

ESTRATEGIAS DE RESPALDO Y MEJORA DEL SISTEMA HVAC DE LOS  
CUARTOS DE DRIVES DE UNA PLANTA PAPELERA.

OSCAR GERARDO ARGUELLO FAJARDO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERÍAS  
FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN  
BUCARAMANGA 2021

ESTRATEGIAS DE RESPALDO Y MEJORA DEL SISTEMA HVAC DE LOS  
CUARTOS DE DRIVES DE UNA PLANTA PAPELERA.

OSCAR GERARDO ARGUELLO FAJARDO

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

DIRECTOR  
ROBERTO D'ANETRA NOVOA  
MAGISTER EN EFICIENCIA ENERGETICA Y SOTENIBILIDAD

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

BUCARAMANGA 2021

## NOTA DE PROYECTO DE GRADO

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UIS

## DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis padres por impulsarme a realizar este proceso de aprendizaje que me ha abierto muchas puertas.

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

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	14
JUSTIFICACIÓN .....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.OBJETIVOS.....	18
1.1  OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2  OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2. ANÁLISIS DE LITERATURA RECOPIADA.....	19
2.1 MARCO TEÓRICO .....	19
2.2 Centro de control de motores.....	19
2.2 Tipos de construcción.....	19
2.2.1 De un frente.....	20
2.2.2 De dos frentes .....	20
2.2.3Tipo de adaptación o acople .....	21
2.2.4Tipo fijo.....	21
2.2.5Tipo enchufable.....	21
2.2.6 Tipo extraíble.....	21
Figura 1. Cálculo carga térmica CCM.....	23
Figura 2. Distribución de aire mediante conductos en Datacenter. ....	24
Figura 3. Distribución de aire por piso falso.....	24
Tabla 1. Niveles de redundancia estándar ANSI/TIA 942.....	25
Figura 4. Temperaturas data center ASHRAE 9.9.....	27
2.2  MARCO CONCEPTUAL.....	28
Figura 5. Free cooling directo.....	29
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema AA freecooling directo.....	30
3.0 PLAN DE TRABAJO .....	32
3.1  DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	32
3.1.1    Geografía.....	32
Figura 16. Ubicación Planta papelera.....	33

Figura 17. Registro anual temperatura Cajicá 6 .....	34
Figura 20. Distribución arquitectónica actual CCM MP6.....	35
<b>4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 SELECCIÓN DE SISTEMA A IMPLEMENTAR .....</b>	<b>37</b>
Tabla 3. Matriz de selección Sistemas AA .....	39
Figura 7. diagrama de Flujo Sistema de respaldo Free cooling CMM'S MP6.....	41
Figura 8. Unidades Manejadoras actuales CMM'S MP6.....	42
<b>5.1.1 Modo de funcionamiento.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1.2 Condiciones esperadas de temperatura y humedad relativa .</b>	<b>43</b>
<b>5.1.3 Cálculo de carga térmica .....</b>	<b>43</b>
Tabla 4. Estimación carga térmica CCMS MP6.....	44
Psicometría del Sistema .....	44
Tabla 4 Condición 1 de cálculo: Temperatura mínima de 5°C y 90% de humedad relativa .....	45
Figura 9. Psicometría Condiciones de Operación del sistema .....	47
Figura 10. Resultados Psicometría .....	48
<b>6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>49</b>
Tabla 6. Costo operación anual sistema AA existente CCMS Planta Cajicá .....	49
Tabla 7. Costo operación anual sistema de respaldo AA proyectado central.....	49
Tabla 8. Presupuesto Implementación sistema de respaldo Free cooling. .....	50
<b>7 CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>8 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de redundancia estándar ANSI/TIA 942 .....	25
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema AA freecooling directo.....	30
Tabla 3. Matriz de selección Sistemas AA .....	39
Tabla 4. Estimación carga térmica CCMS MP6.....	44
Tabla 4 Condición 1 de cálculo: Temperatura mínima de 5°C y 90% de humedad relativa .....	45
Tabla 6. Costo operación anual sistema AA existente CCMS Planta Cajicá .....	49
Tabla 7. Costo operación anual sistema de respaldo AA proyectado central.....	49
Tabla 8. Presupuesto Implementación sistema de respaldo AA Free cooling.....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cálculo carga térmica CMM .....	23
Figura 2. Distribución de aire mediante conductos en Datacenter. ....	24
Figura 3. Distribución de aire por piso falso. ....	24
Figura 4. Temperaturas data center ASHRAE 9.9.....	27
Figura 5. Free cooling directo.....	29
Figura 16. Ubicación Planta papelera. ....	33
Fuente: ( <i>www.google.com/maps, 2021</i> ).....	33
Figura 17. Registro anual temperatura Cajicá <sup>6</sup> .....	34
Fuente: ( <i>www.meteoblue.com, 2018</i> ).....	34
Figura 20. Distribución arquitectónica actual CCM MP6. ....	35
Figura 9. Psicrometría Condiciones de Operación del sistema .....	47
Figura 10. Resultados Psicrometría .....	48

## GLOSARIO

CA: Corriente alterna.

Calor Latente: Hace referencia a la energía necesaria para que una sustancia cambie de fase sin aumentar su temperatura.

Calor Sensible: Hace referencia al calor que genera cambio de temperatura en un cuerpo u objeto sin cambiar de fase.

Carga Térmica: En refrigeración y en Climatización hace referencia a la cantidad calor a extraer del recinto que se desea acondicionar.

CCM: Cuarto de Control de motores

CC: Corriente continua

CD: Corriente directa.

CFM: pies cúbicos por minuto.

Chiller: Enfriador de agua

Confiabilidad probabilidad en que un sistema realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas

CMM: 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: cantidad de energía contenida en una sustancia.

Free Cooling :Libre de enfriamiento , sistema diseñado para aprovechar las condiciones ambientales del lugar para realizar enfriamiento con la tendencia de

ahorro de energía

H.R.: Humedad Relativa.

PAC: Precision Air Conditioning. Acondicionador de aire de precisión

Rack: elemento estándar diseñado para alojar físicamente equipo de comunicaciones potencia y sus accesorios.

Redundancia: En Climatización 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.

VFD: Variable-frequency drive (Variador de Frecuencia)

CU<sub>2</sub>S: sulfuro de cobre, es un sulfuro de cobre, un compuesto químico de cobre y azufre que afecta a las conductores de las tarjetas electrónicas de los Drives.

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTRATEGIAS DE RESPALDO Y MEJORA DEL SISTEMA HVAC DE LOS CUARTOS DE DRIVES DE UNA PLANTA PAPELERA.<sup>1</sup>

**AUTOR:** OSCAR GERARDO ARGUELLO FAJARDO.<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:** Variador de frecuencia, Aire, free cooling, climatización, temperatura, humedad, clima.

### DESCRIPCION:

El uso de Variable-frequency drive para el control de motores eléctricos es masivo a nivel industrial y global. La cantidad de calor que se genera por la automatización de procesos y su confinamiento en cuartos exclusivos indispensables para la producción en las industrias de fabricación continua; obliga a prever un sistema de Climatización capaz de mantener las condiciones ambientales ideales para su adecuado funcionamiento y que cuente con la redundancia mínima que garantice la producción 24 horas al día y 7 días a la semana.

Es necesario encontrar e implementar alternativas de climatización con tendencia al ahorro energético que estén disponibles en caso de falla.

Este trabajo plantea la implementación del freecooling para el enfriamiento del cuarto de Drive de una planta Papelera en la ciudad de Cajicá, por medio del diseño de un sistema que pueda operar como respaldo del sistema actual y que a partir de esta tecnología el sistema cuente con una mejora en la eficiencia energética del sistema de climatización por medio del aprovechamiento de las condiciones ambientales de su clima.

Para el desarrollo de esta tarea, se especifica las variables a controlar consecuentes para el correcto funcionamiento de estos recintos como: CCM, Datacenter, Cuartos de potencia entre otros, donde el componente de calor latente es mínimo comparado con el de calor sensible. Se realizó el análisis de literatura con el fin de tener claro los estándares aplicables que rigen soluciones de este tipo y determinar la alternativa viable desde el punto de vista de implementación, versatilidad y costo como respaldo del sistema actual.

Con base en lo anterior se realiza el diseño de la solución planteada, las recomendaciones para el sistema actual y un presupuesto económico por la ejecución sistema planteado.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Roberto D'anetra Novoa

## RESUMEN

**TÍTULO:** STRATEGIES FOR SUPPORTING AND IMPROVING THE HVAC SYSTEM OF THE DRIVES ROOMS OF A PAPER MILL. <sup>1</sup>

**AUTOR:** OSCAR GERARDO ARGUELLO FAJARDO. <sup>2</sup>

**KEY WORDS:** Frequency inverter, Air, free cooling, air conditioning, temperature, humidity, climate.

### DESCRIPTION:

The use of Variable-frequency drive for the control of electric motors is massive at an industrial and global level. The amount of heat that is generated by the automation of processes and its confinement in exclusive rooms essential for production in continuous manufacturing industries; It makes it necessary to foresee a HVAC system capable of maintaining the ideal environmental conditions for its proper operation and that has the minimum redundancy that guarantees production 24 hours a day and 7 days a week.

It is necessary to find and implement air conditioning alternatives with a tendency to energy saving that are available in case of failure.

This work proposes the implementation of free cooling for the cooling of the drive room of a paper plant in the city of Cajicá, by means of the design of a system that can operate as a backup of the current system and that, based on this technology, the system has with an improvement in the energy efficiency of the air conditioning system by taking advantage of the environmental conditions of its climate.

For the development of this task, the variables to be controlled are specified for the correct operation of these rooms, such as: CCM, Datacenter, Power rooms, among others, where the latent heat component is minimal compared to sensible heat. The literature analysis was carried out in order to be clear about the applicable standards that govern solutions of this type and determine the viable alternative from the point of view of implementation, versatility and cost to support the current system.

Based on the above, the design of the proposed solution is made, the recommendations for the current system and an economic budget for the implementation of the proposed system.

---

<sup>1</sup> Degree Work

<sup>2</sup> Faculty of physical-mechanical engineering. School of Mechanical Engineering. director: Roberto D´anetra Novoa

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado se realiza a nivel de monografía, para revisar el estado del arte de los estándares aplicables a la adecuada climatización de los cuartos de control de motores industriales, encaminados a la mejora de la eficiencia energética de estas salas que deben operar de manera continua y confiabilidad máxima, como es el cuarto de Drives de una Empresa papelera

Por la importancia del cuarto de Drive en la producción masiva y considerando la cantidad de energía empleada para el funcionamiento de este tipo de espacios, es consecuente el desarrollo de trabajos en los que se referencien los estándares y estrategias renovables disponibles encaminadas a la disminución del consumo energético.

Las estrategias de enfriamiento gratis o free cooling son usadas y probadas por la industria de la climatización en países con climas que permiten el intercambio de energía durante la mayoría de horas al año. En Colombia un país ubicado a nivel del trópico donde la temperatura es determinada por la altitud, no se cuenta con estudios que permitan determinar la viabilidad para la implementación de sistemas de free Cooling.

Sin embargo, se realiza esta investigación para dimensionar la implementación y mejora de un sistema de acondicionamiento de aire existente, en el caso particular de un municipio que es reconocido como “de clima frío”, específicamente Cajicá en Cundinamarca.

## JUSTIFICACIÓN

Las empresas de producción de productos de primera necesidad de forma masiva requieren de cuartos especializados para albergar y proteger el control de los motores de sus plantas altamente especializadas. Las variables que debe controlar el cuarto para proteger el control de los motores son: Temperatura, humedad, presión y calidad de aire.

El desarrollo tecnológico de los Drives y su implementación ha vuelto los cuartos de CCMS centrales que albergaban una gran componente de equipos de potencia, control de variables de instrumentación y calor, lo que los convierte además en centros de procesamiento de datos. Lo anterior, hace que sea de relevancia las condiciones de temperatura y humedad con que opera la electrónica encargada del control, transmisión y recepción de señales. Valores de temperatura , humedad y concentración de gases fuera del intervalo admisible hace que las tarjetas electrónicas ~~pasen~~ sufran fallas catastróficas para la operación.

En consecuencia, los CCMS cuentan sistemas de climatización previstos para las condiciones ambientales requeridas para el funcionamiento continuo de los equipos.

El gasto por la energía demandada por los sistemas de climatización representa un porcentaje amplio del total requerido para la operación de la planta, se genera la necesidad de implementar opciones para rebajar el requerimiento de potencia eléctrica de los sistemas de Aire acondicionado, con el uso de alternativas que aprovechen el potencial de enfriamiento gratuito, que por una parte dispongan de componentes electromecánicos a la vanguardia y sistemas de control robustos y por otro lado, exploten las condiciones climáticas del sitio para reducir el consumo eléctrico.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la planta papelera ubicada en el Municipio de Cajicá, al área de molinos llega el material reciclado y es procesado para obtener pulpa de papel; el cuarto de CCM (Centro de control de motores) de la máquina de papel 6 contienen el control de la potencia y el control de instrumentación necesarios para la operación constante de la planta.

En este momento para refrigerar esa área se cuenta con un Chiller RTWD 080 de 80 Toneladas de refrigeración, condensado por agua que se encarga de enviar agua fría a 8°C a 3 manejadoras de aire marca Trane 25TR.

En el año 2017 y 2019 se presentaron fallas que afectaron la board del Chiller por más de 30 días y 36 horas en cada ocasión, las temperaturas del cuarto llegaron a 42°C comprometiendo la integridad de los variadores y la producción de la planta. Hay problemas de distribución de aire comprobables en el mapeo térmico realizado durante los años 2019 y 2020 en los meses de marzo y junio, la distribución de temperaturas no es uniforme y presenta picos de hasta 35°C y una temperatura media de 21°C en el recinto.

La calidad de aire es deficiente en los cuartos de Drives de la Máquina y ha generado el recambio de tarjetas y equipos electrónicos; hasta cada 6 meses según datos de mantenimiento eléctrico de la planta, por cuenta de la corrosión acelerada de sus conductores; los niveles,  $CO_2$  Cuantificados con el Air Quality Analysis Application De la Firma American Air Filter han demostrado la tasa más alta de

contaminación en los cuartos A4 nivel severo según el standard ASHRAE TC 9.9, Se plantea esta investigación dar dimensionar un sistema de respaldo del sistema HVAC del cuarto de CCM de Mp6 , la solución se planteara de forma completa ;teniendo en cuenta normativa aplicable de calidad de aire y tecnologías que permitan el ahorro energético por ejemplo Free Cooling.

## **1.OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Definir estrategias de respaldo y mejora del sistema HVAC de los cuartos de CCM de Mp6 de La Planta Papelera cumpliendo con el estándar ASHRAE TC 9.9.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el sistema respaldo para el enfriamiento en el cuarto de CCM de la máquina de papel Mp6 de la planta papelera ubicada en Cajicá, que cumpla con los Requerimiento de Temperatura  $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , Calidad de aire A2, presión mínima de 2Pa y humedad relativa menor al 60% parámetros necesarios para la correcta operación del sistema según el estándar ASHRAE TC 9.9.
- Analizar el free cooling como una estrategia de ahorro energético y respaldo que permita mantener la temperatura en la zona de CCM de mp6 en el cuarto de CCM de la máquina de papel Mp6 de la planta papelera ubicada en Cajicá.

## **2. ANÁLISIS DE LITERATURA RECOPIADA**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.2 Centro de control de motores**

Era común encontrar en plantas antiguas motores de distintas capacidades y marcas, con un sistema de control diferente y cada uno debía ser atendido en su propio tablero para mantenimiento correctivo o preventivo de una forma descentralizada, esta situación generaba un costo extra de espacio orden y servicio. Para minimizar y centralizar la maniobra eléctrica y su supervisión. se establecen los Centros de Control de Motores (CCM).

Con la revolución electrónica. El cambio se dio en la implementación de relés electrónicos reemplazando los relés mecánicos o electromecánicos que se encontraban hasta hace unos años en la industria. La supervisión de las variables eléctricas y mecánicas por medio de un control remoto, abrió campo a las interfaces de comunicación para componentes electrónicos. los CCM's han evolucionado al punto de controlar, supervisar y comunicar los parámetros establecidos en su lógica, además de tener diferentes formas constructivas según sea la aplicación deseada

Los centros de control de motores pueden clasificarse de acuerdo con:

#### **2.2 Tipos de construcción**

La construcción de un centro de control de motores se en la industria se da de acuerdo al acceso para los operarios, en las técnicas para la interconexión de los equipos eléctricos, los diferentes tipos de cableado y como se organiza espacialmente . Esta información es toma de la norma venezolana “ (COVENNIN 2942:1998, 1998).

### **2.2.1 De un frente**

La construcción de un frente consiste en tener las gavetas en un solo frente del tablero. Para con esto, acceder a las partes activas del centro de control de motores se debe hacer desde la parte frontal del tablero, componentes como las barras, borneras de salida/entrada y cableado se puede acceder desde ambas partes posterior y frontal.

### **2.2.2 De dos frentes**

La construcción de dos frentes consiste en tener las gavetas en ambos frentes del tablero. Para acceder a las partes activas del centro de control de motores se puede acceder desde ambos frentes, sin embargo, para tener acceso al cableado y barrajes se debe desmontar una serie de paneles que protegen del contacto directo o indirecto en dichas barrajes.

### **2.2.3 Tipo de adaptación o acople**

Las adaptaciones de un centro de control de motores son las formas de interconexión de los equipos y dispositivos que comprende el conjunto de protección para el motor con el tablero que los contiene, estas adaptaciones son:

### **2.2.4 Tipo fijo**

La construcción de tipo fijo establece como característica principal que gavetas o en su defecto bandejas integradas están mecánicamente fijas al tablero. Los circuitos de carga, control y fuerza se desconectan manualmente.

### **2.2.5 Tipo enchufable**

El concepto enchufable es derivado de la expresión “Plug In” utilizada en la normatividad escrita en el idioma inglés.

La construcción de tipo enchufable corresponde a la necesidad de disponer de una posición extraída o insertada, donde el circuito de fuerza es desconectado de manera automática y los circuitos de carga y control deben ser desconectados de forma manual.

### **2.2.6 Tipo extraíble**

El concepto extraíble es derivado de la expresión “Draw Out” utilizada en la normatividad escrita en el idioma inglés.

Esta construcción se caracteriza por desacoplar totalmente y de manera automática toda la gaveta o bandeja integrada, además de disponer de tres posiciones: Insertada, extraída y de prueba, en esta última se desacopla mecánicamente de los barrajes de bus principales los circuitos de fuerza y el circuito de control opera de forma uniforme.

## **2.3 Estudio de carga térmica en CCM'S.**

A continuación se presenta un resumen de como varios autores y fabricantes concuerdan en el cálculo de la carga térmica de sus equipos.

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 y CCM'S sea similar al consumo energético en vatios.

El cálculo de la carga térmica total generada por un sistema es la suma de la energía térmica producida por cada componente. El sistema completo incluye los equipos de IT, Variadores de frecuencia, arrancadores suaves e instrumentación instalada para el control en los tableros, además de otros elementos como UPS y sistemas de transmisión de potencia, unidades de aire acondicionado en sala, iluminación y personas. Para el uso generalizado de este tipo cuarto, la energía térmica de cada componente puede determinarse usando un estándar simple. ((Neil Rasmussen).

Se toma como referencia la hoja de cálculo utilizada por implementadores de Schneider Electric, que permite realizar un análisis ágil de la carga térmica de un CCM'S (HVAC Cooling Systems for Data Centers). Se relaciona la tabla en la figura 1.

Para este análisis de descarta la carga térmica por fuentes de solar o ambiental que entra por las ventanas y/o muros y el calor, es importante tener en cuenta estas cargas al momento de realizar el cálculo minucioso del sistema aunque en muchos casos como el nuestro el CCM no cuenta con ventanas al exterior o muros que reciban carga térmica, como lo recomiendan los estándares, ((ANSI- TIA (American National Standards Institute – Telecommunications Industry Association))).

Si el cuarto esa en el centro del edificio o no cuenta con cargas por conducción en muros y ventanas que cambien por aspectos climáticos o de generación de la planta, pueden despreciarse las otras fuentes de calor. Igualmente, en el estudio de carga térmica de un CCM se 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

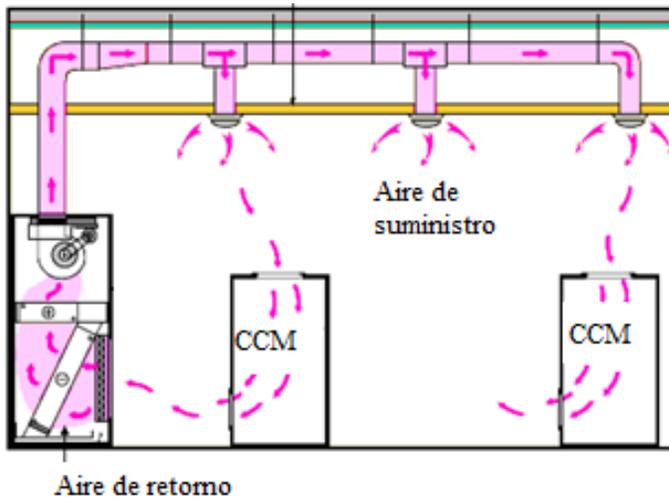
acondicionado controle los niveles de esta además de la temperatura.

Item	Data Required	Heat Output Calculation	Heat Output Subtotal
IT equipment (servers, switches, routers etc.)	Total IT load (sum of the power inputs of all IT equipment)	Same as total IT load power in watts i.e. 1kW of cooling per kW of power.	_____ watts
UPS with battery	Power system rated power (rating of UPS systems, excluding redundant modules)	$(0.04 \times \text{power system rating}) + (0.06 \times \text{total IT load power})$	_____ watts
Power distribution	Power system rated power	$(0.02 \times \text{power system rating}) + (0.02 \times \text{total IT load power})$	_____ watts
Lighting	Floor area in square feet or square meters, converted to watts.	$2.0 \times \text{floor area (sq-ft)}$	_____ watts
People	Maximum number of personnel in data centers, converted to watts	$100 \times \text{number of personnel}$	_____ watts
Ventilation air	Refer previous paragraphs for pressurization. A +ve pressure of $0.02 \pm 1$ inches of water gauge is recommended.	Watts = $.316 \times Q \times \Delta T$ . Q = volumetric flow rate, CFM $\Delta T$ = temperature difference between the supply air and the fresh make up air.	_____ watts
<b>Total amount of cooling required</b>			_____ watts
Note - Every watt equals 3.41 Btu of cooling load. HVAC designers can calculate the cooling load for each piece of equipment by multiplying the number of watts by 3.4 to produce Btu. The total Btu divided by 12,000 determines the tons of refrigeration.			Or _____ watt * 3.41Btu (Note: 1 watt = 3.416 Btu)

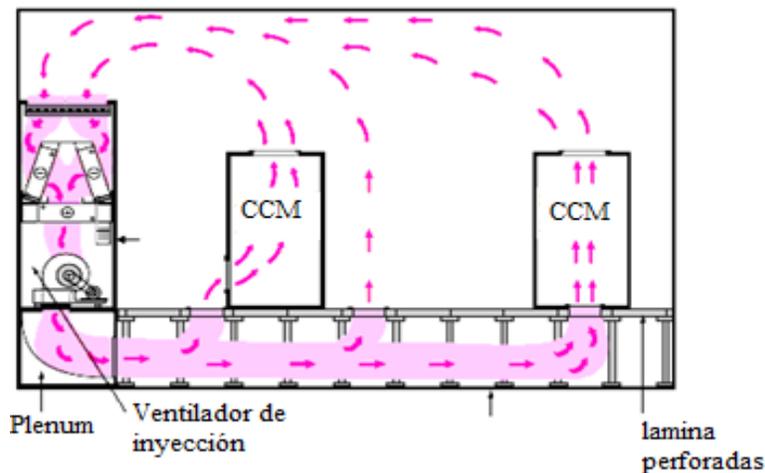
**Figura 1. Cálculo carga térmica CCM**

**Fuente:** HVAC Cooling Systems for Data Centers, APC, 2003. The Green Data Center 2.0, Chapter 2, Energy-Efficient Server Technologies,2009.

**2.1.1 Distribución de aire en un CCM.** Comúnmente se encuentran dos maneras de llevar el aire Frio de suministro desde los equipos de climatización hasta el CCM. 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 falso, el cual crea una cámara inferior presurizada que entrega el aire de manera localizada por medio de plafones perforados. (Figuras 1 y 2)



**Figura 2. Distribución de aire mediante conductos en Datacenter.**



**Figura 3. Distribución de aire por piso falso.**

**2.1.2 Redundancia para respaldo.** ya que los sistemas de climatización de los CCM deben garantizar las condiciones de operación en horario 7 x 24 durante todo el año, se hace necesario con sistemas y/o equipos adicionales que estén en caso de falla y /o mantenimiento programado del sistema.

El Uptime Institute presenta el sistema Tier Classification este Estándar se usa para evaluar para centros de datos CCMS 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 CMM y se resumen en la tabla 1. (<http://www.ciatec.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 MIN

Con base en esta tabla , se deberá contar con un sistema de respaldo que garantice el nivel que se requiera . Para establecer estos equipos se puede realizar de dos maneras :

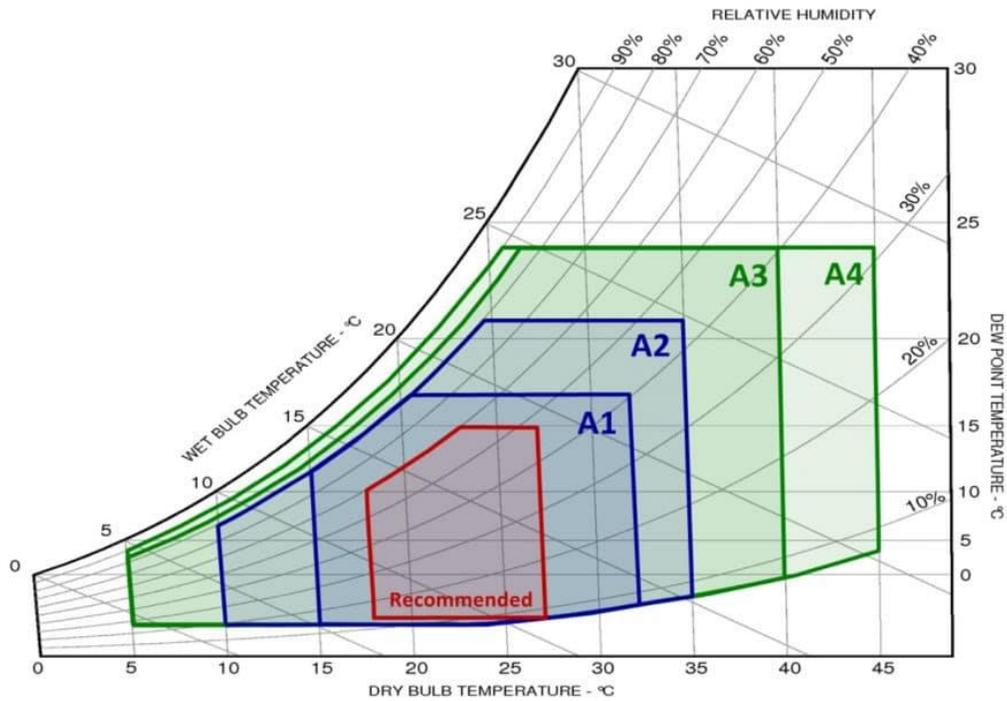
N+1 en que se cuenta con los componentes necesarios para la operación, más un componente de suplencia (Niveles TIER I, II Y III) o 2 (N+1) en se cuenta con doble componente redundante (TIER IV).

Rangos de operación. Los rangos de temperatura y humedad aceptables para el adecuado funcionamiento de un CCM dependen del tipo instalado, y del grado de confiabilidad que requiera la operación.

Con base en esto, el 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 demisión 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.friclima.org](http://www.friclima.org), 2018).



**Figura 4. Temperaturas data center ASHRAE 9.9**

*Fuente* : ASHRAE Thermal Guidelines for Datacom Equipment fourth edition psychrometric chart in SI units at sea level. These conditions pertain to the air entering the IT equipment. Disponible en internet <<https://www.electronic-cooling.com/2019/09/ashrae-technical-committee-9-9-mission-critical-facilities-data-centers-technology-spaces-and-electronic-equipment/>>

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

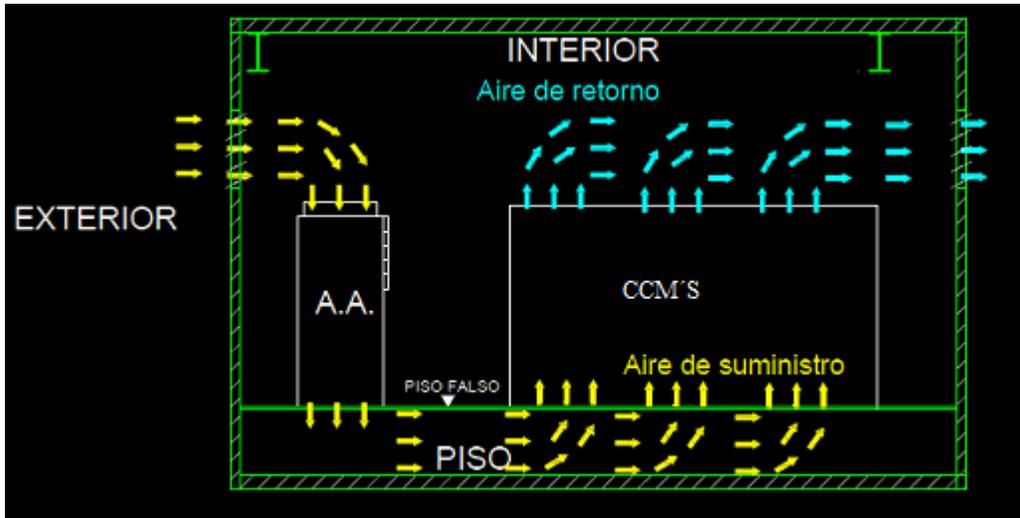
**2.2.1 Enfriamiento Libre o Free Cooling en CCM'S.** El free cooling o enfriamiento libre, es un sistema de refrigeración para recintos que aprovecha el potencial de enfriamiento del aire exterior, para disminuir la potencia y el uso de los equipos de aire acondicionado, con el fin de generar ahorros energéticos en la operación de estos y hasta el respaldo del sistema.

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

Para el caso de este estudio el enfoque se realizará en los sistemas de enfriamiento libre utilizados para CCM's de tipo directo.

**2.2.1.1 Free Cooling Directo.** El Free Cooling Directo, es el sistema que usa aire exterior para climatizar ambiente, generalmente filtrado, directamente a la sala sin usar previamente por algún tipo de serpentín de enfriamiento, o calefacción, .

En la práctica El aire externo no siempre está en condiciones soportables para el CCM algunas veces está demasiado caliente, algunas demasiado frío, algunas veces muy húmedo y otras veces muy seco. (Penske, 2015)



**Figura 5. 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 con su lógica de control usa dámper y control de revoluciones del motor hasta lograr que la mezcla del aire exterior con el aire recirculado alcance la temperatura deseada o que la inyección de aire sea la adecuada de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad requeridas.
- La temperatura exterior es mayor que la temperatura de retorno: la instalación funciona en forma con su sistema de enfriamiento.
- La temperatura exterior menor que la temperatura de retorno pero mayor que la de inyección, se deberá hacer el uso provisional del sistema de enfriamiento primario.

**Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema AA freecooling directo**

<b>FREE COOLING DIRECTO</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Sistema virtualmente más eficiente, debido al amplio potencial energético del aire exterior</i></li> <li>• <i>Sistemas sencillos de control</i></li> <li>• <i>Uso como back up de enfriamiento 100% mecánico en caso de emergencia.</i></li> <li>• <i>Alta confiabilidad debido a su sencillez</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Dependiente de las condiciones externas sin control</i></li> <li>• <i>Requiere filtración de aire exigente</i></li> <li>• <i>Recambio constante de filtración.</i></li> <li>• <i>Aumento en capacidad de ductos y rejillas.</i></li> <li>• <i>Involucra seguridad del sitio.</i></li> <li>• <i>Limitado a localizaciones con climas fríos.</i></li> <li>• <i>Tolerancias importantes en humedad.</i></li> <li>• <i>Requiere back up de enfriamiento 100% mecánico.</i></li> </ul>

**2.2.1.2 Free Cooling Indirecto.** El aire exterior, no se usa como de inyección. Las debilidades del free cooling directo mencionado anteriormente, cabe anotar que este es menos eficiente que free cooling directo, por las ineficiencias intrínsecas del intercambio entre el aire exterior y el aire de la sala .Se requiere un intercambiador de calor adicional, y eso significa una pérdida de eficiencia.

Teniendo en cuenta las complicaciones que presenta el freecooling directo, CCM'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.

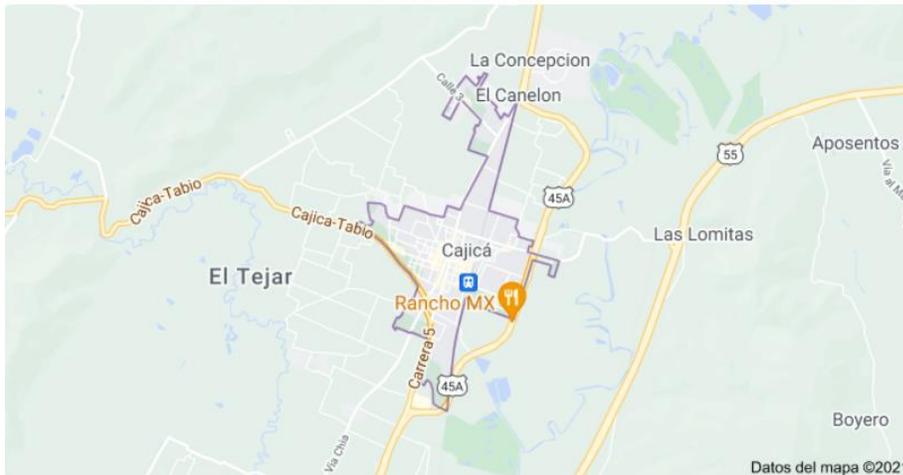
## 3.0 PLAN DE TRABAJO

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

#### 3.1.1 Geografía

**3.1.1.1 Ubicación.** el CCM´S de MP6 se encuentra ubicado en la ciudad de Cajicá en Cundinamarca Colombia, ubicado dentro del perímetro urbano, a una altitud media de 2558 m.s.n.m. Ver figura 16.

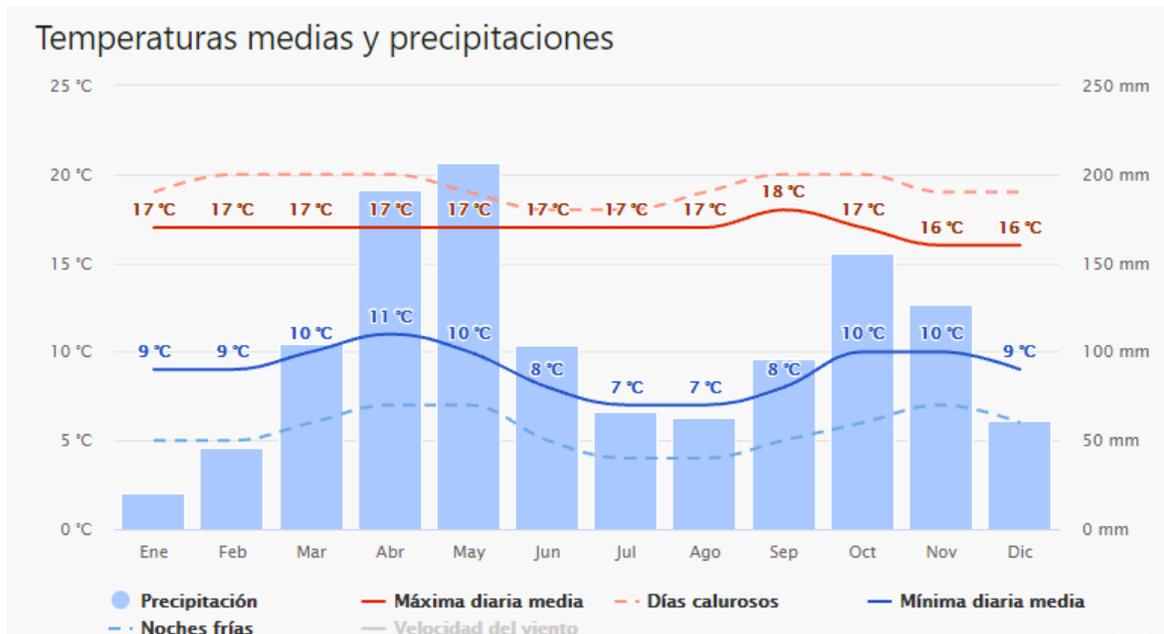
**3.1.1.2 Climatología.** En Cajicá, los veranos son tibios; los inviernos son cortos, frescos y mojados y está nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 21 °C..



**Figura 16. Ubicación Planta papelera.**

Fuente: ([www.google.com/maps](http://www.google.com/maps), 2021)

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 85 %, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre. (<http://www.ideam.gov.co>, 2019)

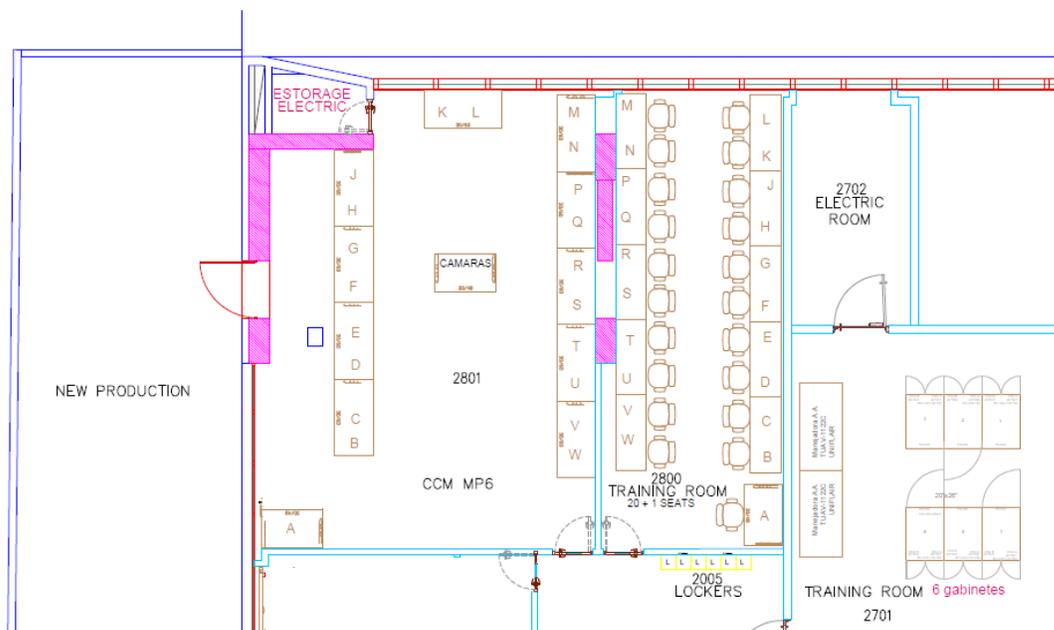


**Figura 17. Registro anual temperatura Cajicá <sup>6</sup>**

Fuente: (www.meteoblue.com, 2018)

<sup>6</sup> Información obtenida de [www.meteoblue.com](http://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.

**3.1.1.3 Distribución arquitectónica.** El cuarto de CCM de Mp6 está conformado por un único salón que alberga equipos ubicados en configuración de pasillos y guarda espacios para crecimiento con instalación de nuevos equipos; la sala se encuentra ubicada en el tercer piso , en una edificación de cuatro niveles. El cuarto es confinado; entendiéndose que se ubica en el centro de la edificación y esta rodeado de cuartos adyacentes sin ventanas, paredes o puertas expuestas al exterior. La distribución arquitectónica, así como la distribución de equipos al interior , se muestra en la figura 20 respectivamente.



**Figura 20. Distribución arquitectónica actual CCM MP6.**

**Sistema de climatización existente.** Los sistemas de climatización con que cuenta es un equipo tipo chiller condensado por agua con los siguientes componentes:

- Chiller Trane RTWD 080
- UMAS de 20 TR C/U
- Torre de enfriamiento
- Estación de bombeo para evaporación
- Estación de bombeo para condensación
- Sistema de piso elevado para plenum e inyección de aire tratado
- Sistema de control por medio de válvulas proporcionales de agua helada en serpentines de UMAS
- Cuarto CCM“S Mp6 donde reposan los equipos del centro de control de motores

**3.1.1.4 Condiciones actuales de temperatura y humedad relativa.** Se han efectuado, por parte del personal de mantenimiento registros de temperatura y humedad relativa durante para la salamanteniendo una desviación de 2C° sobre el valor requerido estándar de 24°C +/- 2 °C y 65% +/-5%.

## 4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para poder definir el sistema más adecuado como respaldo del sistema actual para el Cuarto CCM'S se hace necesario evaluar los aspectos más relevantes de las principales alternativas encontradas, con el fin de seleccionar la solución más adecuada acorde con las condiciones ambientales y físicas del CCM de MP6

### 4.1 SELECCIÓN DE SISTEMA A IMPLEMENTAR

Para poder tomar la decisión del sistema a implementar se ha elaborado una matriz para ponderar los aspectos relacionados con condiciones de implementación, operación y mantenimiento, inversión que permitan seleccionar el sistema más adecuado para el proyecto en estudio.

La matriz, Tabla 8, se ponderan 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 para la matriz de selección del sistema a implementar son:

- **Condiciones ambientales exteriores:** aunque Cajicá es considerada en nuestro país una zona de clima frío, se debe tener en cuenta que presenta variación en su temperatura y humedad.
- **Operación:** la operación continua del CCM, 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 como respaldo debe contar con características de manejo de aire que permita garantizar que sea capaz de responder 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.

- Eficiencia y uso del sistema actual: Eficiencia del sistema a implementar, la búsqueda de un sistema de respaldo para la que sea eficiente y robusto para que pueda ser usado de forma ágil y segura para la operación.
- Temperaturas de operación de la sala: dependiendo de la aplicación del CCM y su electrónica, 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.
- Huella de equipos: en este caso específico no se cuenta con áreas libres en el edificio y/o en su nivel alto una solución que no ocupe espacio de mas es idónea para equipos de climatización es un valor relevante en el diseño eficiente y compacto que minimice el área ocupada por estas unidades.
- Impacto Ambiental, se dio peso al uso de equipos que generen el menor impacto ambiental sobre el sistema. Al ser una aplicación industrial el uso de freón o otros refrigerantes podrá tener el riesgo de fugas y contaminación al medio ambiente.

Tabla 3. Matriz de selección Sistemas AA

MATRIZ DE SELECCIÓN SISTEMAS AA cuarto CCMS MP6												
	FREE COOLING DIRECTO	PONDERACIÓN	SISTEMA DX	PONDERACIÓN	FREECOOLING INDIRECTO DOS ETAPAS + DRY COOLER				FREECOOLING INDIRECTO DOS ETAPAS + CHILLER			
					Flujo constante	Total	Flujo variable	POND.	Flujo constante	POND.	Flujo variable	PO ND.
Componentes ADICIONALES	UMAS + U.C.'s + Compuertas dampers motorizados + Filtración+ Circuitos de Refrigeración	2	UMAS + U.C.'s + Modulos + Economizador+ Circuitos de Refrigeración	2	CRAC'S + Drycooler+ Bombas + Red Hidráulica	4	CRAC'S + Drycooler + Bombas + Variadores + Instrumentación + Red Hidráulica	3	Chillers + CRAH'S + Bombas + Red Hidráulica	3.5	Chillers + CRAH'S + Bombas + Variadores + Instrumentación + Red Hidráulica	3
Agente refrigerante		5	Gas refrigerante	3	Agua + Gas Refrigerante	3.5	Agua + Gas Refrigerante	3.5	Agua + Gas Refrigerante	3.5	Agua + Gas Refrigerante	3.5
Temperaturas requeridas para ahorro de energía	≤ 20° C	5	≤ 9° C	2	≤ 16° C	4	≤ 16° C	4	≤ 9° C	2	≤ 9° C	2
Sistema de distribución de aire	down flow - up flow	4	down flow - up flow - modular	4	down flow - up flow	4	down flow - up flow	4	down flow - up flow	4	down flow - up flow	4
Control de Humedad	CRITICO	5	NORMAL	3	NORMAL	3	NORMAL	3	NORMAL		NORMAL	3

Riesgo para la sala	Contaminación	3	Normal	3,5	Tuberías agua dentro de la edificación	3,5	Tuberías agua dentro de la edificación	3,5	Tuberías agua dentro de la edificación	3,5	Tuberías agua dentro de la edificación	3,5
Costos de mantenimiento	Alto	4	Medio	2,5	Bajo	4	Medio	2,5	Bajo	4	Medio	2,5
Superficie ocupada por equipos AA en sala	Medio	3	Medio	2	Bajo		Bajo	4	Bajo	4	Bajo	4
Superficie ocupada por equipos AA fuera de sala	Medio	3	Alto	2	Alto	2	Alto	2	Alto	3	Alto	3
Ahorro energético esperado	1.2 - 1.6	5	1.8 - 2.5	2	1.8 - 2.5	3	1.6 - 2.2	3.5	1.8 - 2.5	2	1.6 - 2.2	2.5
Inversión inicial	Media	2	Media	2	Alta	3	Alta	2.5	Alta	3	Alta	2.5
Fabricantes	Nacional o importado	5	Liebert, Stulz		Liebert, Stulz, Schneider, Climaveneta	4						
TOTAL		3,8		2		2		2		2		1,9
							<b>PONDERACIÓN</b>		<b>FORTALEZA</b>		<b>DEBILIDAD</b>	
							5		<b>MUY FAVORABLE</b>			
							4		<b>FAVORABLE</b>			
							3		<b>CONVENCIONAL</b>			
							2		<b>DESFAVORABLE</b>			
							1		<b>MUY DESFAVORABLE</b>			

5 **Descripción del Sistema a Implementar.** La matriz de decisión arroja como el sistema más apto para la implementación en este caso un sistema de respaldo con Free Cooling directo. Que será capaz de controlar la humedad, temperatura y mantener calidad de aire para el sistema actual es de sumo cuidado

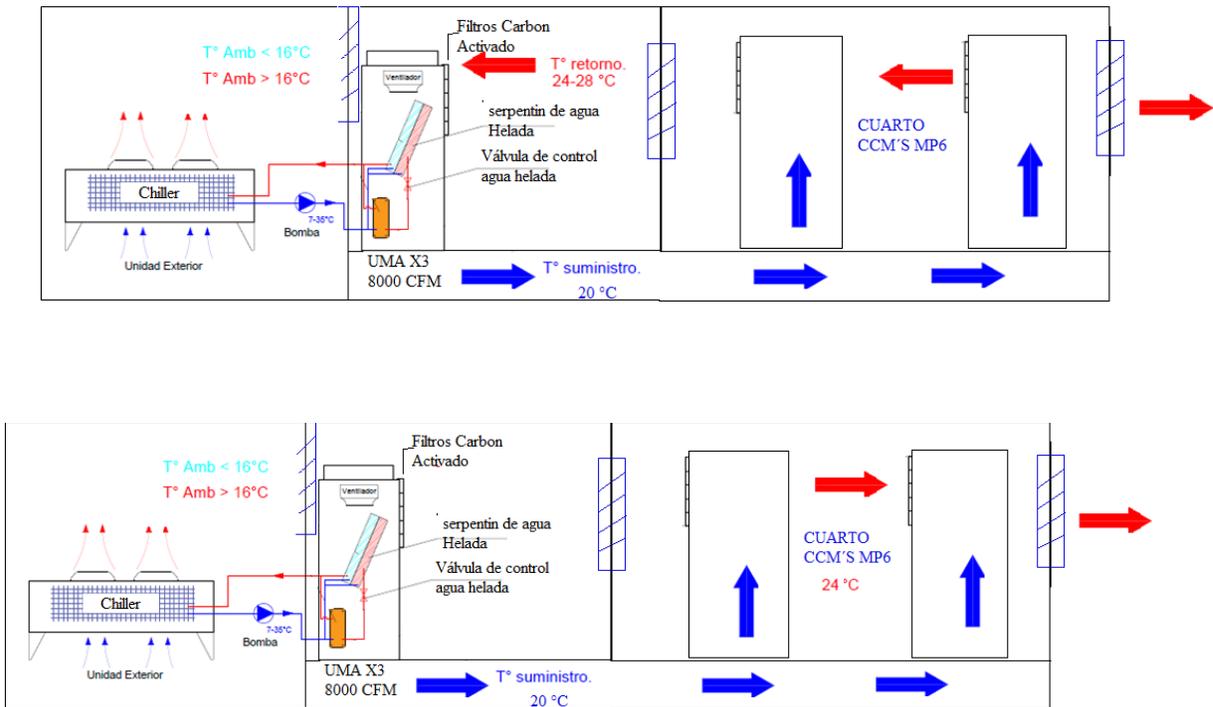


Figura 7. diagrama de Flujo Sistema de respaldo Free cooling CMM'S MP6



**Figura 8. Unidades Manejadoras actuales CMM'S MP6**

Las unidades manejadoras de aire actuales son capaces de manejar hasta 8000CFM C/U , especialmente diseñadas para climatización ventiladores centrifugos con transmisión por poleas , se puede adaptar moto ventiladores de acople directo electrónicamente conmutados (EC) . se reutilizaran para este proceso de Free cooling

### **Sistema de Control**

Como el sistema de Respaldo se requiere sea independiente en la mayora de su control por la cantidad de problemas que ha tenido el sistema actual se requiere de un sistema de control basado en instrumentación y lógica diferentes a las actuales para esto se propone el uso de compuertas mecánicas motorizadas para control de volumen de retorno, aire exterior y 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.

Solo se utilizarán las manejadoras de descarga vertical actuales para el sistema. Se opta por actuadores tipo proporcional con una lógica de control operada por un sistema de control automático que controle con un PLC la lógica de los tres motores EC para el sistema de distribución de Aire.

Dado que las centrales a climatizar ya se encuentran construidas, el sistema de distribución de aire del nuevo no sufrirá cambios ni la disposición arquitectónica de racks por pasillo actualmente instalada, por lo que se utilizará descarga inferior.

#### **5.1.1 Modo de funcionamiento**

El sistema de free cooling directo seleccionado solo entrará en operación según petición del usuario, para casos de emergencia, por ejemplo, Falla del chiller, Control o Bombas y Mantenimiento correctivos programados sobre el sistema central del Chiller.

Al aprovechar la temperatura ambiente baja comparada con la de la sala, que permite el enfriamiento del aire y la inyección al sistema. De este modo, el ahorro de energía es óptimo pues el equipo operará solo con el control de los variadores del sistema y la apertura de los Dampers motorizado ON OFF.

#### **5.1.2 Condiciones esperadas de temperatura y humedad relativa**

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 la sala mediante el control fino de los niveles de temperatura y la humedad.

#### **5.1.3 Cálculo de carga térmica**

Con base en las consideraciones descritas anteriormente, la arquitectura del sistema y las condiciones ambientales de la ubicación de planta continuada, se realiza el análisis de carga térmica para el Cuarto de CCMS.

Para tal efecto, se utiliza el método de cálculo anteriormente descrito

El cuarto de CCMS presenta carga debida solo a los equipos en su interior por lo que se realiza el cálculo de carga térmica gracias a los datos suministrados por el usuario de su capacidad instalada en el cuarto.

**Tabla 4. Estimación carga térmica CCMS MP6**

ESTIMACIÓN CARGA TÉRMICA			
Elemento	Datos Necesarios	Cálculo energía térmica producida	Subtotal energía térmica producida (W)
Capacidad instalada en CCM MP6	Total de alimentación según departamento de proyectos papelería Cajicá	Igual al total de alimentación de carga de CCMS en vatios	43628
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$0,02 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación} + (0,02 \times \text{total alimentación carga IT})$	4720
Iluminación	Conteo de Luminarias en cuarto	Revisión con fabricante de luminaria	3832.3
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	$100 \times n^\circ \text{ máx. personas}$	600
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	48948
		Sobredimensionamiento 10%	53842,8
		Carga térmica de la envolvente	0.0
		<b>TOTAL T.R.</b>	<b>15,16698592</b>

### Psicrometría del Sistema

Se plantea para la Zona de Cajicá dos momentos Críticos de Teniendo en cuenta las temperaturas locales para la sabana de Cajicá la figura muestra las condiciones y la carga térmica calculada en la tabla anterior.

Se plantea para la Zona de Cajicá dos momentos Críticos de Teniendo en cuenta las temperaturas locales para la sabana de Cajicá la figura muestra las condiciones y la carga térmica calculada en la tabla anterior.

Tabla 4 Condición 1 de cálculo: Temperatura mínima de 5°C y 90% de humedad relativa .

## ROOMBOOK

Cliente: Papelera Cajicá Obra: Ubicación: Cajicá Proyecto: Respaldo HVAC : Mp6	Edificio: Planta o: Mp6 Área: 6 Sistema: UMAS a: 1,2,3	Densidad: 0,86 Kg/m <sup>3</sup> CP: 1,01 KJ/Kg °K ΔT: 14 °K	Elaboró: Oscar Arguello Revisó: Oscar Arguello Fecha: ### Pagina: ###	Revisión: Fecha: Pagina:																				
<b>Base de cálculo de cuartos.</b>																								
Cuarto				Demandas				Cargas Sensible				Volumen de aire				Datos por área								
Identificación	Nombre	Área Total	Altura Libre	Volumen total	Condiciones.		Limpieza		Enfriamiento			Calef.	Cálculo flujo de aire m <sup>3</sup> /hr			Aire de ajuste	Aire Suministro adoptado (Varía de acuerdo al balance realizado en campo)	C / H Real (Varía de acuerdo al balance realizado en campo)	Enfriamiento Qs Watts/m <sup>2</sup>	Calefacción Qs Watts/m <sup>2</sup>	Volumen de aire (m <sup>3</sup> /hr)/m <sup>2</sup>			
					Mínimo	Máximo	Clase de aire según (aplique)	Presión de cuarto	Cambios de Aire Ver nota 1	Calor Externo	Calor Interno											Calor Total	Perdidas Externas	
No.		m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	Temperatura de aire dentro del cuarto	%H. R.	Temperatura del Aire dentro del cuarto	%H. R.	Pa.	C/H	W	W	W	W	Vol./H min.	Por balance	ΔT	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /hr					
1	MP6	60,00	3,70	222,00	22	60	26	65	A	6	n.a.	0	53980	53980	0	0	16.505	15.825	680	16.505	74	900	0	275
<b>Nota:</b>	Nota 1.- El aire suministro adoptado varía de acuerdo a las fugas por puertas y ranuras, colección de polvo y/o volúmenes de extracciones definitivas en equipos de proceso, por lo cual validación tomara en cuenta solo los datos que se encuentran en la columna de cambios de aire para cumplir con las clases de aire en cada una de las áreas. n.a. = No aplica																							

**Tabla 5 Condición 2 de cálculo: Temperatura Máxima de 20°C y 80% de humedad relativa.**

## ROOMBOOK

Cliente: Papelera Cajicá Obra: Ubicación: Cajicá Proyecto: Respaldo HVAC : Mp6	Edificio: Planta : Mp6 Área: MP 6 Sistema: <b>UMAS</b> a: <b>1,2,3</b>	Densidad: <b>0,868</b> Kg/m3 CP: 1,01 KJ/Kg °K ΔT: 4 °K	Elaboró: <b>Oscar Arguello</b> Revisó: Oscar Arguello Fecha: 25-oct-21 Pagina: 1/01/2021	Rev.	Fecha																			
Base de cálculo de cuartos.																								
Cuarto		Demandas				Cargas Sensible				Volumen de aire				Datos por área										
Identificación  No.	Nombre	Área Total  m <sup>2</sup>	Altura Libre  m	Volumen total  m <sup>3</sup>	Condiciones.		Limpieza		Enfriamiento			Calef.  Perdidas Externas	Cálculo flujo de aire m <sup>3</sup> /hr			Aire de ajuste  Aire Suministro adoptado (Varia de acuerdo al balance realizado en campo)	C/H Real (Varia de acuerdo al balance realizado en campo)	Enfriamiento Qs Watts/m <sup>2</sup>	Calefacción Qs Watts/m <sup>2</sup>	Volumen de aire (m <sup>3</sup> /hr)/m <sup>2</sup>				
					Mínimo	Máximo	Clase de aire según (aplique)	Presión de cuarto	Cambios de Aire Ver nota 1	Calor Externo	Calor Interno		Calor Total	Vol./H min.	Por balance						ΔT	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /hr	
					Temperatura de aire dentro del cuarto °C	%H. R.																		Temperatura del Aire dentro del cuarto °C.
1	MP6	60,00	3,70	222,00	24	60	n.a.	65	Sin Clase	6	n.a.	70	53980	54050	0	0	56.323	55.461	862	56.323	254	901	0	939
	<b>TOTAL</b>	<b>60,0</b>		<b>222</b>								<b>70</b>	<b>53.980</b>	<b>54.050</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>56.323</b>	<b>55.461</b>	<b>862</b>	<b>56.323</b>		<b>901</b>	<b>0</b>	<b>939</b>
<b>Nota:</b>	Nota 1.- El aire suministro adoptado varía de acuerdo a las fugas por puertas y ranuras, colección de polvo y/o volúmenes de extracciones definitivas en equipos de proceso, por lo cual validación tomara en cuenta solo los datos que se encuentran en la columna de cambios de aire para cumplir con las clases de aire en cada una de las áreas.  n.a. = No aplica																							

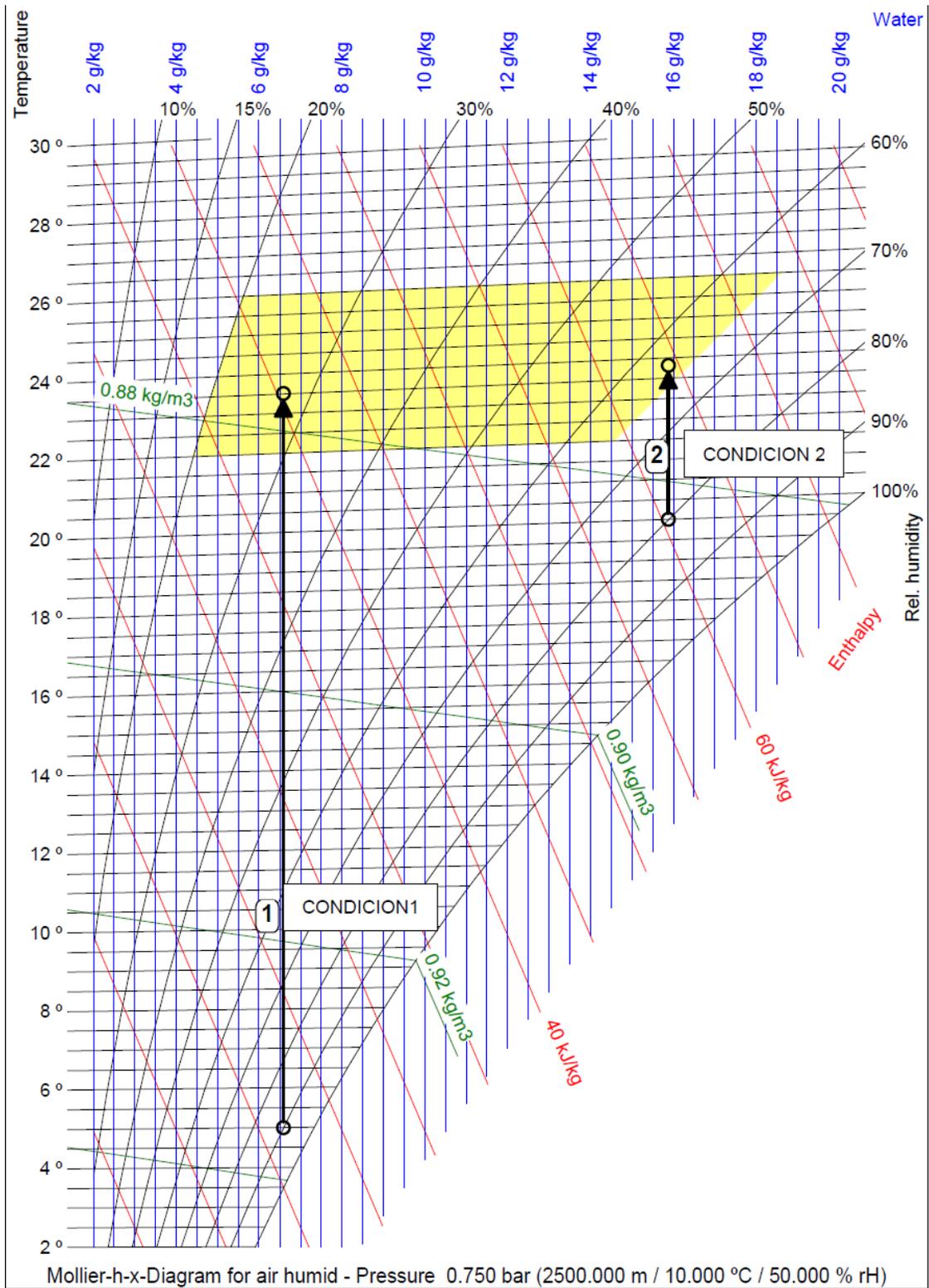


Figura 9. Psicrometría Condiciones de Operación del sistema

De lo anterior se concluye que para las condiciones de trabajo 1 y dos se tiene :

**1) Heat load with air**

Sensible heat	kW	53.980
Latent heat	kW	0.000
Heat load	kW	53.980

		Supply air	Exhaust air
Temperature	°C	5.000	23.168
Rel. humidity	%	90.000	27.767
Abs. Humidity	g/kg	6.589	6.589
Density humid	kg/m <sup>3</sup>	0.936	0.878
Enthalpy humid	kJ/kg	21.567	40.074
Volume flow humid	m <sup>3</sup> /h	11297.231	12035.105
Mass flow dry	kg/h	10500.000	10500.000

**2) Heat load with air**

Sensible heat	kW	53.980
Latent heat	kW	0.000
Heat load	kW	53.980

		Supply air	Exhaust air
Temperature	°C	20.000	23.481
Rel. humidity	%	80.000	64.708
Abs. Humidity	g/kg	15.878	15.878
Density humid	kg/m <sup>3</sup>	0.883	0.872
Enthalpy humid	kJ/kg	60.415	64.022
Volume flow humid	m <sup>3</sup> /h	62000.000	62736.132
Mass flow dry	kg/h	53880.343	53880.343

**Figura 10. Resultados Psicrometría**

Es de vital importancia el uso de un control basado en humedad y temperatura para el cuarto debido a la variación necesaria en caudal para mantener las condiciones interiores y la presión en el sistema

## 6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA SOLUCIÓN

Con el fin de determinar la viabilidad económica del proyecto, se realiza el análisis comparativo entre los costos de implementación y operación del nuevo sistema de respaldo para la climatización propuesto y el costo operativo del sistema actualmente instalado. Dicho análisis se realiza se toma como base precios comerciales de equipos, materiales y mano de obra; así como el valor de facturación de la energía en la zona de implementación<sup>8</sup>.

**Tabla 6. Costo operación anual sistema AA existente CCMS Planta Cajicá**

<b>COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA ACTUAL CENTRAL CHILLER + UMAS</b>		
<b>Consumo anual (Kw/h)</b>	<b>Valor Kw/h (COP)</b>	<b>Costo anual operación (COP)</b>
1701504	420	\$ 714.631.680,00

**Tabla 7. Costo operación anual sistema de respaldo AA proyectado central**

<b>COSTO DE OPERACIÓN ANUAL SISTEMA ACTUAL CENTRAL CHILLER + UMAS</b>		
<b>Consumo anual (Kw/h)</b>	<b>Valor Kw/h (COP)</b>	<b>Costo anual operación (COP)</b>
241339,392	420	\$ 101.362.544,64

<sup>8</sup> \* Valor Kwh Codensa sector no residencial NT 3.

**Tabla 8. Presupuesto Implementación sistema de respaldo Free cooling.**

PRESUPUESTO IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE RESPALDO FREE COOLING AA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO COP	VALOR TOTAL COP
<b>Equipos</b>					
1	Ventilador EC para manejar 12000 m3/h con una caída de presión 2,5 " CA , a 440V, incluye controlador de caudal y ajuste por saturación de filtro automático .	UND	3	\$ 25.450.000,00	\$ 76.350.000,00
2	Tablero de control para PLC , incluye certificación retie y Arc Flash.	UND	1	\$ 28.560.000,00	\$ 28.560.000,00
3	Damper Motorizados on-off a 220 V	UND	4	\$ 580.999,00	\$ 2.323.996,00
4	Sensores en zona , Retorno y aire exterior	UND	5	\$ 750.000,00	\$ 3.750.000,00
5	Medidor diferencial de presión	UND	3	\$ 850.000,00	\$ 2.550.000,00
6	Cableado y Tubería IMC	LOTE	1	\$ 17.000.000,00	\$ 17.000.000,00
<b>Implementación</b>					
3	Desmante sistema e instalación ventiladores actuales	GLB	3	\$ 3.207.600	\$ 9.622.800,00
4	Materiales e instrumentación red	GLB	1	\$ 19.813.931,00	\$ 19.813.931,00
5	Materiales red eléctrica, adecuación a tablero existente cambio de cableado y protecciones	GLB	1	\$ 26.035.371	\$ 26.035.371,00

7	Mano de obra implementación control	GLB	1	\$ 36.333.416,00	\$ 36.333.416,00
8	lizaje y logística	GLB	1	\$ 14.445.138	\$ 14.445.138,00
9	Adecuaciones civiles, apertura e instalación de persianas motorizadas	GLB	4	\$ 1.011.488	\$ 4.045.952,00
				<b>SUB TOTAL</b>	<b>240.830.604,00</b>
				<b>IVA 19%</b>	<b>45.757.814,76</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>286.588.418,76</b>

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 Cajicá y con un adecuado mantenimiento, se puede Prever que si se dependiera del sistema en un año se recupera la inversión solo con el ahorro energético que plantea el Uso de Free Cooling .

## 7 CONCLUSIONES

- Se puede concluir que las salas de CCMS requieren un sistema de Aire acondicionado apto para cumplir con el requerimiento técnico debido a su alto grado de impacto en la producción en todas las industrias.
- Se concluye que el uso del Free cooling Directo para una aplicación de CCMS en un clima frío es en teoría es factible, no solo como un plan de respaldo si no como una opción de ahorro de energía para temperaturas esperadas en la sala.
- Con la implementación de este tipo de sistema con respaldo del sistema actual, se mejorara la climatización y calidad en el cuarto de CCMS de mp6 así como su confiabilidad que permitirá garantizar la operación del sistema siempre.
- Luego de realizar el análisis económico de la implementación del proyecto para el CCM de Mp6 se concluye que el retorno de la inversión si se usara el sistema propuesto de respaldo para la operación ordinaria de la planta, se tendría un retorno 100% del costo del proyecto en solo 1 año ,Derivado del costo de ahorro de energía sobre el sistema actual.

## 8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se implemente un sistema de respaldo para el CCM de Mp6 que de aumento de confiabilidad y un control preciso de las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de las salas.
- En los análisis económicos de proyectos relacionados con la climatización de CCMS se debe tener en cuenta la redundancia de acuerdo TIAR , un porcentaje importante de los costos de implementación de un sistema de aire acondicionado deben estar enfocados en la confiabilidad y redundancia requeridos por la solución.
- La implementación de sistemas de enfriamiento libre o free cooling para CCMS en ciudades de países ubicados en el trópico como Colombia, por debajo de 3000 m.s.n.m., generan niveles de ahorro energético que permiten recuperar al 100% la inversión inicial a corto plazo.
- El consumo de energía empleado por un sistema de climatización representa un porcentaje importante dentro del gasto energético total de operación de un CMMS, soluciones orientadas al mejoramiento de la eficiencia energética a la hora de diseñar e implementar estetipo de sistemas es necesaria.

## 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](http://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](http://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](http://www.circuitor.es). (s.f.). Obtenido de Tecnología para la eficiencia energética.

[www.datacentermarket.es](http://www.datacentermarket.es). (2017).

[www.datacentershoy.com](http://www.datacentershoy.com). (2015).

[www.ebsa.com.co](http://www.ebsa.com.co). (2018).

[www.empresaeficiente.com](http://www.empresaeficiente.com). (s.f.). Obtenido de Sabes lo que es free cooling.

[www.friclima.org](http://www.friclima.org). (2018).

[www.frikipandi.com](http://www.frikipandi.com). (2015).

[www.google.com/maps](http://www.google.com/maps). (10 de 2019).

[www.hvacbrain.com](http://www.hvacbrain.com). (12 de 2018). Obtenido de [www.hvacbrain.com](http://www.hvacbrain.com).

[www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com). (15 de 11 de 2018). Obtenido de [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com).

[www.mundohvacr.com.mx](http://www.mundohvacr.com.mx). (2011).

[www.thegreengrid.org](http://www.thegreengrid.org). (2018).