión directa para el acondicionamiento de aire, por lo que se tendrá la oportunidad de estudiar la viabilidad de reemplazarlos por sistemas tecnológicamente más adecuados para este tipo de aplicaciones, que permitan mejorar la eficiencia energética con que cuentan en la actualidad.

2.2.3 Enfriamiento Libre o Free Cooling en CPD'S. El free cooling o enfriamiento libre, es un sistema de refrigeración de locales que aprovecha la baja entalpía del aire exterior, cuando las condiciones son favorables, para disminuir el uso de los equipos de aire acondicionado o algunos de sus componentes, con el fin de generar ahorros energéticos en la operación de estos.

Free Cooling significa que el consumo de energía del sistema de aire acondicionado en el sitio se reduce al mínimo necesario por medios adecuados, sin comprometer la confiabilidad y disponibilidad. Las palabras "medios adecuados" y "en el sitio" abren un abanico muy amplio de posibilidades. (Penske, 2015)

El freecooling y sus diferentes variables es aplicable en diversos casos, por ejemplo, refrigeración de grandes superficies comerciales, laboratorios de investigación, salas de computación, edificios de oficinas y CPD's. (www.empresaeeficiente.com, s.f.)

Para el caso de este estudio el enfoque se realizará en los sistemas de enfriamiento libre utilizados para CPD's ofrecidos por los diferentes fabricantes de estas soluciones, los cuales se describen en los numerales subsiguientes.

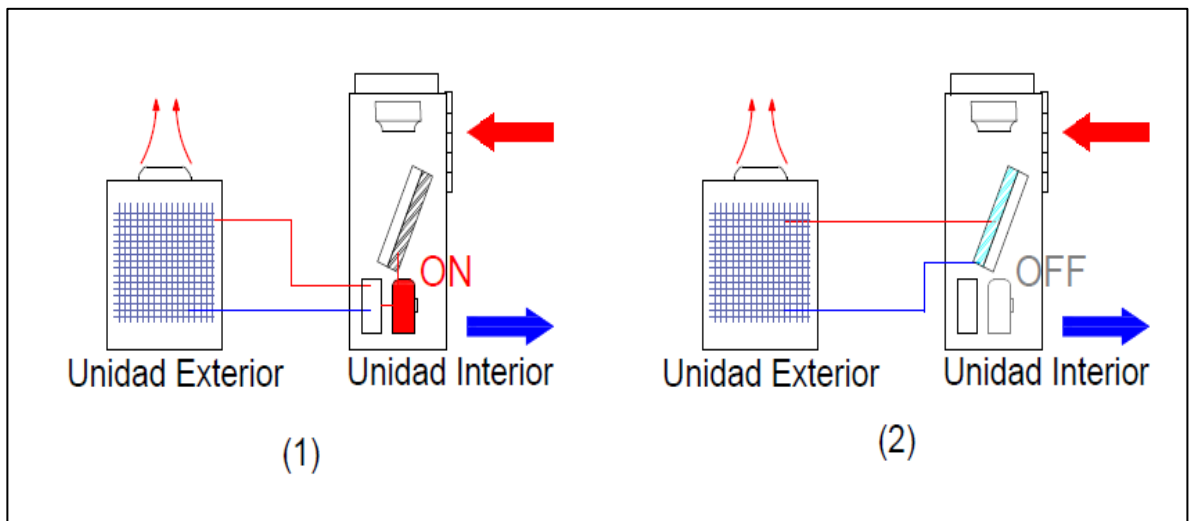


Figura 11. Enfriamiento por compresor (1) vs free cooling (2).

2.2.3.1 Free Cooling Directo. Se denomina Free Cooling Directo, a aquel sistema de enfriamiento libre que introduce aire exterior del ambiente, generalmente filtrado, directamente a la sala sin haber pasado previamente por algún tipo de serpentín de enfriamiento, evaporador, batería de agua helada, serpentín de calefacción, deshumectador o algún tipo de humidificador.

Al nivel más básico, free cooling directo podría ser descrito como sigue: Abrir una la ventana, soplar aire frío desde el exterior a través del centro de datos, recoger el calor, transportarlo de vuelta a fuera y listo. Físicamente hablando, esto es exactamente lo que ocurre. Sin embargo, el proceso de mover el aire requiere energía.

Desafortunadamente, en la vida real esto no es tan simple. El aire externo no siempre está en condiciones soportables por el equipo IT, algunas veces está demasiado caliente, algunas demasiado frío, algunas veces muy húmedo y otras veces muy seco. (Penske, 2015)

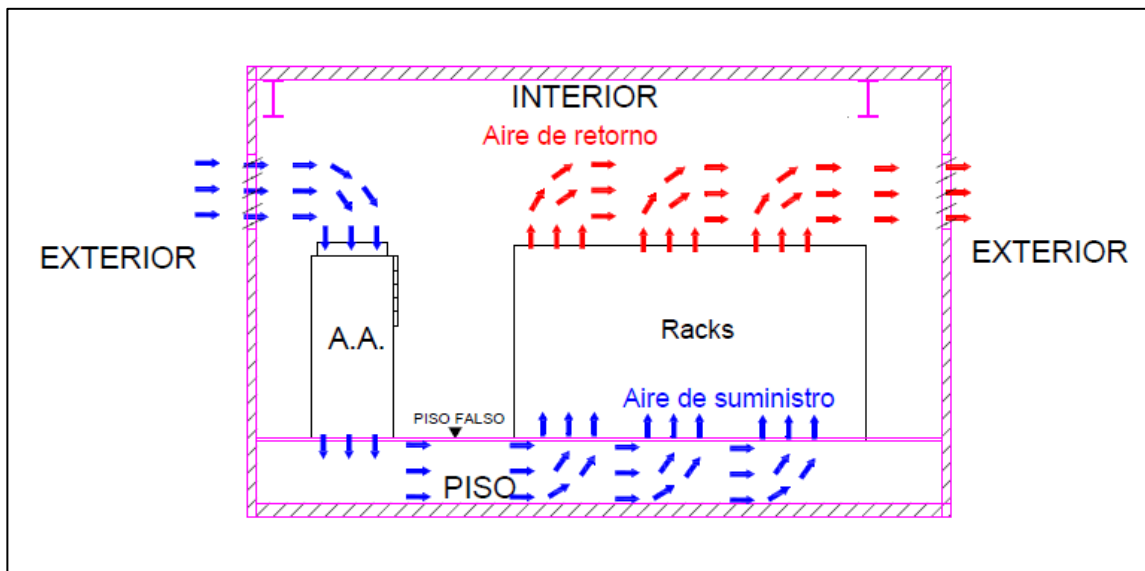


Figura 12. Free cooling directo.

En el freecooling directo pueden darse tres condiciones de operación:

- La temperatura del aire exterior es menor que la del aire de impulsión: el sistema modula las compuertas hasta lograr que la mezcla del aire exterior con el aire recirculado alcance la temperatura deseada, siendo innecesaria la producción de frío, por lo que, el enfriamiento es gratuito.
- La temperatura del aire exterior es mayor que la temperatura del aire de impulsión, pero menor que la del aire de retorno del local: el sistema frigorífico debe operar parcialmente para bajar la temperatura del aire exterior que se introduce en un 100% hasta alcanzar la temperatura de impulsión requerida por el local. Cuando la temperatura del aire exterior alcanza a la del local se alcanza el límite del enfriamiento gratuito.
- La temperatura del aire exterior es mayor que la temperatura del aire de retorno del local: la instalación funciona en forma convencional, para satisfacer las necesidades de ventilación del local.

Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema AA freecooling directo

FREE COOLING DIRECTO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
▪ Teóricamente, el más eficiente de los sistemas freecooling.	▪ Depende de la calidad del aire externo. ▪ Requiere importante filtración de aire. ▪ Requiere mantenimiento adicional. ▪ Control de humectación y deshumectación. ▪ Gran requerimiento de espacio interior para conductos. ▪ Involucra seguridad del sitio. ▪ Limitado a localizaciones con climas fríos. ▪ Tolerancias importantes en humedad. ▪ Requiere back up de enfriamiento 100% mecánico.

2.2.3.2 Free Cooling Indirecto. Con enfriamiento libre indirecto, la ventana permanece cerrada. El aire exterior, con todos sus contaminantes. Partículas, no puede entrar en el centro de datos y permanece fuera. Las debilidades del free cooling directo mencionado anteriormente, no se tienen con el enfriamiento indirecto. Desafortunadamente, el free cooling indirecto es teóricamente menos eficiente que la refrigeración libre directa, ya que al menos una transferencia de calor siempre debe tener lugar entre el aire en el centro de datos y el exterior aire. Se requiere al menos un intercambiador de calor, y eso significa una pérdida de eficiencia. (Penske, 2015).

Teniendo en cuenta los problemas que para algunas aplicaciones presenta el freecooling directo, en especial los CPD's, en lo referente a sistemas de control para compuertas, manejo de sistemas de filtración de aire, contaminación por ingreso de aire externo, tratamiento de este aire externo; se han desarrollado sistemas de freecooling indirecto, que igualmente aprovechan las condiciones ambientales para mejorar la eficiencia energética, pero minimizando el contacto de la sala acondicionada con el ambiente externo.

Los fabricantes de equipos para climatización ofrecen diferentes desarrollos en sistemas de enfriamiento libre indirecto, dentro de los cuales los tres tipos más ampliamente utilizados son los que se describen a continuación.

2.2.3.3 Free Cooling Indirecto Simple Aire – Aire. El Sistema de free cooling indirecto básico o de una sola etapa, transfiere el calor mediante la utilización de un intercambiador aire – aire. El aire de la sala es circulado a través del intercambiador sin hacer contacto directo o mezclarse con el aire externo. Así mismo, el aire exterior se canaliza a través de la sección de aire exterior del intercambiador de calor aire / aire y luego canalizado de vuelta al exterior del centro de datos. Este intercambiador de calor aire / aire puede ser una caja cúbica, generalmente un intercambiador de calor de placa fija, o una rueda térmica de intercambio de calor la cual va girando lentamente y realizando el intercambio. Estos sistemas suelen conocerse como recuperadores de energía o ruedas entálpicas de acuerdo con su configuración.

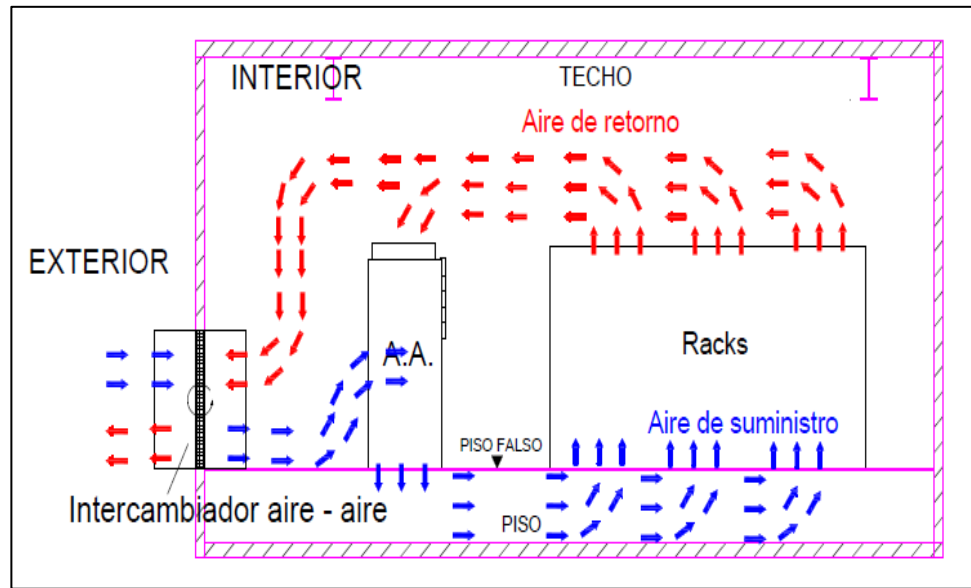


Figura 13. Free cooling indirecto simple Aire - Aire.

Tabla 3. Ventajas y desventajas sistema free cooling indirecto simple

FREE COOLING INDIRECTO SIMPLE O DE UNA ETAPA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
▪ Muy alta eficiencia. ▪ No depende de la calidad del aire externo. ▪ No depende de la humedad del aire externo.	▪ Muy alta área interna requerida, 4 a 6 veces más que sistemas de dos etapas. ▪ Requiere equipamiento adicional para control de humedad. ▪ Involucra seguridad del sitio. ▪ Requiere back up de enfriamiento 100% mecánico.

2.2.3.4 Free Cooling Indirecto de Dos Etapas. Los sistemas de free cooling indirecto de dos etapas tienen un tamaño considerablemente más pequeño que sus contrapartes de una etapa, pero son algo menos eficientes ya que cuentan con dos intercambiadores de calor. En el primer intercambiador el calor del aire en el Datacenter es transferido a un líquido, normalmente glicol, el cual es bombeado fuera por tuberías relativamente pequeñas para luego mediante un segundo intercambiador retirar el calor y enviarlo al aire exterior. Aquí la unidad de enfriamiento mecánico es parte integral del sistema y es utilizada para suplementar el free cooling a temperaturas ambiente altas. Si la temperatura externa es muy alta la totalidad del enfriamiento se hará mecánicamente.

En general, hay dos sistemas diferentes de enfriamiento indirecto en dos etapas disponibles; uno consiste en la combinación de CRAC's y Dry cooler o torre de enfriamiento; el otro de combina CRAH's y Chiller.

2.2.3.5 Free Cooling Indirecto de Dos Etapas CRAC con Dry Cooler. Este tipo de sistema lo componen básicamente una CRAC unidad de aire acondicionado híbrida, agua y refrigerante, localizada dentro de la sala, Aero refrigeradores o Dry coolers localizados en el exterior del edificio y bombas de recirculación de agua en un circuito hidráulico cerrado entre la unidad de aire acondicionado y el Dry cooler.

La CRAC o unidad de aire acondicionado híbrida cuenta con ventiladores tipo EC de velocidad variable, un circuito de refrigeración cerrado con compresores scroll y un intercambiador de calor aire-agua para operación free-cooling. El dry cooler consiste en un serpentín intercambiador de calor agua-aire con ventiladores tipo EC de velocidad variable para la circulación del aire ambiente a través del serpentín intercambiador de calor. La bomba central, de velocidad fija o variable, circula el agua entre la unidad de aire acondicionado y el dry cooler. Todos los componentes involucrados en el proceso del acondicionamiento del aire son controlados por un microprocesador en la unidad de aire acondicionado con sensor de temperatura de aire ambiente y sensores de temperatura del retorno de aire y agua en la unidad de aire acondicionado.

Dependiendo de la temperatura de retorno de la sala y de la temperatura externa del lugar, el equipo realizará el enfriamiento por compresor como un equipo de aire acondicionado convencional o utilizando agua para ayudar totalmente o en parte al enfriamiento de la sala, obteniendo así menores tiempos de funcionamiento en compresores y por ende ahorro de energía.

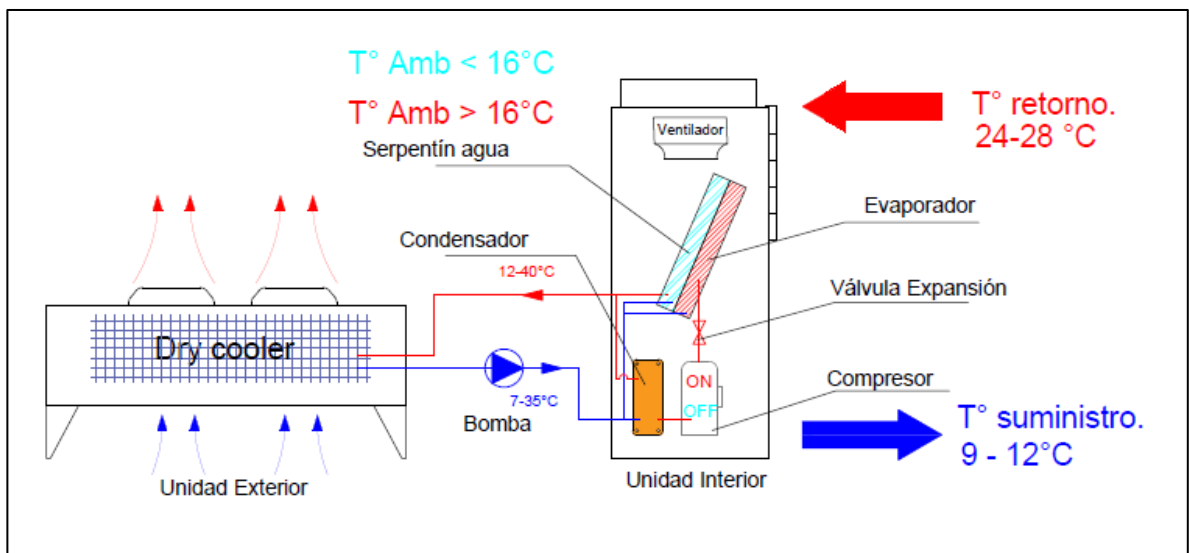


Figura 14. Free cooling Indirecto Dos Etapas CRAH y Dry cooler.

Tabla 4. Ventajas y desventajas sistema free cooling indirecto dos etapas.

FREE COOLING INDIRECTO DOS ETAPAS CON CRAC Y DRYCOOLER	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
▪ Alta eficiencia. ▪ Independiente de la calidad del aire externo. ▪ Independiente de la humedad del aire externo. ▪ 100% back up de enfriamiento mecánico incluido. ▪ Sistema precargado y probado. ▪ Permite grandes distancias entre CRAC Y drycooler ▪ Permite ahorro desde pequeñas capacidades.	▪ Utiliza amplias áreas en parte externa.

2.2.3.6 Free Cooling Indirecto de Dos Etapas CRAH con Chiller. Un segundo sistema de free cooling indirecto de dos etapas consiste en unidades CRAH y chiller con intercambiador para free cooling. El chiller puede ser condensado por aire o condensado por agua, en cuyo caso estará conectado a un dry cooler o a una torre de enfriamiento. La temperatura del agua enfriada enviada desde el enfriador a la unidad CRAH es relativamente baja, y cuando la temperatura del aire exterior está por debajo de la temperatura del agua fría, la enfriadora puede activar el modo de enfriamiento libre de modo mixto y reducir el tiempo de funcionamiento del compresor del chiller o enfriador.

Si la temperatura ambiente externa es significativamente más baja que la del agua enfriada, entonces puede obtenerse 100% de free cooling.



FREE COOLING INDIRECTO DOS ETAPAS CON CRAH Y CHILLER	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
▪ Buen nivel de eficiencia. ▪ Independiente de la calidad de aire externo. ▪ Independiente de la humedad del aire externo. ▪ 100% back uso de enfriamiento mecánico incluido. ▪ Sistema centralizado de enfriamiento. ▪ Niveles de ahorro en grandes capacidades	▪ El free cooling y aún el sistema de enfriamiento mixto inician a temperaturas relativamente bajas. ▪ Sistema centralizado de enfriamiento.

Debido a las temperaturas relativamente bajas que requiere el agua fría en este tipo de sistemas, la eficiencia es menor que en un sistema con CRAC's como el mencionado anteriormente. Este tipo de sistema es usualmente utilizado en grandes aplicaciones con un gran número de CRAH's conectadas a chiller en el rango de megavatios.

3. PLAN DE TRABAJO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES A INTERVENIR

Desde su construcción estas centrales se ubicaron en los edificios principales de la antigua Telecom en el casco urbano de las ciudades de Tunja y Sogamoso y albergaban un gran número de equipos, básicamente análogos, distribuidos en diferentes salas dentro de la edificación, que hicieron posible el desarrollo de la telefonía fija en el país.

En la actualidad, el desarrollo de modernas tecnologías ha hecho que esta gran cantidad de equipos que antes se distribuían en gran parte del edificio, se concentre en dos salas principales de Conmutación y Transmisión por donde hacen tránsito las diferentes tecnologías de comunicación que hoy en día ofrecen la empresa. Estas centrales son neurálgicas en la prestación del servicio de telecomunicaciones del centro oriente del país debido al número de abonados con que cuentan y a que sirven como nodo de interconexión para el departamento de Boyacá y de este con las demás regiones del país.

3.1.1 Central Tunja

3.1.1.1 Ubicación. La central Tunja de Colombia Telecomunicaciones se encuentra ubicada dentro del perímetro urbano, en las inmediaciones de la Plaza de Bolívar de dicha capital a una altitud media de 2820 m.s.n.m. Ver figura 16.

3.1.1.2 Climatología. El clima de Tunja es frío -seco. La temperatura promedio es de 12.9 °C. al medio día la temperatura máxima media oscila entre 25 y 26°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 6 y 8°C.



Figura 16. Ubicación Central Movistar Tunja.

Fuente: (www.google.com/maps, 2019)

El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación oscila alrededor de las 6 horas diarias/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 82 y 89 %, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre. (<http://www.ideam.gov.co>, 2019)

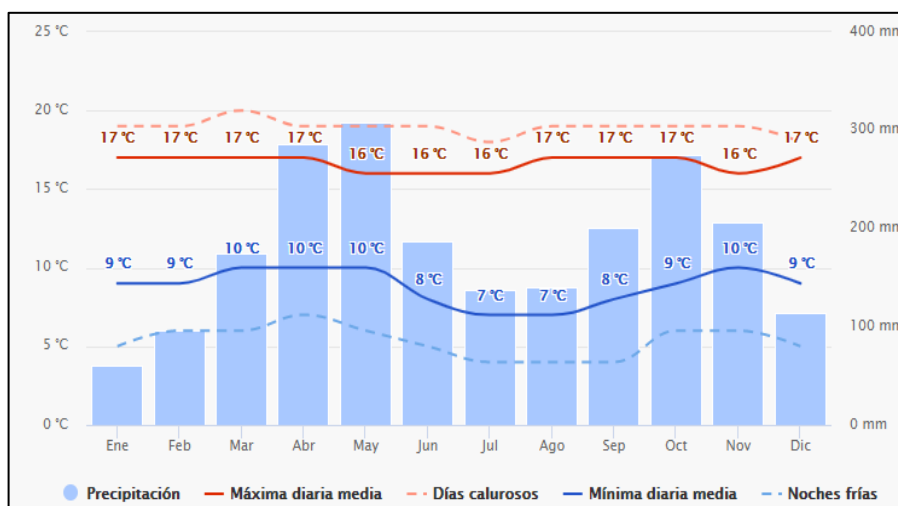


Figura 17. Registro anual temperatura Tunja ⁶
Fuente: (www.meteoblue.com, 2018)

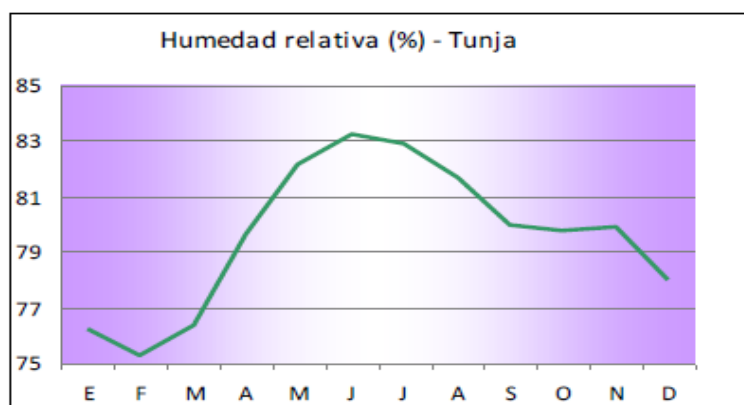


Figura 18. Registro anual humedad relativa Tunja. ⁷

Fuente: ideam.gov.co

⁶ Información obtenida de www.meteoblue.com, en sus términos y condiciones de uso numeral 1.05 UTILIZACIÓN NO COMERCIAL: usted es libre de usar cualquier servicio METEOBLUE para UTILIZACIÓN no comercial sin la intención de generar ingresos o beneficios, con sujeción a las condiciones siguientes. UTILIZACIÓN NO COMERCIAL incluye privada, la investigación, el bienestar y los propósitos de socorro.

⁷ Información solicitada a IDEAM y suministrada vía correo electrónico de manera gratuita.

3.1.1.3 Distribución arquitectónica. La central Tunja está conformada por la Sala de Conmutación y la Sala de Transmisión, cada una de las cuales alberga equipos ubicados en configuración de pasillos y guarda espacios para crecimiento con instalación de nuevos equipos; así como reposición de equipos por daño o actualización tecnológica. Estas dos salas se encuentran ubicadas en el primer y tercer nivel respectivamente, en una edificación de cuatro niveles. Las salas son confinadas; es decir se ubican en el centro de la edificación y están rodeadas de cuartos adyacentes sin ventanas, paredes o puertas expuestas al exterior. La distribución arquitectónica de cada sala, así como la distribución de equipos al interior de estas, se muestra en la figura 20 y 21 respectivamente.

3.1.2 Central Sogamoso

3.1.2.1 Ubicación. La central Sogamoso de Colombia Telecomunicaciones se encuentra ubicada dentro del perímetro urbano, en las instalaciones del antiguo edificio Telecom a una altitud media de 2560 m.s.n.m. Ver figura 19.



Figura 19. Ubicación Central Movistar Sogamoso.

Fuente: (www.google.com/maps, 2019)

3.1.2.2 Climatología. El clima de Sogamoso es frío - muy seco. La temperatura promedio es de 14.1 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 18 y 23°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 8 y 10°C, aunque en la temporada seca de inicio de año, las temperaturas pueden bajar a menos de 5°C, en las madrugadas. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación llega a 6 horas diarias/día. La humedad relativa del aire es cercana al 70% en la época seca de principio de año y en épocas de lluvias alcanza valores de alrededor del 78%.

3.1.2.3 Distribución arquitectónica. La central Sogamoso se encuentra conformada por la Sala de Conmutación y la Sala de Transmisión, cada una de las cuales alberga equipos ubicados en configuración de pasillos y guarda espacios para crecimiento con instalación de nuevos equipos; así como reposición de equipos por daño o actualización tecnológica. Estas dos salas se encuentran ubicadas en el primer y segundo nivel de la edificación respectivamente y tienen la distribución que se aprecia en la Figura 1.

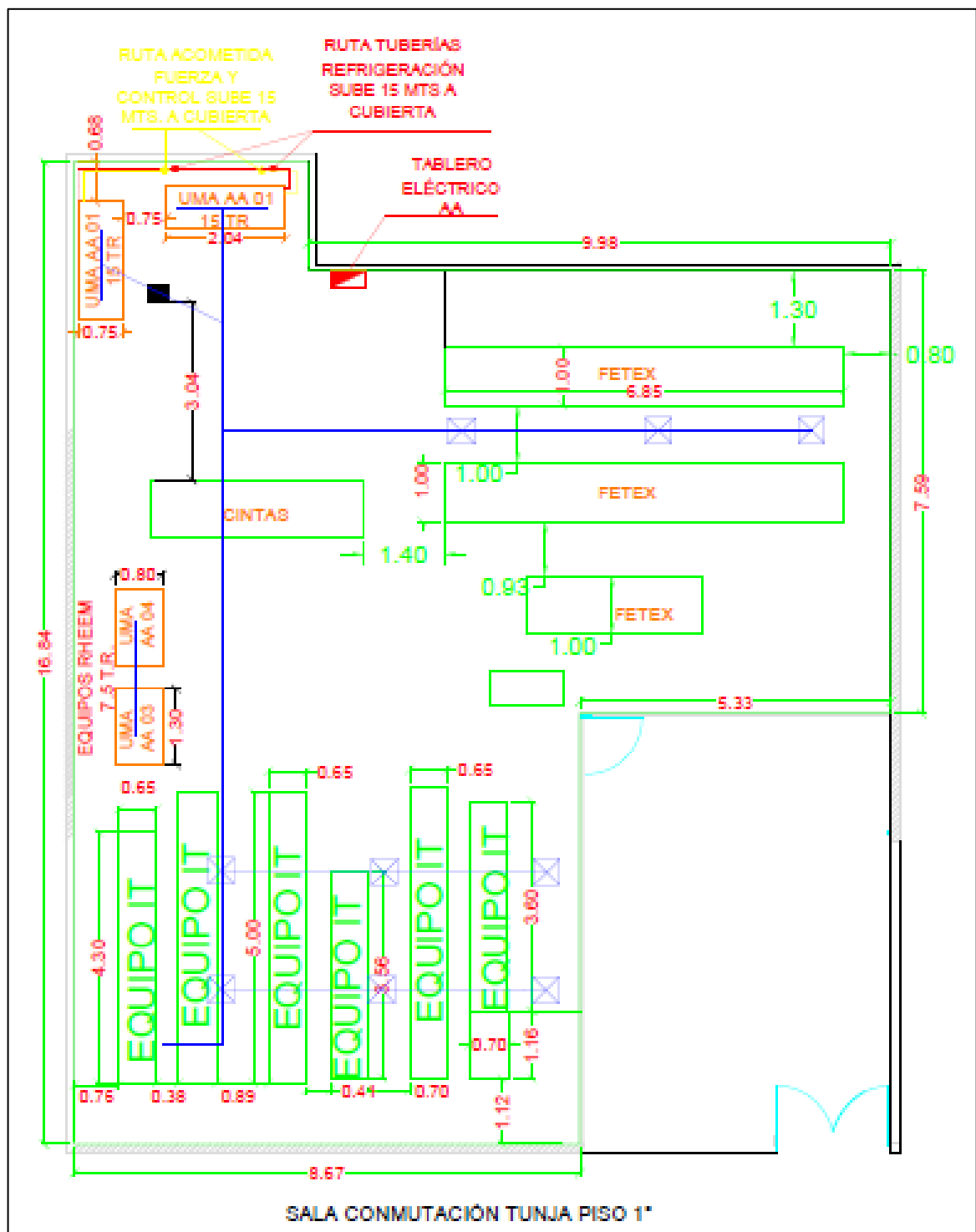


Figura 20. Distribución arquitectónica actual sala de conmutación Tunja.

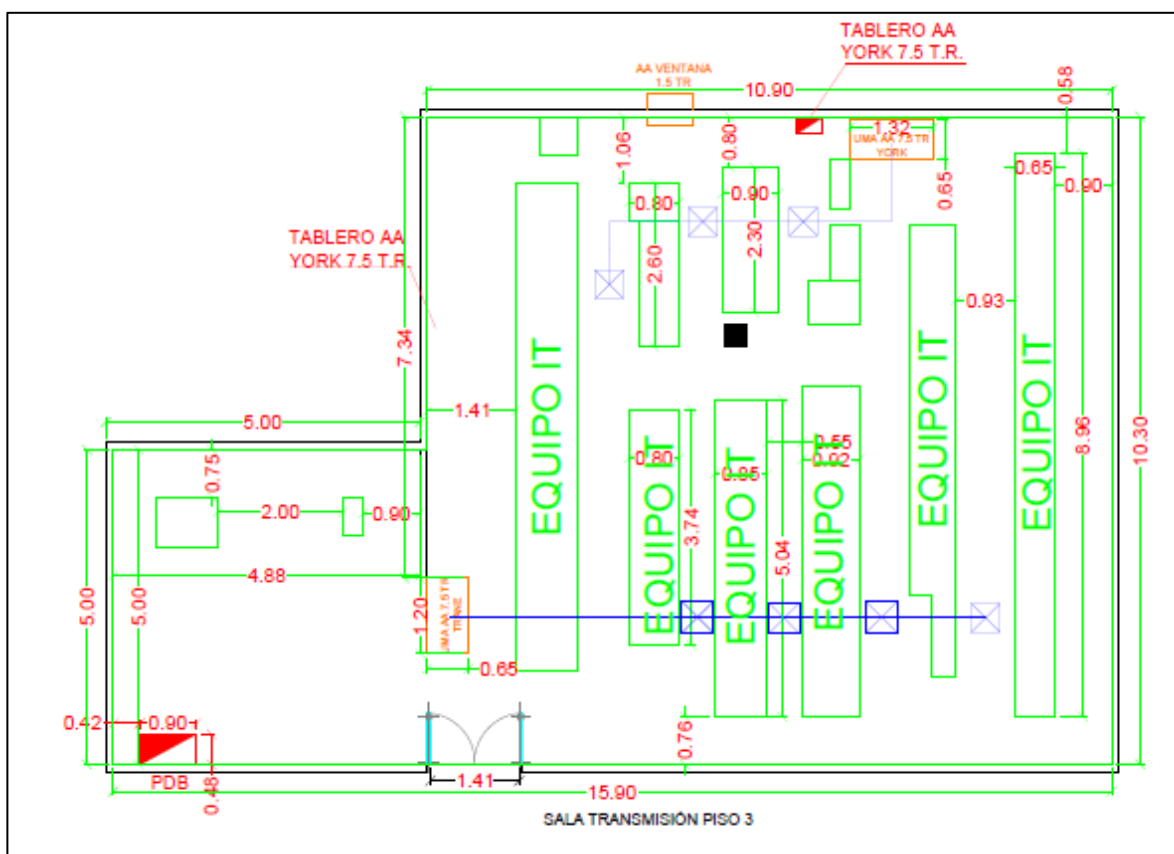


Figura 21. Distribución actual sala de transmisión Tunja.

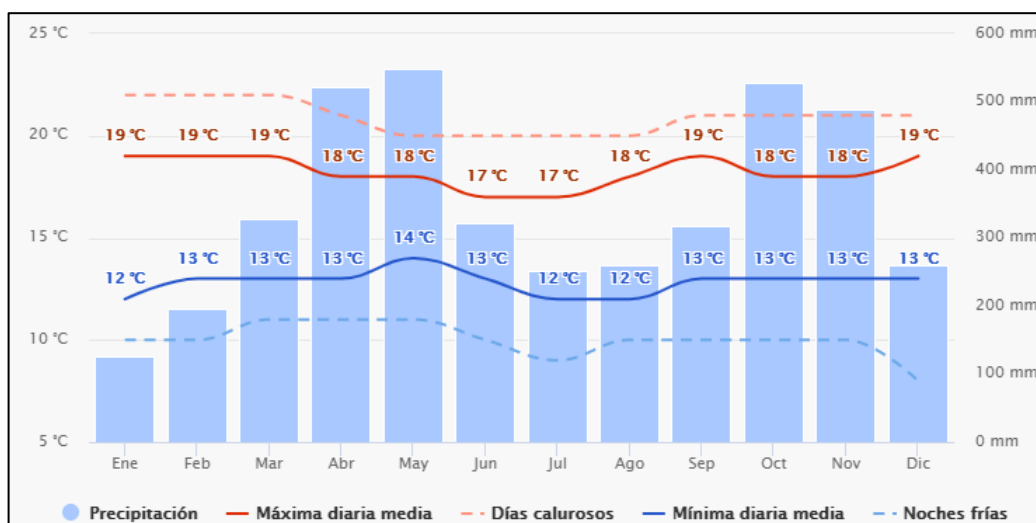


Figura 22. Registro anual temperatura Sogamoso.

Fuente: (www.meteoblue.com, 2018)

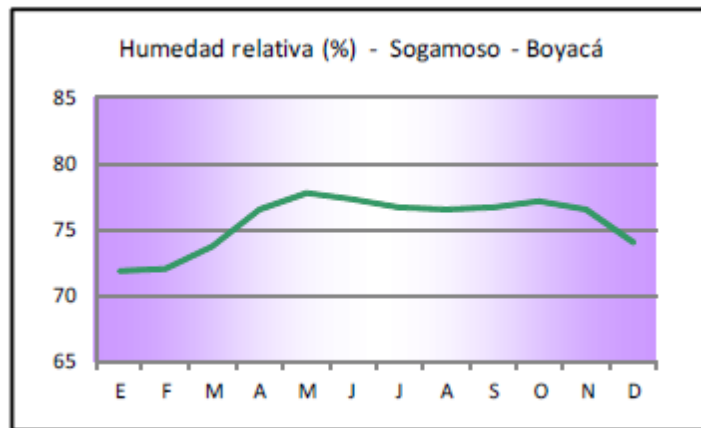


Figura 23. Registro anual humedad relativa Sogamoso

Fuente: ideam.gov.co

3.1.2.4 Sistema de climatización existente. Los sistemas de climatización con que cuentan en la actualidad las centrales Tunja y Sogamoso son sistemas por expansión directa convencionales, tipo confort conformados por unidades tipo Split y tipo Paquete solo frío, de marcas ampliamente reconocidas en el mercado del aire acondicionado. A continuación, se detalla la conformación de cada uno de los sistemas.

3.1.3 Central Tunja

3.1.3.1 Equipos. La Tabla 6 enumera cada uno de los equipos que en la actualidad conforman el sistema de aire acondicionado tipo confort instalado en las salas de conmutación y transmisión de la central Tunja.

3.1.3.2 Condiciones actuales de temperatura y humedad relativa. Se han efectuado, por parte del personal operativo encargado en cada una de las centrales, registros previos de temperatura y humedad relativa durante 24 horas para las salas de conmutación y transmisión obteniendo valores que se muestran en las figuras.

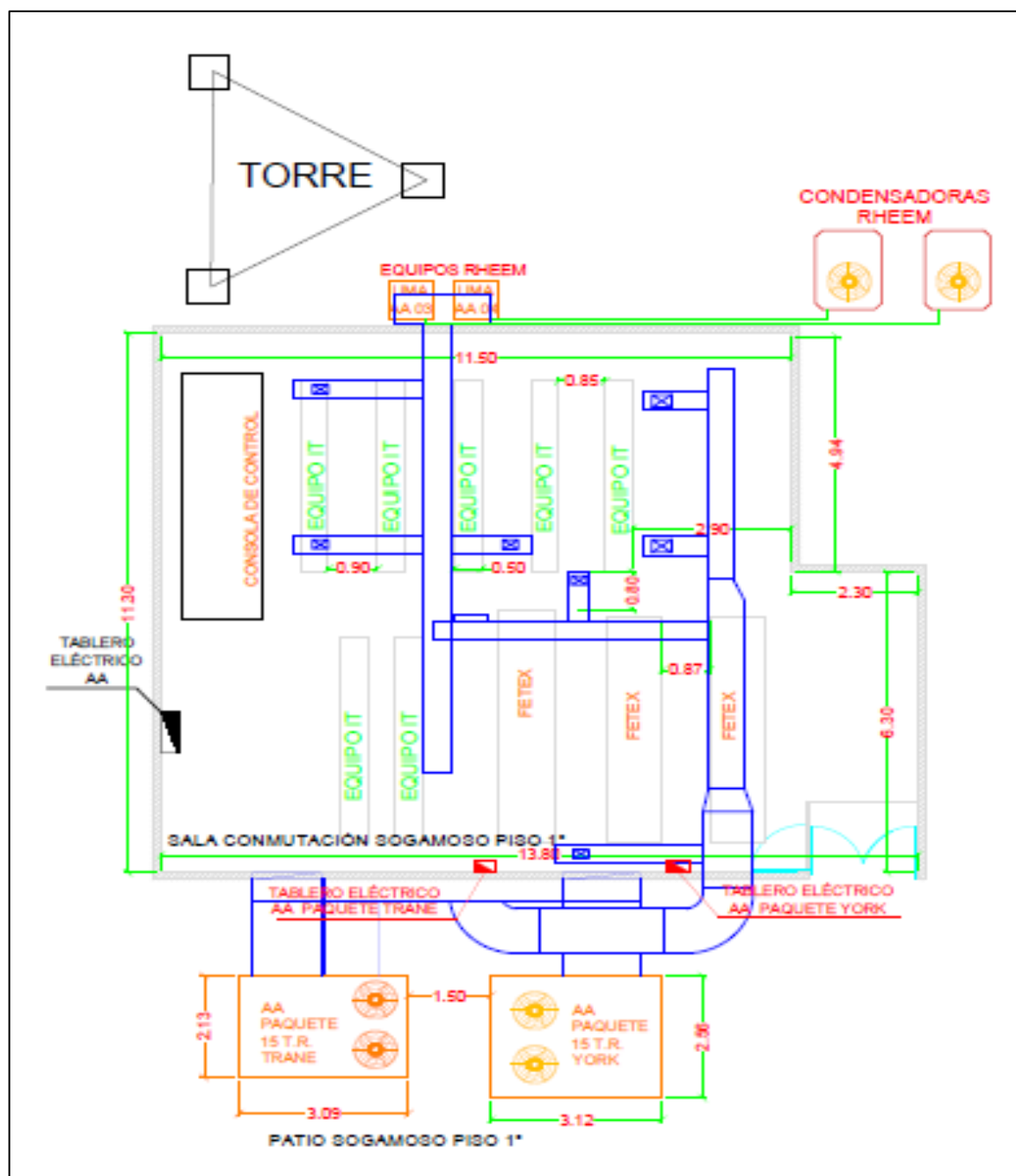


Figura 1. Distribución actual sala conmutación central Sogamoso.



Tabla 6. Equipos sistema AA actual Central Tunja

LOCALIDAD	TUNJA CENTRO	EQUIPOS SISTEMA CONFORT EXISTENTE			
ÁREA	CONMUTACIÓN		TX		
EQUIPOS	TRANE 15 TR	RHEEM 7,5 T.R.	YORK 7,5 TR	VENTANA 1,5 TR	TRANE 7,5 TR
TIPO	SPLIT	SPLIT	SPLIT	VENTANA	SPLIT
CANTIDAD	1+1	1+1	1	1	1
ESTADO	OPERATIVOS	OPERATIVOS	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO

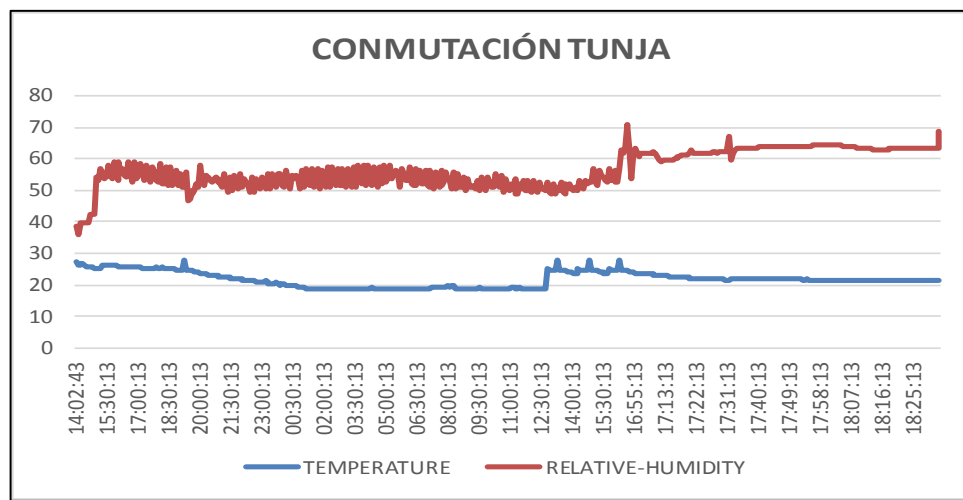


Figura 3. Registro T° y HR sala conmutación Tunja.

Fuente: COLTEL

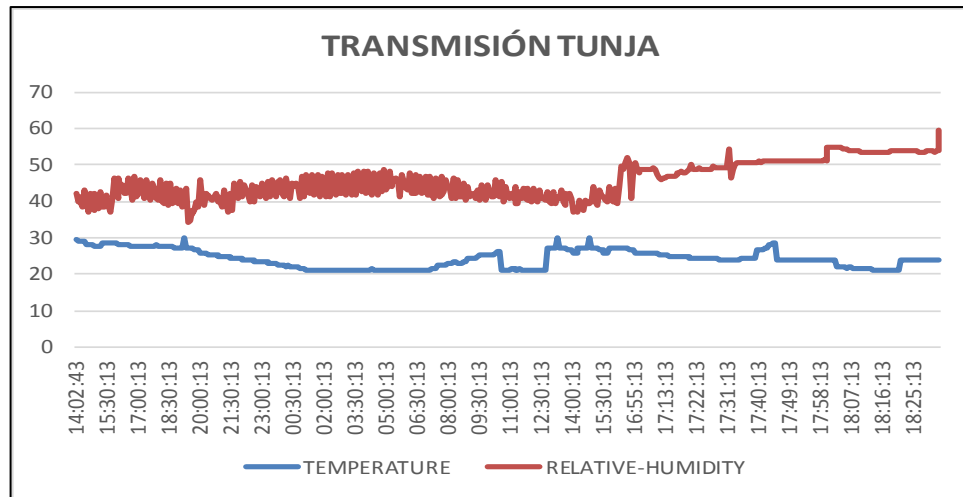


Figura 4. Registro T° y HR sala transmisión Tunja.

Fuente: COLTEL

3.1.4 Central Sogamoso

3.1.4.1 Equipos. Los equipos que en la actualidad conforman el sistema de aire acondicionado tipo confort instalado en las salas de conmutación y transmisión de la central Sogamoso son los enumerados en la Tabla 7.

Tabla 7. Equipos sistema AA actual Central Sogamoso

LOCALIDAD	SOGAMOSO CENTRO	EQUIPOS SISTEMA CONFORT EXISTENTE		
ÁREA	CONMUTACIÓN			TRANSMISIÓN
EQUIPOS	TRANE 15 TR	YORK 15TR	RHEEM 4 TR	TRANE 5 TR
TIPO	PAQUETE	PAQUETE	SPLIT	PAQUETE
CANTIDAD	1	1	1+1	1+1
ESTADO	OPERATIVO	FUERA DE SERVICIO	OPERATIVO	OPERATIVO

3.1.4.2 Condiciones actuales de temperatura y humedad relativa

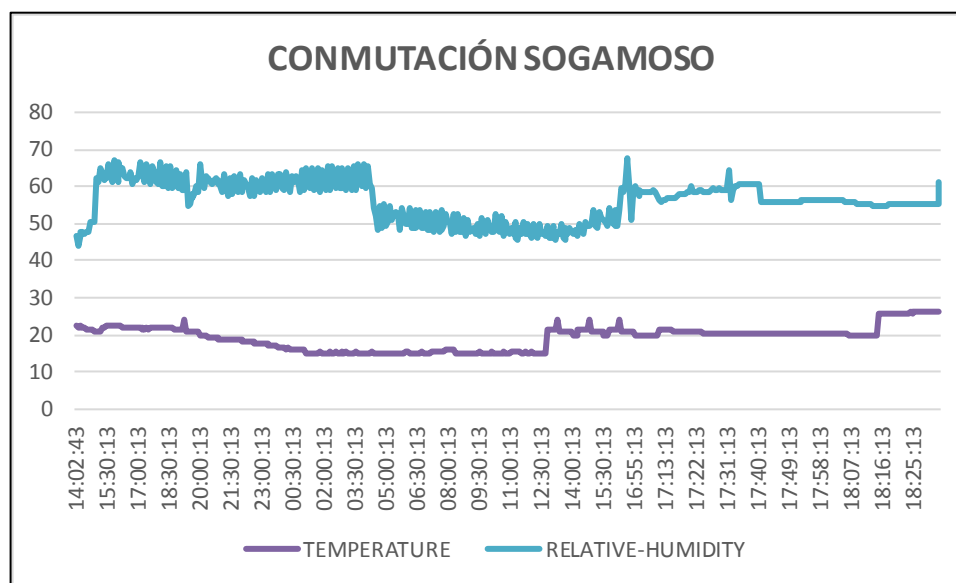


Figura 5. Registro T° y HR sala conmutación Sogamoso

Fuente: COLTEL

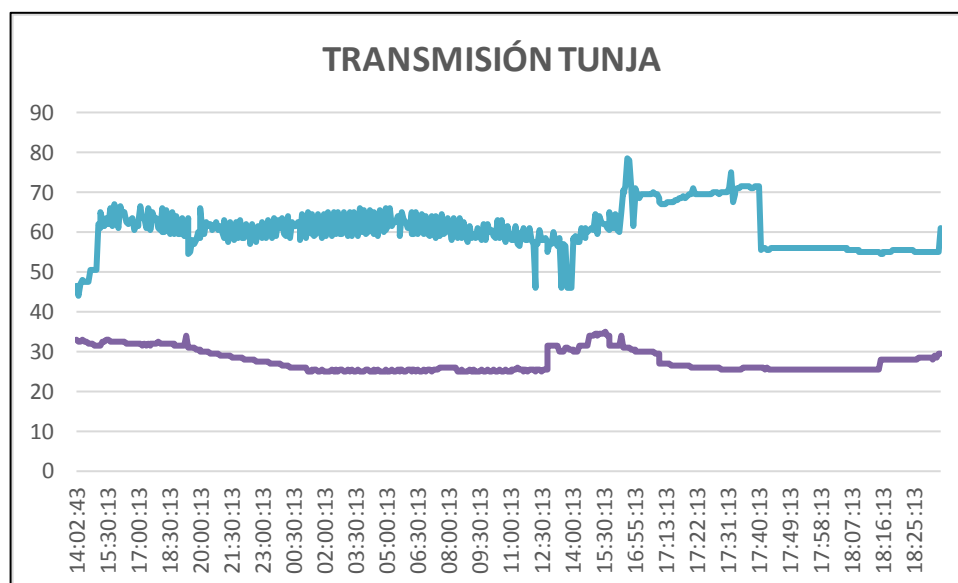


Figura 6. Registro T° y HR sala transmisión Sogamoso
Fuente: COLTEL

4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Una vez revisada la literatura encontrada sobre los diferentes sistemas disponibles en el mercado para acondicionamiento de precisión con free cooling, se ha podido observar que existen varias alternativas similares, cada una con sus fortalezas y debilidades en aspectos como la interacción con el ambiente externo, ocupación de espacios dentro y fuera de las salas a acondicionar, condiciones ambientales necesarias para lograr ahorros de energía, confiabilidad y costo de implementación de la solución, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, se hace necesario evaluar los aspectos más relevantes de las principales alternativas encontradas, con el fin de depurar y escoger la solución más adecuada acorde con las condiciones ambientales y físicas de cada una de las centrales a intervenir.

4.1 SELECCIÓN DE SISTEMA A IMPLEMENTAR

Con el fin de examinar las características más relevantes de los principales sistemas de climatización tipo precisión con free cooling disponibles en el mercado y dado que existe gran variedad de soluciones que apuntan al mejoramiento de la eficiencia energética mediante diferentes estrategias, se ha elaborado una matriz de ponderación que permitirá evaluar de manera cualitativa y cuantitativa los diferentes aspectos relacionados con condiciones de implementación, operación y mantenimiento que permitan seleccionar el sistema más adecuado para el proyecto en estudio.

En esta matriz, Tabla 8, se ponderan los diferentes aspectos asignándoles una puntuación de 1 a 5 según la condición sea muy favorable o muy desfavorable para la implementación en estudio.

Los principales aspectos y consideraciones tenidas en cuenta para la elaboración de la matriz de selección del sistema a implementar son explicados a continuación: Condiciones ambientales del sitio de implementación: aunque las ciudades de Tunja y Sogamoso son consideradas en nuestro país ciudades de clima frío, se debe tener en cuenta que Colombia es un país Tropical y que las temperaturas más bajas alcanzadas en algunas épocas del año no son comparables en valores y duración con las de otros países donde tienen lugar estaciones u otros fenómenos climáticos como nieve o temperaturas glaciares.

- Redundancia: dada la importancia de la operación continua de estas centrales, los sistemas a implementar deben garantizar la operación ininterrumpida durante los 365 días del año, las 24 horas del día; por lo que el sistema a implementar debe contar con características de redundancia que permitan garantizar la climatización ante eventos de fallo o mantenimiento. En este caso se requiere redundancia $n + 1$, es decir, que se contará con los equipos necesarios para climatizar más un equipo adicional que garantizará la operación ante los eventos ya mencionados.
- Capacidad de los sistemas a implementar: dentro del análisis realizado se han encontrado soluciones similares para mejoramiento de la eficiencia en climatización, como es el caso de los sistemas de free cooling indirecto con chillers y con dry coolers, los cuales ofrecen muy buenas expectativas de ahorro energético. Sin embargo, dependiendo de la capacidad del sistema estas soluciones pueden tener un mayor o menor grado de eficiencia debido a la manera como son concebidas y a los elementos mecánicos que las conforman. Es así como examinando la literatura encontrada se puede apreciar, que el sistema de free cooling indirecto con chillers es más recomendado para aplicaciones donde la carga térmica total y el número de CRAH's es considerable y se puedan obtener temperaturas ambiente por debajo de 10°C que permitan ahorro significativo de energía, mientras los sistemas con dry cooler tienen mejores prestaciones en sistemas de menor capacidad y pueden presentar ahorros a temperaturas ambiente inferiores a 16° C.

- Temperaturas de operación de la sala: dependiendo de la aplicación del CPD y del tipo de equipos IT en operación, cada sala requiere de ciertas condiciones ambientales que hacen segura su operación. Es así como dependiendo de tecnologías y marcas, distintos servidores requieren de diferentes condiciones de temperatura para garantizar su operación.
- Ocupación de espacios internos: en el interior de las salas que conforman una central de telecomunicaciones, los espacios representan dinero por su potencialidad para albergar equipos que prestan los diferentes servicios. Los equipos de climatización tipo precisión están diseñados para que sus unidades manejadoras sean ubicadas dentro de las áreas a acondicionar, por lo que cobra relevancia el diseño eficiente y compacto que minimice el área ocupada por estas unidades.
- En el caso de las centrales Tunja y Sogamoso las salas de Conmutación y Transmisión tienen destinadas unas áreas que ocupan los sistemas actualmente instalados, por lo que la idea es que el nuevo sistema utilice estos mismos espacios.
- Ocupación de espacios externos: Las edificaciones de las dos centrales son edificios antiguos en los que se da la existencia de terrazas amplias, sin embargo, estos espacios también son ocupados por otros elementos que hacen parte de la red como antenas, radio bases, sistemas de alimentación de potencia, entre otros; esto hace que se disponga de áreas generosas en estas cubiertas para los sistemas de climatización, pero debe cuidarse de no interferir con otros sistemas.
- Peso de los equipos: a la hora de elegir el nuevo sistema de climatización debe tenerse en cuenta que estas edificaciones tienen cierto grado de antigüedad, que hace necesario revisar cuidadosamente el peso que se agregará a la estructura con los equipos como chillers y dry coolers a ubicar.

- Ubicación equipo IT: actualmente, las centrales tienen instalados rack's que albergan los equipos IT, los cuales se encuentran ubicados de manera ordenada en filas formando pasillos o corredores. Esta ubicación es prácticamente inalterable, pues la migración de estos equipos implica alto riesgo de afectación al servicio; por lo tanto, el nuevo sistema de aire acondicionado debe tener en cuenta la ubicación actual del equipo IT.
- Distancias entre CRAC's y condensadores: dada la configuración arquitectónica de las edificaciones y las ubicaciones disponibles para equipos en cubierta, se generan recorridos de tubería considerables que hacen que la escogencia de sistemas con limitaciones de distancia entre unidades interiores y exteriores sea descartada.

Tabla 8. Matriz de selección sistema aire acondicionado free cooling

[illegible]

4.1.1 Descripción del Sistema a Implementar. Una vez realizado el análisis descrito anteriormente, se ha seleccionado un sistema de acondicionamiento tipo precisión con free cooling indirecto de dos etapas que consta de los siguientes elementos: CRAC'S, Dry coolers, Red Hidráulica, Sistema de Bombeo y Sistema de control; cada uno de los cuales se describe en detalle a continuación.

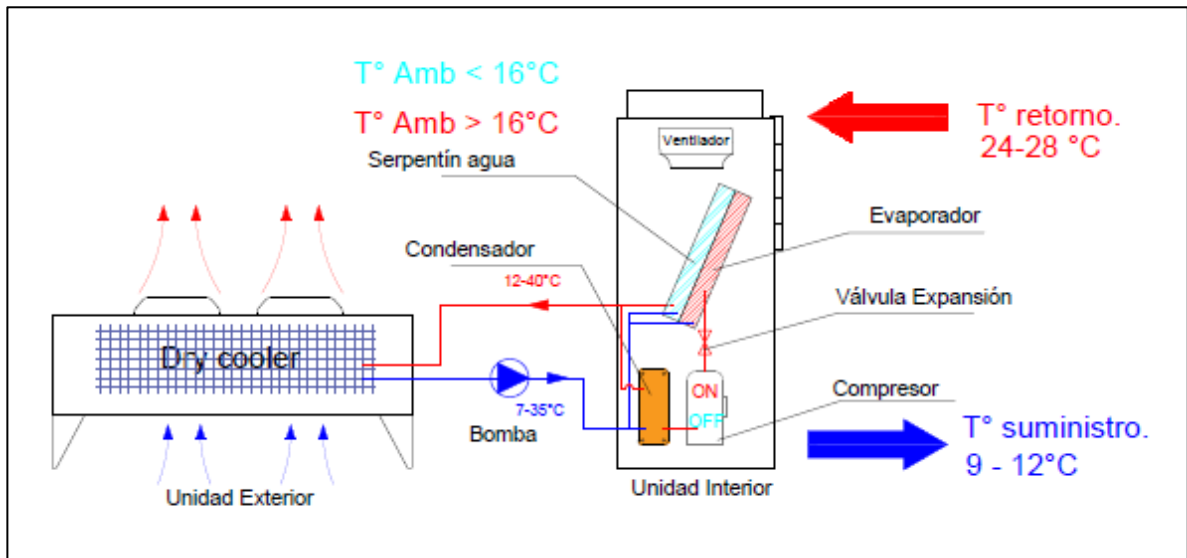


Figura 7. Sistema AA precisión CRAC con Dry Cooler.

CRAC'S

Son las unidades manejadoras de aire de precisión, especialmente diseñadas para climatización de CPD's, las cuales estarán ubicadas dentro de las salas a acondicionar. Estas unidades constan de dos serpentines, uno para refrigerante (evaporador) y otro para agua (enfriador de aire), válvulas de tres vías para desviar el agua a cada serpentín o al condensador, moto ventiladores de acople directo electrónicamente conmutados (EC), circuito de refrigeración compuesto por compresores tipo scroll, válvula de expansión electrónica, evaporador y condensador de placas. Todos estos componentes se encuentran gobernados por un controlador electrónico con capacidad para comunicación y gestión; y junto con la instrumentación de fuerza y control están dentro del mismo gabinete conformando cada CRAC (Computer Room Air Conditioning).

Dry cooler o Aero refrigerador

Es un enfriador agua – aire, el cual están conformado de manera similar a una unidad condensadora con serpentín de enfriamiento y ventiladores con motores electrónicamente conmutados (EC). Básicamente reciben el agua del CRAC a cierta temperatura y la entregan a otra más baja, dependiendo de la temperatura ambiente, para hacer posible ya sea la condensación del refrigerante en el intercambiador del CRAC o el enfriamiento libre en el serpentín de este.

Red Hidráulica

Son tuberías para transporte de agua o agua – glicol entre CRAC y Dry cooler, las cuales pueden estar construidas en diferentes materiales, en este caso polipropileno PN 10. Esta red contar con instrumentación como válvulas, purgas, sensores, y demás elementos necesarios para garantizar la recirculación de agua en las condiciones de estabilidad, presión y temperatura requeridas por el sistema.

Sistema de Bombeo

El sistema debe contar con al menos una motobomba de la capacidad necesaria para efectuar la recirculación de agua o agua glicol, entre unidades CRAC y Dry cooler. En este caso por redundancia se tendrán dos motobombas que incrementarán la confiabilidad de cada equipo. Adicionalmente, el sistema de bombeo contará con variadores de frecuencia que permitan mejorar la eficiencia energética de acuerdo con la necesidad de enfriamiento.

Sistema de Control

Cada uno de los sistemas de climatización a utilizar contarán con un controlador electrónico, el cual se encargará de operar el sistema de manera autónoma basado en algoritmos de programación que controlan todas las variables que intervienen en el proceso.

Sistema de Distribución de Aire

Dado que las centrales a climatizar ya se encuentran construidas, el sistema de distribución de aire del nuevo sistema deberá adaptarse a la disposición arquitectónica y de racks por pasillo actualmente instalada, por lo que se utilizará descarga superior por conductos conformando, en lo posible, pasillos fríos y calientes.

4.1.2 Modos de funcionamiento

El sistema de freecooling indirecto de dos etapas seleccionado cuenta con tres modos de operación, los cuales dependen de la temperatura externa y la temperatura de la sala, como se aprecia en el ejemplo de la Figura 8.

Cada uno de los componentes opera bajo ciertas condiciones de temperatura, para sala y externa, bajo los algoritmos incorporados al controlador electrónico del sistema.

	FC mode	MIX mode	DX mode
Ambient temperature range	up to 3 °C	3 °C - 19 °C	from 19 °C
Drycooler	on, $f(T_{\text{Start winter/summer}})$		
Glycol pump	on, $f(T_{\text{room}})$		
Unit fan	$n = n_{\text{Max DX}}$		
GE valve	$\varphi = f(T_{\text{room}})$		off
G valve	off	$\varphi = f(p_{\text{cond}})$	
Compressor	off	on, $f(T_{\text{Start summer/winter}})$	

Figura 8. Esquema funcionamiento sistema AA Free cooling.

Fuente: Stulz

4.1.2.1 Modo free cooling total o FC. En este modo la temperatura ambiente es tan baja comparada con la de la sala, que permite que enfriamiento de agua realizado en el dry cooler sea suficiente para enfriar el aire en el CRAC y enviarlo a la sala como suministro. Ver Figura 9.

En este modo, el ahorro de energía óptimo pues el equipo operará sin encender los compresores que son los componentes con mayor demanda dentro del sistema.

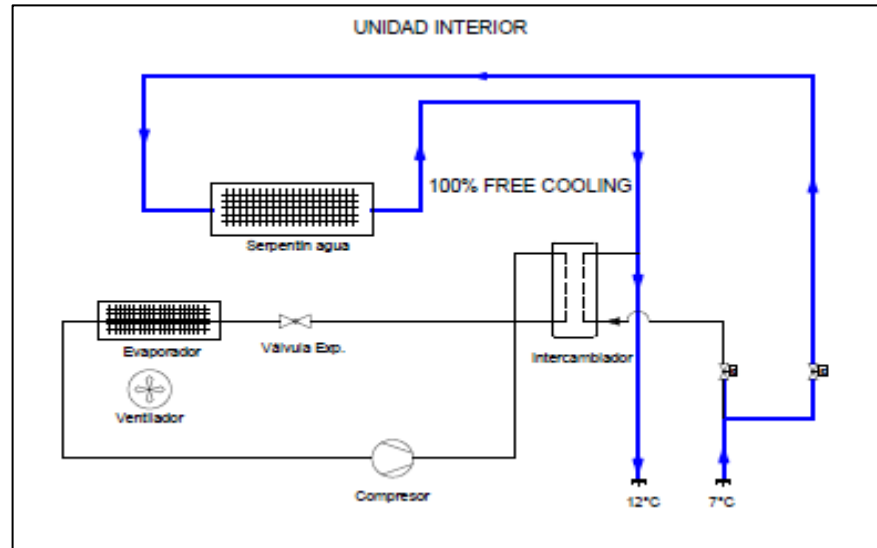


Figura 9. Esquema funcionamiento Modo FC.

4.1.2.2 Modo free cooling parcial o MIX. La temperatura del exterior continúa siendo baja, pero ya no es suficiente para suministrar el aire a la temperatura que requiere la sala, por lo que se hace necesario complementar con enfriamiento mecánico. Se requiere el encendido de algún compresor, el cual trabaja de manera simultánea con el enfriamiento libre, por lo que el agua proveniente del Dry cooler se utiliza para en parte para enfriamiento de la sala y en parte para condensar el refrigerante del circuito frigorífico en operación. Figura 10.

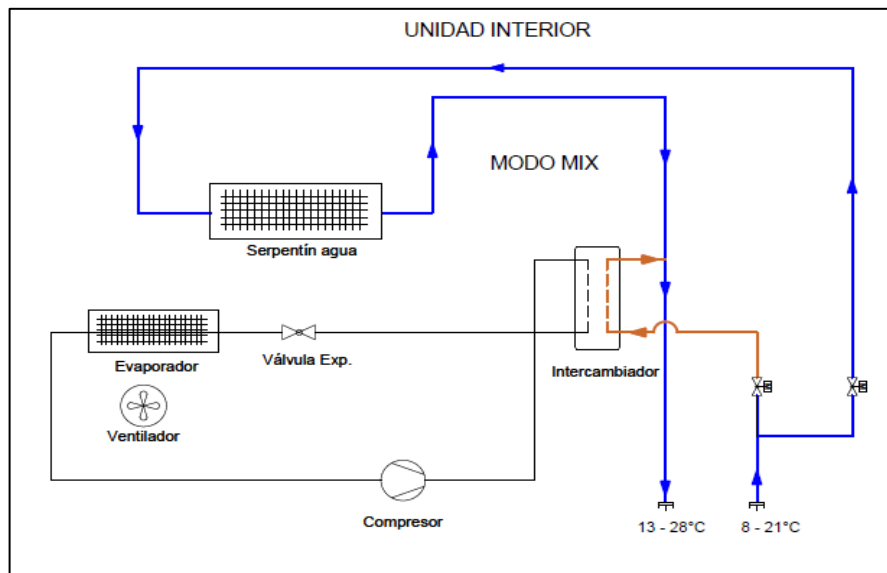


Figura 10. Esquema funcionamiento Modo MIX.

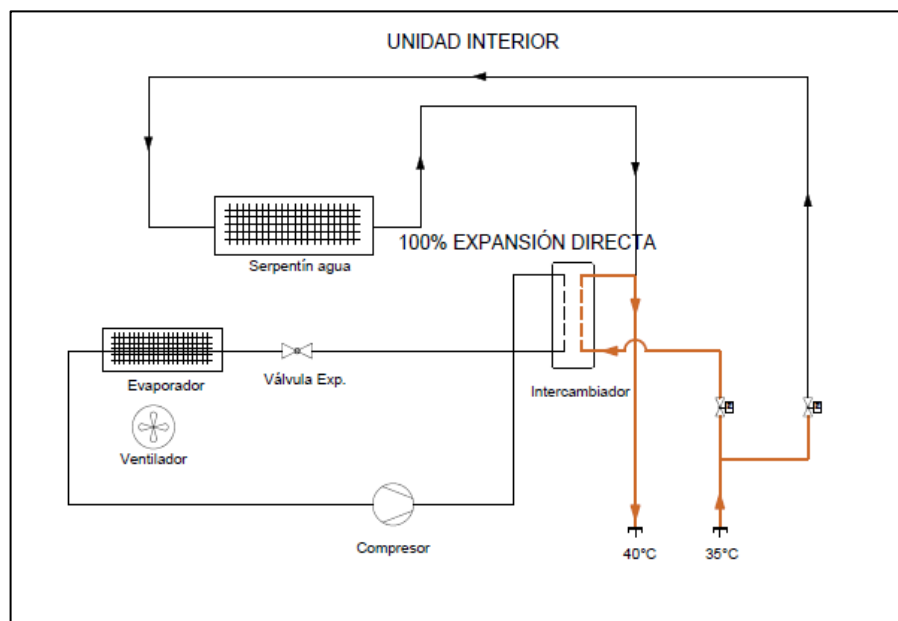


Figura 11. Esquema funcionamiento Modo DX.

4.1.2.3 Modo expansión directa DX. Cuando la temperatura externa aumenta a tal punto que ya no ofrece las condiciones necesarias para el enfriamiento de la sala con agua, el equipo realiza el enfriamiento mediante expansión directa convencional encendiendo los compresores y utilizando el agua proveniente del Dry cooler para condensar el refrigerante. Figura 11.

4.1.3 Condiciones esperadas de temperatura y humedad relativa

Con el cambio de tecnología planteado en este trabajo, además de mejorar la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado, también se pretende elevar la confiabilidad del sistema, así como lograr condiciones ambientales más estables en las salas de conmutación y transmisión mediante el control fino de los niveles temperatura y la humedad.

4.1.4 Cálculo de carga térmica

Con base en las consideraciones descritas anteriormente, la arquitectura de las edificaciones y las condiciones ambientales de cada una de las ciudades a continuación, se realiza el análisis de carga térmica para las dos centrales.

Para tal efecto, se utiliza el método de cálculo descrito en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, y para el caso de la central Sogamoso, la cual no se encuentra confinada en la edificación, se realiza el cálculo incluyendo el efecto térmico de la envolvente mediante el software CYPE.

4.2 CENTRAL TUNJA

La central Tunja se encuentra conformada por las salas de conmutación y transmisión por lo que se realiza el cálculo de carga térmica generada por los equipos IT para cada una de las salas utilizando la Tabla 9 y Tabla 10, basados en los siguientes datos:

Sala Conmutación

- Capacidad nominal rectificador: 80 KW
- Carga equipo IT actualmente instalada: 52 KW
- Carga futura equipo IT: 30 %
- Área de la sala: 178 m²

Tabla 9. Estimación carga térmica sala Conmutación Central Tunja

ESTIMACIÓN CARGA TÉRMICA SALA DE CONMUTACIÓN CENTRAL TUNJA			
Elemento	Datos Necesarios	Cálculo energía térmica producida	Subtotal energía térmica producida (W)
Equipos IT	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de IT en vatios	52000
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	(0,04 x valor nominal del sistema de alimentación) + (0,06 x total alimentación carga IT)	6320
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	0,02 x valor nominal del sistema de alimentación) + (0,02 x total alimentación carga IT)	4720
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	2,0 x superficie del suelo (sq ft) o 21,53 x superficie del suelo (m ²)	3832.3
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	100 x nº máx. personas	600
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	67472.3
		Sobredimensionamiento 30%	20241.7
		Carga térmica de la envolvente	0.0
		TOTAL T.R.	24.9

Sala Transmisión

- Capacidad nominal rectificador: 48 KW
- Carga equipo IT actualmente instalada: 28 KW
- Carga futura equipo IT: 30 %
- Área de la sala: 137 m²

Tabla 10. Estimación carga térmica sala Transmisión Central Tunja.

ESTIMACIÓN CARGA TÉRMICA SALA DE TRANSMISIÓN CENTRAL TUNJA			
Elemento	Datos Necesarios	Cálculo energía térmica producida	Subtotal energía térmica producida
Equipos IT	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de TI en vatios	28000
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$(0,04 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,06 \times \text{total alimentación carga TI})$	3600
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$0,02 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,02 \times \text{total alimentación carga TI})$	2640
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	$2,0 \times \text{superficie del suelo (sq ft) o } 21,53 \times \text{superficie del suelo (m}^2\text{)}$	2949.6
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	$100 \times \text{nº máx. personas}$	500
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	37689.6
		Sobredimensionamiento a 30%	11306.9
		Carga térmica de la envolvente	0.0
		TOTAL T.R.	13.9

4.3 CENTRAL SOGAMOSO

Para el cálculo de carga térmica de la central Sogamoso, por tratarse de salas no confinadas dentro de la edificación, se ha utilizado el método descrito en el numeral 4.1.3, combinado con la simulación en CYPECAD MEP con el fin de incluir las cargas generadas por la envolvente además de las generadas por equipo IT, iluminación y personas.

Sala Conmutación

- Capacidad nominal rectificador: 60 KW
- Carga equipo IT actualmente instalada: 52 KW
- Carga futura equipo IT: 30 %

- Área de la sala:

136 m²

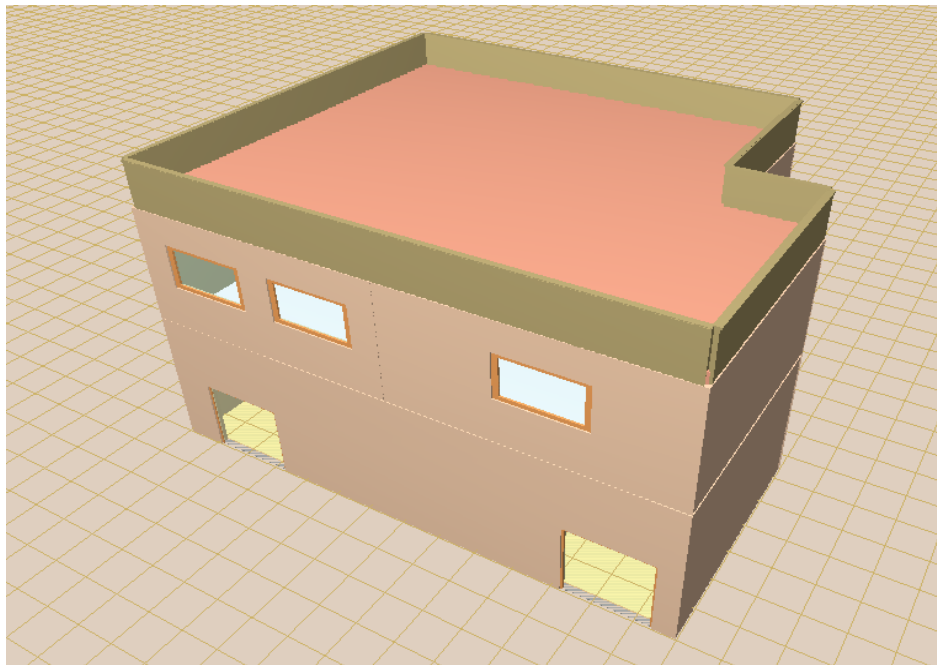


Figura 12. Modelamiento envolvente central Sogamoso Sala Cx CYPE.

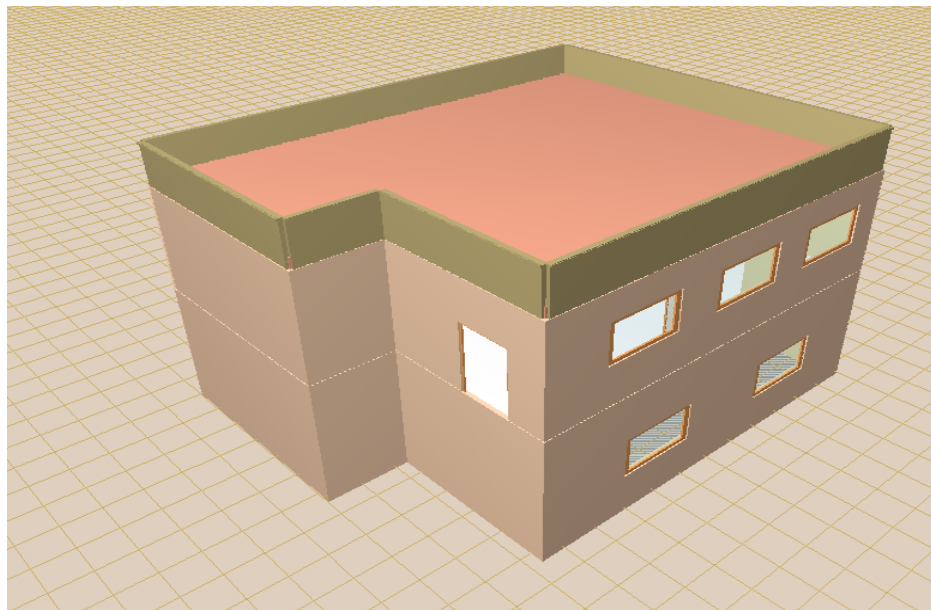


Figura 13. Modelamiento envolvente central Sogamoso Sala Tx CYPE.

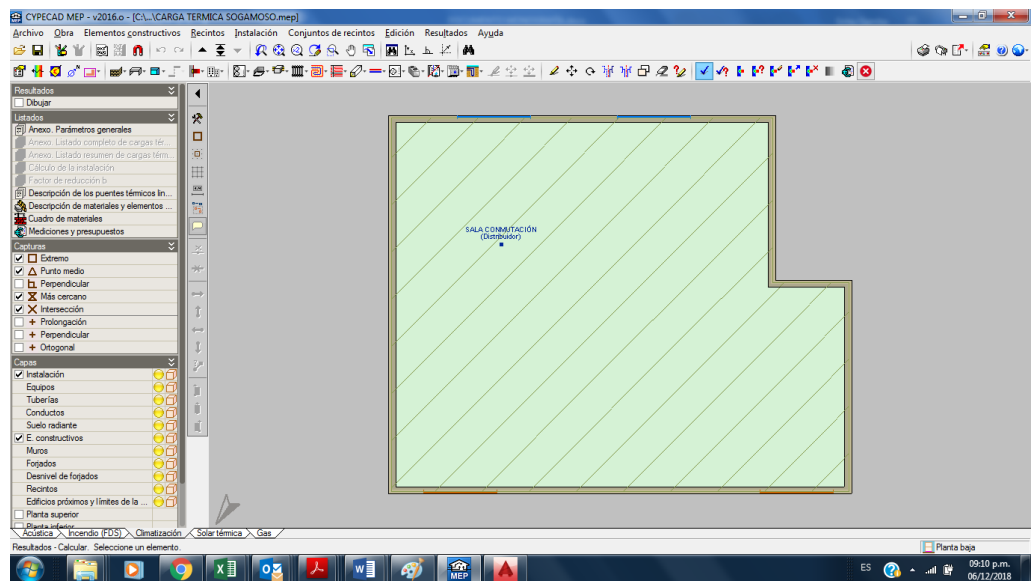


Figura 14. Modelamiento envoltente sala conmutación Sogamoso CYPE.

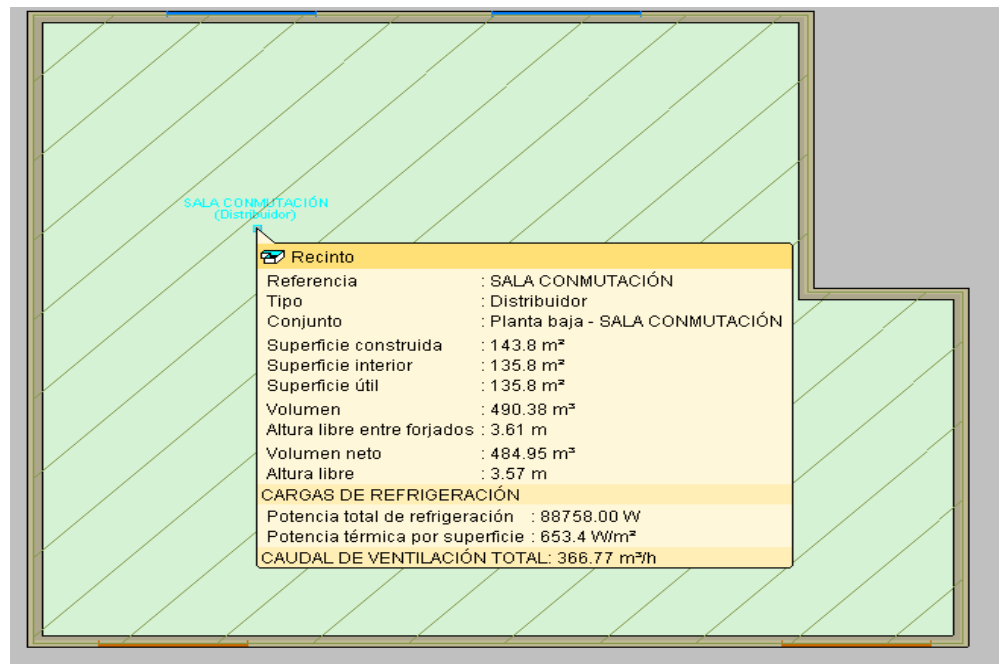


Figura 15. Cálculo carga térmica sala conmutación Sogamoso CYPE.

Tabla 11. Estimación carga térmica sala Conmutación Central Sogamoso.

ESTIMACIÓN CARGA TÉRMICA SALA DE CONMUTACIÓN CENTRAL SOGAMOSO			
Elemento	Datos Necesarios	Cálculo energía térmica producida	Subtotal energía térmica producida (W)
Equipos IT	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de IT en vatios	49500
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$(0,04 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,06 \times \text{total alimentación carga IT})$	5520
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$0,02 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,02 \times \text{total alimentación carga IT})$	4320
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	$2,0 \times \text{superficie del suelo (sq ft)}$ o $21,53 \times \text{superficie del suelo (m2)}$	2928.1
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	$100 \times \text{nº máx. personas}$	600
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	62868.1
		Sobredimensionamiento 30%	18860.4
		Carga térmica de la envolvente	7029.5
		TOTAL T.R.	25.2

Sala Transmisión

- Capacidad nominal rectificador: 48 KW
- Carga equipo IT actualmente instalada: 26.5 KW
- Carga futura equipo IT: 30 %
- Área de la sala: 53 m²

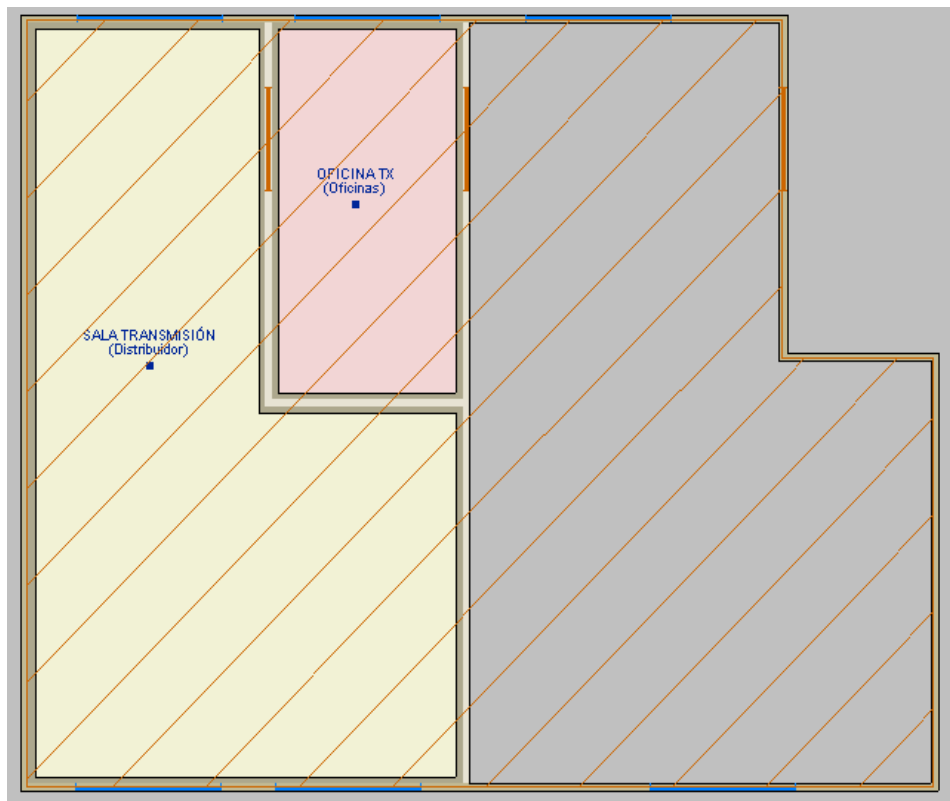


Figura 16. Modelamiento envolvente sala transmisión Sogamoso CYPE

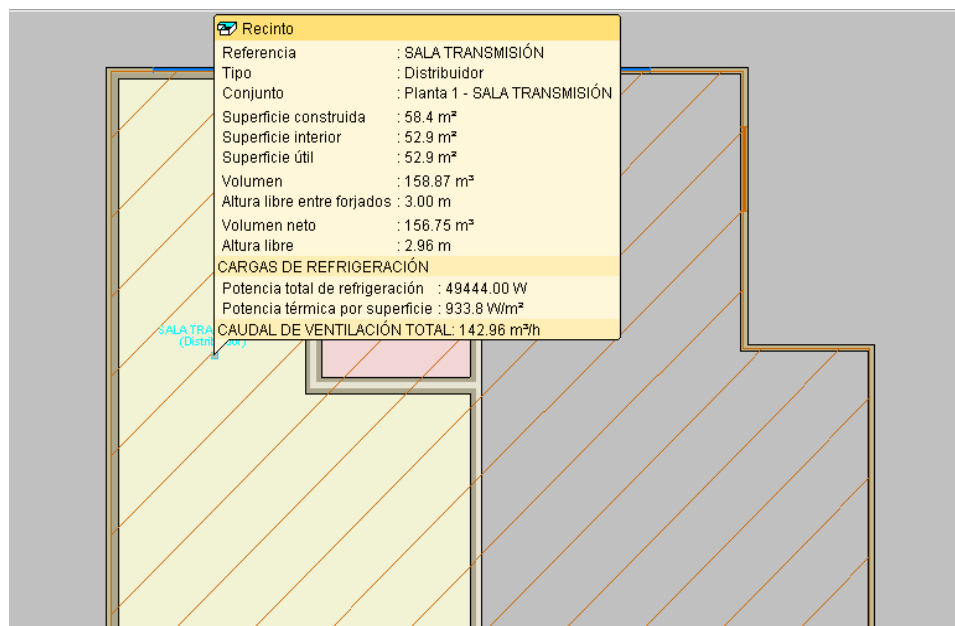


Figura 17. Cálculo carga térmica sala transmisión Sogamoso CYPE

Tabla 12. Estimación carga térmica sala Transmisión Central Sogamoso.

ESTIMACIÓN CARGA TÉRMICA SALA DE TRANSMISIÓN CENTRAL SOGAMOSO			
Elemento	Datos Necesarios	Cálculo energía térmica producida	Subtotal energía térmica producida
Equipos IT	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de TI en vatios	26500
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$(0,04 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,06 \times \text{total alimentación carga TI})$	3600
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$0,02 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,02 \times \text{total alimentación carga TI})$	2640
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	$2,0 \times \text{superficie del suelo (sq ft)}$ o $21,53 \times \text{superficie del suelo (m}^2\text{)}$	3832.3
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	$100 \times \text{nº máx. personas}$	500
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	37072.3
		Sobredimensionamiento a 30%	11121.7
		Carga térmica de la envolvente	1250.0
		TOTAL T.R.	14.1

4.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Teniendo en cuenta el tipo de sistema seleccionado, de acuerdo con los cálculos de carga térmica realizados y las consideraciones de redundancia, en este caso n+1, se ha efectuado la selección de los equipos de climatización para cada una de las salas.

Esta selección se ha realizado mediante el software desarrollado por el fabricante Stulz, el cual permite ajustar cada componente del equipo lo mejor posible a la carga térmica estimada y las condiciones de operación.

Tunja: Sistemas CRAC + Dry cooler de 25 TR para sala de conmutación y 15 TR para sala de transmisión, redundantes n+1 para cada sala.

Sogamoso: Sistemas CRAC + Dry cooler de 25 TR para sala de conmutación y 15 TR para sala de transmisión, redundantes n+1 para cada sala.

4.4.1 Consumo Energético Actual

Dado que el proyecto va encaminado al mejoramiento de la eficiencia energética, se hace necesario efectuar mediciones de consumo energético de los actuales sistemas de acondicionamiento, con el fin de compararlo con el consumo proyectado de los nuevos sistemas a fin de determinar la viabilidad técnico-económica del proyecto.

Para realizar dichas mediciones se utilizó el analizador de redes Fluke 1736, el cual registró para cada sala, el consumo de cada uno de los equipos de climatización existentes durante 24 horas. Los resultados se muestran en la tabla 13 y 14.

Tabla 13. Mediciones consumo de energía sistemas existentes central Tunja.

LOCALIDAD	TUNJA CENTRO	MEDIDAS PREVIAS			
ÁREA	CONMUTACIÓN		TX		
EQUIPOS	TRANE 15 TR	RHEEM 7,5 T.R.	YORK 7,5 TR	VENTANA 1,5 TR	TRANE 7,5 TR
FECHA INICIO	05/11/2016	06/11/2016	04/11/2016	07/11/2016	03/11/2016
FECHA FINAL	06/11/2016	07/11/2016	05/11/2016	08/11/2016	04/11/2016
CANTIDAD	1+1	1+1	1	1	1
DURACIÓN	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas
POTENCIA Kwh	355.36	331.15	211.14	45.39	224.80
				TOTAL Kwh - 24 h	1167.8
				TOTAL Kwh	48.7
				CORRIENTE PROMEDIO A	135.07
				CONSUMO ANUAL Kwh	426260

Tabla 14. Mediciones consumo de energía sistemas existentes central Sogamoso.

LOCALIDAD	SOGAMOSO CENTRO	MEDIDAS PREVIAS		
ÁREA	CONMUTACIÓN			TRANSMISIÓN
EQUIPOS	TRANE 15 TR	YORK 15TR	RHEEM 4 TR	TRANE 5 TR
FECHA INICIO	10/02/2017	11/02/2017	13/02/2017	12/02/2017
FECHA FINAL	11/02/2017	12/02/2017	14/02/2017	13/02/2017
CANTIDAD	1	1	1+1	1+1
DURACIÓN	24 horas	25 horas	26 horas	27 horas
POTENCIA Kwh	415.88	182.43	226.53	428.85
			TOTAL Kwh - 24 h	1253.7
			TOTAL Kwh	52.2
			CORRIENTE PROMEDIO A	115
			CONSUMO ANUAL Kwh	457597

4.4.2 Consumo Energético Esperado

Con base en la selección de equipos realizada y la información técnica tomada de catálogos, se ha determinado de manera detallada el consumo eléctrico esperado por componente en cada uno de los modos de operación, para las diferentes capacidades de equipo, como se resume en la tabla 15 y 16.

Tabla 15. Consumo sistema AA por componente según modo de operación

CONSUMOS SISTEMA 25 TR		DX	
COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (W)	CONSUMO TOTAL (W)
COMPRESOR	2	10500	21000
VALVULA EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	2	3.5	7
VENTILADORES	3	2000	6000
TARJETAS ELECTRÓNICAS	4	6.0	24.0
ACTUADORES VÁLVULAS	0	4	0
CONTROL DE HUMEDAD	1	1200	1200
DRY COOLER	1	3600	3600
BOMBA	1	4500	4500
TOTAL MODO DX			36331
CONSUMOS SISTEMA 25 TR		MIX	
COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (W)	CONSUMO TOTAL (W)
COMPRESOR	1	10500	10500
VALVULA EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	1	3.5	3.5
VENTILADORES	3	2133	6400
TARJETAS ELECTRÓNICAS	4	6.0	24.0
ACTUADORES VÁLVULAS	2	4	8
CONTROL DE HUMEDAD	1	1200	1200
DRY COOLER	1	3600	3600
BOMBA	1	4500	4500
TOTAL MODO MIX			26236
CONSUMOS SISTEMA 25 TR		FREE COOLING	
COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (W)	CONSUMO TOTAL (W)
COMPRESOR	0	10500	0
VALVULA EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	0	3.5	0
VENTILADORES	3	2133	6400
TARJETAS ELECTRÓNICAS	4	6.0	24.0
ACTUADORES VÁLVULAS	1	4	4
CONTROL DE HUMEDAD	1	1200	1200
DRY COOLER	1	3600	3600
BOMBA	1	4500	4500
TOTAL MODO FREE COOLING			15728

Tabla 16. Consumo sistema AA por componente según modo de operación.

CONSUMOS SISTEMA 15 TR		DX	
COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (W)	CONSUMO TOTAL (W)
COMPRESOR	2	6700	13400
VALVULA EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	2	3.5	7
VENTILADORES	2	2.13	4.27
TARJETAS ELECTRÓNICAS	4	14.4	57.4
ACTUADORES VÁLVULAS	2	4	8
CONTROL DE HUMEDAD	1	1200	1200
DRY COOLER	1	1960	1960
BOMBA	1	3000	3000
TOTAL MODO DX			19637
CONSUMOS SISTEMA 15 TR		MIX	
COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (W)	CONSUMO TOTAL (W)
COMPRESOR	1	6700	6700
VALVULA EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	1	3.5	3.5
VENTILADORES	2	2.13	4.3
TARJETAS ELECTRÓNICAS	4	14.4	57.4
ACTUADORES VÁLVULAS	2	4	8
CONTROL DE HUMEDAD	1	1200	1200
DRY COOLER	1	1960	1960
BOMBA	1	3000	3000
TOTAL MODO MIX			12933
CONSUMOS SISTEMA 15 TR		FREE COOLING	
COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (W)	CONSUMO TOTAL (W)
COMPRESOR	0	6700	0
VALVULA EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	0	3.5	0
VENTILADORES	2	2.13	4.3
TARJETAS ELECTRÓNICAS	4	14.4	57.4
ACTUADORES VÁLVULAS	1	4	4
CONTROL DE HUMEDAD	1	1200	1200
DRY COOLER	1	1960	1960
BOMBA	1	3000	3000
TOTAL MODO FREE COOLING			6226

Igualmente, basados en los datos estadísticos de temperatura externa en cada sitio, se han determinado rangos de temperatura que permiten los diferentes modos de operación de los sistemas a implementar. Ver Figura 18 y 19.

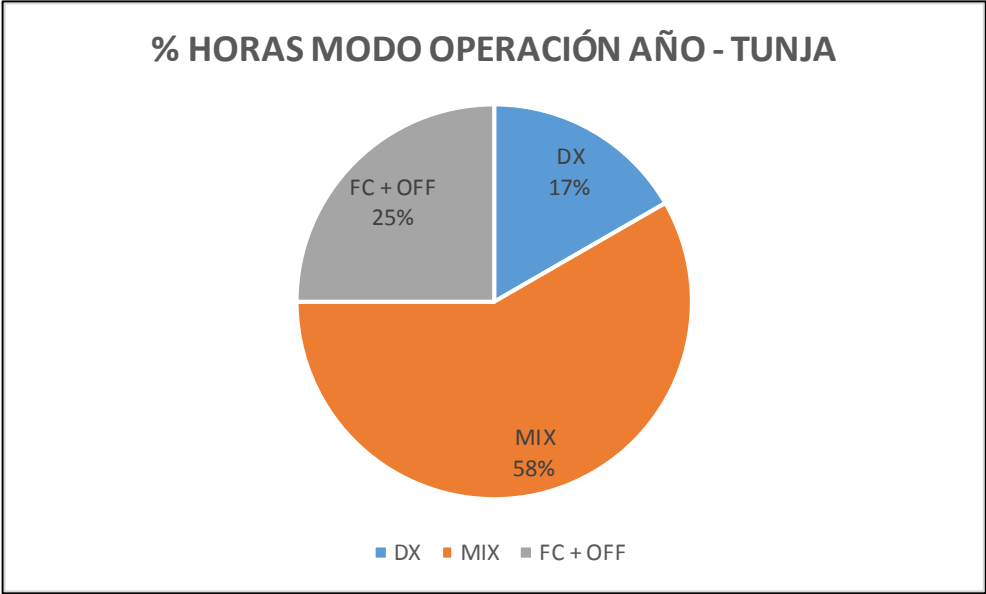


Figura 18. Estimación horas modo funcionamiento equipos Tunja.

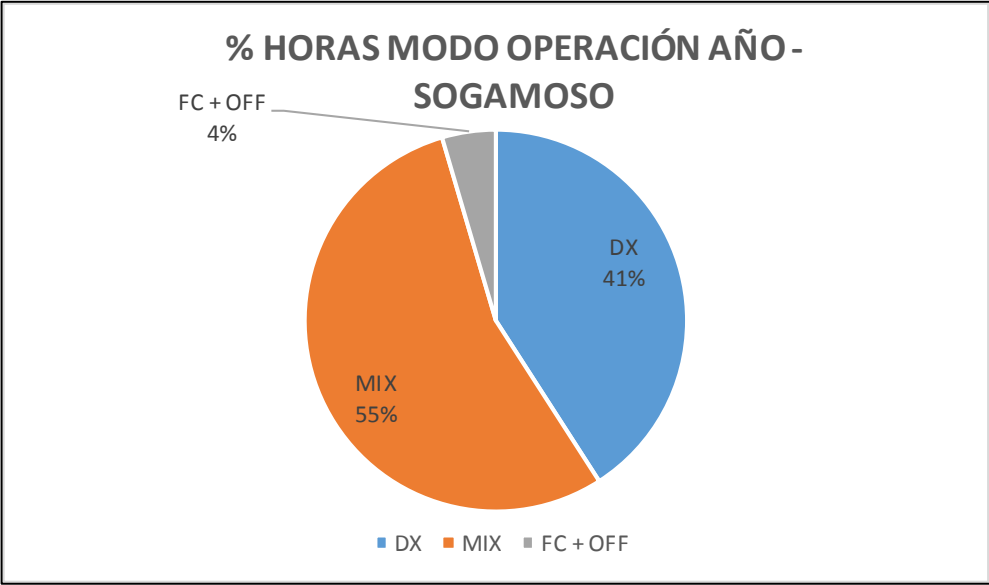


Figura 19. Estimación horas modo funcionamiento equipos Sogamoso.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA SOLUCIÓN

Con el fin de determinar la viabilidad económica del proyecto, a continuación, se realiza el análisis comparativo entre los costos de implementación y operación del nuevo sistema de climatización propuesto y el costo operativo del sistema actualmente instalado. Dicho análisis se realiza para las dos centrales en estudio, tomando como base precios comerciales de equipos, materiales y mano de obra; así como el valor de facturación de la energía en la zona de implementación⁸.

5.1 CENTRAL TUNJA

Tabla 17. Costo operación anual sistema AA existente central Tunja

COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA ACTUAL CENTRAL TUNJA CX + TX TUNJA		
Consumo anual (Kw/h)	Valor Kw/h (COP)	Costo anual operación (COP)
426260	380 *	\$ 161,978,669

Tabla 18. Costo operación anual sistema AA proyectado central Tunja

COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA PROYECTADO CX TUNJA 25 TR			
MODO OPERACIÓN	Consumo anual (Kw/h)	Valor Kw/h (COP)	Costo anual operación (COP)
DX	53043	380	\$ 20,156,439
MIX	134063	380	\$ 50,944,094
FC	34444	380	\$ 13,088,842
TOTAL	221551		\$ 84,189,374
COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA PROYECTADO TX TUNJA 15 TR			
MODO OPERACIÓN	Consumo anual (Kw/h)	Valor Kw/h (COP)	Costo anual operación (COP)
DX	28670	380	\$ 10,894,429
MIX	66089	380	\$ 25,113,646
FC	13634	380	\$ 5,181,010
TOTAL	108392		\$ 41,189,085
		TOTAL COSTO ANUAL DE OPERACIÓN CX + TX	\$ 125,378,460
		AHORRO OPERACIÓN ANUAL	\$ 36,600,209

⁸ * Valor Kwh EBSA sector no residencial NT 3.

Tabla 19. Presupuesto Implementación sistema AA Free cooling central Tunja

PRESUPUESTO IMPLEMENTACIÓN AA FREE COOLING - CENTRAL TUNJA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO COP	VALOR TOTAL COP
Equipos					
1	Sistema de AA precisión de 25 TR, free cooling incluye CRAC, Dry cooler, motobombas y dispositivos de control.	UND	2	\$ 98,833,146	\$ 197,666,292
2	Sistema de AA precisión de 15 TR, free cooling incluye CRAC, Dry cooler, motobombas y dispositivos de control.	UND	2	\$ 69,009,825	\$ 138,019,650
Implementación					
3	Desmante sistema de AA existente	GLB	1	\$ 3,207,600	\$ 3,207,600
4	Materiales e instrumentación red hidráulica	GLB	1	\$ 69,813,931	\$ 69,813,931
5	Materiales red eléctrica	GLB	1	\$ 26,035,371	\$ 26,035,371
6	Conductos distribución aire	GLB	1	\$ 24,163,198	\$ 24,163,198
7	Mano de obra implementación	GLB	1	\$ 36,333,416	\$ 36,333,416
8	Izajes y logística	GLB	1	\$ 14,445,138	\$ 14,445,138
9	Adecuaciones civiles	GLB	1	\$ 1,011,488	\$ 1,011,488
				SUB TOTAL	\$ 510,696,084
				IVA 19%	\$ 97,032,256
				TOTAL	\$ 607,728,340

5.2 CENTRAL SOGAMOSO

Tabla 20. Costo operación anual sistema AA existente central Sogamoso

COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA ACTUAL CENTRAL SOGAMOSO CX + TX TUNJA		
Consumo anual (Kw/h)	Valor Kw/h (COP)	Costo anual operación (COP)
457597	380	\$ 173,886,925

Tabla 21. Costo operación anual sistema AA proyectado central Sogamoso

COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA PROYECTADO CX SOGAMOSO 25 TR			
MODO OPERACIÓN	Consumo anual (Kw/h)	Valor Kw/h (COP)	Costo anual operación (COP)
DX	119347	380	\$ 45,351,987
MIX	114911	380	\$ 43,666,366
FC	5741	380	\$ 2,181,474
TOTAL	240000		\$ 91,199,827
COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA PROYECTADO TX SOGAMOSO 15 TR			
MODO OPERACIÓN	Consumo anual (Kw/h)	Valor Kw/h (COP)	Costo anual operación (COP)
DX	64506	380	\$ 24,512,466
MIX	56647	380	\$ 21,525,983
FC	2272	380	\$ 863,502
TOTAL	123426		\$ 46,901,950
TOTAL COSTO ANUAL DE OPERACIÓN CX + TX			\$ 138,101,777
AHORRO OPERACIÓN ANUAL			\$ 35,785,148

Tabla 22. Presupuesto Implementación sistema AA Free cooling central Sogamoso

PRESUPUESTO IMPLEMENTACIÓN AA FREE COOLING - CENTRAL SOGAMOSO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO COP	VALOR TOTAL COP
Equipos					
1	Sistema de AA precisión de 25 TR, free cooling incluye CRAC, Dry cooler, motobombas y dispositivos de control.	UND	2	\$ 173,722,500	\$ 347,445,000
2	Sistema de AA precisión de 15 TR, free cooling incluye CRAC, Dry cooler, motobombas y dispositivos de control.	UND	2	\$ 133,096,950	\$ 266,193,900
Implementación					
3	Desmante sistema de AA existente	GLB	1	\$ 2,295,650	\$ 2,295,650
4	Materiales e instrumentación red hidráulica	GLB	1	\$ 38,256,965	\$ 38,256,965
5	Materiales red eléctrica	GLB	1	\$ 26,035,371	\$ 26,035,371
6	Conductos distribución aire	GLB	1	\$ 18,200,500	\$ 18,200,500
7	Mano de obra implementación	GLB	1	\$ 22,565,000	\$ 22,565,000
8	Izajes y logística	GLB	1	\$ 8,250,000	\$ 8,250,000
9	Adecuaciones civiles	GLB	1	\$ 1,565,250	\$ 1,565,250
				SUB TOTAL	\$ 730,807,636
				IVA 19%	\$ 138,853,451
				TOTAL	\$ 869,661,087

A pesar de que el tiempo de vida útil de un sistema de precisión como el propuesto en este trabajo está entre 15 y 20 años, dadas las condiciones ambientales de estas ciudades y con un adecuado mantenimiento, se puede apreciar que el retorno de la inversión realizada no se ve compensado por el ahorro esperado en el consumo energético en un corto plazo y que más bien se acerca a la vida útil del sistema.

6. CONCLUSIONES

- Luego de revisar los sistemas de climatización utilizados actualmente para las centrales Tunja y Sogamoso, podemos concluir que dichos sistemas están conformados por equipos de aire acondicionado tipo confort, los cuales, por tratarse de salas para procesamiento de datos no son la solución adecuada para efectuar la climatización eficiente y confiable requerida.
- Tras el análisis efectuado en este trabajo se concluye que la aplicación a utilizar dentro de las soluciones de precisión con free cooling, es el free cooling indirecto de dos etapas con CRAC's y Dry coolers, pues este sistema es el que en teoría ofrece mejores condiciones de ahorro de energía a las temperaturas esperadas en las ciudades donde están ubicadas las dos centrales a intervenir, teniendo en cuenta la capacidad requerida de los sistemas.
- Con la implementación de este tipo de sistemas, la climatización en las dos centrales va a ser más adecuada y confiable conforme a lo requerido para este tipo de aplicación.
- Luego de realizar el análisis económico de la implementación del proyecto para las dos centrales se concluye que, aunque se obtendrá un ahorro energético y una mejor confiabilidad, el retorno de la inversión se aproxima a la vida útil de los sistemas.
- La exitosa implementación de sistemas de climatización con free cooling en países tropicales, requiere de ubicaciones en altitudes permitan que garantizar temperaturas por debajo de 5 °C durante al menos la tercera parte del tiempo. Pues en ciudades de "clima frío" como Tunja, el porcentaje de horas-año que permiten enfriamiento libre hacen que el retorno de la inversión tome un gran porcentaje de la vida útil de los sistemas.
- Aunque representa una inversión inicial mayor comparada con un sistema de aire acondicionado convencional tipo confort, la utilización de sistemas tipo precisión permite elevar la eficiencia y confiabilidad a la hora de realizar la climatización de CPD's.

7. RECOMENDACIONES

- El aumento de confiabilidad y el control preciso de las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de las salas que redundan en confiabilidad y duración de equipos hace que en la industria de las TIC's la utilización de sistemas de climatización tipo precisión sea la solución más adecuada.
- Al realizar análisis económicos de proyectos relacionados con la climatización de CPD's se debe tener en cuenta, que un porcentaje importante de los costos de implementación de un sistema de aire acondicionado de precisión para CPD está enfocado en garantizar los niveles de crecimiento, confiabilidad y redundancia requeridos por la solución.
- La implementación de sistemas de enfriamiento libre o free cooling para CPD's en las principales ciudades de países ubicados en el trópico como Colombia, ubicadas por debajo de 3000 m.s.n.m., no genera niveles de ahorro energético que permitan recuperar al 100% la inversión inicial a mediano plazo.
- Para obtener ahorros de energía significativos utilizando sistemas de free cooling indirecto, las condiciones climáticas del sitio deben garantizar temperaturas por debajo de 5°C durante al menos la tercera parte del año.
- Dado que el consumo de energía empleado por el sistema de climatización representa un porcentaje importante dentro del gasto energético total de operación de un CPD, se hace preponderante buscar soluciones orientadas al mejoramiento de la eficiencia energética a la hora de diseñar e implementar este tipo de sistemas.
- Aunque los diferentes fabricantes cuentan con estudios y experiencias que confirman la conveniencia de la implementación de sistemas de enfriamiento libre en países estacionales, no ocurre lo mismo para países del trópico como Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI-TIA (American National Standards Institute – Telecommunications Industry Association). (06 de 2004). Telecommunications Infrastructure Standard.
- APC. (2003). *www.apc.com*.
- ASHRAE T.C. 9.9. (2011). Thermal Guidelines for Data Processing Environments.
- Avelar, V. (2003). *Informe Interno N°3 Revisión 1. APC*.
- BCC, Inc. (s.f.). *Report GB-185R*.
- Castellanos, Alejandra. (2014). *<https://esemanal.mx/2014/10/diferencias-entre-enfriamiento-de-precision-y-de-confort/>*.
- Carrero, D. (2016). *<https://revistacloud.com/factores-que-afectan-al-pue-en-centros-de-datos/>*. Obtenido de Factores que afectan el PUE en centros de datos.
- <http://atlas.ideam.gov.co>*. (s.f.). Obtenido de *<http://atlas.ideam.gov.co>*.
- <http://centrodedatos.blogspot.com>*. (2009).
- <http://www.cliatec.com>*. (2018).
- <http://www.ideam.gov.co>*. (2019). Obtenido de Características Climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos.
- <https://es.uptimeinstitute.com/tiers>*. (s.f.).
- <https://www.vertivco.com>*. (2017). Obtenido de *<https://www.vertivco.com:https://www.vertivco.com/globalassets/shared/comfort-vs.-precision-cooling-white-paper-service-aspect.pdf>*
- Macias, E. (18 de 07 de 2012). *<http://www.computerworld.es>*. Obtenido de *<http://www.computerworld.es>*: *<http://www.computerworld.es/cloud/como-mejorar-la-eficiencia-energetica-en-los-centros-de-datos>*
- Macias, E. (2012). *<https://www.computerworld.es/cloud>*. Obtenido de Cómo mejorar la eficiencia energética en los centros de datos.
- Neil Rasmussen. (2003). *<http://www.apc.com>*. Obtenido de *<http://www.apc.com>*.

P. Nuno, J. L. (2006). <http://www.rediris.es/rediris/boletin/76/enfoque2.pdf>.

Penske, B. (06 de 11 de 2015). www.stulz.com. Obtenido de <https://www.stulz.com.mx/es/seccion-de-noticias/blog/free-cooling-directo-e-indirecto-794/>

Rojas, E. (2013). www.muycomputerpro.com/2013/02/26/pue-medida-eficiencia-datacenters. Obtenido de El PUE: la medida de la eficiencia de los datacenters.

Tecnair LV. (2018). <http://www.tecnairlv.it>. Obtenido de <http://www.tecnairlv.it>.

www.circuitor.es. (s.f.). Obtenido de Tecnología para la eficiencia energética.

www.datacentermarket.es. (2017).

www.datacentershoy.com. (2015).

www.ebsa.com.co. (2018).

www.empresaeficiente.com. (s.f.). Obtenido de Sabes lo que es free cooling.

www.friclima.org. (2018).

www.frikipandi.com. (2015).

www.google.com/maps. (10 de 2019).

www.hvacbrain.com. (12 de 2018). Obtenido de www.hvacbrain.com.

www.meteoblue.com. (15 de 11 de 2018). Obtenido de www.meteoblue.com.

www.mundohvacr.com.mx. (2011).

www.thegreengrid.org. (2018).

ANEXOS

Selección de equipos.

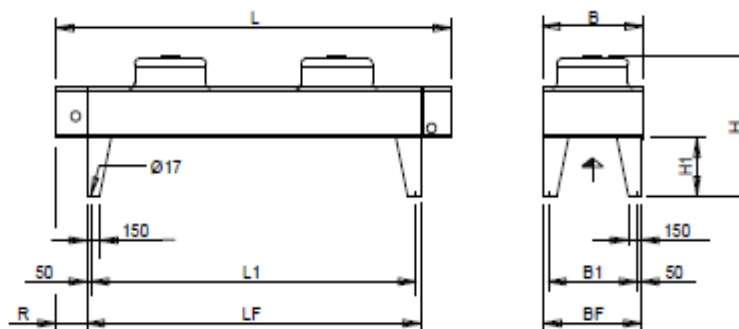
A continuación, se anexan como ilustración hojas de selección de equipos a utilizar en el proyecto, tomadas de software de selección de fabricante.



Fecha:
Solicitud del:
Proyecto:
No. de oferta: 2014-06-06
Posición:
Responsable:

Enfriador de líquido GFH 080.2B/2-N(J)-F6/5P	
Capacidad: 88.0 kW	Medio: Agua (R718) ⁽¹⁾
Superficie de reserva: 13.5 %	Entrada: 34.5 °C
Caudal de aire: 41100 m³/h	Salida: 30.0 °C
Entrada del aire: 25.0 °C	Pérdida de presión: 0.69 bar
Altura de instalación: 0 m	Caudal: 16.94 m³/h
Ventiladores: 2 Unidad(es) 3~400V 60HzY/(-)	Nivel de presión sonora: 57 dB(A) ⁽²⁾
Datos por motor (datos nominales):	a una distancia de: 10.0 m
Revoluciones: 1030 min-1 / (-)	Nivel de potencia acústica: 89 dB(A)
Capacidad (mec./el.): 1.31 kW/1.65 kW	ErP: Compliant ⁽³⁾
Corriente: 3.30 A ⁽⁴⁾	
Potencia total absorbida: 3.20 kW	Clase de eficiencia energética: C
Caja: Acero galvanizado, RAL 7035	Tubos intercambiador: Cobre ⁽⁵⁾
Superf. de intercambio: 592.8 m²	Aletas: Aluminio ⁽⁶⁾
Volumen de tubos: 75.5 l	Conexiones por cada aparato:
Paso de aleta: 2.40 mm	Entrada: 64.0 × 2.00 mm
Peso vacío: 596 kg ⁽⁶⁾	Salida: 64.0 × 2.00 mm
Presión de servicio máxima: 16.0 bar	PED classification: Art 3, par. 3 ⁽⁷⁾
Dimensiones:	

L = 5155 mm
B = 1141 mm
H = 1430 mm
R = 250 mm
L1 = 4505 mm
LF = 4605 mm
B1 = 1005 mm
BF = 1105 mm
H1 = 600 mm



Atención: ¡Dibujo y dimensiones pueden variar dependiendo de los accesorios incluidos!

Unit

Unit type:	ALD 712 GE		
Cooling capacity (total):	73,9 kW	Airflow:	20.000 m³/h
Cooling capacity (sensible):	59,6 kW	Air velocity:	2,5 m/s
Net total cooling capacity:	70,4 kW	Return air temperature:	24 °C
Net sensible cooling capacity:	56,1 kW	Return air humidity:	50 rel. %
Condensing temperature:	40 °C	Supply air temperature:	12 °C
EER:	4,27 kW/kW	Altitude above sea level:	2.600 m
Sound power level:	83,3 dB(A)	Height:	1.980 mm
LpA (2m freefield):	62,4 dB(A)	Width:	2.550 mm
		Depth:	890 mm
		Weight:	939 kg
		Refrigerant:	R407C
		Frequency:	60 Hz

Fan (Data per unit)

Fan type:	R3G595_AB23_08	Power consumption:	3,5 kW
Number:	3	ESP external static pressure:	20 Pa
Max. revolutions:	1.408 U/min	Total pressure drop:	396 Pa
Nominal power:	8,7 kW	Control voltage:	7,7 V
Revolutions:	1.148 rpm	Motor-efficiency:	88

Hydraulics (Data per unit)

Pressure drop condenser:	37 kPa	Medium inlet temperature:	30,0 °C
Pressure drop 2-way cooling water valve:	46 kPa	Medium outlet temperature:	34,5 °C
Pressure drop pipework:	33 kPa	Medium volume flow:	16,9 m³/h
Total pressure drop:	116 kPa	Percentage of glycol:	0 %
		Nominal size 2-way GE/CW valve:	1 1/2 "
		Nominal size 2-way cooling water valve:	1 1/2 "

Compressor (Data per compressor)

Electrical power consumption:	6,9 kW
Heat rejection:	43,8 kW
COP:	5,37 kW/kW
Number:	2
Evaporating temperature:	8,8 °C