

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN POR INDICADORES DE CONFIABILIDAD
DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA UN
CENTRO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS

Trabajo final de investigación aplicada
sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Mecánica
para optar al grado y título de
Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica con énfasis en
Sistemas Térmicos y Energía

FRANCO MARCEL CORTES BEER

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2017

Dedicatoria

A Dios, por estar conmigo cuando pensé que no tenía oportunidad de salir adelante.

A mis padres, por darme la oportunidad de estudiar.

A mi esposa Laura, por estar siempre a mi lado, luego de esta larga aventura.

A mis hijos, Natalia y Guillermo, por ser mi motivación diaria.

A Gabriel, ejemplo de un profesor interesado en ver a su pupilo sacar la tarea.

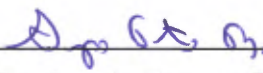
Agradecimientos

Agradezco a mis amigos de la Universidad, Sergio y Gabriel, de quienes tengo muchos buenos recuerdos, gracias por empujarme a sacar el TFG....

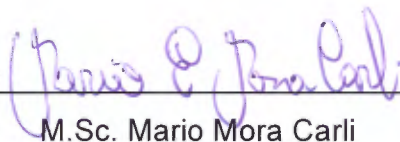
“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica con énfasis en Sistemas Térmicos y de Energía”



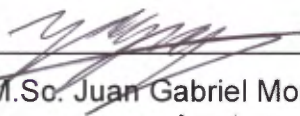
Dr. Eduardo Calderón Obaldía
**Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado**



M.Sc. Sergio Ferreto Brenes
Profesor Guía



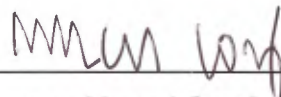
M.Sc. Mario Mora Carli
Lector



M.Sc. Juan Gabriel Monge Gapper
Lector



M.Sc. Alvaro Sequeira Montero
Representante del Director del Programa de Posgrado



Franco Marcel Cortés Beer
Postulante

Tabla de Contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
HOJA DE APROBACION	iv
Tabla de Contenido	v
Resumen.....	xii
1. Introducción.....	1
1.1. Descripción General	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo General.....	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Antecedentes.....	3
1.5. Metodología (resumida)	5
1.6. Alcances y limitaciones.....	6
1.7. Aportes esperados.....	7
2. Marco teórico.....	8
2.1. El cliente y sus necesidades	8
2.2. Parámetros recomendados de operación para equipos de CPD.....	10
2.3. Consideraciones para el cálculo de carga térmica en CPD.....	12
2.3.1. Servidores y sus componentes	12
2.4. Servidores montados en gabinetes para equipo de cómputo.....	13
2.4.1. Equipos de distribución de potencia eléctrica	16
2.4.2. Otras cargas.....	16
2.5. Generalidades del enfriamiento de CPD	18
2.5.1. Sistema enfriado por aire (dos piezas)	18
2.5.2. Sistema auto contenido enfriado por aire (una pieza).....	18
2.5.3. Sistemas enfriados por glicol	19
2.5.4. Sistemas enfriados por agua	19
2.5.5. Sistemas de agua helada	19
2.5.6. Características comunes de los sistemas de enfriamiento.....	20
2.6. Consideraciones para la distribución y manejo del aire en CPD	20
2.6.1. Flujo de aire a través de equipos.....	20
2.6.2. Protocolo pasillo caliente – pasillo frío.	23
2.6.3. Tiro de pasillo (<i>Aisle pitch</i>).....	23

2.6.4.	Protocolo VUF (vertical under floor).....	26
2.6.5.	Protocolo VOH (“Vertical Over Head”).....	28
3.	Caracterización del sistema de referencia	33
3.1.	Detalles generales de la metodología de caracterización	33
3.2.	Características del edificio	35
3.3.	Análisis del sistema eléctrico	36
3.3.1.	Características de la utilización de la electricidad	36
3.3.2.	Características de las cargas activas del CPD	40
3.3.3.	Factor de diversidad para el uso de la energía eléctrica.....	44
3.4.	Análisis del sistema de enfriamiento	45
3.4.1.	Información recopilada del Sistema de Adquisición de Datos	46
3.4.2.	Información recopilada de sensores auxiliares instalados	47
3.4.3.	Sistema de Aire acondicionado y el Protocolo Pasillo caliente - Pasillo frío. 50	
3.4.4.	Análisis del balance de flujo de aire.....	51
3.4.5.	Análisis del consumo eléctrico de las unidades de Aire Acondicionado 54	
3.4.6.	Información recopilada mediante la termografía infrarroja.	56
3.5.	Indicadores críticos de rendimiento (ICR)	58
4.	Recomendaciones para nuevos diseños	69
4.1.	Impacto en los sistemas de tecnología de la información	69
4.2.	Uso de diagramas de distribución de planta e inventario de equipos	70
4.3.	Recomendaciones relacionadas con la distribución del cuarto.	71
4.4.	Distribución y recirculación del aire.....	72
4.5.	Condiciones de diseño.....	74
4.6.	Redundancia del respaldo en caso de falla.....	74
4.7.	Aspectos de interés general	75
4.8.	Aspectos puntuales al caso estudiado	76
5.	Conclusiones.....	78
6.	Recomendaciones.....	81
7.	Bibliografía	82
8.	Apéndices.....	84
8.1.	Prontuario de diseño para AC en CPD	84
8.1.1.	Recomendaciones relacionadas con los Sistemas de Tecnología de la Información. 84	

8.1.2. Utilización de diagramas de distribución de planta e inventario de equipos.	86
8.1.3. Recomendaciones relacionadas con la distribución del cuarto.	90
8.1.4. Recomendaciones relacionadas con la adecuada distribución del aire.	92
8.1.5. Recomendaciones generales.	97
9. Memoria de Cálculo.....	101

Lista de Ilustraciones

Ilustración 2-1 Indicadores clave en equipos de cómputo a considerar en la selección de las condiciones ambientales de operación en CPD (ASHRAE, 2015).....	12
Ilustración 2-2 Tendencias de carga térmica por huella de producto, tendencia del 2005 (Menuet & Turner, 2006).	15
Ilustración 2-3 Tendencias de carga térmica por huella de producto, para servidores de 1U, tendencia del 2005 y actualizada al 2012 (ASHRAE, 2012).	16
Ilustración 2-4 Diferentes tipos de paneles muertos (Blanking Panels) (a) Gabinete de servidores con espacios libres (b) Aplicación en gabinete de servidores (c). (Prism Enclosures. 2015-2017).	22
Ilustración 2-5 a. Gabinete de servidores con espacios libres entre equipos. b. Gabinete de servidores con espacios sellados entre equipos (Data Clean, 2015-2017)	23
Ilustración 2-6 Acomodo de gabinetes en protocolo pasillo caliente – pasillo frío. (EchoMountain, 2015-2017).	24
Ilustración 2-7 Tiro de pasillo de 7 láminas de piso, alineado en pasillo frío (ASHRAE, 2015).	25
Ilustración 2-8 Tiro de pasillo de 7 láminas de piso, alineado en pasillo caliente. (ASHRAE, 2015)	26
Ilustración 2-9 Esquema de un CPD con distribución de aire según protocolo VUF y retorno por cielo (ASHRAE, 2009)	29
Ilustración 2-10 Esquema de un CPD con distribución de aire según protocolo VOH y retorno por ductos. (ASHRAE, 2009)	30
Ilustración 3-1 Diagrama de ubicación de CPD relativo al edificio. Fuente: el autor.	36
Ilustración 3-2 Distribución de consumo eléctrico en CPD. Fuente: el autor.	37
Ilustración 3-3 Diagrama Unifilar simplificado del Centro de Proceso de Datos. Fuente: el autor	38
Ilustración 3-4 Tendencia en consumo eléctrico del Centro de Proceso de Datos (del 4 de Octubre del 2007 al 10 de Diciembre del 2007). Fuente: el autor.	39
Ilustración 3-5 Tendencia en consumo eléctrico de unidades AC. (Del 13 de Noviembre del 2007 al 15 de Noviembre del 2007) Fuente: el autor	40
Ilustración 3-6 Tendencias en carga de salida de UPS, estimada y según rondas. Fuente: el autor.	43
Ilustración 3-7 Diagrama esquemático de distribución del CPD. Fuente: el autor.	43

Ilustración 3-8 Temperatura de suministro, retorno y zona para las unidades de AC del CPD, (del 4 de Octubre del 2007 al 15 de Diciembre del 2007). Fuente: el autor.	47
Ilustración 3-9 Condiciones de entrada del aire al gabinete CR1DC101I9, datos recopilados durante una semana, (del 2 de Noviembre del 2007 y el 11 de Noviembre del 2007). Fuente: el autor.	48
Ilustración 3-10 Condiciones de entrada del aire al gabinete CR1DC101I9, tomadas cada 15 minutos, representadas en carta psicrométrica. (Del 11-03-2007 19:00 al 11-10-2007 14:00) Fuente: el autor	49
Ilustración 3-11 Condiciones de entrada del aire al gabinete CR1DC101H7, tomadas cada 15 minutos, representadas en carta psicrométrica. (Del 11-03-2007 19:00 al 11-10-2007 14:00) Fuente: el autor	50
Ilustración 3-12 Diagrama esquemático de distribución del CPD y acomodo de rejillas de suministro y retorno de aire acondicionado. Fuente: el autor.....	51
Ilustración 3-13 Curva de selección del abanico de CRAC. Fuente: Manual del fabricante.	52
Ilustración 3-14 Resultado de pruebas de puesta en marcha y balance de aire. Fuente: Reportes de contratista.	53
Ilustración 3-15 Temperatura de suministro y zona, Consumo eléctrico para las unidades de Aire Acondicionado del CPD. Fuente: el autor.....	55
Ilustración 3-16 (a) Imagen digital de gabinetes CR1DC101B6 a la derecha y CR1DC101B7 a la izquierda. (b) Imagen de termografía de los mismos equipos. Fuente: el autor.	57
Ilustración 3-17 (a) Imagen digital de gabinetes CR1DC101B7 por detrás. (b) Termograma del equipo. Fuente: el autor.....	58
Ilustración 3-18 (a) Imagen digital de gabinetes ubicados en fila H. (b) Termograma de la fila y sus gabinetes. Fuente: el autor.	59
Ilustración 3-19 Índice de eficiencia del sistema de aire acondicionado para distintos CPD. Fuente: el autor.	61
Ilustración 3-20 Densidad de carga en Watts por unidad de área de piso falso en el CPD. Fuente: el autor.	63
Ilustración 3-21 Distribución del consumo eléctrico según categorías indicadas en el CPD. Fuente: el autor	64
Ilustración 3-22 Relación de enfriamiento estimada en los equipos de cómputo a enfriamiento teórico. Fuente: el autor.	65

Ilustración 8-1 Ejemplo de reporte de evaluación de desempeño, (SPEC, 2017)	86
Ilustración 8-2 Ejemplo de reporte térmico (ASHRAE, 2015).....	87
Ilustración 8-3 Inventario de Gabinetes en Centro de Proceso de Datos. Fuente: el autor.	88
Ilustración 8-4 Inventario de servidores y equipos dentro de Gabinetes. Fuente: el autor.	89
Ilustración 8-5 Ejemplo de instalación con inadecuado acomodo de cableado. (Hannaford, 2015).....	91
Ilustración 8-6 Dos tipos de rejillas perforadas de piso para suministro de aire: 25% área libre nominal (izquierda) 56% área libre nominal (derecha) (VanGilder, Schmidt, 2005)	92
Ilustración 8-7 Proyecto cambio de difusores de suministro. Fuente: el autor.....	94
Ilustración 8-8 Consumo eléctrico y carga térmica, CPD. Fuente: el autor.	95
Ilustración 8-9 Razón potencia eléctrica en equipos HVAC a potencia eléctrica equipos cómputo. Fuente: el autor.....	96
Ilustración 8-10 Efecto de la instalación de "blanking panels" en la temperatura de entrada de los servidores. (Hannaford, 2006).....	97
Ilustración 8-11 Puntos de verificación de condiciones ambientales en protocolo pasillo caliente pasillo frío. (ASHRAE, 2015)	98
Ilustración 8-12 Ejemplo de mapa de distribución de temperaturas en gabinetes, (TileFlow, 2017).....	99

Lista de Cuadros

Cuadro 2-1 Ámbito de operación para equipos de cómputo, clase A1 y clase A2 (ASHRAE, 2015)	11
Cuadro 3-1 Usos de la electricidad dentro del CPD CR1DC101. Fuente: el autor.	38
Cuadro 3-2 Inventario de integraciones y desconexiones de servidores, del 3 de Octubre 2007 al 13 de Noviembre 2007. Fuente: el autor.	41
Cuadro 3-3 Caracterización de los gabinetes y su consumo eléctrico. Fuente: el autor.	44
Cuadro 3-4 Factor de diversidad y pronóstico de demanda. Fuente: el autor	45
Cuadro 3-5 Temperatura de suministro y zona, Consumo eléctrico para las unidades de AC del CPD y coeficiente de eficiencia de enfriamiento. Fuente: el autor.....	56
Cuadro 3-6 Comparación de 14 Centros de Proceso de Datos. Fuente: el autor.....	67
Cuadro 9-1 Datos obtenidos para análisis I. Fuente: el autor	101
Cuadro 9-2 Datos obtenidos para análisis II. Fuente: el autor.	102

Cuadro 9-3 Datos obtenidos para análisis III. Fuente: el autor.	103
Cuadro 9-4 Datos obtenidos para análisis IV. Fuente: el autor.	104
Cuadro 9-5 Datos obtenidos para análisis V. Fuente: el autor.	106
Cuadro 9-6 Datos obtenidos para análisis VI. Fuente: el autor.	107
Cuadro 9-7 Datos obtenidos para análisis VII. Fuente: el autor.	109

Resumen

El propósito de este trabajo es llevar a cabo un análisis de los aspectos más relevantes del diseño de sistemas de climatización para un Centro de Procesamiento de Datos.

El diseño correcto de sistemas de climatización para CPD, tiene éxito cuando se trabaja en equipo con las distintas disciplinas y se entienden detalles críticos de los equipos de cómputo que operan en los CPD, tanto de las condiciones necesarias para operar correctamente así como de la disipación de calor estimada, esta información permite la selección correcta de los diferentes componentes. Se hace un repaso respecto de las generalidades del enfriamiento de CPD así como de las distintas maneras como el aire se hace llegar hacia y desde las zonas críticas.

Para ello se valoraron los parámetros de operación de un sistema en operación y se caracterizó la carga térmica correspondiente a ese sistema, en parte para prevenir eventuales condiciones de falla y formular un conjunto de recomendaciones para evitarlas.

Se revisa el estado del conocimiento y las más recientes prácticas recomendadas en el diseño y en el entendimiento del comportamiento de los equipos de cómputo en particular y los centros de almacenamiento de datos como conjunto al que debe proveerse servicio.

El caso en estudio se caracteriza con indicadores críticos predefinidos, lo que se coteja con la operación documentada de otros CPD según la información disponible en el *Lawrence Berkeley National Laboratory*.

Se proponen una serie de recomendaciones de diseño y prácticas sugeridas para la localidad en estudio, en donde el principal aspecto es el nivel de comprensión de los requisitos técnicos de los equipos que van a operar en el CPD, este es el punto de partida para el éxito del diseño, el cual se puede amoldar lo mejor posible a las necesidades reales.

1. Introducción

1.1. Descripción General

Se pretende analizar las características más representativas de un diseño de regulación de las condiciones ambientales de un Centro de Proceso de Datos, que se apegue a las prácticas vigentes recomendadas, luego desarrollar y utilizar una guía de evaluación que permita determinar el desempeño actual del *CPD* en torno al diseño del sistema de aire acondicionado existente y otros factores relacionados que se consideren pertinentes incluir.

Se valorarán las condiciones de operación del cuarto mediante técnicas complementarias como el análisis de termografía infrarroja y la medición en campo de parámetros predeterminados de operación del sistema de distribución de aire.

Tras evaluar y determinar el nivel de desempeño actual, se van a comparar los resultados obtenidos con los de evaluaciones similares aplicados a otros centros de equipos, ubicados en los Estados Unidos de América, lo cual permitirá identificar mejores prácticas empleadas y áreas de mejora, que logren incrementar la confiabilidad y el rendimiento del *CPD*.

Estas sugerencias se anotan en un plan de mejoras que el departamento de ingeniería puede analizar y decidir cuáles desea implementar.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar las modificaciones que incrementen la confiabilidad¹ del sistema de aire acondicionado para el Centro de Proceso de Datos de la planta en Costa Rica de la empresa CISA.

¹ En el contexto del presente estudio, se entiende confiabilidad como la disponibilidad del servicio de climatización del aire así como la precisión con que se mantienen valores predeterminados dentro de un rango especificado.

1.2.2. Objetivos específicos

Los siguientes son los objetivos específicos definidos para el presente estudio:

- Identificar las características más representativas en el diseño del aire acondicionado de Centro de Proceso de Datos.
- Auditar las instalaciones del CPD de la empresa CISA respecto a buenas prácticas de la industria, según la bibliografía consultada.
- Equiparar y calificar el cuarto respecto a otros mediante la comparación de los resultados de estudios de organizaciones independientes en otras empresas.
- Definir un plan de mejoras para incrementar la confiabilidad y eficiencia del sistema.

1.3. Justificación

En Costa Rica la empresa CISA opera un Centro de Proceso de Datos (<<CPD>>) que apoya las necesidades de cómputo de más de 2,000 empleados, los que se dedican al desarrollo e investigación de productos innovadores en el área de procesadores de cómputo, además de ser apoyo a una plataforma de servicios generales para clientes internos, dentro de los que se pueden citar los departamentos de: Finanzas, Recursos Humanos y Mantenimiento, este *CPD* es clave en la continuidad de operaciones y el aseguramiento del éxito para las funciones de los departamentos mencionados anteriormente. Algunos servicios que brinda el *CPD* son el acceso a programas específicos de cómputo, correo electrónico, acceso a Internet, almacenamiento de datos, información relacionada con el control de tiempos y movimientos de cada operación del proceso de desarrollo en investigación.

Una falla en el Centro implica un servicio que no se puede brindar, producto que se daña o una prueba particular que se deja de hacer, lo cual representa costos adicionales dados las horas necesarias para recuperar el nivel usual de productividad.

El *CPD* fue construido en 1997 y ha experimentado variaciones tanto en la cantidad, variedad y características de los equipos informáticos que se han instalado, por ser éstos equipos o servidores de cómputo con unidades de proceso de datos más

complejas. Esto hace que el diseño y la operación del sistema de aire acondicionado deban hacerse de forma tal que se adapte a las nuevas exigencias.

Por la importancia de los servicios de informática y cómputo para la empresa así como el auge mundial que tiene este tipo de negocios, se considera de mucho interés el llevar a cabo un estudio de las condiciones particulares de este *CPD* y sus oportunidades de mejora.

1.4. Antecedentes

Un **Data Center** (ASHRAE, 2009) o Centro de Datos es un edificio o porción de un edificio cuya función primordial es albergar un cuarto de cómputo y sus áreas de soporte; típicamente contienen equipo de alto costo y en algunos casos con funciones de misión crítica, las cuales son extremadamente urgentes para que la empresa opere satisfactoriamente.

Para efectos de este trabajo, el término Data Center, será sinónimo de Centro de Proceso de Datos² o bien sus siglas *CPD*. Algunas de sus funciones se entienden como (Sacco, 2006):

- Un lugar seguro para ubicar equipo de misión crítica.
- Suficiente suministro protegido de potencia eléctrica para mantener las cargas críticas.
- Controles ambientales adecuados, incluyendo enfriamiento, dispositivos de seguridad contra incendios que permitan operar el espacio dentro de los parámetros operacionales de las cargas críticas.
- Conectividad de comunicaciones tanto dentro como fuera del edificio y con otras empresas u organizaciones fuera de la planta.

Para el caso de la compañía CISA, su Centro de Proceso de Datos es el lugar donde se almacena equipo de telecomunicaciones, computadoras y servidores; dado que la información que manejan es crucial para el día a día, es importante que sus actividades

² Se denomina Centro de Proceso de Datos a un edificio o porción de un edificio cuya función principal es alojar una sala de computación y sus áreas de apoyo.

se desarrollen dentro de un recinto que mantenga condiciones óptimas, a definir posteriormente.

En 1997, el recinto dedicado a los sistemas de cómputo fue diseñado de forma tal que el calor disipado era extraído del cuarto por dos unidades de aire acondicionado, las cuales tenían las siguientes particularidades:

- De uso comercial.
- Con todos los componentes están dentro de un mismo chasis.
- Con control de temperatura, pero no de humedad.

El sistema de ductos se instaló a nivel de cielo suspendido, con difusores estándar de cuatro vías en el caso de las rejillas de suministro y el retorno con rejillas estándar. Las rejillas de suministro, estaban colocadas de forma tal que mantuvieran simetría entre ellas.

En caso de falla del sistema de aire acondicionado principal o en actividades programadas de mantenimiento, se contaba con equipos tipo «mini-split» como unidades de respaldo. Diez unidades de cinco toneladas nominales de refrigeración eran suficientes para satisfacer las necesidades de enfriamiento.

La vida útil promedio de la infraestructura de climatización del aire del cuarto, tomando como referencia unidades manejadoras de aire con una configuración de volumen constante, es 25.9 años, por lo que se puede esperar que una gestión de mantenimiento adecuada permita a los equipos llegar a este nivel. Incluso, la edad promedio de las unidades cuando fueron cambiadas por equipos nuevos, fue de 34.7 años (ASHRAE 2017).

Como contraste, está la carga térmica que disipan los equipos de cómputo dentro del mismo recinto, se ha observado una tendencia creciente, tomado como base la disipación térmica por unidad de área, según se explica a continuación. Los factores de forma evolucionan de forma tal que en un área más compacta, hay posibilidad de almacenar mayor cantidad de equipo con una densidad de potencia mayor.

El Thermal Management Consortium o TMC o TC9.9, es un grupo de especialistas dedicado al estudio del fenómeno de los Centros de Proceso de Datos. Formado, entre otros, por fabricantes de procesadores y de servidores, estos especialistas tratan de darle solución a los retos de calor generados por las altas

densidades de potencia eléctrica. En el 2001, pasó a llamarse Comité Técnico TC9.9 y es auspiciado por ASHRAE.

El TC9.9 y “*The Uptime Institute*”³ han realizado estudios para comprender el impacto del desarrollo de la tecnología y del equipo de cómputo involucrado, se repasan tres momentos en la vida del CPD y la condición de los equipos (Brill, 2006).

Para el año 1997, la densidad de carga de diseño (en Watts por metro cuadrado de equipo), para un gabinete de servidores tipo “blade”, era de 5350 W/m² (500 W/pie²⁴). Este fue el año de inicio de operaciones del recinto.

Para el año 2001, la densidad de carga promedio típica era de 15515 W/m² (1450 W/pie²), basado en los datos del *TMC*. Para el año 2006, la densidad de carga es 42800 W/m² (4000 W/pie²), para la misma categoría de equipos analizada anteriormente.

En una década, la densidad de carga se ha multiplicado por 8 y el cuarto mantiene el mismo esquema de enfriamiento.

La evolución del cuarto y el reto que tiene el sistema de climatización de aire para mantenerse a la altura de las exigencias, es lo que ha inspirado los objetivos de este proyecto, en donde se espera sintetizar la experiencia del autor y una serie de mediciones que justifiquen algunas prácticas recomendadas para la operación económica y eficiente del sistema en estudio.

1.5. Metodología (resumida)

El trabajo iniciará con un marco teórico, enfocado en dos secciones. La primera es la que identifica las pautas que deben considerarse en el diseño de un sistema de aire acondicionado para sistemas de cómputo con funciones de misión crítica. Las referencias de estos datos, son las publicaciones de la ASHRAE y otros grupos o compañías, dedicados al análisis de los cuartos destinados a servidores, computadoras y afines.

La segunda sección, se enfoca en describir los indicadores críticos de rendimiento como línea de partida en cuanto a la evaluación de un CPD. Parte del estudio es el caracterizar el funcionamiento del sistema actual y compararlo con el rendimiento de

³ *The Uptime Institute* es un grupo dedicado a la investigación de métodos para mejorar la disponibilidad de Centros de Proceso de Datos.

⁴ Estimado como el valor promedio de la potencia por equipo de cómputo o almacenamiento en discos, cifra con fines demostrativos, el área de referencia es el área de los equipos de cómputo.

otras instalaciones similares. Las comparaciones se van a hacer con ayuda de los trabajos realizados por el *TUI* y el “Lawrence Berkeley National Laboratory”⁵.

Se complementará la parte teórica con dos disciplinas adicionales; una de ellas es referente a las técnicas de prueba y balanceo de sistemas de aire acondicionado para entender el estado actual de la red de ductos así como del sistema de ventilación, su integridad respecto a fugas y balance de caudales de aire por difusor y por equipo.

La segunda técnica es la termografía infrarroja, donde con ayuda de una cámara que capta imágenes termográficas, se observarán distribuciones de temperatura en los puntos de interés así como los patrones de aire caliente y frío, de acuerdo a la configuración de difusores y la posición de las fuentes de calor. Es de particular utilidad para la identificación de potenciales áreas de riesgo de falla por operar en condiciones no recomendadas. La empresa suministra todos los equipos de medición indicados anteriormente. Se finalizará el trabajo con una lista de recomendaciones para que el cliente, determine cuáles desea implementar.

1.6. Alcances y limitaciones

Las recomendaciones generadas de este trabajo, fueron complementadas con pruebas y mediciones específicas a *CPD* de la empresa CISA, sita Heredia, Costa Rica, para el período comprendido entre el segundo semestre del 2007 y el segundo semestre del 2008. En caso de desear implementarlas en otros recintos, deben de tomarse como guía y no como única práctica, existen variables que deben analizarse de previo y no hay certeza de que sea una solución eficiente para cualquier entorno similar.

Las tendencias en la evolución de los servidores y equipos afines, son tales que se observa una densidad de carga creciente, pero algo impredecible, por lo que en el futuro puede que algunas de las sugerencias no sean siempre acertadas en términos prácticos o económicos.

Para efectos de este estudio, el cálculo de carga térmica excluye las variables relacionadas con transferencia de calor atribuido a transmisión por techo, paredes, piso; sólo se analiza el impacto relacionado con la carga térmica producto del trabajo de los

⁵ *Lawrence Berkeley National Laboratory* o *LBNL*: Laboratorio del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América que realiza investigaciones científicas en CPD.

servidores y otros equipos de cómputo dentro del recinto así como una aproximación de la carga térmica por iluminación. Esto por cuanto se quiere hacer énfasis en la aplicación específica de los equipos y cómputo.

Se sale del alcance el análisis de parámetros como presurización, retardadores de migración de vapor, sellado de penetraciones. Así mismo, se excluye el enfriamiento mediante fluidos en los equipos de cómputo.

El estudio se centra en el sistema de aire acondicionado principal y no en el de respaldo, el cual requiere un análisis completo para determinar su confiabilidad y áreas de mejora.

Algunas mediciones se hicieron de forma puntual por carecer de la instrumentación necesaria en ese momento para obtener el comportamiento de esos datos en el tiempo.

Dado que para el enfriamiento de las unidades de aire acondicionado se comparte el sistema de torres y de bombeo del edificio, se hizo una aproximación proporcional al bombeo requerido por las dos unidades para estimar cuanto se necesita eléctricamente, esto se adicionó a la potencia medida en las dos unidades de aire acondicionado y es lo que se asume para los cálculos posteriores.

1.7. Aportes esperados

Se espera que el estudio contribuya con el conocimiento actual sobre el tipo de recintos, en particular para su uso en Costa Rica o países con condiciones ambientales similares: el adaptar las ideas y los procedimientos en un Centro de Proceso de Datos en el país, el cual ha abierto las puertas para que se descubran sus carencias técnicas.

Se pretende además, conformar una lista con recomendaciones básicas que se consideren importantes tomar en cuenta para la especificación inicial y diseño térmico de sistemas de aire acondicionado para este tipo de cuartos.

2. Marco teórico

2.1. El cliente y sus necesidades.

La tecnología de los equipos de cómputo ha experimentado cambios importantes en los últimos años y retos que no pasaban por la mente de quienes trabajaron con ellos hace unos 30 años. Los avances en los sistemas de enfriamiento, sin embargo, no se han dado con la misma velocidad.

En una entrevista realizada a Gerentes de Tecnología de la Información y a Gerentes de Facilidades (Rasmussen, 2012), se identificaron necesidades de quienes se encargan de las operaciones en cuartos que albergan equipos de TI y se definieron cinco temas de interés:

- Flexibilidad: Los sistemas mecánicos deben adaptarse al cambio permanente y diseñarse de forma tal que satisfagan una necesidad poco predecible.
- Disponibilidad: Los sistemas deben estar disponibles hasta 24 horas, 365 días al año; fallas inesperadas o trabajos programados no deben afectar la operación de los equipos de TI.
- Costo Operativo: Debe ser lo más bajo posible, sin poner en riesgo la confiabilidad. Esto influye en las decisiones de inversión de capital, así como temas de operación como la administración del espacio, el tiempo de reacción a cambios y los contratos de servicio.
- Mantenimiento: Debe promover la disminución del tiempo promedio para ejecutar cualquier reparación, el incremento en el tiempo promedio entre fallas, la simplificación de los sistemas, de los procedimientos de servicio y que propicie un ambiente donde el aprendizaje de los errores sea la constante.
- Administración de la operación: Se tienen procedimientos estandarizados con instrucciones claras en caso de falla, con análisis de los posibles modos de falla así como sus efectos.

El factor económico financiero determina muchas de las acciones que se emprenden o se omiten, por lo que para asegurar un mayor retorno a la inversión de los socios, es necesario analizar, desde varios ángulos, las distintas etapas, tanto el diseño conceptual, pasando por la decisión de inversión inicial, hasta decisiones respecto a la forma de operar los sistemas de climatización, por ejemplo. Se llama a este análisis Costo Total de Propiedad (CTP), en inglés: *Total Cost of Ownership (TCO)*.

Es ésta una de las justificaciones para que las relaciones (cliente, diseñador, constructor y operador) se desarrollen de una forma simbiótica, además que logre balancear las necesidades a corto y largo plazo, con un diseño práctico que las satisfaga, a un CTP aceptable.

De los retos identificados para quien diseña sistemas mecánicos para cuartos para servidores, uno es la capacidad de adaptación. Las necesidades futuras son poco predecibles y se desarrollan en un ambiente donde lo único constante y acelerado, es el cambio.

Las implicaciones de no lograr un balance adecuado entre las necesidades del cliente con la solución implementada, son dos: o se sobredimensiona o se subestiman los sistemas, ya sean arquitectónico, civil, eléctrico, mecánico. En el caso de subestimar el sistema, representa el invertir menos recursos de los necesarios para una condición que lo ameritaba, lo cual desemboca en una potencial pérdida de negocios, que a su vez significa reducir la posibilidad de maximizar la ganancia.

El caso contrario, que es tener sistemas sobredimensionados, lo cual también reduce la posibilidad de maximizar la ganancia, por cuanto desde un principio se pudo reducir la inversión de capital, trabajar con gastos operativos disminuidos, contratar servicios de mantenimiento que tomarán en cuenta menor cantidad de equipos o de menor capacidad.

De las dos condiciones, la práctica común es optar por una instalación cuyos sistemas tengan una capacidad holgada respecto a la demanda estimada. Se ha encontrado que la demanda de potencia eléctrica de los equipos de cómputo es típicamente un 30% de la capacidad de diseño, lo cual podría llevar a la conclusión de que los sistemas se sobredimensionan innecesariamente. El factor de utilización, entendido como el cociente de la demanda entre la capacidad instalada, varía considerablemente, lo que sugiere una pobre habilidad de predecir el futuro en el proceso de diseño. Si los diseños se hubieran ajustado al valor de 30%, el 50% de los sistemas

no serían capaces de sostener la demanda de potencia durante su vida útil (Rasmussen, 2012).

Se puede abstraer de los dos estudios anteriores, que el diseño de sistemas de soporte a cuartos de tecnología de información tiene un alto grado de incertidumbre y requiere mucha comunicación entre los grupos involucrados, con el objetivo común de satisfacer las necesidades del cliente, representadas en este documento con los cinco retos presentados por APC.

2.2. Parámetros recomendados de operación para equipos de CPD.

Grupos como el Comité Técnico TC 9.9, adscrito a la ASHRAE, han trabajado en la definición de condiciones ideales, rangos recomendados y rangos permisibles, del ambiente en el cual residen los equipos de cómputo. Dentro de los parámetros mencionados están variables como temperatura de bulbo seco y su razón de cambio en el tiempo, la humedad relativa, el punto de rocío, así como el nivel de filtrado mínimo requerido para asegurar que el aire mantiene cierto nivel máximo de partículas dentro del cuarto. Estos parámetros afectan directamente el proceso de datos y el almacenamiento de información (ASHRAE, 2015).

Dos ejemplos del efecto de trabajar a distintas temperaturas ambientales y su influencia en los equipos de cómputo, son:

La operación de equipo de cómputo en un ambiente con temperatura en el rango permisible respecto del rango recomendado, es un incremento en la potencia demandada, resultado del aumento en consumo del abanico interno que enfría el procesador, debido a que debe funcionar a mayor velocidad para disipar el calor, otra razón del incremento en la potencia demandada es por la potencia consumida en los distintos componentes, los cuales a temperaturas más altas tienen más pérdidas (ASHRAE, 2015).

Trabajar fuera del rango recomendado, en el rango alto, tiene efecto también en el nivel de ruido que los equipos de cómputo emiten, el cual incrementa dado el aumento en la velocidad del abanico de enfriamiento, esta es una preocupación creciente en este tipo de aplicaciones, por lo que las personas responsables del diseño y operación deben tener en cuenta la sensación en los usuarios, así como cotejar el impacto del nivel de ruido respecto del esperado beneficio energético (ASHRAE, 2015).

Las condiciones ambientales a tomar en cuenta en el diseño de sistemas de climatización para CPD, deben seguir los lineamientos documentados (ASHRAE, 2015) según se muestra en el cuadro 2-1.

Cualquier decisión de trabajar fuera de la región recomendada debe ser el resultado de un análisis detallado y del balance que resulta de considerar el potencial de ahorro energético del sistema de climatización respecto a los impactos documentados por ASHRAE. La Ilustración 2-1 muestra los diferentes puntos a tomar en cuenta por el equipo de trabajo que decide respecto de los parámetros operativos, la decisión es más que energética ya que tiene muchas implicaciones. Es importante que el ingeniero mecánico esté al tanto del alcance de su disciplina sobre los CPD.

Cuadro 2-1 *Ámbito de operación para equipos de cómputo, clase A1 y clase A2 (ASHRAE, 2015)*

Especificaciones Ambientales para equipos de cómputo, clase A1 y clase A2. Producto en Operación, elevación máxima 3050 msnm Máximo Razón de Cambio (°C/hr) 5-20					
Clase de CPD	Temperatura de Bulbo Seco (°C)		Humedad Relativa (HR) (%)		Máximo Punto de Rocío (PR) (°C)
	Permisible	Recomendado	Permisible	Recomendado	
A1	15 a 32	18 a 27	-12°C PR y 8% HR a 27°C PR y 80% HR	-9°C PR a 15°C PR y 60% HR	15
A2	10 a 35	18 a 27	-12°C PR y 8% HR a 27°C PR y 80% HR	-9°C PR a 15°C PR y 60% HR	17

Cualquier decisión de trabajar fuera de la región recomendada debe ser el resultado de un análisis detallado y del balance que resulta de considerar el ahorro energético potencial del sistema de climatización respecto a los impactos documentados (ASHRAE, 2015). La Ilustración 2-1 muestra los diferentes puntos a tomar en cuenta por el equipo de trabajo que decide respecto de los parámetros operativos, la decisión es más que energética ya que tiene muchas implicaciones. Es importante que el ingeniero mecánico esté al tanto del alcance de su disciplina sobre los CPD.

2.3. Consideraciones para el cálculo de carga térmica en CPD.

El cálculo de carga térmica para un Centro de Proceso de Datos tiene una dinámica similar que para otras aplicaciones. Este tipo de cuartos se caracteriza por un alto componente sensible y un consiguiente factor de calor sensible muy cercano a la unidad, definido como la razón de calor sensible a calor total, el aporte de los principales contribuyentes a este cálculo así como algunas consideraciones a tomar en cuenta para cada uno, se detalla seguidamente.

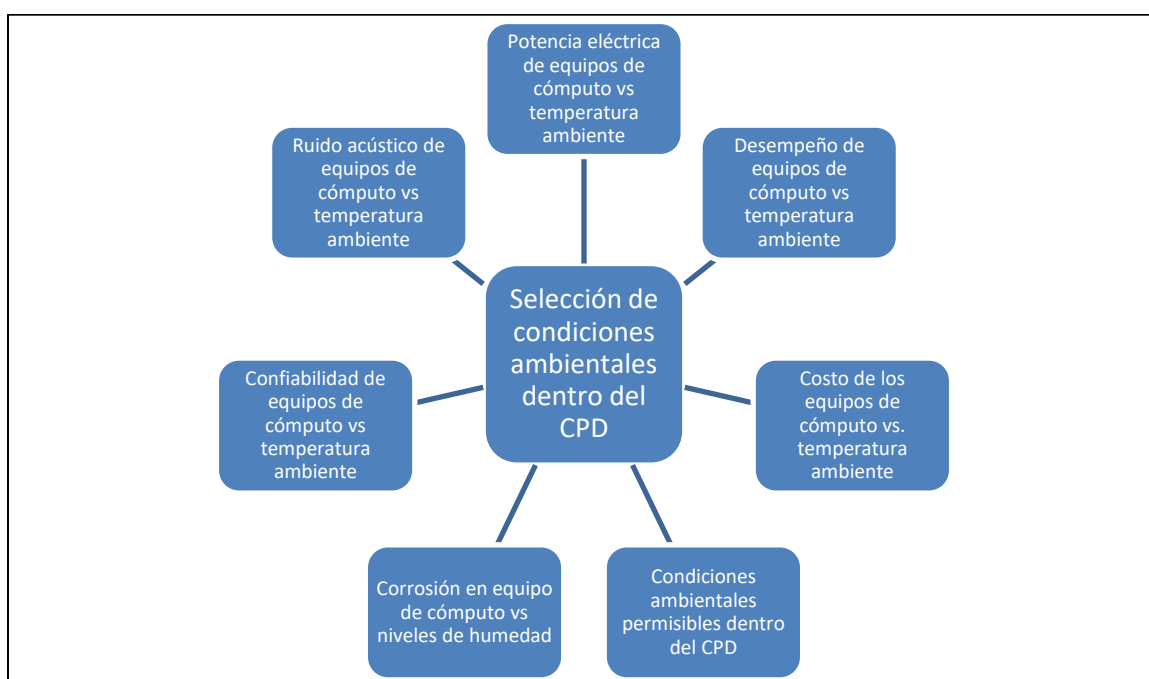


Ilustración 2-1 Indicadores clave en equipos de cómputo a considerar en la selección de las condiciones ambientales de operación en CPD (ASHRAE, 2015).

2.3.1. Servidores y sus componentes

Algunos de los componentes más comunes que se utilizan en los servidores son el procesador, los módulos de memoria, tarjetas madre o tarjetas de circuitos integrados auxiliares (chipsets), dispositivos para entradas y salidas de información, componentes de almacenamiento, reguladores de voltaje y fuentes de poder. Una práctica común es

asumir que la totalidad del consumo eléctrico real de los mismos se disipa en forma de calor.

La fuente principal de calor en un equipo de cómputo es típicamente el procesador, conocido como CPU por sus siglas en inglés (unidad central de procesamiento). El procesador se encarga de la ejecución de distintas funciones y cálculos matemáticos, así como administración de la información o de la potencia entre los distintos componentes.

Los módulos de memoria almacenan información, de manera temporal, que ha sido o está en espera de ser procesada. Estos módulos se instalan en ranuras especiales sobre la tarjeta madre. Esta última provee interconexiones entre los diferentes dispositivos.

Los reguladores de voltaje transforman el voltaje de las fuentes de poder que proveen de energía eléctrica a la tarjeta madre para que a través de diferentes conexiones se energicen los distintos dispositivos para que lleven a cargo sus funciones.

Además de estos componentes, se tienen dispositivos para almacenamiento de información, conocidos como discos duros o discos de estado sólido, fuentes de poder, así como sistemas para movimiento de aire. El chasis es la estructura que sostiene en su lugar todos los componentes. El calor que se disipa de los distintos componentes se conduce a las superficies que transfieren calor, a través de los materiales diseñados para sostener cada uno de los componentes, de donde mediante convección forzada fuera del chasis para que el sistema de climatización del CPD se encargue de enfriarlo nuevamente.

2.4. Servidores montados en gabinetes para equipo de cómputo

Los equipos, servidores y afines, se pueden instalar en “racks”⁶ o gabinetes, así como unidades independientes.

Dentro de las recomendaciones generales para el cálculo de carga térmica (ASHRAE, 2009), se enfatiza que en cuanto a equipos de cómputo, se evite utilizar la información de la placa de la fuente de poder de los mismos como referencia, por cuanto

⁶ Un rack es un bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Para efectos de esta publicación, se utiliza el término gabinete como sinónimo.

los resultados generados brindan un valor sobredimensionado y poco realista de la carga térmica del cuarto. Por lo general los fabricantes de equipos de cómputo, instalan fuentes de poder con una capacidad mayor a la de funcionamiento nominal del equipo y previenen así configuraciones de trabajo poco comunes que demandan más potencia eléctrica.

Una práctica común para la estimación de la carga de equipo en instalaciones existentes, es utilizar como referencia el dato de potencia eléctrica de suministro de la UPS a los equipos del cuarto de cómputo. Esta metodología provee una idea clara de la carga térmica por éste rubro. Este es un valor puntual que sirve como punto de partida, se requiere de más información para una buena estimación a lo largo de varios años de operación.

Es aquí donde el trabajo realizado por el *ASHRAE TC9.9* y *The Uptime Institute* es útil, ya que ellos hacen ver que el cálculo de carga cambia con el tiempo y se recomienda que se defina la fecha hasta cuando el cálculo de carga es vinculante, por cuanto se espera que las densidades de carga (expresadas en Potencia por unidad de área de *gabinete*) se mantengan con una tendencia creciente (ASHRAE, 2012).

La carga térmica depende de la categoría de equipo, por lo que se debe hacer un inventario para determinar la variedad y cantidad de equipos de cómputo que se tenga, se indican los distintos tipos:

- Equipo de comunicaciones, alta y extrema densidad.
- Servidores de cómputo, 1U⁷, blade⁸, y especiales.
- Servidores de almacenamiento.
- Estaciones de trabajo individuales.
- Sistemas de almacenamiento mediante cintas.

⁷ La altura de los servidores se expresa en términos de unidades equivalentes, una unidad o 1U, representa 44.45 mm de altura vertical. Un ejemplo de gabinete común tiene capacidad de almacenamiento de 42U. Se pueden encontrar servidores de 1U, 2U, 3U, 7U, por ejemplo.

⁸ Blade se le conoce a un tipo de computadora particular, diseñada para aprovechar el espacio.

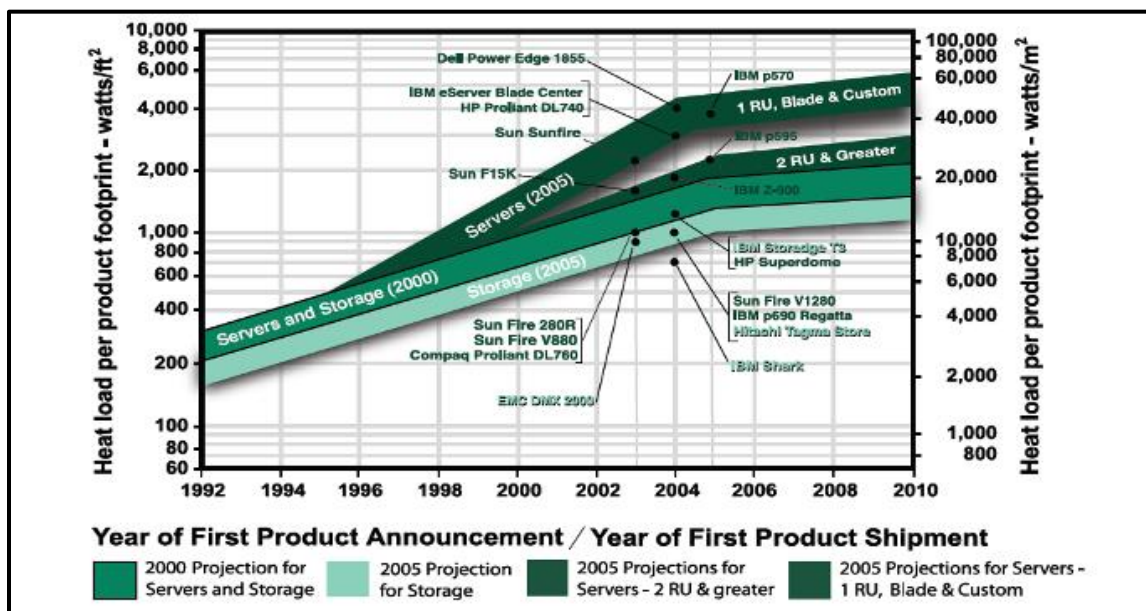


Ilustración 2-2 Tendencias de carga térmica por huella de producto, tendencia del 2005 (Menuet & Turner, 2006).

Cada clasificación tiene características distintas en cuanto a la tendencia de crecimiento en la misma, basado en predicciones de la industria y en mediciones experimentales de laboratorio. La Ilustración 2-1, muestra la tendencia documentada en el 2005. La Ilustración 2-2 documenta la tendencia esperada según los estudios que se hicieron, al 2012.

Un detalle importante es que la información asume que los equipos de cómputo instalados para hacer los análisis tienen la configuración de componentes con mayor disipación de calor esperada, así mismo el *gabinete* se encuentra con un porcentaje de ocupación del 100%, por lo que se recomienda una evaluación de cada caso puntual.

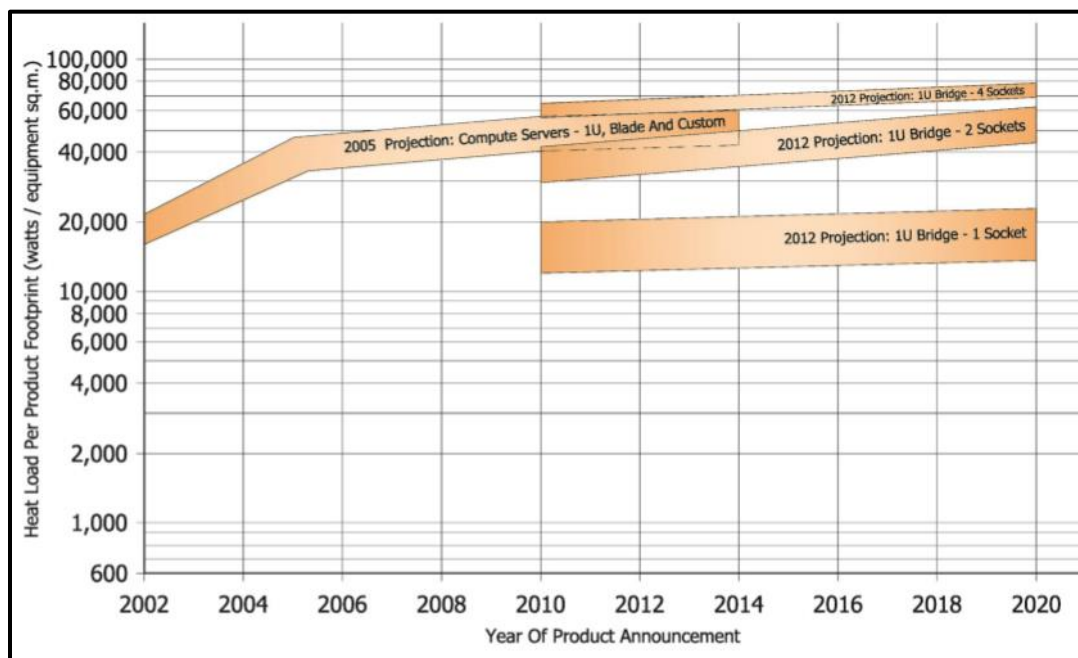


Ilustración 2-3 Tendencias de carga térmica por huella de producto, para servidores de 1U, tendencia del 2005 y actualizada al 2012 (ASHRAE, 2012).

2.4.1. Equipos de distribución de potencia eléctrica

Dada la importancia de la información, los equipos de cómputo obtienen la electricidad en una forma más confiable de sistemas de suministro de potencia ininterrumpida (UPS por sus siglas en inglés) o de unidades de distribución de potencia (PDU por sus siglas en inglés). Tanto las PDU como las UPS mejoran la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, mediante dispositivos que filtran incrementos o disminuciones no esperados en el voltaje, así como la eliminación de armónicas de la red.

Estas unidades cuentan con transformadores, los cuales debido a su inherente ineficiencia, disipan calor, el cual debe tomarse en cuenta.

2.4.2. Otras cargas

Otros factores de importancia son que deben tomarse en cuenta a la hora de llevar a cabo diseños de aplicaciones similares, incluyen:

- Ventilación e infiltración: Representa las cargas debidas al aire fresco que se requiere para mantener cierta calidad en el aire

dentro del edificio, así como de entradas no deseadas de aire, ya sea por apertura de puertas, o sellos incompletos, entre otros. Este rubro representa tanto carga latente como sensible.

- Iluminación: El sistema de iluminación representa una ganancia de calor que debe analizarse. La estimación muchas veces se obtiene del plano de distribución de tubos fluorescentes, ya que se asume que la totalidad de su potencia se disipa en el recinto.
- Ocupantes: Los Centro de Proceso de Datos son cuartos considerados de ocupación o trabajo liviano, así mismo, las personas dentro del cuarto representan carga latente y carga sensible.
- Paredes y ventanas: El calor que se transmita a través de paredes y ventanas debe considerarse. Una de las recomendaciones durante las etapas de diseño es el minimizar la cantidad de paredes que dan al exterior, así como las ventanas. En el caso de las paredes, se recomienda también el uso de barreras de vapor, para reducir la velocidad de migración de humedad al cuarto y evitar una carga adicional.
- Calentamiento y recalentamiento: Carga térmica por este rubro se genera por el recalentamiento necesario en algunos casos durante las etapas de eliminación de humedad en el aire, cuando se debe enfriar el aire más de lo requerido para secarlo. En casos donde la carga de equipos al inicio del proyecto es baja, se utiliza calentamiento del aire para alcanzar los ámbitos recomendados de operación.
- Humidificación: La humedad se agrega al aire para asegurar que el aire frente a los gabinetes dentro de los rangos recomendados y los permisibles. Cuando los recintos tengan paredes limitantes con el exterior, debe analizarse la migración de humedad así como el uso de barreras de vapor.

2.5. Generalidades del enfriamiento de CPD

La adecuada disipación de calor generado por los equipos de cómputo es primordial para una operación exitosa. La tendencia en los sistemas de cómputo es a reducir el tamaño con un incremento de eficiencia en el manejo de los procesos y al ser más pequeños, se concentran más equipos por unidad de área, lo cual hace que el reto del manejo del calor sea mayor, tanto por capacidad como por distribución. Los equipos para disipar el calor se pueden clasificar en cinco tipos (Evans, 2004), los cuales se aprovechan de los ciclos de refrigeración para mover el calor generado dentro del cuarto de cómputo con un evaporador y entregarlo a otro lugar con un condensador (usando un fluido térmico), ya sea en una o varias etapas.

Los cinco sistemas de enfriamiento se explican brevemente a continuación:

2.5.1. Sistema enfriado por aire (dos piezas)

Ubica la unidad que enfría el aire dentro del cuarto y en la parte exterior al cuarto se localiza el condensador para que entregue el calor al ambiente. El fluido térmico es un refrigerante y se conocen como sistemas de expansión directa.

Es un sistema de bajo costo y fácil mantenimiento, requiere instalar tuberías para el transporte de refrigerante dentro del cuarto de cómputo que deben ser diseñados por una persona con conocimiento técnico para lograr buena eficiencia. Existen límites a las distancias entre evaporador y condensador, para que sea confiable y económica su instalación y operación.

2.5.2. Sistema auto contenido enfriado por aire (una pieza)

Por utilizar refrigerante como fluido térmico, también es conocido como un sistema de expansión directa. En este caso, los componentes del sistema de refrigeración están en una carcasa, el aire frío y el calor de rechazo se manejan con sistemas de ductos.

Son sistemas muy económicos en cuanto a su instalación, en parte porque sólo se debe instalar una pieza de equipo, que viene en un solo conjunto probado de fábrica, con una menor probabilidad de falla, al necesitar menos intervención en sitio. Al ser de una sola pieza, son unidades de menor tamaño y por consiguiente de menor capacidad. Requiere de espacio para la instalación del ducto.

2.5.3. Sistemas enfriados por glicol

Sistema similar al auto contenido, ya que todos los componentes están en un solo conjunto, con la diferencia que utiliza un condensador de menor tamaño. En este caso, se tienen dos circuitos con fluidos térmicos distintos, el primero con refrigerante, que se encarga de absorber el calor del aire dentro del cuarto de cómputo, y el segundo fluido es una mezcla de agua con etilenglicol (similar a la mezcla utilizada en los radiadores de los automóviles), el cual absorbe el calor del refrigerante y lo lleva a los condensadores para intercambiar calor con el ambiente externo.

Por tener dos circuitos con fluidos térmicos distintos necesita más cantidad de tubería, lo que hace que su costo de instalación sea mayor que los dos mencionados en los puntos 2.5.1 y 2.5.2.

2.5.4. Sistemas enfriados por agua

Similar al de glicol, solo que utiliza agua para remover el calor absorbido por el refrigerante. El condensador externo utilizado en este caso es una torre de enfriamiento. Todos sus componentes de enfriamiento son probados en fábrica. Las tuberías de agua pueden recorrer grandes distancias sin problemas, con la ventaja que pueden alimentar varios equipos al mismo tiempo.

Su costo inicial es comparativamente alto, por la cantidad de equipos que lleva, además de que sus costos de mantenimiento son mayores al incluir más equipos así como el tratamiento químico del agua. Al igual que el sistema anterior, involucra un fluido adicional dentro del cuarto.

2.5.5. Sistemas de agua helada

El sistema de refrigeración se mantiene fuera del cuarto de cómputo. Un enfriador de agua, en inglés conocido como "Chiller", se encarga de reducir la temperatura del agua, que se bombea desde el cuarto de máquinas al cuarto de cómputo.

Este sistema utiliza unidades manejadoras de aire para cuartos de cómputo, conocidos como CRAH⁹. Estas son básicamente un serpentín de agua helada y una válvula que modula su apertura o cierre, según sea la necesidad de enfriamiento.

Este tipo de sistema tiene la ventaja que el costo de las unidades es menor, tiene menos partes que requieren de mantenimiento, además de que para la misma huella de equipo, tienen mayor capacidad de remoción de calor. El cuarto de máquinas donde se ubica la torre de enfriamiento y el enfriador de agua puede estar lejos del *CPD*, sin limitación a la distancia en los sistemas de tuberías.

2.5.6. Características comunes de los sistemas de enfriamiento

Independientemente del tipo de sistema seleccionado, una recomendación común es que estén separados de los sistemas que soportan otras zonas, por cuanto:

- Se logra independencia entre las zonas para efectos de mantenimiento.
- Una falla en el sistema no afecta los servicios de otras zonas.
- En caso de que se requiera redundancia, se seleccionan las zonas que lo ameritan, en lugar de hacerlo para la totalidad del recinto.

Además del modo de enfriamiento del aire, los equipos cuentan con diferentes opciones para lograr controlar las condiciones dentro del cuarto con un grado de precisión mayor que el de un sistema comercial. Dos opciones comunes son el uso de humidificadores integrados al equipo o los sistemas de recalentamiento, para obtener mayor precisión en las condiciones de entrada del aire a los equipos de cómputo.

2.6. Consideraciones para la distribución y manejo del aire en CPD

2.6.1. Flujo de aire a través de equipos

El secreto del éxito del sistema de aire acondicionado en esta aplicación, está en llevar el aire frío a los puntos de uso y en sacar el aire caliente del cuarto lo más rápido posible y antes de que siga trayectorias no deseadas.

⁹ *Computer Room Air Handling Unit* por su designación en inglés

Los servidores, o equipos de cómputo, utilizan el aire del cuarto donde se encuentran para enfriar los componentes internos y disipar el calor que generan, razón por la cual es importante que ese aire se mantenga dentro de los parámetros recomendados (ASHRAE, 2015). Es importante procurar que el aire frío pase “a través, una vez” por el equipo de cómputo antes de regresar a la unidad CRAC o CRAH, esto ayuda a que se obtenga la mayor eficiencia (ASHRAE, 2009). La disposición de los gabinetes de servidores dentro del *CPD*, contribuye al éxito del fenómeno mencionado, ya que la forma como manejan la entrada y la salida de aire de enfriamiento es crítica.

Existe también una definición de protocolos de enfriamiento de equipos (ASHRAE, 2009), (Equipment Cooling (EC) Classes) –según su nombre en inglés- para clasificar la forma de entrada y salida de los flujos de aire. Así mismo, se determinó una nomenclatura para los protocolos de flujo, la cual fue adoptada por la industria y es fundamental para que los cuartos puedan obtener un mejor rendimiento. Se conocen como:

- Frente hacia atrás, (Front to Rear (F-R)).
- Frente hacia arriba, (Front to Top (F-T)).
- Frente hacia arriba y atrás. (Front to Top and Rear (F-T/R)).

Con el objetivo de asegurarse que el aire fluye “a través, una vez”, se utilizan paneles o frentes muertos, los cuales obstaculizan el flujo de aire a través de espacios desocupados y evitan que el aire caliente regrese a las tomas de aire frío de los servidores, en lugar de ir a los retornos de las unidades de aire acondicionado, lo que reduce la efectividad de enfriamiento. Se muestran ejemplos de frentes muertos así como su aplicación en la ilustración 2-3.

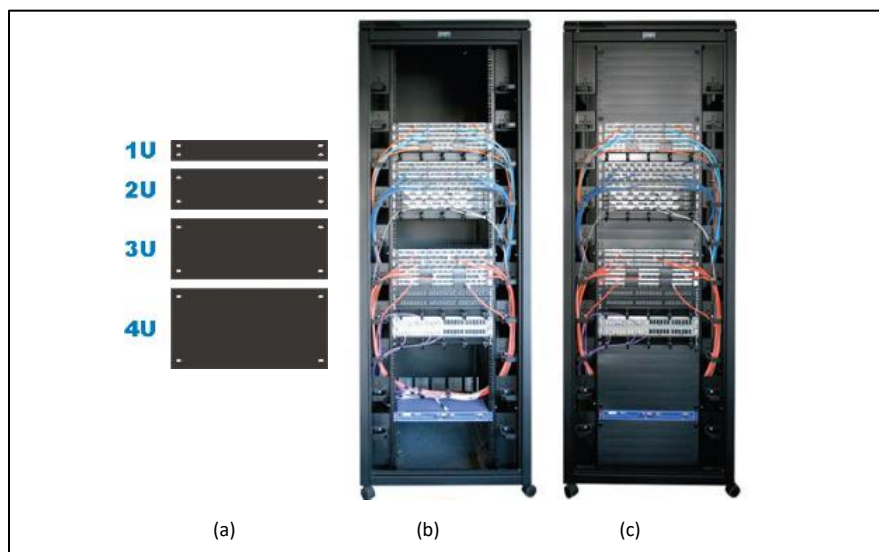


Ilustración 2-4 Diferentes tipos de paneles muertos (Blanking Panels) (a) Gabinete de servidores con espacios libres (b) Aplicación en gabinete de servidores (c). (Prism Enclosures. 2015-2017).

Para ejemplificar los beneficios de su utilización, se nota como los espacios entre carcasas se sellan evitando que el aire caliente retorne al frente de los equipos de cómputo a las tomas de aire, lo cual mejora la efectividad de enfriamiento de los servidores y ayuda a que operen cerca de las condiciones adecuadas. El uso de los paneles permite que las temperaturas sean más estables entre los equipos. En la Ilustración 2-4 a, se observa que el aire que se suministra desde la zona inferior, asumida como piso falso, no es aprovechado de la mejor forma, el servidor 5 toma aire frío y trabaja sin problemas, sin embargo a partir de este equipo, el aire caliente a la salida de los servidores se mezcla con el aire frío y hace que la temperatura de suministro suba para los otros equipos, lo cual se ve reflejado por el color rojo. En el caso de la ilustración 2-4 b, todos los servidores tienen un aire de suministro con temperatura constante.

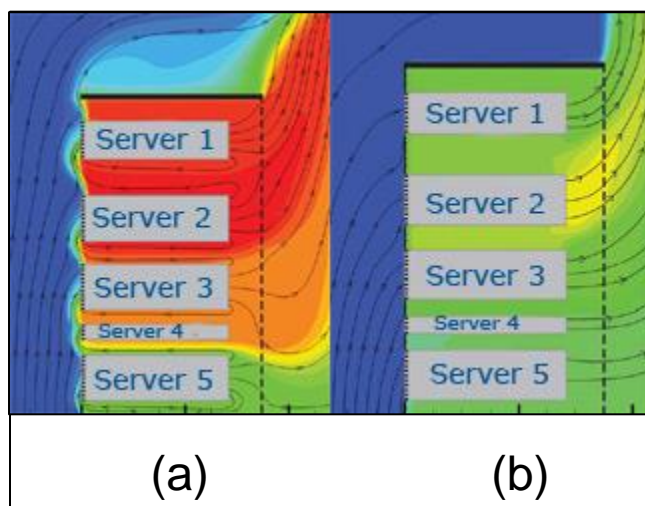


Ilustración 2-5 a. Gabinete de servidores con espacios libres entre equipos. b. Gabinete de servidores con espacios sellados entre equipos (Data Clean, 2015-2017)

2.6.2. Protocolo pasillo caliente – pasillo frío.

Los conceptos que se mencionaron en el apartado anterior se complementan con la idea del protocolo llamado pasillo caliente – pasillo frío, nombre que se le da al acomodo de los gabinetes de equipo de cómputo respecto a los pasillos. Su objetivo es maximizar el suministro de aire frío hacia las tomas de aire de los equipos y permitir la extracción eficiente del aire caliente de las descargas de los equipos (ASHRAE, 2015). En este acomodo, el uso de paneles para tapar espacios desocupados en el gabinete es fundamental para evitar que aire caliente recircule a las tomas de aire de los equipos. La ilustración 2-5 muestra un esquema del protocolo pasillo caliente – pasillo frío.

Es importante que los gabinetes y equipos cumplan con los protocolos para que todos tomen el aire en puntos comunes (en el frente del equipo) y que todos descargan aire en puntos esperados (por detrás o por arriba de los gabinetes).

2.6.3. Tiro de pasillo (*Aisle pitch*)

El uso de piso falso como forma de separar espacio para la distribución del aire o para canalizar tubería, cables de potencia, de datos, entre otros, ha sido muy común. La industria ha visto en la estandarización una forma de optimizar las instalaciones, por lo que las dimensiones de las láminas se han normalizado e inclusive, se coordinan con las

medidas de los gabinetes para asegurar que una instalación y operación más sencilla. En este sentido, las láminas de piso son cuadradas, de 610mm (2 pies) de lado.

Ahora bien, el tiro de pasillo es definido como la distancia entre el centro de referencia del pasillo frío hasta el centro del siguiente pasillo frío, en cualquier dirección (ASHRAE, 2015).

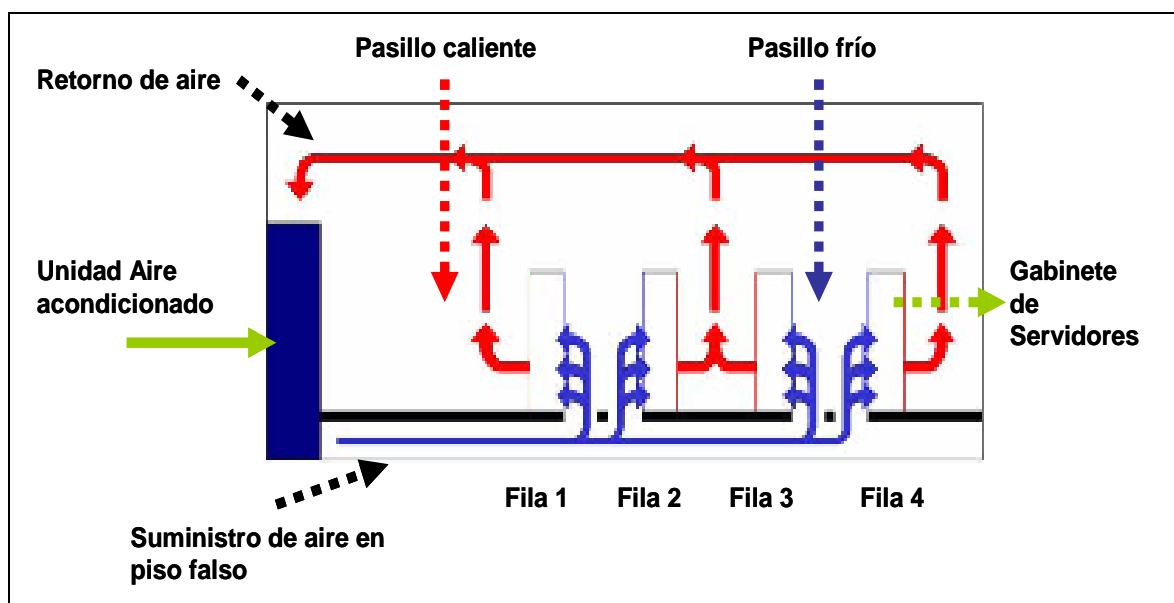


Ilustración 2-6 Acomodo de gabinetes en protocolo pasillo caliente – pasillo frío. (EchoMountain, 2015-2017).

El tiro de pasillo comúnmente utilizado es de 7 láminas de piso, delimitado por dos factores:

- se recomienda tener una lámina de piso completa para remover, en el frente de cada gabinete.
- mantener un mínimo de 3 pies en cualquier pasillo para permitir acceso a una persona en silla de ruedas, según la legislación norteamericana.

Basado en el tamaño estándar de las láminas de piso y en una profundidad razonable de los gabinetes, estos dos factores dan como resultado que el tiro de pasillo mínimo sea de siete láminas de piso (ASHRAE, 2015).

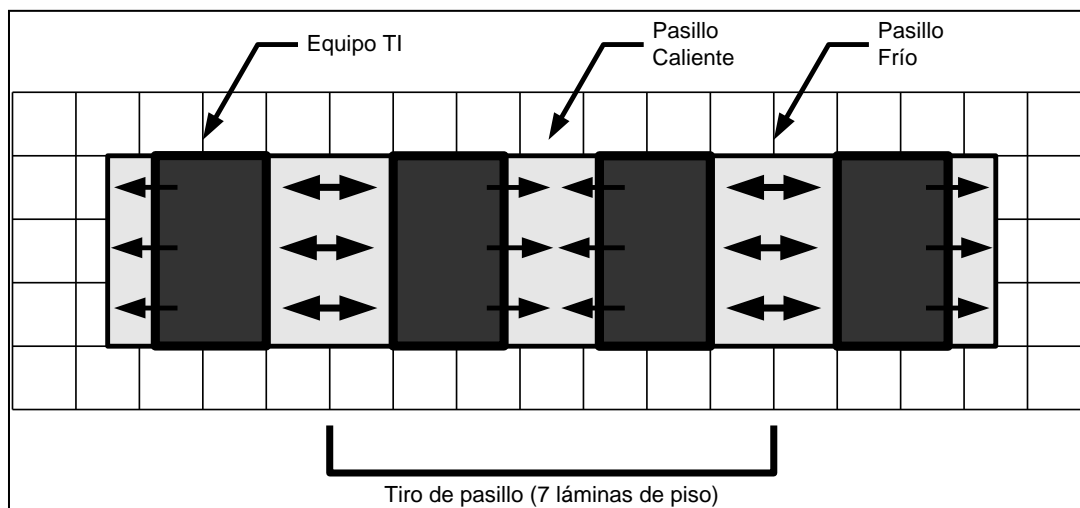


Ilustración 2-7 Tiro de pasillo de 7 láminas de piso, alineado en pasillo frío (ASHRAE, 2015).

En caso de querer un tiro de pasillo distinto, lo recomendado es que se modifique en láminas completas, por ejemplo anchos de 6 o de 8 láminas de piso. Un tamaño menor puede emplearse en instalaciones donde los equipos sean de menor tamaño y disipación de calor, que quizás se beneficien de este acomodo. Por otro lado, en cuartos con profundidades mayores a las estándar o con una densidad de carga mayor, se puede utilizar un tiro de pasillo mayor a siete. Sin embargo, cada caso particular debe analizarse para comprender sus implicaciones.

La práctica es alinear el frente del gabinete con el pasillo frío. Si se utiliza un tiro de pasillo de siete láminas, significa tener un pasillo frío de 120 cm (4 pies), es decir de dos láminas de ancho para una lámina de dimensiones normales. Las láminas de piso en un pasillo frío son perforadas para que mediante ellas se distribuya el aire al gabinete que tienen al frente. Un pasillo frío puede entregar aire hasta dos filas de gabinetes.

En algunas instalaciones es necesario dejar el pasillo caliente con un ancho de dos láminas de piso, cada una de 61 cm (2 pies), lo que reduce el ancho del pasillo frío. En caso de que el pasillo envíe aire a dos filas de gabinetes, se afecta la capacidad de

manejar la carga térmica, por cuanto el flujo disponible es la mitad del caso anterior. Cada caso particular tiene implicaciones que deben analizarse.

Una vez que los gabinetes han sido acomodados con el protocolo de pasillo caliente – pasillo frío, los suministros y retornos de aire acondicionado deben respetar la configuración. Esto significa, que el punto de suministro de aire frío debe darse en el pasillo frío, así como la extracción de aire caliente que debe hacerse en el pasillo caliente. Para asegurar la efectividad, cualquier conexión entre estos dos debe ser sellada.

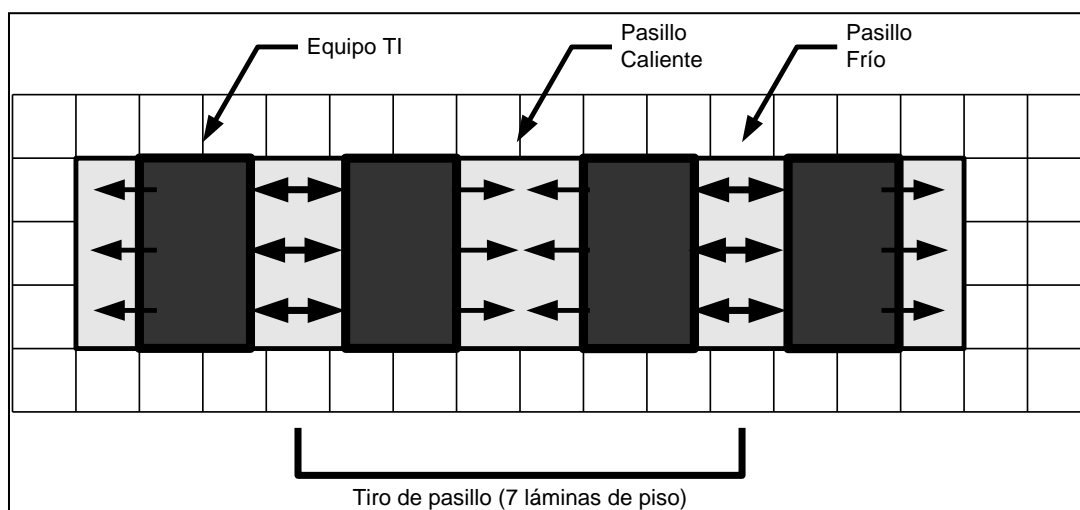


Ilustración 2-8 Tiro de pasillo de 7 láminas de piso, alineado en pasillo caliente. (ASHRAE, 2015)

De la misma forma que se tienen protocolos de enfriamiento de equipos, se tienen también para el enfriamiento de cuartos. Las clases o protocolos se refieren a la manera en que el aire se distribuye y se recoge del espacio. No se ha establecido preferencia acerca de cuál tiro utilizar.

2.6.4. Protocolo VUF (vertical under floor).

Este caso utiliza el piso falso como medio para distribuir el aire frío y tenerlo disponible en las rejillas de piso falso ubicadas cerca de las tomas de aire de los gabinetes. De acuerdo a la convención explicada en párrafos anteriores, el equipo lo toma del frente y lo entrega ya sea según el protocolo F-R, F-T o F-T/R.

Una de las prácticas recomendadas (ASHRAE, 2009) es utilizar un poco más de aire que el requerido por los servidores y otros equipos (no se menciona cuánto en exceso, por lo que esto queda a criterio del diseñador). Al desplazar el aire caliente, se desea que haya un poco más de lo necesario para asegurar que retorne a los equipos de aire acondicionado en lugar de recircular. Este fenómeno se ha corroborado en simulaciones por computadora, tiende a presentarse en los equipos ubicados en la parte alta de los gabinetes, sobre todo en el último tercio.

Algunas de las fortalezas son (ASHRAE, 2009):

- Ser flexible en cuanto a la reubicación de rejillas perforadas de acuerdo a las zonas deseadas de suministro.
- Al ser el más común en la industria, le es más familiar a los ingenieros y a los dueños de Centros de Proceso de Datos.
- El piso falso se puede utilizar como un espacio para tubería mecánica, cableado de potencia, de control, telecomunicaciones y otros.

Algunas de las preocupaciones son:

- El utilizar el piso falso como espacio para otros servicios, se puede convertir en un punto débil al interferir con el libre flujo de aire si no existe un acomodo adecuado.
- La uniformidad de presión en el entrepiso no está garantizada, lo que hace poco predecible el flujo a través de cada rejilla perforada de piso.
- Un sistema de piso falso con insuficiencia de aire respecto a la cantidad que mueven los abanicos de los servidores, puede mostrar gradientes de temperatura verticales al favorecerse la recirculación de aire en las partes altas. Es de esperar entonces que equipo que se encuentra debajo de la altura crítica obtenga aire frío, pero aquellos equipos sobre la altura crítica reciben aire de la descarga de otros, el cual está a más alta temperatura.

2.6.5. Protocolo VOH (“Vertical Over Head”).

El segundo protocolo utiliza ductos sobre los gabinetes para distribuir el aire frío y mediante rejillas de cielo lo descarga hacia las tomas de aire. Una o varias unidades pueden descargar en un ducto común para luego entregarlo a los lugares donde se necesita, de acuerdo a la carga térmica del gabinete. El aire caliente se recoge en puntos altos del cuarto.

Por ser un modelo de trabajo en el que el aire frío fluye de arriba hacia abajo, una de las prácticas recomendadas (ASHRAE, 2009) es el de utilizar un poco menos de flujo de aire que el requerido por los servidores y otros, sin descuidar las temperaturas de entrada de aire frío a los servidores (tampoco se menciona cuánto menos, por lo que queda a criterio del diseñador). Este diseño contempla cierto grado de mezcla entre el aire frío de suministro y el caliente a la salida de los equipos antes de ser succionado por los abanicos de los mismos servidores.

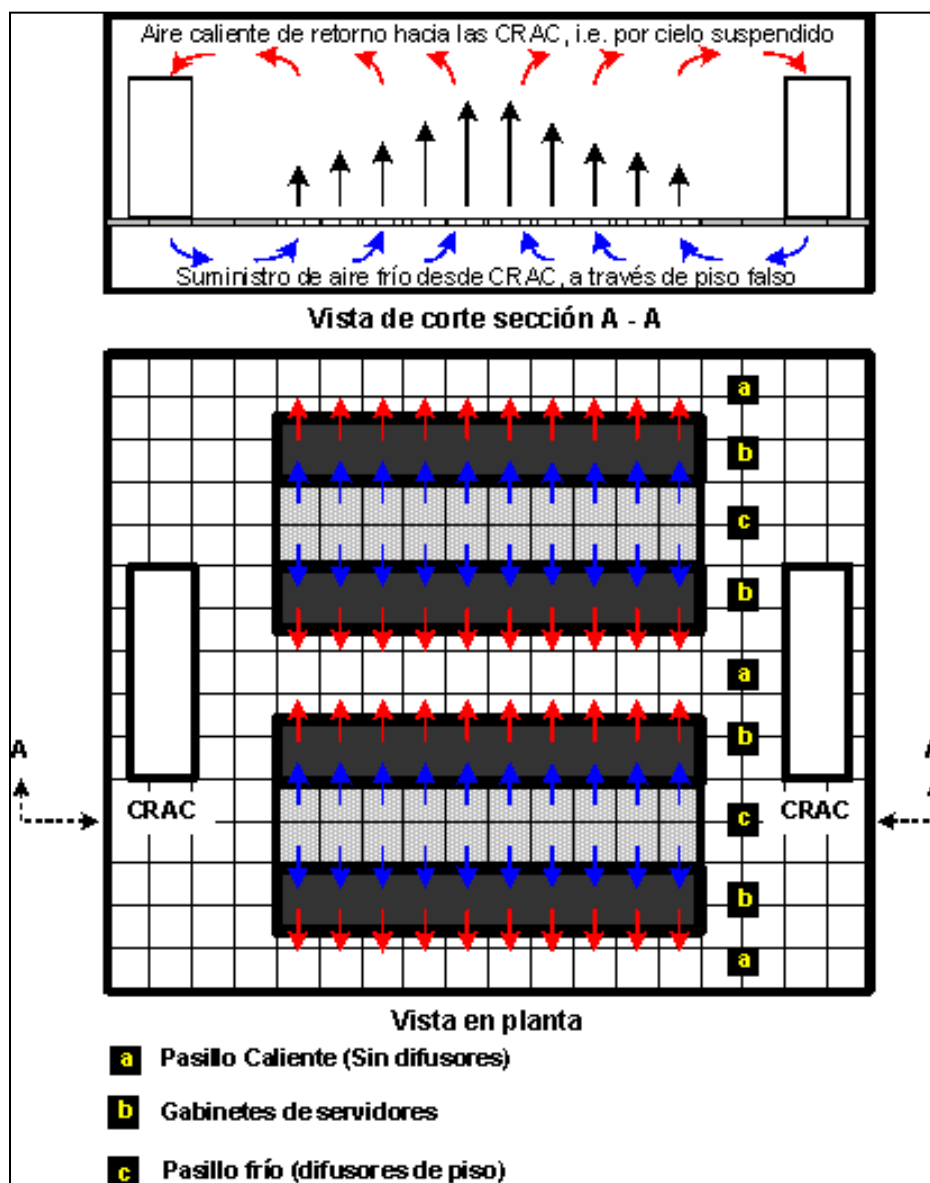


Ilustración 2-9 Esquema de un CPD con distribución de aire según protocolo VUF y retorno por cielo (ASHRAE, 2009)

Entre algunos de los factores que afectan el buen funcionamiento de un sistema VOH, se menciona el acomodo de los gabinetes de equipos así como de las rejillas de suministro y retorno, siguiendo la idea del pasillo caliente – pasillo frío.

Muchas de las reglas de forma y acomodo de los cuartos VUF son válidas para el protocolo VOH. El uso de gabinetes que mantengan el protocolo de flujo a través de equipos F-R, F-T o F-T/R para mantener cierto grado de predicción en el comportamiento

de los flujos de aire caliente y frío, la forma rectangular del cuarto y el tiro de pasillos de siete láminas o 427 cm (14 pies).

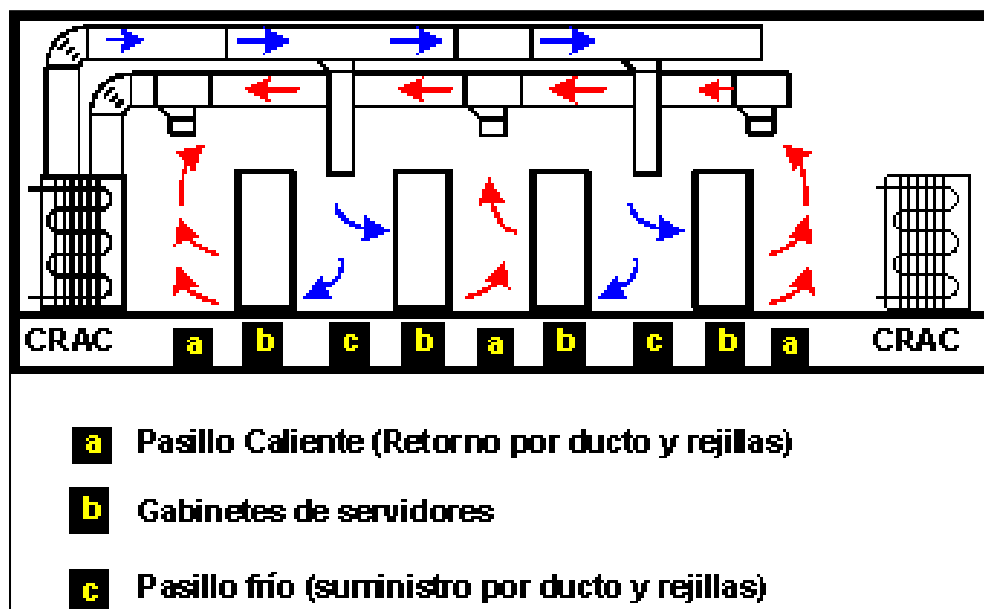


Ilustración 2-10 Esquema de un CPD con distribución de aire según protocolo VOH y retorno por ductos. (ASHRAE, 2009)

Los ductos tienden a ser grandes, para asegurar baja velocidad y menores pérdidas de presión en los mismos, pero con un número reducido de rejillas de suministro. Se recomienda ubicar en pasillos fríos, para que en los pasillos calientes haya menos obstáculos al flujo de aire. El tipo de difusor debe ser tal que descargue en forma vertical.

En la medida de lo posible se deben evitar las obstrucciones que se tengan entre la descarga de aire y la entrada del mismo a los gabinetes, así como entre la salida de aire caliente y los retornos del sistema de aire acondicionado.

Por esta razón, se recomienda que los sistemas de ductos eléctricos y cableado de TI, sean instalados sobre los equipos, para asegurar que el aire fluye libremente, desde los suministros de aire frío hacia la toma de aire y desde la descarga de los gabinetes hacia los retornos.

Continuando con las observaciones para el retorno de aire caliente, se debe dejar distancia suficiente entre la parte superior de los gabinetes y el cielo, que permita la generación de una zona de baja velocidad para que el aire fluya de manera fácil a las entradas de los ductos de retorno.

Una forma de instalación de ductos alineado con el concepto “a través, una vez” es el dejar las rejillas de suministro ligeramente por debajo de las rejillas de retorno. Puesto que el aire frío es más denso que el caliente, tiende a bajar y la probabilidad que entre al retorno es menor, lo cual incrementa la efectividad del sistema.

Algunas de las fortalezas de este sistema son (ASHRAE, 2009):

- El balance del sistema de ductos puede ser más predecible, lo cual permite que se entregue aire en los puntos donde se requiere en una forma más refinada que si se compara con el sistema VUF.
- Se pueden utilizar unidades de aire acondicionado de mayor capacidad y tamaño, lo que reduce el consumo eléctrico total en vista de que más eficientes que unidades pequeñas. Además, se disminuye el costo de mantenimiento y operación dado que son menos equipos.
- Algunos estudios indican que el sistema tiende a entregar el aire con una temperatura más cercana al objetivo definido por las organizaciones.
- Al aprovecharse de la mezcla entre el aire frío de suministro y el caliente a la salida de los equipos de cómputo, puede entregarse una menor cantidad de aire, a menor temperatura, lo cual implica cierta reducción en potencia de abanicos, si se utilizan variadores de velocidad en los motores.

En contraste con las fortalezas, algunas de sus desventajas son:

- De acuerdo al tamaño del sistema, los ductos pueden tornarse de dimensiones tales que interfieran con el flujo de aire de retorno, por lo que es importante analizar todos los espacios durante las etapas de diseño para implementar soluciones.
- El balance del sistema de aire hacia los puntos deseados puede resultar menos sencillo que en el sistema VUF, en el cual se ocupa mover solamente una lámina perforada de piso.

- Es posible que se presenten quejas de los usuarios por cuanto se ha visto que las velocidades del aire en las descargas son mayores en este sistema, lo cual no provee un ambiente agradable.
- El posible uso de CRAC o CRAH debe analizarse con cuidado por cuanto manejan menos presión estática externa que las unidades centralizadas.

No se encontró evidencia en la literatura respecto a si ASHRAE muestra preferencia alguna por uno u otro sistema. Existen estudios comparativos entre *CPD* con configuraciones y cargas diversas, en los cuales los sistemas que han resultado más eficientes son los que no usan piso falso, sin embargo cada caso es distinto y debe ser evaluado por el equipo diseñador.

3. Caracterización del sistema de referencia

3.1. Detalles generales de la metodología de caracterización

Esta sección describe brevemente la metodología utilizada en el Trabajo Final de Graduación.

En general, los datos se recopilaron durante el último trimestre del 2007, sin embargo eso depende del parámetro en estudio.

El proceso de análisis inició con una revisión general de los datos de consumo eléctrico de todo el edificio y del CPD en particular, utilizando como referencia los valores documentados por el personal a cargo de la operación de los sistemas de apoyo, en las rondas operativas.

Otra fuente de referencia a considerar fueron los datos de la facturación eléctrica por parte de la compañía que se encarga del suministro eléctrico, los cuales permitieron entender el consumo total.

En el caso de los equipos de aire acondicionado, se instalaron medidores de energía durante dos días (del 13 de Noviembre del 2007 al 15 de Noviembre del 2007) para que registraran datos cada 5 minutos. Los cambios en consumo eléctrico en la UPS se consideraron según la hoja de control operativa, en la que se identifica el valor de referencia de consumo tanto de los equipos que se integran en los gabinetes, así como de los que se desconectan (para el período comprendido del 4 de Octubre del 2007 al 10 de Diciembre del 2007). Para determinar el consumo eléctrico por gabinete, se utilizó el control de equipos que el personal de TI utiliza para propósitos internos del departamento, (para el período comprendido del 3 de Octubre del 2007 al 13 de Noviembre del 2007). Como referencia adicional, se tuvo acceso a reportes de consumo específicos de servidores, los cuales los cuales están disponible en línea.

Los valores de temperatura se recopilaron de varias fuentes de información, una es el sistema de adquisición de datos, el cual tiene sensores ubicados en el suministro y retorno de aire climatizado además de sensores dentro del CPD, se recopilaron datos cada 30 minutos por un período de poco más de dos meses (del 4 de Octubre del 2007 al 15 de Diciembre del 2007). Así mismo, se instalaron sensores de temperatura en la parte frontal de los gabinetes de equipos, lo que se consideraría el pasillo frío, los cuales

se configuraron para que guardaran el valor de temperatura cada 15 minutos, entre el 2 de Noviembre del 2007 y el 11 de Noviembre del 2007.

Se tomaron como referencia reportes de puesta en operación de los equipos de aire acondicionado, reporte que contenía el análisis de flujo de aire entregado, así como mediciones puntuales de flujo de aire en los difusores de suministro y rejillas de retorno, con un medidor de caudal tipo balón.

Otra herramienta utilizada para complementar el análisis térmico, fue la cámara de termografía infrarroja. La termografía es una técnica que permite determinar temperaturas a distancia, sin necesidad de contacto físico, al captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético.

Para estimar el valor de la potencia utilizada en iluminación, se tomó el dato que suministran las guías de diseño de CISA, 21.53 Watts por metro cuadrado. El rubro "Otros" toma en cuenta las pérdidas por ineficiencia de la UPS. El consumo por enfriamiento del cuarto de UPS se aproximó con una medición puntual.

Para comparar el desempeño actual del CPD, se tomaron como referencia estudios llevados a cabo por entidades privadas como el LBNL, el cual tiene a disposición análisis técnicos de distintas soluciones de diseño y datos que se utilizaron para contrastar diferentes indicadores seleccionados.

Por otro lado, se tomaron los datos de la bibliografía técnica para comprender las recomendaciones de diseño vigentes al momento del trabajo, para recomendar basado en las mejores prácticas.

A manera de resumen, los pasos más representativos que se siguieron se detallan a continuación:

- Estudio de la bibliografía más reciente del diseño, tendencias de consumo eléctrico y disipación térmica.
- Selección de puntos de referencia y comparación del CPD, utilizando como base estudios realizados por instituciones como el LBNL.
- Selección del período de estudio, ventana de tiempo durante la cual se analizan los distintos parámetros.
- Revisión de información disponible por parte del departamento de Operación y Mantenimiento o similar.

- Entrevista a los responsables de la operación y el mantenimiento de los sistemas de apoyo a la operación del CPD.
- Entrevista con los responsables de la operación del CPD para entender su punto de vista respecto de las necesidades del mismo.
- Selección de parámetros críticos que son representativos para el Centro de Proceso de Datos.
- Análisis de facturación eléctrica del edificio completo.
- Análisis de planos de diseño del edificio y en especial del CPD, incluye análisis de diagramas de flujo, diagramas unifilares, planos de ductos.
- Revisión de listado de equipos y recopilación de las características de cada uno de ellos.
- Análisis de los reportes disponibles de pruebas de operación controladas de equipos de cómputo que tradicionalmente operan en CPD.
- Análisis de reportes de pruebas de arranque de los equipos así como de reportes de balance de condiciones iniciales de operación.
- Inventario de equipo de medición disponible para complementar el estudio con pruebas de campo.
- Caracterización mediante mediciones eléctricas en equipos en general, tanto de los sistemas mecánicos y eléctricos.
- Caracterización de temperaturas mediante mediciones con distintas técnicas disponibles en el CPD.
- Caracterización de mediciones de flujo de aire con herramientas disponibles.
- Comparación de los distintos parámetros seleccionados en otros CPD y definición de puntajes para cada uno de los mismos.
- Definición de puntos a auditar en el CPD de referencia.
- Identificación de puntos de mejora.
- Redacción del reporte técnico.

3.2. Características del edificio

El CPD se encuentra en uno de los edificios de poco menos de 19,000 metros cuadrados de la empresa CISA, tiene un área relativamente pequeña (5% respecto al

área total del edificio donde se encuentra). La Ilustración 3-1 muestra un diagrama esquemático del edificio, la ubicación del *CPD* que se muestra es ficticia, por razones de confidencialidad, pero equivalente en términos técnicos.

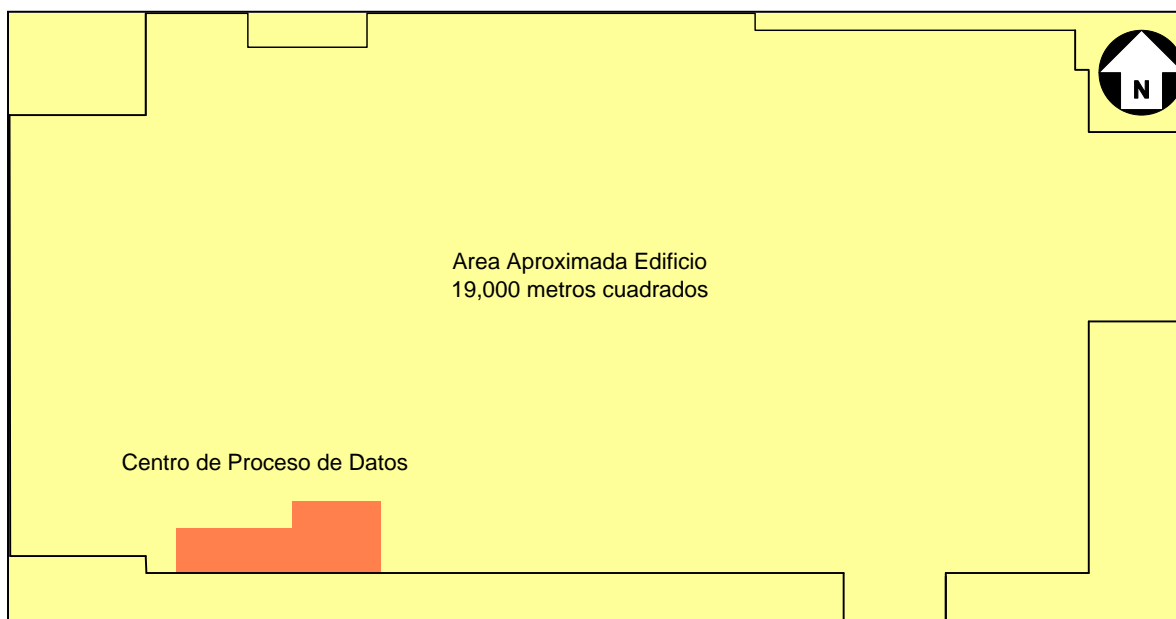


Ilustración 3-1 Diagrama de ubicación de CPD relativo al edificio. Fuente: el autor.

3.3. Análisis del sistema eléctrico

3.3.1. Características de la utilización de la electricidad

El balance energético del cuarto, basado en la información del Cuadro 3-1, sección 3, es muy sencillo, como se muestra en la Ilustración 3-2. De la Ilustración se observa que existen cinco categorías de consumidores. De ellos la principal es el rubro de equipos de cómputo.

La distribución del uso de la electricidad para el edificio que alberga el Centro de Proceso de Datos se muestra en la Cuadro 3-1.

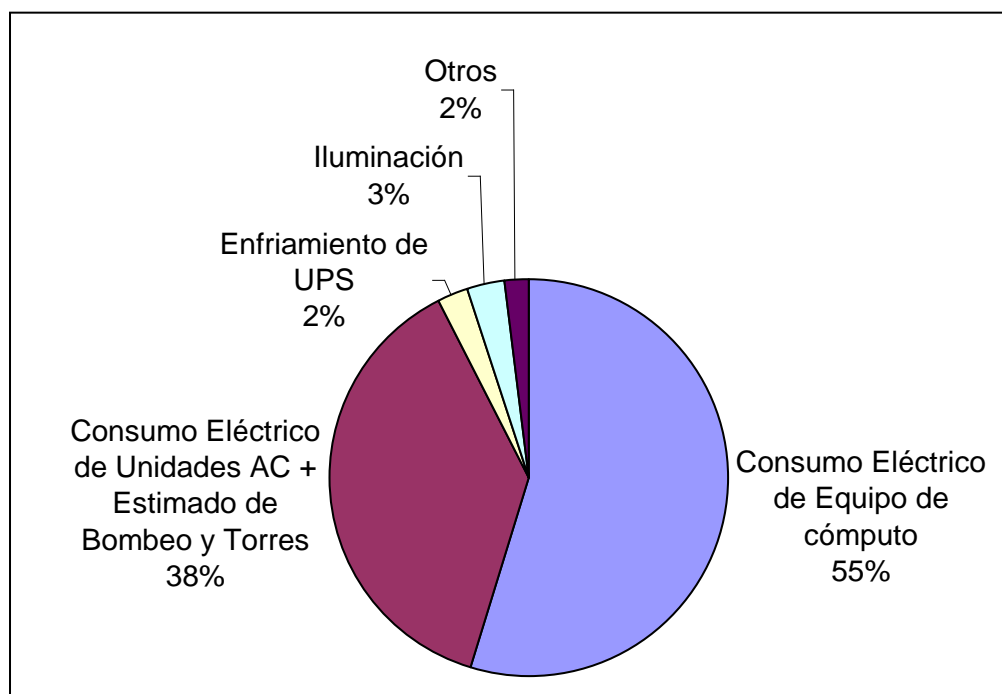


Ilustración 3-2 Distribución de consumo eléctrico en CPD. Fuente: el autor.

El diagrama unifilar simplificado del Centro de Proceso de Datos se muestra en la Ilustración 3-3, donde se observan dos alimentaciones principales de dos transformadores separados (por razones de confidencialidad, las imágenes son aproximadas, pero equivalentes a la realidad).

Los equipos de aire acondicionado para uso normal están alimentados del transformador llamado CR1T1. Los equipos de cómputo están alimentados por el transformador CR1T1 y en caso de falla en la alimentación, se cuenta con dos generadores de emergencia además de las dos UPS que filtran la alimentación eléctrica y mejoran la calidad de la energía.

Las unidades de aire acondicionado de respaldo se encuentran en este segundo transformador. Ambos transformadores principales cuentan con respaldo, por lo que en caso de requerir alguna actividad de mantenimiento, se puede pasar la carga a otro transformador sin impactar la operación.

La UPS es de 160 kVA de capacidad, de los cuales 128 kVA son utilizables al existir una limitación de no exceder el 80%, por políticas de operación. La PDU está alimentada por otra UPS, de 120 kVA de capacidad, de los cuales 100 kVA son utilizables. Los dos equipos dan como resultado que la capacidad del *CPD* es de 228 kW.

De estas rondas, se verificó que, las condiciones de consumo son muy constantes, de acuerdo con las rondas operativas de los técnicos y con las integraciones de equipos en los gabinetes de cómputo que se llevaron a cabo durante el período de observación.

Cuadro 3-1 Usos de la electricidad dentro del CPD CR1DC101. Fuente: el autor.

	kW	kW / kW totales	Área (m ²)	Área / Área total	Watts/ m ²	Referencia
Consumo Eléctrico de Equipo de cómputo	140	2.00%	281	1.52%	497	Dato tomado de panel de UPS y PDU
Consumo Eléctrico de Unidades AC + Estimado de Bombeo y Torres	97	1.39%	372	2.00%	261	Dato medido durante dos días
Enfriamiento de UPS	6	0.09%	13	0.07%	449	Dato estimado
Iluminación	8	0.11%	372	2.00%	21.5	Estimado a 21.53 Watts/m ²
Otros	5	0.07%	13	0.07%	374	Verificar kW entrada y kW salida en UPS
Edificio Completo	7,000	100%	18,580	100.0%	377	Dato tomado de medidores de subestación.

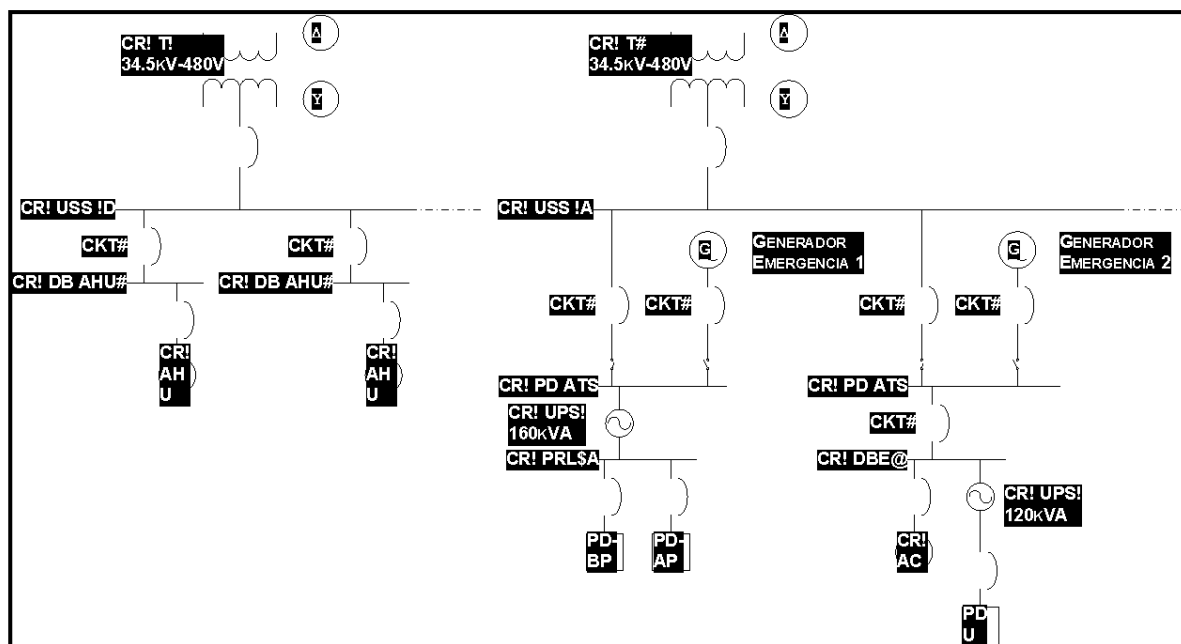


Ilustración 3-3 Diagrama Unifilar simplificado del Centro de Proceso de Datos. Fuente: el autor

La Ilustración 3-4 muestra la constancia en el consumo eléctrico por parte de los equipos de cómputo, los datos son el resultado de la observación en la UPS y en el PDU para las fechas indicadas, el equipo da el dato en potencia demandada al momento de la inspección, por lo que no fue necesario hacer ningún cálculo.

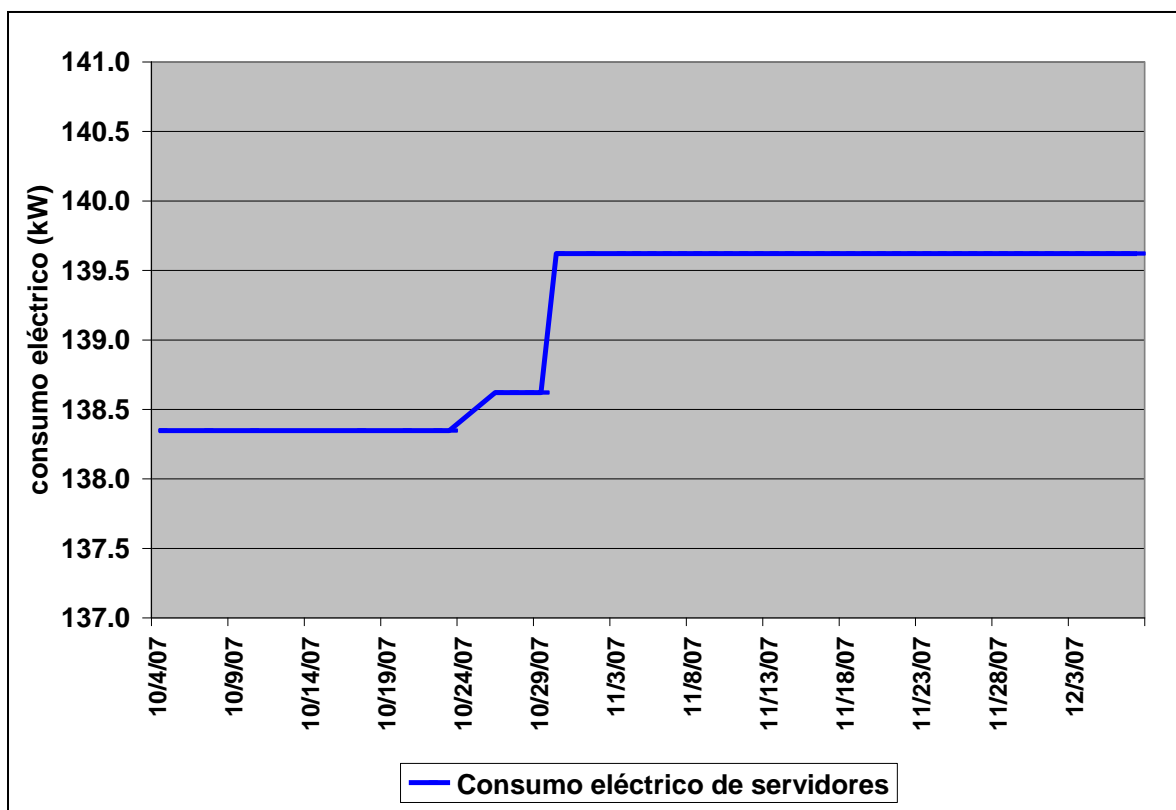


Ilustración 3-4 Tendencia en consumo eléctrico del Centro de Proceso de Datos (del 4 de Octubre del 2007 al 10 de Diciembre del 2007). Fuente: el autor.

La Ilustración 3-5 muestra el consumo eléctrico de las unidades de aire acondicionado que enfrían el cuarto de cómputo, mediciones realizadas con un medidor FLUKE, conectado al panel eléctrico que les supe la energía eléctrica.

Se procede a analizar el Centro de Proceso de Datos para determinar sus propiedades.

3.3.2. Características de las cargas activas del CPD

Cargas activas son las asociadas al trabajo de servidores y similares. El área disponible de piso falso es de aproximadamente 350 m² (3800 pies²), tiene inventariados 67 *gabinetes* para equipo de cómputo. La capacidad combinada total en potencia es de 280 kVA, sin embargo si se aplica un factor de seguridad de 80%, lo disponible para uso de los equipos activos es alrededor de 230 kVA.

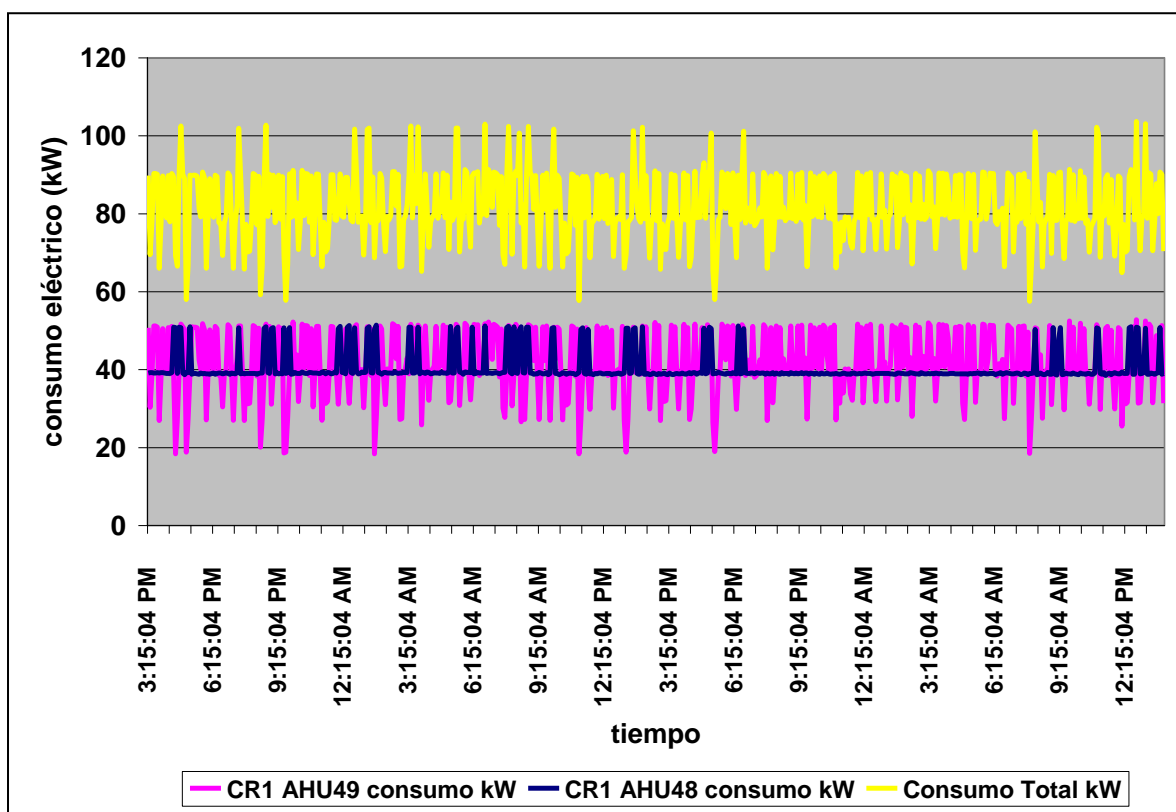


Ilustración 3-5 Tendencia en consumo eléctrico de unidades AC. (Del 13 de Noviembre del 2007 al 15 de Noviembre del 2007) Fuente: el autor

En relación al consumo eléctrico por gabinete, el máximo está marcado por el alimentador, cada uno es de 30 Amperios @ 208V monofásico, lo que representa 4.9kW ya con un factor de seguridad de 80% incluido. En caso de contar con más de un alimentador, se incrementa la capacidad del gabinete para albergar equipo de cómputo activo.

Al momento del estudio y según las listas que se recibieron, se contaba con 54 gabinetes activos (2197 ranuras disponibles para equipos de cómputo) de los 67 disponibles (2491 ranuras disponibles para equipos de cómputo). De esas 2491, solamente 1587 estaban siendo utilizadas (64% factor de uso¹⁰).

En cuanto a la potencia teórica, todos los equipos conectados suman un total de 158.41kW, sin embargo como se indicó en la Cuadro 3-1, la demanda real es de 140kW, lo que da como resultado un factor de diversidad¹¹ de 88%. Ambos datos son utilizados como referencia para estimar la demanda a plena carga en el cuarto.

Como parte de las actividades, se revisó el impacto de las integraciones y desconexiones de equipos llevadas a cabo durante el período en estudio, en total, 6 actividades que involucraron 14 fuentes de poder, análisis que permite entender el efecto real de la incorporación o eliminación de operación de un equipo específico en el consumo eléctrico.

Cuadro 3-2 Inventario de integraciones y desconexiones de servidores, del 3 de Octubre 2007 al 13 de Noviembre 2007. Fuente: el autor.

Actividad	Gabinete	Características según fuente poder	kW/fuente
Integración	CR1DC101-A11	2 fuentes redundantes. (Información no recopilada-no disponible)	N/A
Integración	CR1CCR-SG	3 fuentes - 6 amps c/u @ 208V (AP)	2.16
Integración	CR1DC101-I01	3 fuentes - 2 amps c/u @ 220V (BP)	0.76
Integración	CR1DC101-I04	2 fuentes redundantes 2.5 amps c/u @ 208V (PDU)	0.90
Desconexión	CR1DC101-I09	2 fuentes redundantes 2.5 amps c/u @ 220V (BP)	(0.95)
Integración	CR1DC101-E13	2 fuentes redundantes 5 amps c/u @ 208V (PDU)	1.80
Integración	CR1DC101-A12	Información no recopilada-no disponible (AP)	N/A
		Total incremento	4.67

El análisis muestra que la recomendación de los distintos grupos, como el ASHRAE TC9.9, de no utilizar los datos del fabricante para estimar la carga eléctrica o la

¹⁰ El factor de uso se define como el cociente de ranuras utilizadas entre ranuras disponibles.

¹¹ El factor de diversidad, o simultaneidad, se entiende como el cociente de demanda real eléctrica entre demanda potencia teórica.

carga térmica es correcta (ASHRAE, 2009). Entre el 3 de Octubre y el 13 de Noviembre del 2007, se encendieron (integración) y apagaron (desconexión) equipos según se muestra en la Cuadro 3-2 y el estimado de la potencia consumida se basó en números por fuente de poder de los equipos. En algunos casos las fuentes resultan redundantes y sólo entran a funcionar en caso de falla de la que trabaja como principal. El efecto neto de estos cambios se calculó en 4.67kW de acuerdo con los datos de placa de los equipos, pero esto no se vio reflejado con la misma magnitud en la carga asumida por la UPS ni el PDU, según las rondas de los técnicos de mantenimiento.

La Ilustración 3-6 muestra la relación gráfica entre las cargas observadas en las rondas de las UPS y la carga estimada para las distintas actividades de integración de equipos, las rondas son actividades rutinarias de los operadores del cuarto que documentan valores puntuales y datos específicos de operación de la UPS, para verificar su condición de operación correcta. Es importante recalcar que a pesar de que la diferencia es de apenas un 2% y puede resultar insignificante, esta se basa en 14 fuentes de poder: se estima que hay alrededor de 460 fuentes de poder instaladas, por lo que la diferencia entre la estimación (basada en la fuente de poder) y lo real es considerable si se analiza el conjunto completo de equipos.

Se pasa ahora a analizar más en detalle la configuración actual del cuarto, según se muestra en la Ilustración 3-7. El área 1 es la primera que se construyó, estaba pensada para ser la que albergara la mayor cantidad de equipos, por lo que las unidades de aire acondicionado de respaldo se concentran en ella. Cubre un espacio de aproximadamente 200 m² (2200 pies²). El área 3 es la más reciente, abarca un espacio de 77 m² (830 pies²) de piso falso.

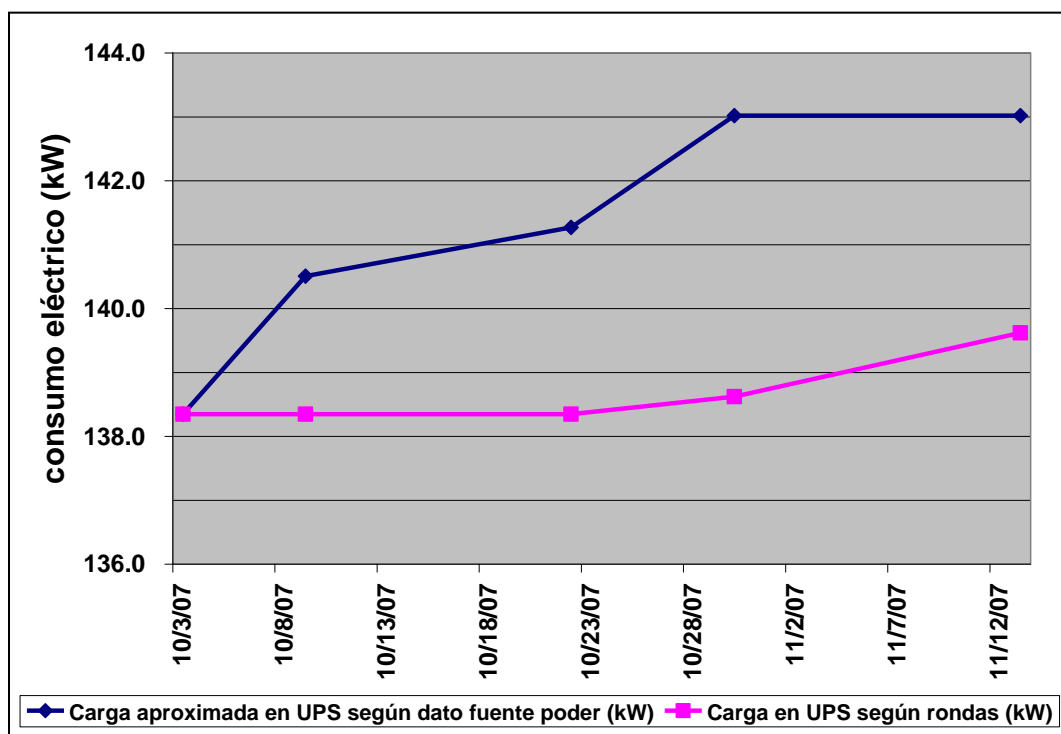


Ilustración 3-6 Tendencias en carga de salida de UPS, estimada y según rondas. Fuente: el autor.

El resumen del inventario de los equipos de cómputo se muestra en la Cuadro 3-3. Se nota que a pesar de que el área 1 es la que se maneja la mayor carga, al cubrir más espacio dentro del cuarto su densidad es mucho menor que la densidad del área 3.

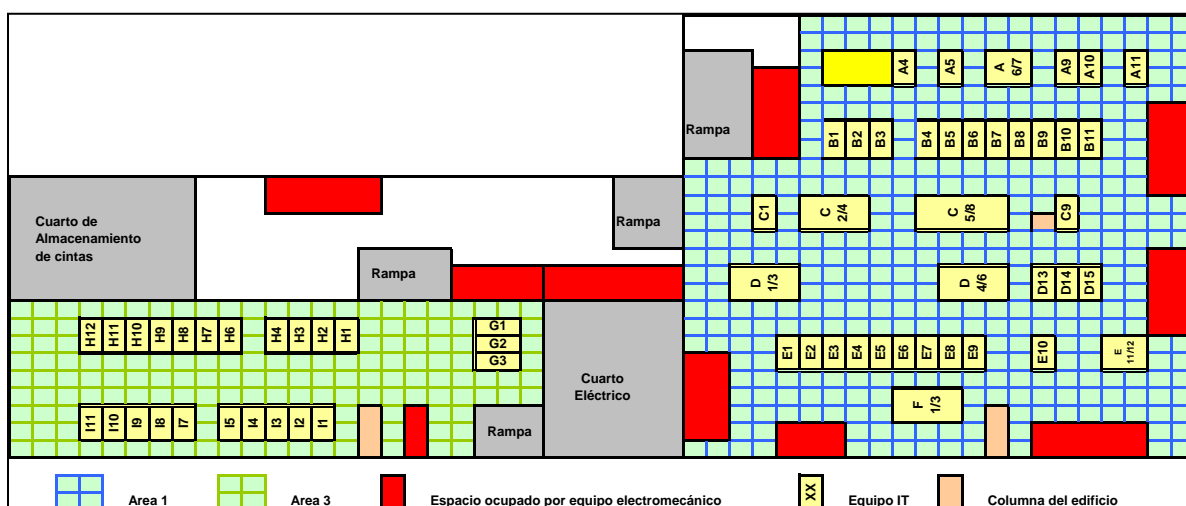


Ilustración 3-7 Diagrama esquemático de distribución del CPD. Fuente: el autor.

En cuanto al cumplimiento de los protocolos de pasillo caliente y pasillo frío, se notó que los gabinetes cumplen con esta disposición. Sin embargo, dentro de los gabinetes, existen excepciones por cuanto ciertos equipos se instalaron sin respetarlo y descargan el aire caliente hacia el pasillo frío y su toma de aire está dirigida hacia donde los otros componentes descargan el aire caliente, esto fue comprobado mediante inspección visual.

Cuadro 3-3 Caracterización de los gabinetes y su consumo eléctrico. Fuente: el autor.

Fila #	kW/gabinete promedio	kW/gabinete maximo	kW total	gabinetes activos	Area de piso falso (m ²)	Densidad de carga (Watts/m ²)	Area
Fila A	2.56	5.20	15.3	6	204	406	1
Fila B	2.41	4.37	26.5	11			
Fila C	1.64	2.04	3.29	2			
Fila D	2.43	4.01	9.70	4			
Fila E	3.32	4.26	26.6	8			
Fila F	1.54	1.54	1.54	1			
Fila G	1.71	2.09	5.12	3	77	979	3
Fila H	3.13	6.34	31.3	10			
Fila I	4.35	8.63	39.1	9			

Otra de las observaciones dentro de los gabinetes, es que hay espacios libres que representan un paso de aire entre pasillo caliente y pasillo frío.

3.3.3. Factor de diversidad para el uso de la energía eléctrica

Una herramienta útil en el análisis de Centros de Proceso de Datos es el uso de razones de densidad de carga, expresada usualmente como Watts por metro cuadrado (W/m^2) o en kilowatts por gabinete ($kW/gabinete$), ya que permite aproximar la capacidad requerida para las unidades de aire acondicionado o para las acometidas eléctricas de los gabinetes, por ejemplo.

Tomando en cuenta estos dos factores, la Cuadro 3-4 funciona como un ejemplo que muestra los valores de consumo eléctrico medidos y de diseño, datos que se utilizan para extrapolar el potencial de carga demandada que puede tomar el cuarto, una vez que se alcance un nivel de ocupación de 100 % en los gabinetes y opere con un alto factor de servicio.

Cuadro 3-4 Factor de diversidad y pronóstico de demanda. Fuente: el autor

	W/m ²	W/gabinete	kW Total
Carga medida	497	2.6	140
Carga extrapolada factor de uso electrico = 0.88 factor de uso de racks = 1.00	781	4.1	290
Carga extrapolada factor de uso electrico = 1.00 factor de uso de racks = 0.64	563	2.9	209
Carga extrapolada factor de uso electrico = 1.00 factor de uso de racks = 1.00	883	4.6	328
Carga de diseño	614	3.4	228

Como ejemplo, en caso de que se encendieran todos los equipos que se encuentran instalados, lo que daría como resultado un factor de uso eléctrico igual al 100%, representa un consumo total de 158.4kW, y en un caso extremo, si se llenan todas las ranuras y se encienden todos los equipos instalados, el consumo total representa casi 250kW.

Anteriormente se dijo que se desea que las UPS operen a un valor máximo de carga de 230 kVA, por lo que este valor de 250kW está por encima del máximo deseado.

Al comparar el valor extrapolado con el máximo que se puede tener en los gabinetes, se ve que los números son congruentes, es posible que un gabinete alcance una carga de 4.6kW, por encima del máximo deseado.

Es importante que esto se complemente con un análisis del sistema de aire acondicionado: si hay una necesidad de instalar la carga mencionada anteriormente en un gabinete, para que opere exitosamente debe tener condiciones tales que su temperatura sea la adecuada y entonces deben desarrollarse alternativas para cumplir con el objetivo.

3.4. Análisis del sistema de enfriamiento

El sistema de aire acondicionado para operación normal está formado por dos unidades, tipo auto contenido, de expansión directa, enfriadas por agua, cada una de capacidad nominal de 65 toneladas de refrigeración. El agua de enfriamiento se comparte con el resto del edificio, lo que representa un porcentaje muy reducido del mismo y se aproximó su contribución a la hora de hacer el análisis del sistema eléctrico. Las dos

unidades trabajan en forma continua y tienen abanicos de velocidad constante. El aire se distribuye mediante ductos¹², tanto para suministro como para retorno.

El cuarto mecánico donde están estas dos unidades de enfriamiento, se comparte con otros cuatro equipos. El suministro de aire al *CPD* es independiente ya que cuenta con su sistema de ductos separado del utilizado por las otras unidades instaladas. No es el mismo caso del retorno, ya que el cuarto funciona como retorno común para todos los equipos.

El cuarto se mantiene en promedio a una temperatura de 22°C con una desviación estándar de 0.281°C y a una humedad relativa del 35% con una desviación estándar de 3.2%, de acuerdo con los datos del sistema automático de monitoreo.

3.4.1. Información recopilada del Sistema de Adquisición de Datos

El *CPD* cuenta con un Sistema de Adquisición de Datos (*SAD*), el cual tiene dos sensores de temperatura y humedad, ubicados a nivel de cielo suspendido, almacena los valores registrados con una frecuencia preestablecida. Tiene como ventajas el registro constante de datos que identifica tendencias de operación, sin embargo si los sensores no están bien ubicados, la información que almacena puede no ser la idónea.

Con esta herramienta se graficaron las tendencias para la temperatura de suministro (es la condición del aire en el punto de entrega de la unidad de aire acondicionado), temperatura de retorno (es la condición del aire en la entrada a la unidad de aire acondicionado), por último la temperatura de la zona, (es la condición del aire en el punto de uso dentro del *CPD*, según la ubicación del sensor). Los datos se recopilaban cada media hora y se promediaron por día para caracterizar el comportamiento.

Se observó que la temperatura de suministro oscilaba más al comparar con la condición de carga estable en la *UPS*. Entre las razones de esta oscilación, está el hecho de que se encontraron fallas en las unidades de enfriamiento, como fajas reventadas y serpentines congelados, razón por la cual se hicieron varios ejercicios de toma de datos.

Al hacer el análisis de las temperaturas de la zona y la temperatura de retorno, se observó que la tendencia es que la de retorno era más fría que la de zona, (en promedio

¹² El *CPD* se encuentra instalado sobre piso falso, pero este no se utiliza para distribución de aire frío, sólo como un ducto eléctrico para distribución de los cables de potencia, de datos y de fibra óptica, entre otros.

1.4°C). Esta condición puede deberse a varios factores: el retorno es compartido (como se explicó en párrafos anteriores), la ubicación de los sensores de zona no es la ideal y un último punto es que la cantidad de aire que se regresa a la unidad de aire acondicionado sin antes pasar por las cargas activas es considerable.

Es evidente que la temperatura de suministro varía, sin embargo, dentro de lo esperado: la misma no debe variar más de 20°C por hora, para evitar esfuerzos por dilatación térmica en los componentes (ASHRAE, 2009).

La siguiente Ilustración muestra las tendencias de los parámetros ya indicados.

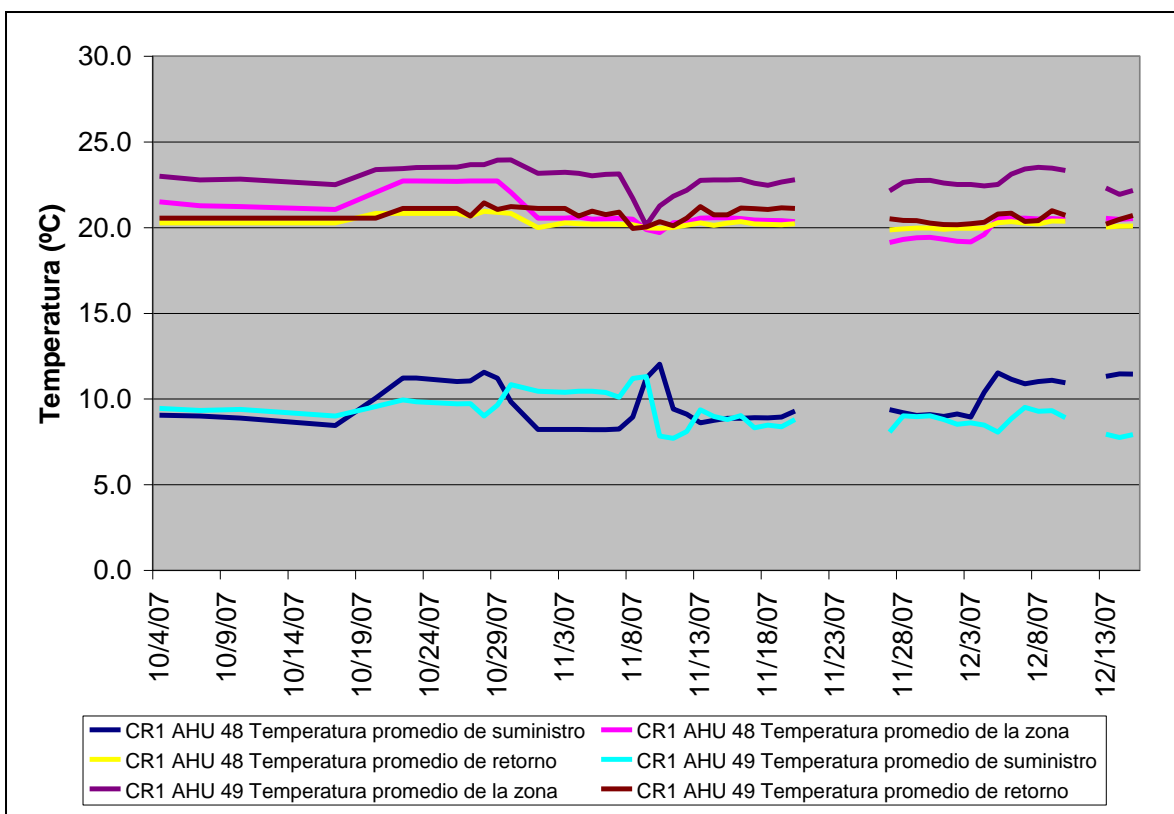


Ilustración 3-8 Temperatura de suministro, retorno y zona para las unidades de AC del CPD, (del 4 de Octubre del 2007 al 15 de Diciembre del 2007). Fuente: el autor.

3.4.2. Información recopilada de sensores auxiliares instalados

La temperatura de interés es la del aire en la entrada de los equipos de cómputo, por lo que se instalaron sensores en las puertas de algunos gabinetes (ASHRAE, 2015).

Con este ejercicio se determinó que la ubicación actual de los sensores no cumple con las recomendaciones de ASHRAE, ya que no se encontraban en los pasillos fríos.

En total se verificó la condición de seis gabinetes, los sensores se instalaron a la altura recomendada para hacer las verificaciones de campo (ASHRAE, 2015).

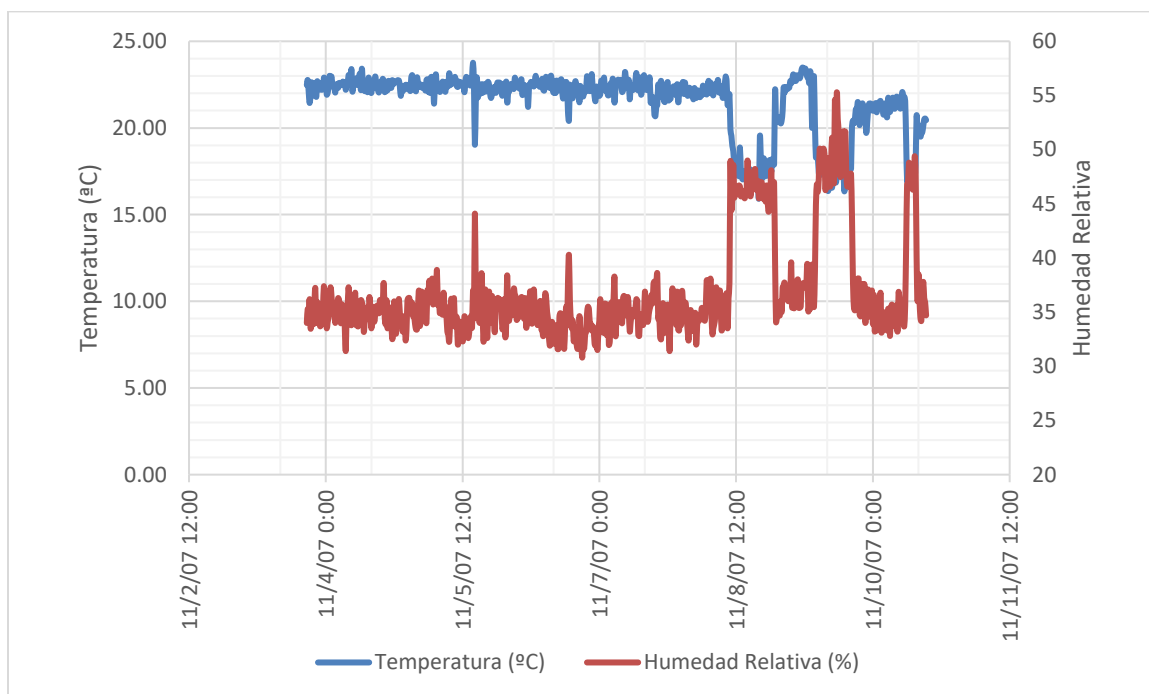


Ilustración 3-9 Condiciones de entrada del aire al gabinete CR1DC101I9, datos recopilados durante una semana, (del 2 de Noviembre del 2007 y el 11 de Noviembre del 2007). Fuente: el autor.

Se observa de la Ilustración 3-9, que las condiciones psicrométricas del aire en la entrada al gabinete CR1DC101I9, en algunos casos varían considerablemente de un momento a otro, por lo que una medición puntual no es representativa del comportamiento. Se notaron incluso cambios en la tendencia de temperatura los últimos días de la medición, para los cuales no se logró identificar la razón.

En distintas ocasiones, se observa que las razones de cambio de temperatura son de magnitud mayor que la recomendada. Sin embargo, no se reportaron fallas de equipo durante el período de estudio.

Según se aprecia en la Ilustración 3-10, el gabinete CR1DC101I9, operó un 11.2% del tiempo en estudio fuera del ámbito recomendado durante el tiempo en que se recolectaron datos; el área definida por líneas verdes representa el rango recomendado.

Los datos de otros gabinetes muestran que no siempre se operó dentro de los rangos mencionados anteriormente. En el caso del gabinete de servidores CR1DC101H7, este tuvo un comportamiento distinto, dado que un 65.4% del tiempo estuvo con temperaturas más bajas que el mínimo recomendado.

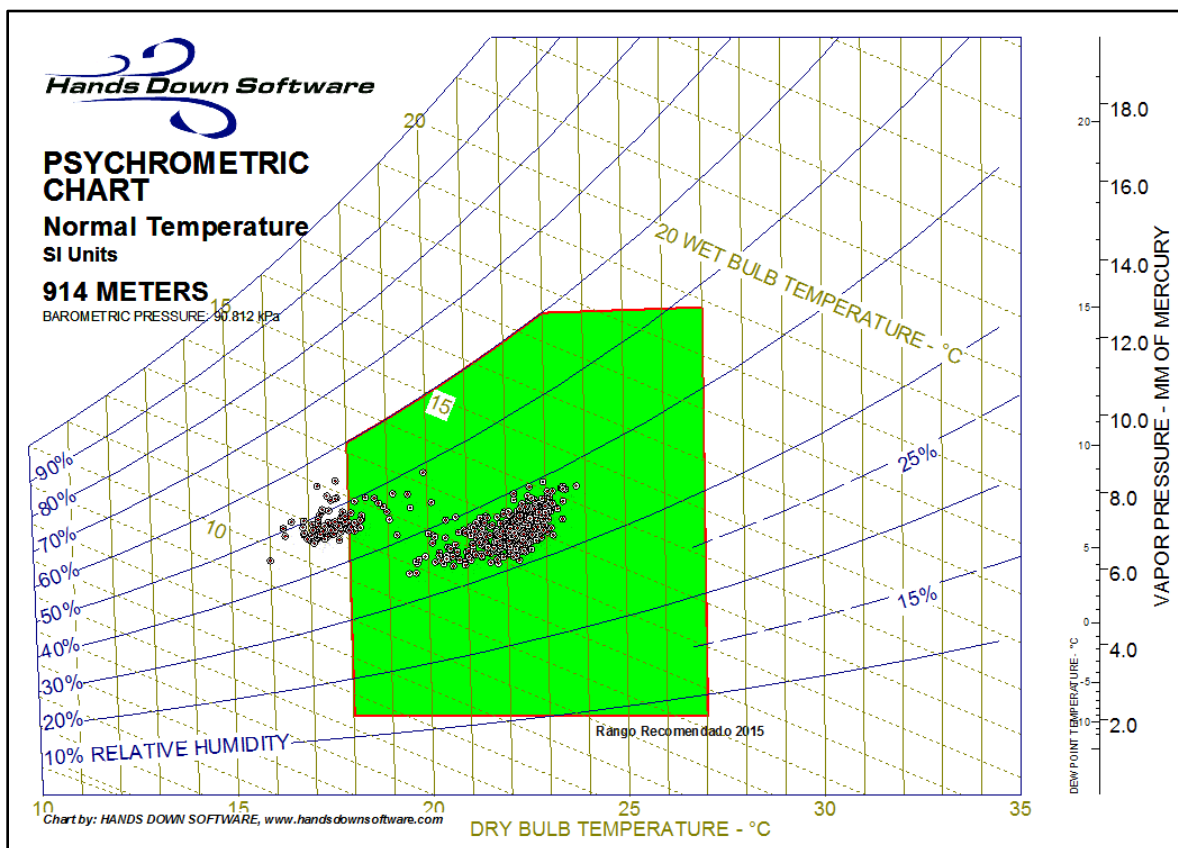


Ilustración 3-10 Condiciones de entrada del aire al gabinete CR1DC101I9, tomadas cada 15 minutos, representadas en carta psicrométrica. (Del 11-03-2007 19:00 al 11-10-2007 14:00) Fuente: el autor

Otra de las observaciones interesantes, es el hecho de que dos gabinetes muy cercanos mostraron condiciones muy distintas en cuanto a las características del aire de entrada. Esto se nota al comparar la Ilustración 3-10 con la Ilustración 3-11, ambos gabinetes se encuentran a escasos metros uno de otro.

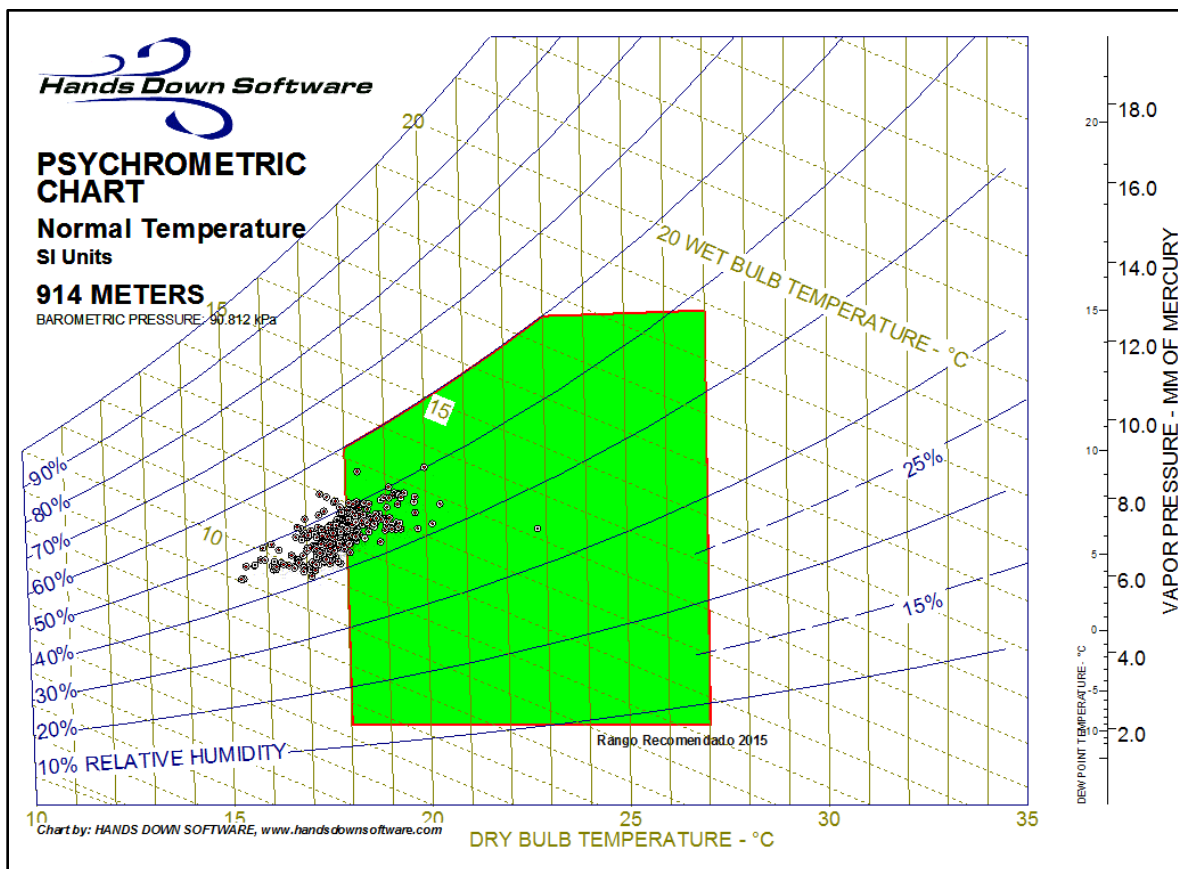


Ilustración 3-11 Condiciones de entrada del aire al gabinete CR1DC101H7, tomadas cada 15 minutos, representadas en carta psicrométrica. (Del 11-03-2007 19:00 al 11-10-2007 14:00) Fuente: el autor

3.4.3. Sistema de Aire acondicionado y el Protocolo Pasillo caliente - Pasillo frío.

El personal a cargo de la operación del CPD ha hecho una labor apenas aceptable en cuanto al acomodo de los gabinetes y los equipos que se instalaron dentro de ellos, ya que los gabinetes están ubicados de forma tal que se permite el paso del aire entre zona caliente y fría.

El sistema de rejillas y difusores no cumple con el protocolo, el aire frío entregado al cuarto no está ubicado siempre sobre pasillos fríos y los retornos no están sobre los pasillos calientes. Estas dos condiciones hacen que el aire se distribuya de forma impredecible: una parte se aprovecha para el enfriamiento de los equipos y la otra sencillamente retorna directamente sin haber pasado por los equipos de cómputo.

Otro factor a considerar, es el uso de rejillas de suministro con un patrón de descarga predominantemente horizontal, donde el aire frío baja por gravedad sin aprovechar su energía cinética para ayudar que llegue a los equipos a nivel del suelo. Esto también contribuye a que el aire frío se desaproveche.

La Ilustración 3-12 muestra un diagrama esquemático de la ubicación de las rejillas respecto a los equipos. La línea negra gruesa indica la ubicación y la toma de aire frío de los servidores y por consiguiente la ubicación del pasillo frío.

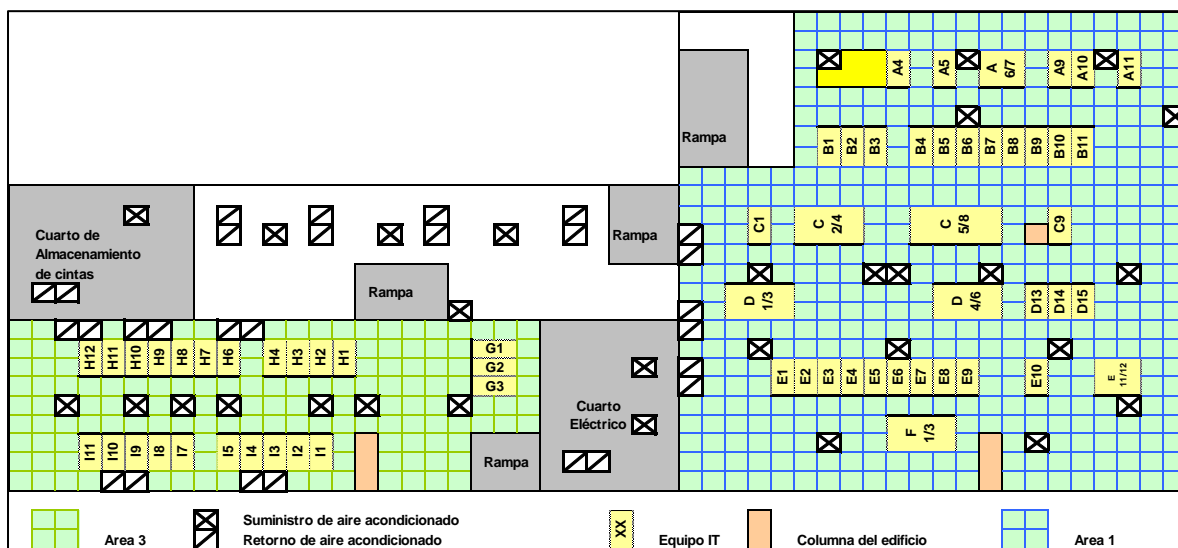


Ilustración 3-12 Diagrama esquemático de distribución del CPD y acomodo de rejillas de suministro y retorno de aire acondicionado. Fuente: el autor.

3.4.4. Análisis del balance de flujo de aire.

Se optó por utilizar los datos del proceso de arranque y prueba de las mismas durante el último proceso de construcción que involucró a ese cuarto, considerando las recomendaciones disponibles por estudios anteriores del LBNL (Greenberg, Tschudi & Wealy, 2006)

En ese momento, las mediciones reflejaron que el caudal de suministro de las unidades fue muy distinto del teórico que se esperaba. La unidad que tuvo mejor desempeño, dio como resultado un caudal entregado de 24,000 m³/h (14,137 pie³/min.) mientras que el diseño solicitaba 43,500 m³/h (25,630 pie³/min.), con el paso del tiempo, no se hicieron los cambios necesarios para corregir esta situación.

Al analizar con detenimiento las curvas del abanico según el fabricante, se encontró que las unidades están muy cerca de la línea que divide la zona de operación de la de inestabilidad. Según datos del manual de selección, el caudal mínimo de operación es de 26,500 m³/h (15,600 pie³/min).

La Ilustración 3-13 muestra el resultado de la corrida de la selección del abanico según los datos de diseño y los resultados de las mediciones. La línea roja gruesa marca el punto de operación medido y la línea azul punteada marca el punto de operación deseado por el diseñador mecánico; la diferencia entre ambos puntos es obvia y considerable, sobre todo teniendo en mente que la distribución de aire es uno de los factores críticos en la operación exitosa de un centro de proceso de datos.

La Ilustración 3-14 es una copia del resultado de las mediciones llevadas en el 2001, por la compañía que se contrató en su momento para llevar a cabo el diagnóstico de la instalación y el ajuste fino necesario para llevar el abanico a su punto de operación óptimo, lo que en este caso no fue posible hacer, según los resultados finales.

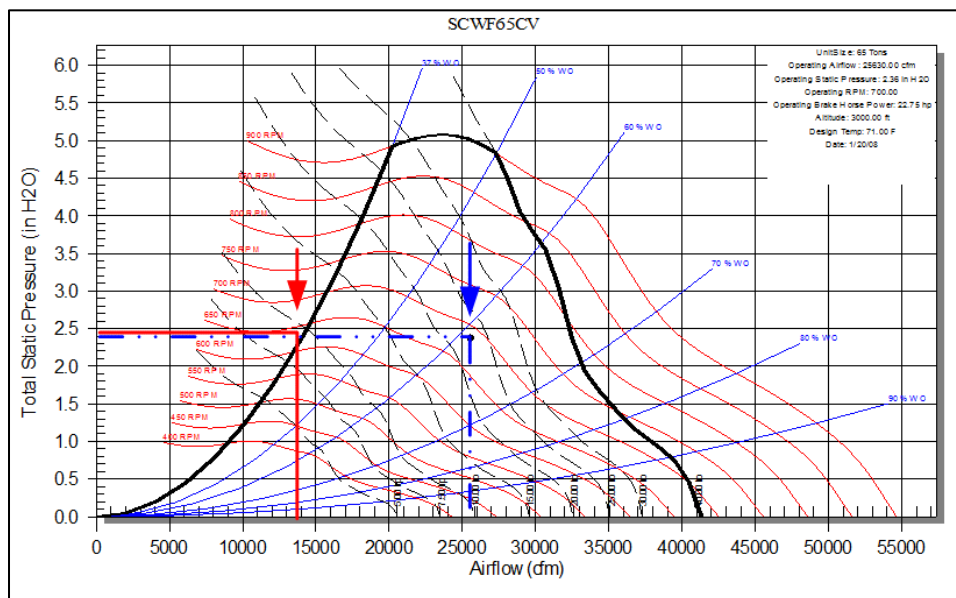


Ilustración 3-13 Curva de selección del abanico de CRAC. Fuente: Manual del fabricante.

Systems Management & Balancing of Arizona, Inc.				Page 39				
AIR HANDLER TEST								
AHU-48 / ROOM 43-BCR								
PROJECT: [REDACTED]								
MANUFACTURER: TRANE				MODEL, SIZE: SCWD06540N0111				
CONDITIONS	REQUIRED		PRELIMINARY		FINAL		NOTE	
TOTAL CFM	25,630		13,890		13,890		1	
FAN STATIC (EXT/TOTAL)	2.0		1.24	2.42	1.24	2.42		
FAN STATIC (IN / OUT)			-1.18	+1.24	-1.18	+1.24		
COOL COIL (IN / OUT / PD)			.88	-1.18	.30	.88	-1.18	.30
HEAT COIL (IN / OUT / PD)			-	-	-	-	-	
FILTER (IN / OUT / PD) #1			0.00	.88	.88	0.00	.88	.88
FILTER (IN / OUT / PD) #2								
FILTER (IN / OUT / PD) #3								
FILTER (IN / OUT / PD) #4								
MOTOR (HP / RPM)	15.0	1765	15.0	1765	15.0	1765		
MOTOR (VOLTS / PHASE)	460	3					2	
MOTOR FLA	18	18	18				2	
FAN RPM	N/A		598		598			
MOTOR SHEAVE	2B5V56 X B-1 5/8							
FAN PULLEY	2B5V154 X B-2 7/16							
DRIVE BELTS	5VX680 (2)							

NOTES: 1. TOTAL AIR DETERMINED BY VELGRID TRAVERSE
2. READINGS TAKEN BY IN [REDACTED]

Ilustración 3-14 Resultado de pruebas de puesta en marcha y balance de aire. Fuente: Reportes de contratista.

Posterior al análisis del abanico y la información del balance del sistema de aire acondicionado, se procedió a hacer mediciones de la cantidad de aire que entregan los difusores de suministro dentro del cuarto, para este efecto se utilizó el medidor de Alnor modelo Balometer, proporcionado por CISA. El caudal medido en los suministros fue 38,600 m³/h (22,735 pie³/min.), aproximadamente 9,000 m³/h (5,300 pie³/min.) por debajo del valor que se registró casi 7 años atrás. Un hecho interesante encontrado durante las mediciones, es que dos rejillas de suministro no se encontraban conectadas al ducto y funcionaban como retornos, por los cuales 750 m³/h (440 pie³/min.) de aire frío se desaprovechaban.

3.4.5. Análisis del consumo eléctrico de las unidades de Aire Acondicionado

Se instalaron medidores de consumo eléctrico FLUKE, el cual es una herramienta de metrología utilizada para obtener datos en las acometidas de las unidades de aire acondicionado y estimar un indicador de eficiencia. Durante casi tres días se registraron datos de voltaje, amperaje, y factor de potencia, y el resultado directo de las mediciones en términos de demanda eléctrica se incluyó en la Ilustración 3-5.

Se observa una diferencia en consumo eléctrico de los dos equipos, además de que la oscilación en la unidad CR1AHU49 es muy amplia, considerando que la carga eléctrica registrada en la UPS se mantiene relativamente constante.

En un solo gráfico se incluyeron los datos relacionados con el consumo eléctrico, además de la temperatura considerada como la zona de referencia y la temperatura de suministro de aire, para identificar si hay relación entre los parámetros.

La temperatura de la zona de referencia, es la que se transmite de un sensor ubicado dentro del *CPD*, este sensor realimenta a la unidad de aire acondicionado para que ponga a trabajar con mayor o menor número de compresores, dependiendo de la relación entre la temperatura de la zona y la temperatura objetivo.

Se observó que a pesar que la temperatura en la zona es constante, la unidad presenta la tendencia a encender y apagar compresores en forma frecuente y con una amplitud mayor. La Ilustración 3-15 muestra las relaciones antes discutidas. Este comportamiento sugiere verificar el estado del sistema de control y los ajustes en el mismo para asegurar que recibe señales correctas y procesa las señales de forma tal que accione correctamente la cantidad de compresores para satisfacer la carga térmica de forma eficiente.

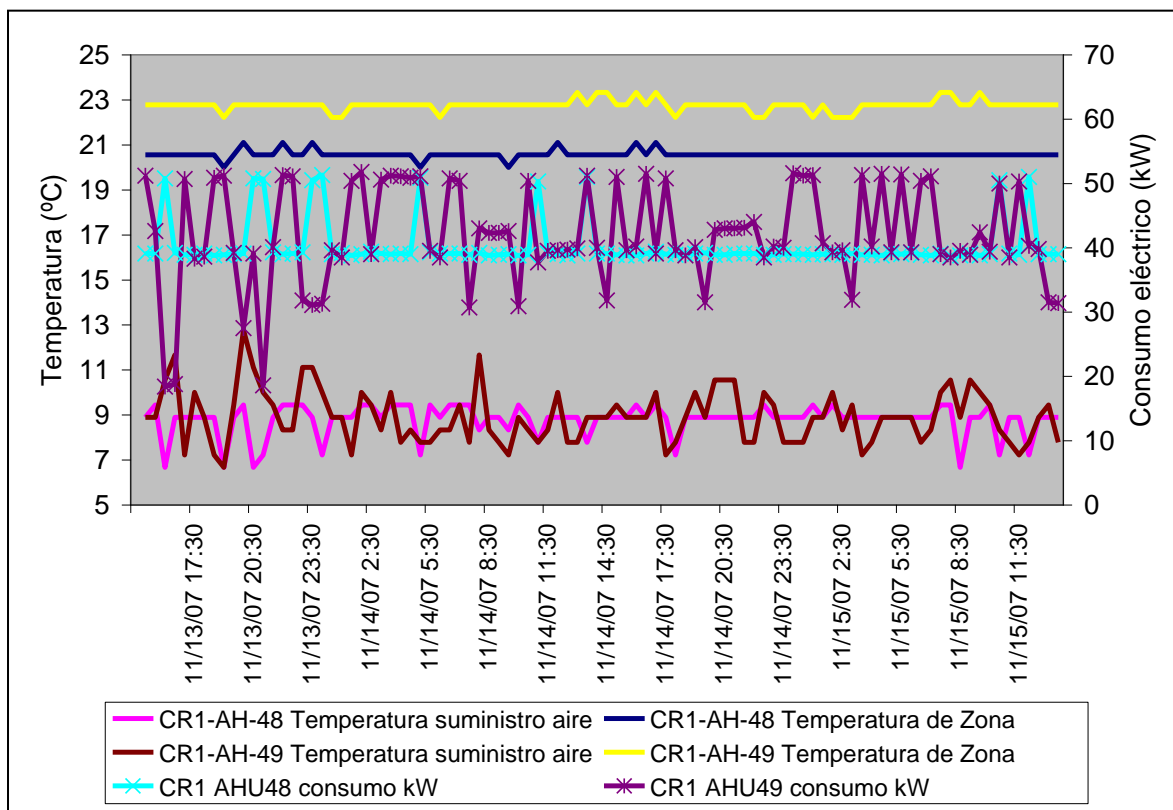


Ilustración 3-15 Temperatura de suministro y zona, Consumo eléctrico para las unidades de Aire Acondicionado del CPD. Fuente: el autor.

Con los datos de la temperatura de retorno y suministro en las unidades de aire acondicionado, se estimó la carga total de enfriamiento, mediante el factor de calor sensible de las unidades según el dato del fabricante, que es de 0,6. Estos resultados se muestran en la Cuadro 3-5. El caudal utilizado en la estimación de la carga de enfriamiento, es el que se obtuvo durante las pruebas de arranque¹³ de las dos unidades. Con los resultados se determinó el coeficiente de eficiencia EER real y se comparó con el teórico del fabricante.

¹³ Las pruebas de arranque se refieren a todas aquellas actividades ejecutadas para corroborar que los equipos trabajan y tienen capacidad según el diseño así como que se desempeñan de acuerdo a las necesidades específicas de CISA.

3.4.6. Información recopilada mediante la termografía infrarroja.

Dado que el departamento de mantenimiento de CISA cuenta con una cámara de termografía infrarroja, se utilizó esta herramienta (normalmente utilizada en labores de mantenimiento predictivo) para interpretar mejor lo que sucede en los gabinetes de equipos. En cada Ilustración se muestra la imagen digital a la izquierda y el termo grama a la derecha. En este último, se muestra una barra que indica el rango de temperatura y el color asociado en el termo grama.

Cuadro 3-5 Temperatura de suministro y zona, Consumo eléctrico para las unidades de AC del CPD y coeficiente de eficiencia de enfriamiento. Fuente: el autor.

fecha	CR1 AHU 48 Temperatura promedio de suministro	CR1 AHU 48 Temperatura promedio de retorno	CR1 AHU 49 Temperatura promedio de suministro	CR1 AHU 49 Temperatura promedio de retorno	CR1 AHU 48 Carga sensible kW	CR1 AHU 49 Carga sensible kW	Carga total Enfriamiento CPD kW	Consumo eléctrico de servidores	Razón kW Enfriamiento/kW Carga Activa	CR1 AHU48 Potencia estimada basada en EER = 14.5 (kW)	CR1 AHU49 Potencia estimada basada en EER = 14.5 (kW)	CR1 AHU48 Potencia medida (kW) EER Resultante = 13.18	CR1 AHU49 Potencia medida (kW) EER Resultante = 13.18
11/13/07	8.6	20.3	9.4	21.2	95	96	191	140	1.37	37.2	37.8	40.9	41.6
11/14/07	8.8	20.1	9.0	20.7	92	96	188	140	1.35	36.3	37.5	39.9	41.2
11/15/07	8.9	20.3	8.8	20.7	93	97	189	140	1.36	36.3	38.1	40.0	41.9

La Ilustración 3-16 muestra las condiciones de los gabinetes CR1DC101B6 a la derecha y CR1DC101B7 a la izquierda. El primero muestra una temperatura superficial que está exactamente dentro del ámbito de temperaturas recomendado, mientras que el de la derecha muestra en sus paneles de bloqueo una temperatura que sobrepasa el máximo del rango recomendado. Estos paneles son necesarios en vista de que debe evitarse la recirculación del aire ya calentado por los equipos en su propio chasis, como se mencionó en la sección 2.6.1.

La Ilustración 3-17 es una imagen del gabinete CR1DC101B7 por detrás, que ayuda a entender la diferencia de temperatura que se puede esperar en este tipo de aplicaciones. Se puede notar la cantidad de abanicos que contiene este gabinete, responsable de hacer fluir aire frío a través del equipo para absorber el calor generado al llevar a cabo su tarea.

En este caso, al analizar las Ilustraciones 3.16 y 3.17, se observa que entre la toma de aire frío y la salida de aire caliente se presenta una diferencia de temperatura de 8.5° Celsius.

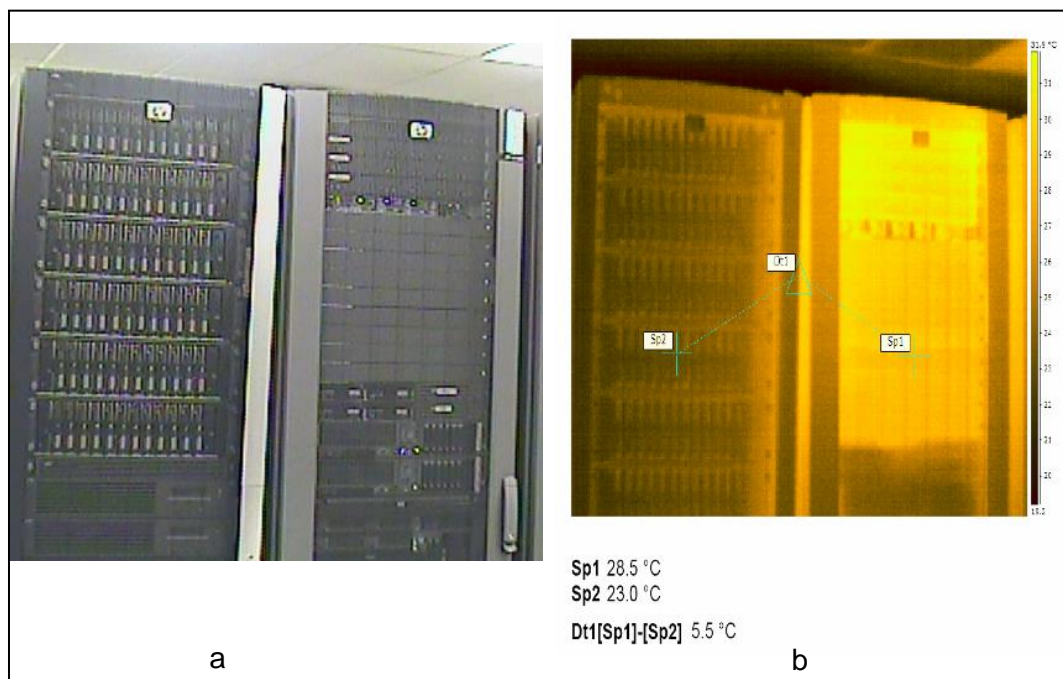


Ilustración 3-16 (a) Imagen digital de gabinetes CR1DC101B6 a la derecha y CR1DC101B7 a la izquierda. (b) Imagen de termografía de los mismos equipos. Fuente: el autor.

La Ilustración 3-18 muestra el comportamiento de la fila de gabinetes ubicada en la fila H, zona 3. Desde el punto en el que se toma la imagen, se observa el pasillo frío y se puede ver que los gabinetes no muestran consistencia en las temperaturas superficiales. Luego de analizar la condición in situ, se identificó que el punto caliente era la descarga de aire de un servidor dentro del *gabinete*, lo cual incumple el protocolo pasillo caliente pasillo frío, disminuye la eficiencia del sistema y pone en riesgo su confiabilidad y la de los equipos a su alrededor. Entre un punto y otro, según lo visto en esta imagen, se tienen hasta 7° C de diferencia.

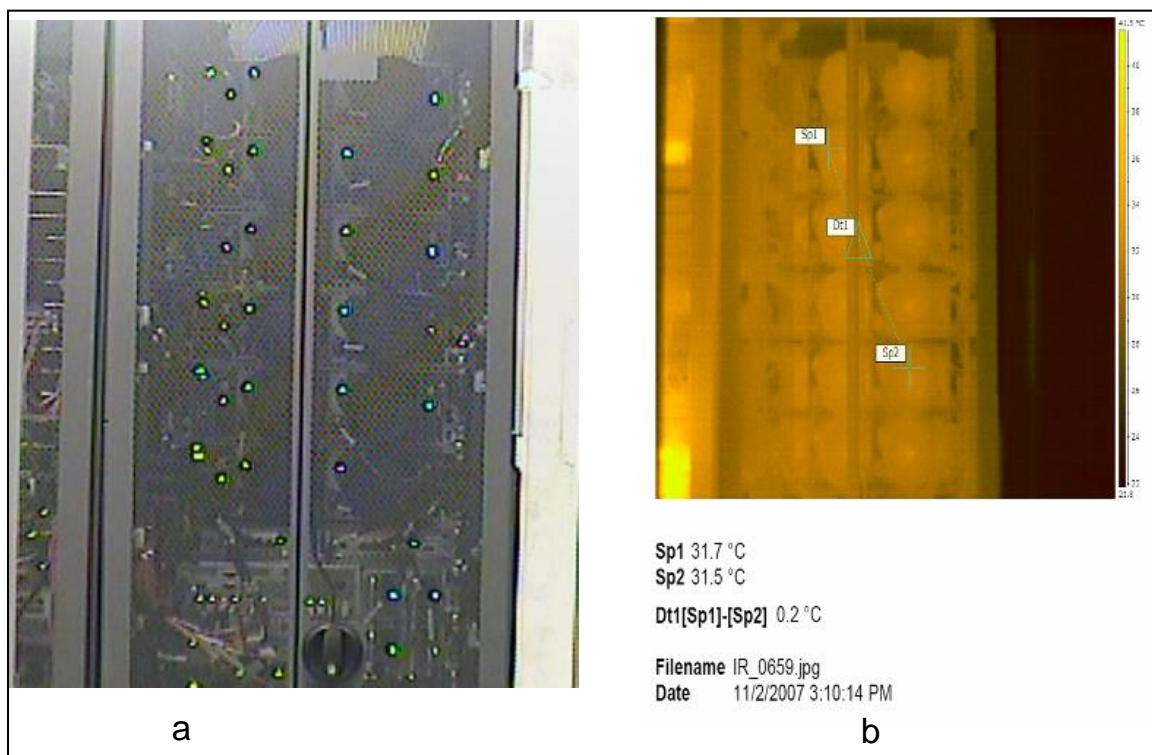


Ilustración 3-17 (a) Imagen digital de gabinetes CR1DC101B7 por detrás. (b) Termograma del equipo. Fuente: el autor.

3.5. Indicadores críticos de rendimiento (ICR)

Cuando una empresa conoce qué factores de su desempeño son vitales para el éxito, tiene la oportunidad de definir métricas que definan que tan bien lleva a cabo su día, esto representa la definición de indicadores críticos de rendimiento. Puede entonces, definir metas para estos factores que ha determinado como clave y ponerse metas u objetivos de largo plazo que le permitan mejorar, si lo hace, podría decirse que la gestión ha sido exitosa, lo cual en el tiempo se convierte en una tendencia de mejora continua.

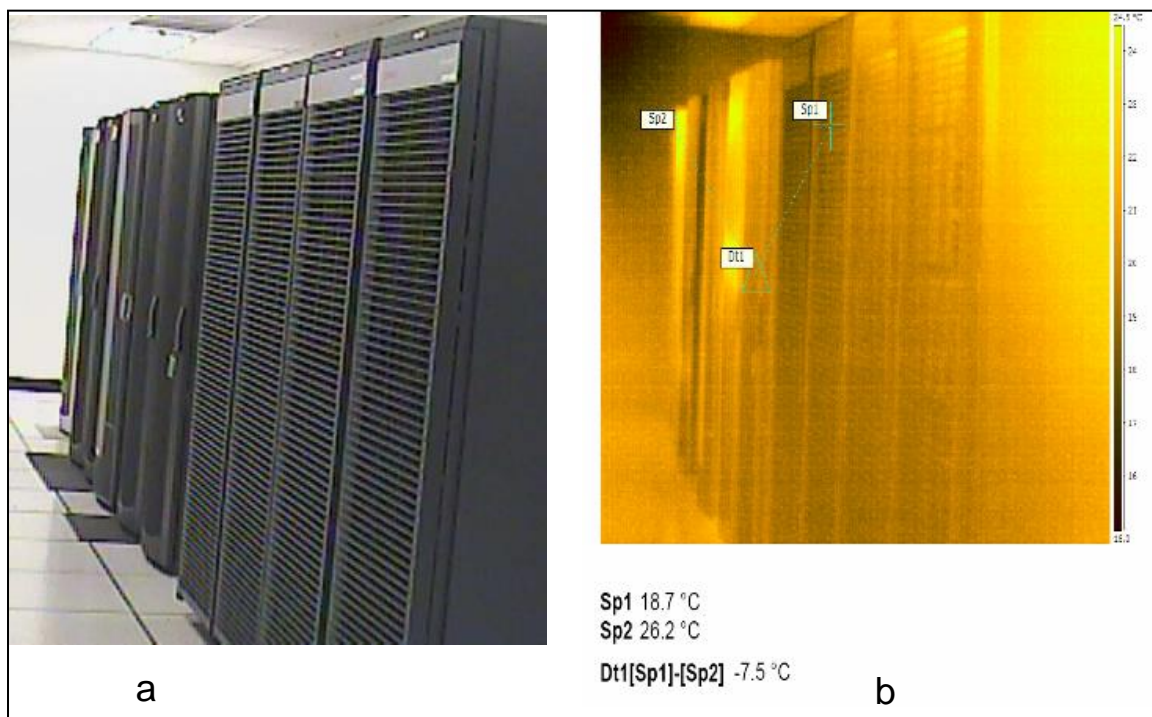


Ilustración 3-18 (a) Imagen digital de gabinetes ubicados en fila H. (b) Termo grama de la fila y sus gabinetes. Fuente: el autor.

Además, si se tiene la oportunidad de contar con información de aplicaciones similares, con indicadores comunes, puede llevarse a cabo una comparación de empresas para definir cuál es la mejor y en qué posición se encuentra respecto a que marca la pauta en torno a eficiencia.

Esto permite a los encargados, analizar las diferencias y en caso de que sea necesario definir planes para ajustar el rumbo. En el caso de un *CPD*, ejemplos de factores de desempeño son el uso de la energía y la densidad de carga eléctrica, por mencionar dos. Al entender las diferencias entre *CPD*, se reconocen mejores prácticas relacionadas con criterios de diseño, operación y mantenimiento, lo que permite planear bajo lecciones aprendidas en otros sitios.

Se seleccionaron indicadores que permiten medir la efectividad con la cual se cumplen las condiciones solicitadas por los clientes para luego determinar si se hace de la mejor forma o si hay espacio para mejorar. Estos se seleccionaron según el criterio del autor. La información del rendimiento de otros cuartos se obtiene de reportes que el **LBNL** tiene a disposición de los interesados, en su página de Internet. Esta información representa una base de datos importante, por cuanto el laboratorio ha analizado más de

40,000 metros cuadrados de Centros de Proceso de Datos. A continuación se mencionan los ICR escogidos.

El primer indicador es el índice de rendimiento del sistema de aire acondicionado

$$(\mu_{HVAC} = kW_{HVAC} / kW_{IT})$$

Ecuación 3-1

Es una relación de potencia eléctrica, permite entender cuánta energía se utiliza en alimentar las unidades de aire acondicionado por cada unidad de potencia consumida por los equipos de cómputo. A menor valor del índice, se tiene un sistema más eficiente ya que utiliza la energía, en una proporción mayor, para alimentar cargas activas, razón de ser del cuarto.

El numerador del índice se ve afectado por un buen diseño electromecánico, un buen mantenimiento y una buena política de operación y control de los equipos, por lo que todos los esfuerzos que se efectúen en aras de reducir este valor, afectan directamente el resultado. Ejemplos de factores que influyen en el denominador y en los que el grupo de tecnologías de información influye, son la selección de equipos de cómputo eficientes además de sistemas que optimicen la potencia utilizada por los servidores para llevar a cabo sus distintas tareas.

Para el caso en estudio, el valor numérico del índice de eficiencia del sistema de enfriamiento es

$$\mu_{HVAC} = kW_{HVAC} / kW_{IT} = 97 \text{ kW} / 144 \text{ kW} = 0.69 \text{ kW}_{HVAC} / \text{kW}_{IT},$$

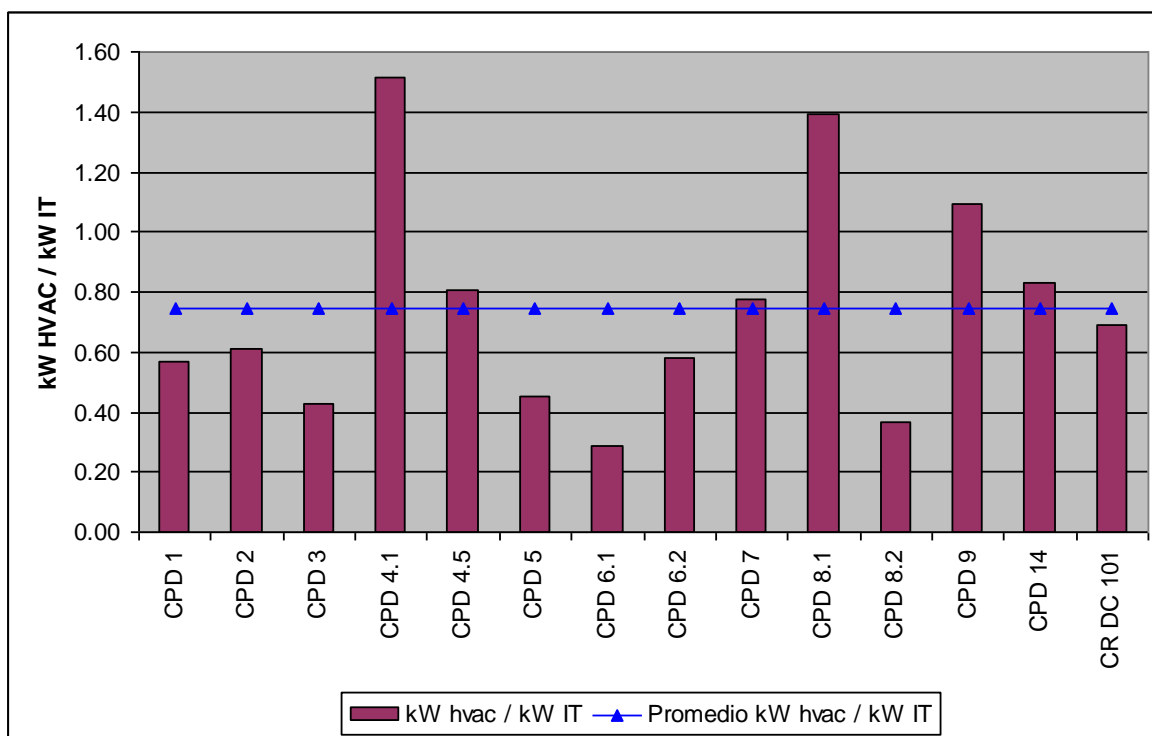
Esto significa que por cada kW utilizado en alimentar los equipos de cómputo, se utilizan 0.69 kW en alimentar eléctricamente el sistema de enfriamiento. El promedio registrado para 14 Centro de Proceso de Datos, incluido el de CISA¹⁴, es de 0.75 kW_{HVAC} / kW_{IT}, lo cual implica que, para este rubro, es más eficiente que el promedio, de hecho al comparar todos los datos, el cuarto en estudio está en octavo lugar, si se acomodan de menor a mayor.

Se ha identificado el Centro de Proceso de Datos 6.1 y el Centro de Proceso de Datos 4.1 como los cuartos a comparar con el CR1 DC 101, esto por cuanto el primero muestra el mejor rendimiento y el segundo muestra el que tiene más opciones de mejorar.

¹⁴ Dato calculado al promediar los resultados de los estudios del LBNL, en 14 CDP.

Si se tiene un cuarto de cómputo con una demanda eléctrica de 100kW, se estima que el CPD6.1 utiliza 28kW en electricidad para su sistema de aire acondicionado, el CPD4.1 151kW y el de CISA 69kW.

En términos económicos, al traducir las diferencias a costo operativo, una operación constante de los tres cuartos, que asume que la carga eléctrica no varía durante los tres períodos eléctricos, definido como pico, valle y nocturno, según la tarifa de mediana tensión (T-MT) de la CNFL al mes de Febrero del 2009, le cuesta por año, solo por la operación de los sistemas de enfriamiento para los servidores y otros equipos de cómputo, al CPD6.1 cerca de 11.000.000 colones, el CPD4.1 cerca de 60.000.000 colones y el de CISA cerca de 27.000.000 colones. El promedio de los 14 CPD pagaría cerca de 30.000.000 colones. Todos estos cuartos pagarían por el consumo eléctrico de los servidores y otros equipos de cómputo, cerca de 40.000.000 colones. De aquí se observa lo importante del entender qué caracteriza a un cuarto eficiente de uno que no lo es.



*Ilustración 3-19 Índice de eficiencia del sistema de aire acondicionado para distintos CPD.
Fuente: el autor.*

La Ilustración 3-19 muestra los resultados de los índices de eficiencia para los otros Centros de Proceso de Datos.

El segundo indicador que compara los distintos CPD, es la densidad de carga en Watts por unidad de área en m² de área total de piso falso.

$$(\rho = W_{IT} / \text{área piso falso } m^2)$$

Ecuación 3-2

Se utiliza en el planeamiento a largo plazo del cuarto para estimar la capacidad de instalar y operar equipos de cómputo, bajo condiciones tales que se satisfagan las necesidades sin problema, ya que se conocen las limitaciones del cuarto de cómputo y se predicen las necesidades de enfriamiento y potencia eléctrica suministrada.

Los estudios del TC9.9 indican que los equipos de cómputo mantienen densidades de carga crecientes, por lo menos hasta el año 2014 (ASHRAE, 2012). En las etapas de caracterización del CPD, al especificar anticipadamente una densidad (potencia por unidad de área), los encargados de administrar el recinto pueden identificar cuándo un equipo nuevo excede las condiciones definidas y puede estar en riesgo, por lo que también es el detonante para prever planes de acción para que el equipo pueda operar, planes que van desde modificaciones menores o cambios drásticos en el sistema.

La Ilustración 3-20 muestra el resultado de las densidades para los 14 cuartos¹⁵. Para efectos del estudio, se considera que un valor alto de densidad es una forma de identificar un recinto que se utiliza intensivamente, entonces se considera bueno porque se está aprovechando el espacio. El CPD6.1 continua en el primer lugar, el CPD4.1 queda nuevamente de último. El CR1DC101 se posiciona en el tercer lugar.

Para el caso de estudio, el valor numérico del índice de eficiencia del sistema de enfriamiento es

$$\rho = W_{IT} / \text{área piso falso } m^2 = 140 \text{ kW} / 281 \text{ m}^2 = 497 \text{ W} / m^2 \text{ piso falso}$$

En los recintos con niveles de ocupación bajos, por lo general se da que no todos los espacios asignados a gabinetes están ocupados o que dentro de los gabinetes, no todos los espacios disponibles para equipo de cómputo están ocupados. Esto permite

¹⁵ Dato calculado al promediar los resultados de los estudios del LBNL, en 14 CDP.

que equipos con densidades por encima del máximo establecido, operen sin problema ya que aprovechan la capacidad de enfriamiento no utilizada.

Este valor de densidad actual, puede proyectarse basado en los niveles de utilización del cuarto, si se asume que sólo los espacios ocupados dentro de los gabinetes son los que se van a completar al 100%. Pueden identificarse también riesgos futuros, por ejemplo, según los parámetros de diseño, el cuarto está previsto para una densidad de carga de 780 W/m².

A nivel de oportunidad de crecimiento, se observa que el CPD6.1 se encuentra a un 80% de su capacidad y que el CR DC 101 está a un 64%. Esta información junto con el pronóstico de instalación y reemplazo de equipos, es útil para determinar el momento en el que se decide hacer una inversión en infraestructura. No se obtuvo información suficiente para calcular este dato en el caso del CPD 4.1.

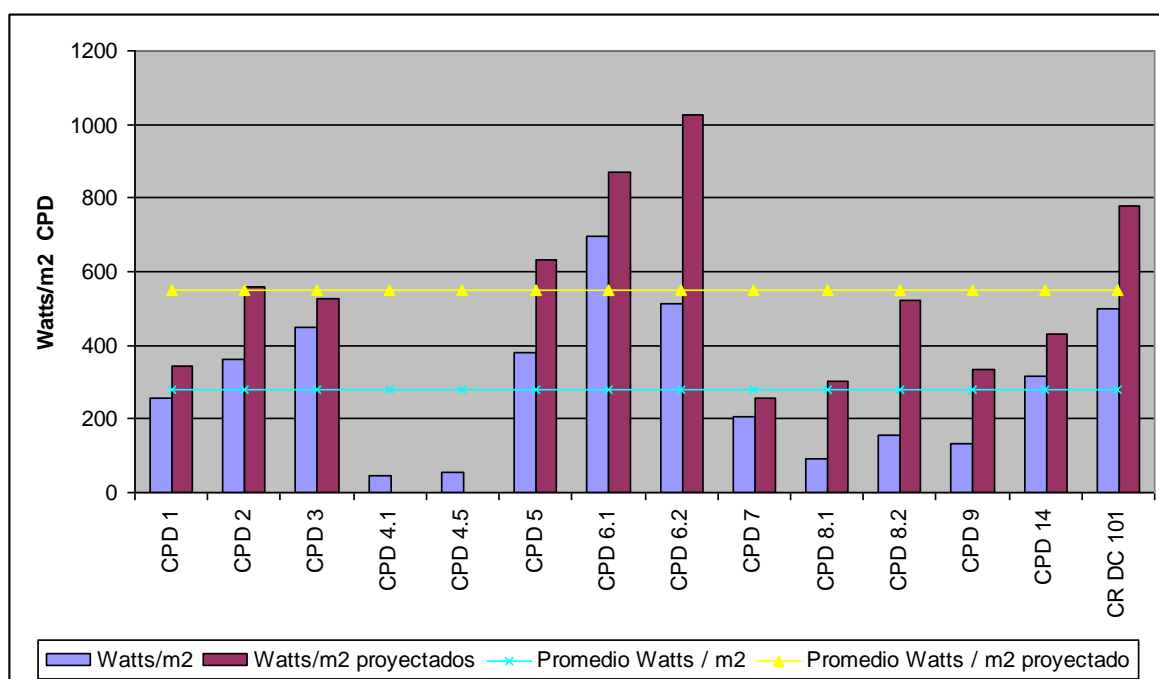


Ilustración 3-20 Densidad de carga en Watts por unidad de área de piso falso en el CPD.

Fuente: el autor.

El tercer indicador es la proporción de potencia utilizada para alimentar los equipos de cómputo respecto al total consumido por los CPD. De manera similar al primer índice, los dueños de los Centros de Proceso de Datos, están interesados en que la mayor parte del pago por la factura eléctrica sea el resultado de los equipos de cómputo.

$$(\rho = kW_{IT} / kW_{TOTAL})$$

Ecuación 3-3

Se observa en la Ilustración 3-21, el aporte de los distintos rubros que al final representan el 100% del consumo eléctrico.

En este caso, el CPD6.1 queda de nuevo en primer lugar, en sexto lugar queda el CR1DC101 y en último lugar está el CPD4.1.

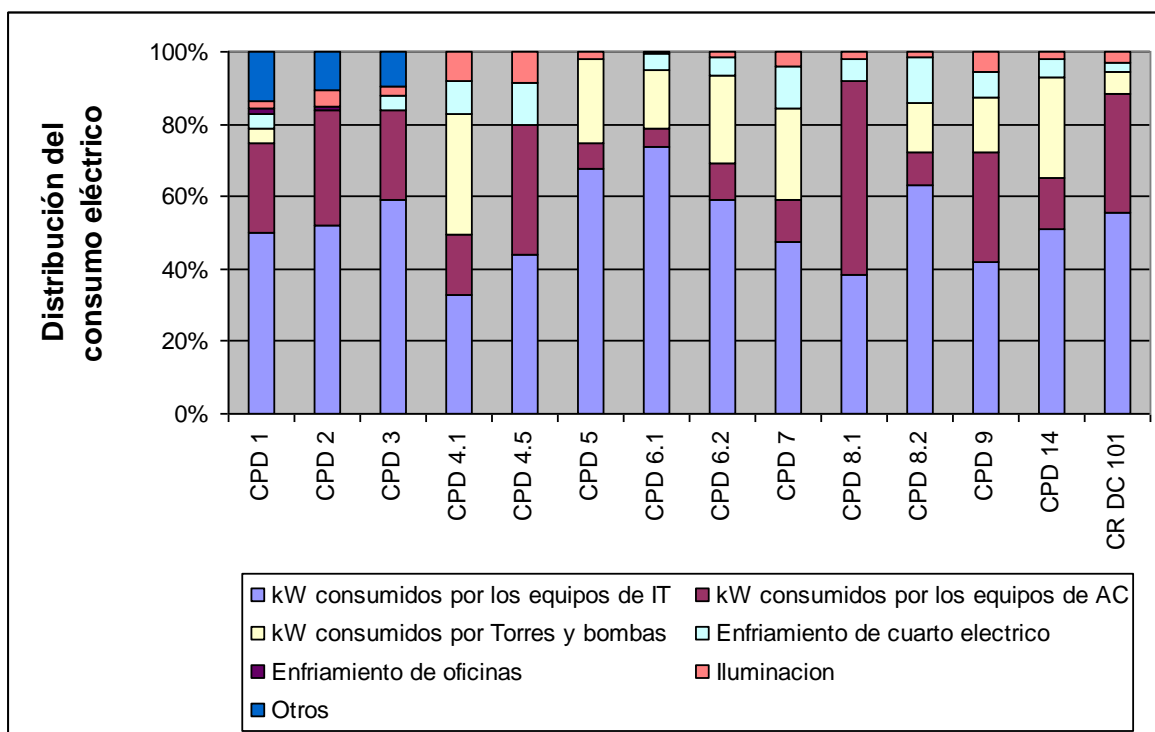


Ilustración 3-21 Distribución del consumo eléctrico según categorías indicadas en el CPD.

Fuente: el autor

Este análisis permite identificar en qué se utiliza la electricidad así como la proporción de cada uso, como parte de la totalidad de la facturación eléctrica, lo cual permite visualizar las zonas donde hay posibilidades de obtener ahorros que sean más representativos.

Se ve de la Ilustración 3-21, que hay diferencias en el consumo eléctrico que se utiliza para iluminar los distintos cuartos. Como el consumo se puede ver influenciado por el tamaño del lugar, se normalizan los datos respecto al área para obtener una relación de kW/m², se ve entonces que hay una diferencia interesante entre los cuartos en la razón

de consumo eléctrico al área, donde el mejor de los cuartos tiene una densidad de $4\text{W}/\text{m}^2$ representado por el CPD 8.2, el CPD6.1 tiene en promedio $5\text{W}/\text{m}^2$, el CPD4.1 tiene en promedio $11\text{W}/\text{m}^2$, y el CR1DC101 utiliza $22\text{W}/\text{m}^2$.

El último indicador crítico de rendimiento utilizado para este estudio es el de la relación de carga térmica estimada que se tiene en los equipos de enfriamiento respecto a la carga térmica teórica según los servidores y equipos de soporte a los sistemas de información¹⁶.

La Ilustración 3-22 muestra la relación entre ambos valores, (para los centros que se tenía la información disponible). El valor estimado es el que se ha calculado de carga térmica que está llevando en este momento el sistema y el teórico es el valor que se determinó según los datos que cada uno de los grupos de trabajo recibió.

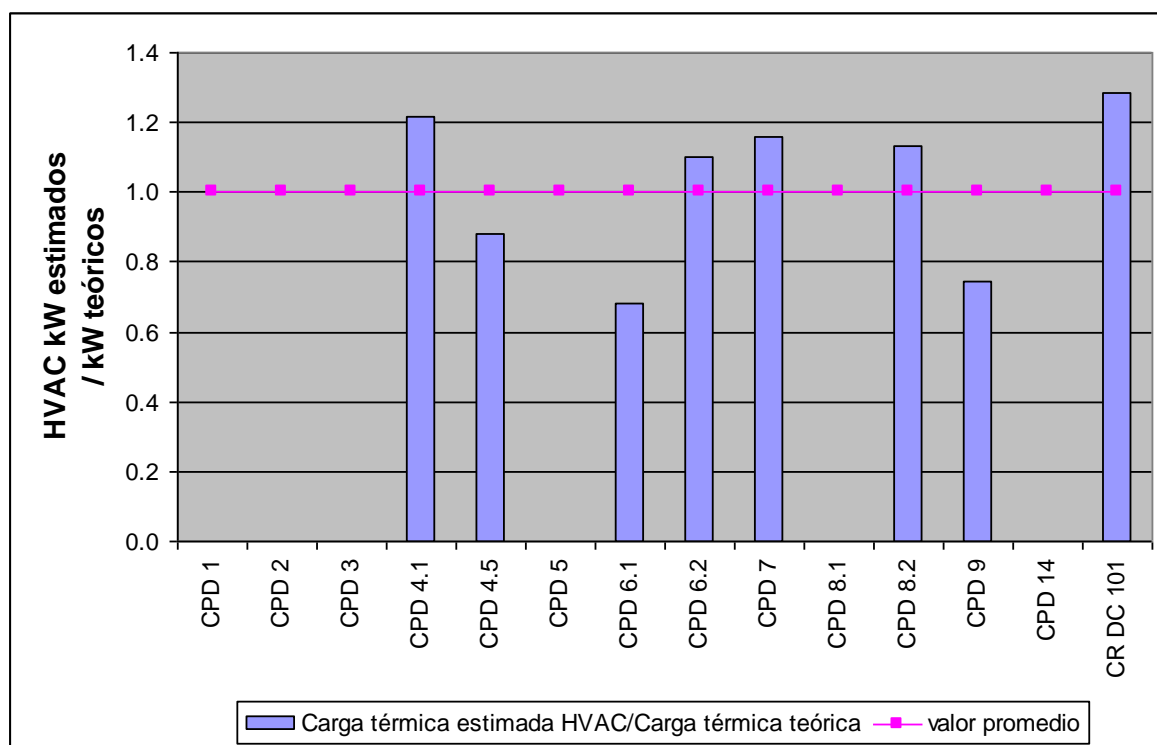


Ilustración 3-22 Relación de enfriamiento estimada en los equipos de cómputo a enfriamiento teórico. Fuente: el autor.

¹⁶ Como se indicó en la sección V, la carga térmica considerada es sólo de los equipos de cómputo.

Los diseños dependen mucho de la calidad de la información que reciben y esto influye en lo cercano que se encuentre este indicador a la unidad, por esto es que es muy importante analizar detalladamente los datos que se reciben así como la relación de los grupos electromecánicos con el departamento de tecnología de información. Como se mencionó anteriormente, es importante de la misma manera tener cuidado y aprender a manejar las cargas, no se desea sobredimensionar, tampoco que sea ineficiente ni ser tan ajustado que no dé cabida a crecimiento repentino.

El índice 3.4 muestra la relación entre la carga térmica actual estimada respecto a la carga térmica teórica que tiene el cuarto.

$$(\rho = kW_{HVAC \text{ Estimados}} / kW_{HVAC \text{ TEÓRICOS}})$$

Ecuación 3-4

Si se supone que la relación entre carga térmica real y teórica igual a la unidad es el punto de partida y se considera como una guía, ya que proporciona un sistema cuya capacidad real es la capacidad estimada, se nota que el CPD 6.1 deja de estar en primer lugar, ya que muestra 32% más capacidad instalada respecto a la carga térmica real y se ubica en el último lugar. El CPD4.1 se ubica en 5º lugar con una relación de carga térmica real a capacidad teórico de 21%, en este caso a diferencia del caso anterior, hay menos capacidad de la que se necesita. El CR1DC101 se ubica en penúltimo lugar, con un exceso de carga térmica real de 28% sobre lo que se estimó originalmente, teóricamente no hay capacidad suficiente. Cuando se promedian los resultados para todos los CPD para los cuales se tiene información, el valor es 1.02 con una desviación estándar de 0.23.

De nuevo, esto depende de la precisión de la información que se recibió para estimar las cargas térmicas y en este caso sólo considera la carga por los equipos dentro del Centro de Proceso de Datos.

Estos cuatro indicadores se han escogido como los más representativos para caracterizar el cuarto, dependiendo de la necesidad específica, se pueden utilizar otros. Si se asume que se le da una calificación de 14 puntos por cada primer lugar, se tienen 56 puntos disponibles. El CPD6.1 obtuvo una calificación de 88% y quedó en el primer lugar, con un sexto lugar el CR1DC101 obtuvo 64% y el CDP4.1 obtuvo un 23% en un penúltimo puesto.

La Cuadro 3-6 muestra algunas de las características más representativas de los distintos Centros de Proceso de Datos. Para analizar la información contenida en los

reportes del **LBNL**, se trató de agrupar por calificaciones similares y luego se analizaron las similitudes entre grupos. De los catorce CPD, se identificaron cinco grupos.

El grupo A, tiene un rango de calificaciones entre 88% y 75%. Se identificaron características compartidas como el hecho de que utilizan agua helada para control de temperatura, enfriada por chiller; además que el aire se distribuye mediante ductos, según el protocolo VOH. Los tres cuartos tenían diferencias respecto al manejo del agua, ya sea con circuito primario – secundario, con velocidad variable o constante.

Cuadro 3-6 Comparación de 14 Centros de Proceso de Datos. Fuente: el autor.

Grupo	Centro Proceso Datos	Calificación	Agua helada - Chiller enfriado aire	Agua helada - Chiller enfriado agua	Expansion Directa - Enfriado Aire	Expansion Directa - Enfriado Agua	Círculo Primario - Secundario	Flujo agua variable - Automatico	Flujo agua helada constante	Flujo agua condensado constante	VUF - Piso Falso	VOH - Ductos	Combinacion VUF - VOH	Area CPD m2	Potencia Consumida por equipos TI kW
A	CPD 6.1	88%	X					X				X		223	155
	CPD 6.2	84%	X						X			X		232	119
	CPD 8.2	75%		X			X			X		X		6782	1059
B	CPD 3	66%			X						X			2323	1040
	CPD 5	66%		X			X			X	X			1486	565
	CR DC 101	64%				X				X		X		281	140
C	CPD 2	54%			X						X			5611	2040
	CPD 1	52%				X		X			X			5841	1500
	CPD 7	50%		X			X		X	X			X	6875	1420
D	CPD 4.5	43%			X						X			795	43
	CPD 14	36%		X					X	X	X			7754	2434
	CPD 9	34%		X					X	X			X	1421	190
E	CPD 4.1	23%		X					X	X	X			827	37
	CPD 8.1	16%			X							X		2434	222
Total													42885	10963	

El grupo B, tiene un rango de calificaciones entre 66% y 64%, es en este donde se encuentra el centro de la empresa CISA. En este grupo no se identificaron características comunes. Uno utiliza un chiller enfriado por agua para remover el calor de los servidores mientras que los otros dos trabajan con expansión directa. Dos utilizan piso falso para distribuir el aire mientras que el otro lo hace por medio de ductos. Es interesante notar que cuatro de los seis primeros lugares utilizan esta forma para distribuir el aire.

El tercer conjunto, grupo C, tiene calificaciones con un ámbito que va desde 54% a 52%, El grupo D, cuarto en la lista, tiene notas que van desde 43% a 34%. En último lugar se encuentra el grupo E, con calificaciones entre 23% y 16%.

En estos no se presentan rasgos que los definan, ya que hay variedad tanto en la forma de enfriar el aire, en la forma de manejar el agua y por último en la forma de distribuir el aire en el cuarto propiamente. En este último punto sin embargo, de los ocho cuartos, se presentan cinco cuartos que utilizan piso falso, dos que tiene una combinación de piso falso y distribución por ductos, y solamente uno que tiene distribución por ductos. Se inclina un poco la balanza en caracterizar los mismos hacia esta última forma de manejar el aire, ya que representa poco más de 60% de los tres conjuntos.

Si bien es cierto que los tres *CPD* que conforman el primer grupo no representan más de un 17% por tamaño o un 12% por consumo eléctrico de los equipos de cómputo, es importante analizar sus cualidades a la hora de diseñar un cuarto nuevo o de analizar uno existente.

4. Recomendaciones para nuevos diseños

Luego de repasar conceptos teóricos, recomendaciones de distintos grupos respecto al diseño y a la operación de *CPD* y de analizar el cuarto de la compañía CISA y de haber comparado su rendimiento basado en cuatro indicadores, con otros cuartos similares, se han identificado algunas recomendaciones a considerar para el diseño de sistemas de climatización para este tipo de aplicaciones, las cuales, es importante recalcar, debe realizarse en conjunto con otras disciplinas, por lo que las sugerencias tienen un alcance más allá de la ingeniería mecánica. Las mismas se hacen sin orden de prioridad.

4.1. Impacto en los sistemas de tecnología de la información

Lo primero es comprender la aplicación. Esto implica entender la forma en la cual se manejan los equipos de cómputo, la configuración a utilizar (dentro de las opciones que permite el fabricante del equipo), la frecuencia de renovación de servidores, el porcentaje de utilización que espera tener en los gabinetes de equipos, la forma como se mantiene operando sistemas redundantes, sus necesidades de operación y la importancia que tiene para el encargado del cuarto el mantener dentro del rango recomendado las variables críticas definidas por ASHRAE así como las normas que se desean cumplir, como por ejemplo niveles TIER¹⁷.

En el caso de instalaciones existentes, se recomienda obtener datos de mediciones reales tomadas tanto en la UPS como en las PDU, si no estuvieran accesibles, entonces se recomienda instalar metrología para determinar el consumo eléctrico de los equipos de cómputo y otros. En el caso de instalaciones nuevas, se recomienda solicitar los datos de consumo esperados según la guía generada por ASHRAE para cada uno de los tipos de equipos de cómputo (ASHRAE, 2015).

Una forma de hacer un control cruzado de las cargas térmicas es el comparar la potencia de salida (esperada o real) de la UPS con el resultado total del inventario de equipos y de la información recibida respecto al consumo eléctrico de cada uno de ellos,

¹⁷ Los TIER son categorías o clasificaciones, que se definieron por *The Uptime Institute* para clasificar la funcionalidad de los sistemas de soporte y definen un punto de comparación.

dentro del cuarto. Según los datos de las rondas operativas, hay indicios de que los datos de placa de consumo eléctrico de los servidores en muchas ocasiones están sobre dimensionados, razón por la cual es probable que se seleccionen equipos más grandes de lo necesario. Al llevar a cabo este control cruzado, se puede evidenciar cualquier incongruencia en la estimación de cargas térmicas.

4.2. Uso de diagramas de distribución de planta e inventario de equipos

Un diagrama con la distribución del cuarto (similar al utilizado en la Ilustración 3-7) facilita el control de uso de los equipos, si se incluye también información relacionada con el detalle de las cargas eléctricas y las características de los equipos; se resumen todos los datos y permite identificar cambios de equipo por reemplazo, renovación, ampliación, obsolescencia, así como cualquier modificación en equipo que pueda repercutir en la carga térmica del cuarto y que implique una modificación en la instalación electromecánica.

Este diagrama, se complementa con un inventario o matriz, que caracteriza cada gabinete de equipos, la cantidad y tipo de cada uno de los servidores (modelo, fabricante, año, configuración), porcentaje de ocupación de cada gabinete actual (en el caso de un cuarto existente) o esperado. Por cada fila de gabinetes, se especificaría el consumo eléctrico máximo y promedio.

La información de las cargas del cuarto y el diagrama le permite al diseñador especificar una densidad de carga, definida como potencia por unidad de gabinete o por unidad de área. Este dato es útil para definir límites a los equipos que se pretende instalar y, en caso que se surja la necesidad de instalar un equipo que sobrepasa ese valor predeterminado, el diagrama permite identificar zonas de menor densidad, en las cuales se aprovecha esa condición para “compartir” lo que los otros servidores no necesitan.

Una vez que se entiende la carga de diseño y la densidad especificada del cuarto, puede hacerse análisis con un pronóstico de las cargas esperadas al cabo de cierto tiempo, con la ayuda de las tendencias identificadas por ASHRAE. Esto permite entender si el cuarto puede llegar a quedarse sin capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios y de los dueños así como anticipar acciones correctivas.

En el diagrama se debe incluir, además de la ubicación de los gabinetes, los pasillos calientes y fríos, la ubicación de los equipos de aire acondicionado, la posición

de las rejillas de suministro y retorno de aire, así como cualquier obstrucción al flujo de aire como lo son las columnas, rampas, entre otros. Esto ayuda a comprender el acomodo de todos los objetos dentro del cuarto así como las posibles interferencias o restricciones que tenga el flujo del aire.

4.3. Recomendaciones relacionadas con la distribución del cuarto.

La forma como se distribuya el cuarto es fundamental para el buen desempeño, es sugerido que su forma sea lo más regular posible, semejante a un rectángulo. El protocolo pasillo caliente – pasillo frío es altamente recomendado, tanto a nivel de gabinetes como a los equipos dentro de los gabinetes ya que al aislar el aire frío del caliente se obtiene una operación dentro de los parámetros recomendados para los equipos de cómputo y el sistema de climatización de aire tiene una mayor eficiencia.

En cuanto a los pasillos fríos, estos deben ser de un ancho mínimo de 1.2 metros (48 pulgadas). En caso de ser piso falso, que sea posible remover las rejillas de piso. Todos los suministros de aire, rejillas de cielo o de piso, deben ubicarse en pasillo frío, a menos que exista justificación técnica para ubicarlos en otro lugar, por ejemplo una necesidad de enfriar el aire de retorno.

En el caso de los pasillos calientes, el ancho mínimo recomendado es de 0.91 metros (36 pulgadas), ya que permite remover al menos una fila completa de rejillas de piso falso. No se recomienda instalar suministros de aire en los pasillos calientes, a menos que sea por razones técnicas, como el reducir la temperatura de retorno a la unidad de aire acondicionado. Se debe evitar las obstrucciones al flujo de aire y el adecuado manejo de instalación de cables.

Si bien es cierto no existe una preferencia indicada en la literatura consultada, en relación a si los gabinetes deben de alinearse con el pasillo frío o con el caliente, la preferencia del autor es hacerlo según la primera opción.

Si el cuarto tiene distribución de aire mediante piso falso, entonces la elección del alineamiento y la de utilizar un tiro de pasillo de 7 láminas de piso, asegura que se tenga una rejilla de suministro de aire por cada gabinete de servidores, en lugar de compartir una rejilla de suministro por cada dos gabinetes de servidores, ver Ilustración 2-7. En el caso de utilizar un tiro de pasillo de 8 láminas, esta condición no representa limitación alguna, por cuanto se asegura una rejilla de suministro y una de retorno por cada gabinete.

El tiro de pasillo depende también de la carga eléctrica de los equipos, esta determina la cantidad de aire que debe suministrar cada rejilla de suministro y es una consideración adicional para el diseñador mecánico; es importante entender el impacto en el área de piso falso requerida de una opción respecto a la otra, ya que la selección de un tiro de pasillo de 8 láminas implica un 14% más de espacio y de piso falso comparada con el de 7 láminas, lo que al final implica más inversión.

4.4. Distribución y recirculación del aire.

La carga térmica del cuarto determina la cantidad de aire que se debe manejar y por ende influye en la altura del piso falso. El mínimo recomendado es de 0.61 metros (24 pulgadas) si no se esperan obstrucciones al flujo del aire, una segunda opción es utilizar 0.91 metros (36 pulgadas) si es de esperar que se presenten obstrucciones o si se tiene pensado que las tuberías o cables de potencia generen resistencia al flujo de aire.

Un punto adicional, indirectamente relacionado con la altura del piso falso, es la distancia vertical entre la parte superior de los gabinetes respecto al cielo suspendido, que se recomienda de un mínimo de 0.91 metros (3 pies), para darle libertad al flujo de aire caliente.

En la medida de lo posible, las tuberías que llevan fluidos están restringidas de estar dentro del cuarto, sin embargo, en el caso de que no haya otra alternativa, una recomendación es canalizarlas en trincheras, para que en caso de fugas, evacuen el fluido a través de drenajes, sin impactar ni poner en riesgo la operación de los equipos y personal.

Se recomienda instalar solamente el número necesario de rejillas perforadas para disipar el calor generado por el equipo dentro del gabinete, lo ideal es que la rejilla de suministro de piso sea ubicada en el área inmediatamente adyacente al gabinete.

En el caso de que se utilice piso falso, se recomienda el uso de rejillas con un 25% de área libre ya que permiten un flujo uniforme y más predecible, comparadas con las de 56% de área libre, las cuales se deben utilizar en situaciones especiales, donde la necesidad de flujo de aire no permita el uso de las primeras.

El uso de persianas o “dámper” contra flujo en las rejillas perforadas no se recomienda, por cuanto pueden reducir el flujo hasta una tercera parte y pueden cerrarse inesperadamente. Otra precaución adicional es que pueden desprenderse hojuelas del material que recubre el “dámper”, que impulsadas por el flujo de aire se ha visto que

llegan a los equipos, dañándolos. Estos accesorios se recomiendan instalar, solamente en las unidades de aire acondicionado, para que en caso de mantenimiento o falla no se despresurice el piso falso.

Dentro de los factores que afectan la presurización adecuada del piso falso y que el diseñador debe considerar, es el adecuado sellado de cualquier penetración o pasado de conductos eléctricos o mecánicos que viole su integridad. El paso de estos conductos puede ser una forma de perder aire, por lo que su cuidado y especificación es importante para asegurar que la presión se mantiene dentro de los límites recomendados. Esto aplica no solo al piso falso, sino también a cualquier penetración que permita el flujo de aire no tratado hacia dentro o hacia fuera del volumen de control.

Otro factor que influye en una distribución del aire es la ubicación del equipo de enfriamiento. La recomendación general es de instalar las unidades al final de las filas de gabinetes, alineadas con el pasillo caliente de ser posible, para que el retorno de aire sea más fácil y rápido y la recirculación indeseada de aire sea menos propensa. Para cada fila o zona de enfriamiento, lo ideal es que las unidades se encuentren frente a frente, lo cual asegura una distribución uniforme del enfriamiento.

Las rejillas de suministro de aire deben ubicarse lejos de las descargas de las unidades de aire acondicionado, como mínimo a 1.8 metros (6 pies), ya que ese es el punto donde el aire tiene más velocidad (Hannaford, 2015)

Respecto a la utilización de un sistema que distribuya el aire por piso falso o por medio de ductos a nivel de cielo suspendido, no se ha encontrado preferencia de uno sobre otro. Se recomienda considerar ambos casos, ya que se ha concluido en otros estudios que el de distribución por ductos aéreos tiene ciertas ventajas sobre el otro, así como se explicó en secciones anteriores.

En caso de decidirse por un sistema de ductos, de las sugerencias que se tienen a la hora del dimensionado es que, se haga un análisis económico para justificar el tamaño más grande posible, dado que la potencia en abanicos es uno de los puntos fundamentales que afectan el costo total de operación del cuarto, sobre todo si se analiza a largo plazo.

Si el cuarto es deficiente en controlar el flujo de aire hacia y desde las unidades de aire acondicionado, entonces se compensa bajando la temperatura de suministro, lo cual es incongruente con el principio de diseño y operación. Este fenómeno es más probable en los servidores que se encuentran en la parte superior de los gabinetes.

4.5. Condiciones de diseño.

Las indicaciones encontradas en la literatura consultada respecto a las condiciones psicrométricas del aire, son consideradas en las entradas de aire de los abanicos de los equipos de cómputo. La salida del aire no tiene mayor importancia, más para hacer aproximaciones de la carga térmica que está generando un equipo particular. Estos rangos se deben tomar como valores objetivo para la operación de los equipos, a la hora de hacer el diseño (ASHRAE, 2015).

Si se desea un sistema que logre ser más económico, operativamente y en la inversión inicial, una manera de contribuir con este esfuerzo es mantener la temperatura de suministro en los equipos de aire acondicionado lo más cercana al límite superior, asegurando que se opera dentro del rango y la clasificación de equipos correcta, según se muestra en la Cuadro 2-1.

Es importante que cuando se haga la corrida de selección de los equipos de climatización y se estime la temperatura de retorno, se verifique que no se exceda el diferencial máximo recomendado por el fabricante en el serpentín. Si hay una alta probabilidad que este diferencial sea excedido, deben de tomarse las previsiones del caso para reducirlo, tales como: el provocar recirculación en el aire frío ubicando rejillas de suministro de aire en los retornos de aire caliente y permitir que esta mezcla de aire esté a una temperatura aceptable para la unidad CRAC, según el fabricante.

4.6. Redundancia del respaldo en caso de falla.

El nivel de respaldo en los equipos de cómputo, para que en caso de falla de uno de ellos el cuarto continúe operando, depende de las necesidades del cliente y del impacto que pueda tener la falla en el negocio.

El nivel de respaldo sugerido es contar como mínimo con un equipo redundante. En sistemas de mayor tamaño, se sugiere una unidad adicional por cada 6 a 8 unidades de aire acondicionado. Como mínimo, se debe contar con capacidad adecuada de enfriamiento disponible, con respaldo en caso de falla en cada zona, pasillo o volumen de control previamente identificado.

Mucho depende la geometría del cuarto y el tamaño del piso falso en la facilidad de distribución del aire frío y del retorno del aire caliente, por lo que el diseñador debe

analizar si una es suficiente o por el contrario debe utilizar un respaldo mayor para asegurar la continuidad de la operación ininterrumpida.

Dada la necesidad de los servidores y equipos afines de contar con una alimentación eléctrica que cumpla con respaldo en caso de falla de la fuente principal, el diseñador mecánico deba considerarlo y coordinar con otras disciplinas el que las unidades de aire acondicionado operen de manera continua, a pesar del fallo de cualquiera de los sistemas de los cuales depende, por ejemplo el sistema de potencia eléctrica.

Puede ser que para el cliente su disponibilidad de servicio no sea un factor importante y prefiera apagar su cuarto de servidores en caso de una falla que afecte el sistema de aire acondicionado.

4.7. Aspectos de interés general

Una vez que se tenga estimada la carga térmica del cuarto, en lo que respecta a los equipos dentro de él, deben incluirse todos aquellos factores que la incrementan, tales como la transferencia de calor por paredes, techo, piso, ventanas, migración de humedad, filtración desde o hacia el cuarto, personas, por mencionar algunos.

La ubicación de los sensores de humedad y temperatura debe ser escogida cuidadosamente, de forma tal que el punto de monitoreo corresponda al lugar que se desea. La temperatura del aire debe de ser controlada en la entrada de los equipos de cómputo, no en la salida del aire ni en cualquier otro lugar, es por esta razón que el ingeniero de control y el ingeniero mecánico deben de coordinar el mejor lugar para que la reacción de la unidad de aire acondicionado a la temperatura sea la adecuada (ASHRAE, 2015), la recomendación es ubicar el sensor a una altura de 1.5 metros (5 pies), cada cuatro gabinetes en una fila.

El último punto de las recomendaciones generales, es el uso de programas de cómputo que simulen la dinámica del flujo de aire en un cuarto de cómputo, permite identificar áreas de mejora y las formas de optimizar el diseño, la ubicación de las rejillas de suministro y de retorno, además de capturar potenciales problemas de alta temperatura en la entrada de aire a los servidores dentro de los gabinetes, recirculación del aire, entre muchos otros beneficios.

En países como Estados Unidos de América, es un requisito para el diseño de Centros de Proceso de Datos nuevos, el presentar los resultados de las simulaciones

para demostrar que el cuarto cumple con ciertos niveles de eficiencia mínimos. Además de ser una herramienta, la inversión en simulaciones permite identificar oportunidades de ahorro desde etapas tempranas de diseño conceptual hasta ahorros operativos.

4.8. Aspectos puntuales al caso estudiado

Las siguientes son las recomendaciones identificadas para el Centro de Proceso de Datos de la compañía CISA:

- Reubicar los sensores de monitoreo de temperatura y humedad a un lugar que cumpla con las condiciones recomendadas (ASHRAE, 2015).
- Analizar las condiciones de operación de los abanicos de las dos unidades de aire acondicionado para seleccionar una polea que permita trabajar en un mejor punto, según caudal y eficiencia mecánica.
- Cambiar el tipo de rejilla de suministro por una que tenga un patrón de distribución predominantemente vertical, con más turbulencia y mejor distribución de aire frío en los servidores ubicados en la parte inferior de los gabinetes.
- Evitar la recirculación indeseada de aire entre pasillo caliente y frío:
 - Instalando paneles ciegos en los espacios vacíos de los gabinetes.
 - Reacomodar los gabinetes para reducir espacios vacíos.
 - Respetar el protocolo de pasillo caliente y pasillo frío, incluso a nivel de gabinete, esto es que todos los equipos dentro de un gabinete tomen el aire del pasillo frío.
- Implementar un protocolo de instalación de equipos de cómputo que verifique no solo la buena operación eléctrica, al corroborar consumos de corriente y voltajes adecuados; sino también la buena operación desde un punto de vista térmico.
- Implementar una ronda de verificación de la integridad o cumplimiento de los protocolos de pasillo caliente pasillo frío, la misma debe hacerse una vez por trimestre y por un equipo de

trabajo formado tanto por ingenieros del departamento de tecnologías de la información como ingenieros de operación y mantenimiento del sistema de aire acondicionado.

- Implementar un plan de respuesta a emergencias que determine la forma como se debe reaccionar en caso de una falla de los sistemas de aire acondicionado, por distintas razones, para mitigar el impacto y asegurar continuidad del negocio durante y después del inconveniente.
- Análisis del sistema de respaldo de las unidades de aire acondicionado, que contemple verificar la capacidad instalada respecto a la carga esperada durante un momento de falla, así también la ubicación de las unidades de respaldo, de forma tal que no se presenten problemas de sobrecalentamiento de equipos por un flujo de aire inadecuado. El resultado es asegurar que el sistema opera correctamente en caso de trabajar con el sistema de aire acondicionado de respaldo.
- Instalar sensores de movimiento para el sistema de iluminación para evitar carga térmica innecesaria y promover el ahorro energético.
- Implementar reuniones de coordinación interdisciplinarias, en las cuales se evalúe la operación del sistema, reporte de fallas, pronóstico de incorporación de equipos y desinstalación de los mismos, la frecuencia de estas reuniones se recomienda que sea una vez al mes, sin embargo depende de la cantidad de información que se maneje.
- Ubicar el sistema de ductos de retorno, de manera que se encuentre cerca de los pasillos calientes.

5. Conclusiones.

Los Centros de Proceso de Datos representan un reto para la ingeniería. Su importancia a nivel mundial, desde el punto de vista energético, es tal que se han desarrollado grupos dedicados a velar por la mejora continua de aspectos como el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento; dichos grupos se han preocupado por compartir las lecciones aprendidas de los diferentes análisis que han realizado.

En Costa Rica es cada vez más habitual escuchar acerca de la operación de CPD, ya sea en periódicos o en publicidad, de empresas que tienen CPD para uso propio o como venta de servicios, tanto en instituciones públicas y privadas y es este un buen momento en el que es importante desarrollar el conocimiento de las características importantes, entre ellas, el sistema de aire acondicionado, considerado un aliado en la operación ininterrumpida de un sistema que procure los más altos niveles de confiabilidad.

El trabajo de análisis en el CPD puso en evidencia que en ese momento se tenían faltas a las prácticas recomendadas que no permiten una operación eficiente, algunas de ellas son: el suministro y el retorno de aire de manera tal que no se satisfacía el protocolo de pasillo frío – pasillo caliente; el tener espacios en algunos gabinetes que permitían el indeseado flujo de aire caliente hacia las tomas de aire frío en los equipos de cómputo; el contar con equipo de climatización del aire con características aptas para una aplicación con menor grado de carga sensible; el tomar en cuenta con un menor nivel de detalle las características técnicas de los equipos de cómputo, lo cual induce a sesgos en las estimaciones de carga térmica. Se logró determinar modificaciones que, una vez ejecutadas, incrementen la confiabilidad del sistema de aire acondicionado para el Centro de Proceso de Datos de CISA en Costa Rica.

Es importante acotar que luego de una auditoría que recomiende cambios en un CPD, cada cambio debe analizarse por separado y se recomienda llevar a cabo de manera individual, esto es, un cambio a la vez, de forma tal que se pueda entender el impacto del mismo y la reacción de los equipos de cómputo, dado que los ajustes responden a realidades particulares de cada CPD, no hay un orden correcto, sino más bien, el equipo de ingeniería responsable de la operación debe coordinar con el auditor, un protocolo de implementación de las acciones a tomar que se ajuste a las condiciones particulares. En caso de hacer varias modificaciones simultáneas, podrían generar

condiciones tales que se presente una temperatura del aire a la entrada de los equipos o con una razón de cambio mayor a la permitida por ASHRAE, sin tener claridad de cuál de todos los ajustes revertir para salir de una condición que pueda hacer que el equipo entre en condición de alarma.

El estudio del estado del conocimiento permitió identificar las características más representativas en el diseño del aire acondicionado de CPD. Para alcanzar un CPD con niveles aceptables de inversión inicial y de gastos operativos, se requiere que la etapa de diseño y construcción se lleve a cabo mediante trabajo en equipo de todas las disciplinas técnicas, logrando al final una selección de equipos tal que se adapte a las necesidades actuales y permita un crecimiento modular, con poco desperdicio.

En concordancia con estos elementos, se definió una lista de verificación de condiciones con la cual se auditaron las instalaciones del CPD de la empresa CISA respecto a buenas prácticas de la industria. A pesar de que ASHRAE tiene protocolos de medición de las condiciones ambientales del aire para verificar que se encuentra dentro de los rangos recomendados, el realizar mediciones puntuales no es concluyente ya que las mediciones no serían representativas.

Se espera que este tipo de aplicaciones trabaje, en algunos casos hasta de manera ininterrumpida, es indispensable aclarar las expectativas del cliente de forma tal que en caso de necesitarse, los sistemas de operación normal y de respaldo, sean capaces de cumplir las funciones con el mismo resultado.

El definir indicadores críticos de rendimiento permitió comprender el estado actual de eficiencia del cuarto, adicionalmente se obtuvo un criterio más amplio al completar la comparación con otros CPD, ya que se identificaron diferencias en la forma como operan, oportunidades de mejora así como mejores prácticas aplicadas o por aplicar. El trabajo definió una serie de parámetros con los cuales se definió una calificación relativa.

Se definió un plan de mejoras para incrementar la confiabilidad y eficiencia del sistema. La implementación de las recomendaciones identificadas permitiría mejorar la confiabilidad relativa respecto de los otros centros de procesamiento de datos.

Una oportunidad para la Escuela de Ingeniería Mecánica es el desarrollo de un paquete de capacitación técnica que trate temas relacionados con esta aplicación específica y que le permita introducirse en el mundo de la tecnología de la información, así como estrechar lazos con la Escuela de Informática y la Escuela de Ingeniería Eléctrica para desarrollar un técnico en operación de CPD. Así mismo, existen

oportunidades para Trabajos Finales de Graduación, como por ejemplo el análisis de los equipos de cómputo respecto a las fuentes de ruido y sus niveles de ruido, dado que es uno de los inconvenientes que presentan en los operadores de CPD, un estudio detallado que identifique formas de mitigar estos niveles de ruido, sería de gran impacto en la industria. Otra área de interés, es el análisis de los sistemas de disipación de calor de las unidades procesadoras de datos, de forma tal que se busquen mejoras a los métodos actuales.

Una de las incógnitas que quedan luego de llevar a cabo el trabajo y de consultar literatura técnica, es la razón por la cual hay una práctica conservadora de los fabricantes de equipos de cómputo en seleccionar fuentes de poder que terminan trabajando a un porcentaje de utilización bajo; un CPD que se diseñe de forma tal que sus componentes y sistemas críticos se seleccionen de la manera más eficiente, empieza con los componentes en la tarjeta madre y su fuente de poder, si esto se sobredimensiona, aguas abajo todo tiende a tener un factor de seguridad que se amplifica, como hacer conciencia en las diferentes disciplinas, es una tarea importante, de forma tal que se logre aprovechar mejor los recursos. El grado de comprensión que tengan quienes están trabajando en un CPD (dentro de la empresa CISA o en otros lugares donde se tengan cuartos de cómputo), acerca de las necesidades de cada una de las disciplinas y sus interrelaciones, es fundamental para el éxito de cualquier CPD, existente o nuevo. Debe promoverse una comunicación constante durante las etapas de diseño, construcción y operación, para lograr una armonía entre todas las disciplinas que permita que todos alcancen sus objetivos sin hacerlo a expensas de otros.

6. Recomendaciones.

Durante el tiempo que se llevó a cabo el estudio, se pudo experimentar y se observaron los resultados del uso de programas de cómputo para la simulación de la dinámica de fluidos, con resultados muy interesantes que permiten identificar posibles mejoras al diseño. Se recomienda su evaluación como herramienta de trabajo que pueda ahorrar recursos y proporcionar una solución mejorada antes de su implementación.

Es fundamental la capacitación y aculturación constante de quienes se encuentran a cargo de estas operaciones y se detectó como un área de mejora. Dentro de los temas a tratar están el cómo reaccionar a fallos, cómo asegurarse que un equipo de cómputo que se instala opera bajo condiciones ideales, protocolos de pasillo caliente y pasillo frío, por mencionar algunos temas. Este no fue tema del presente estudio pero se sugiere que CISA le dé seguimiento al tema.

Es recomendable el desarrollo de simulacros de fallas para determinar si los equipos de trabajo están preparados para reaccionar y si tienen los recursos necesarios para salir adelante. Este tipo de prácticas se puede programar de forma tal que se ejecuten una vez al año y se confirme que todos son capaces de mantener las operaciones sin interrupción. Así mismo, en caso de que se renueve el personal, se verifica que cuentan con los conocimientos necesarios para estar al nivel mínimo esperado.

Al ser un sistema que trabaja constantemente, es importante que se hagan estudios para identificar cómo se pueden mantener las condiciones de operación con un menor consumo de energía. Este es un tema que puede retomarse en un futuro.

7. Bibliografía

- American Power Conversion. (2002). Essential Cooling System Requirements for Next Generation Data Centers, White Paper 5 Revision 3. Rhode Island, EEUU. URL: <http://www.apcdistributors.com/white-papers/Cooling/WP-5%20Essential%20Cooling%20System%20Requirements%20for%20Next%20Generation%20Data%20Centers.pdf>
- ASHRAE Technical Committee 9.9. (2009). Design Considerations for DATACOM Equipment Centers. Georgia, EEUU: ASHRAE.
- ASHRAE Technical Committee 9.9. (2012). DATACOM Equipment Power Trends and Cooling Applications. Georgia, EEUU: ASHRAE.
- ASHRAE Technical Committee 7.8. (2017). ASHRAE Owning and Operating Cost Database. Georgia, EEUU. URL: http://xp20.ashrae.org/publicdatabase/system_service_life.asp?c_region=0&state=NA&building_function=NA&c_size=0&c_age=0&c_height=0&c_class=0&c_location=0&selected_system_type=1&c_equipment_type=NA.
- Brill K. (2006). 2005 – 2010 Heat Density Trends in Data Processing, Computer Systems and Telecommunications Equipment. The Uptime Institute. Washington, EEUU. URL: [https://connect.ufl.edu/cns/DCO/ecdc/ECDC%20Construction%20Project/Whitepapers/Heat%20Density%20Trends%20\(Uptime%20Inst\).pdf](https://connect.ufl.edu/cns/DCO/ecdc/ECDC%20Construction%20Project/Whitepapers/Heat%20Density%20Trends%20(Uptime%20Inst).pdf)
- Data Clean. (2015-2017). HotLok Blanking Panels. Illinois, EEUU. URL: <https://www.dataclean.com/hotloks.htm#tabs-3>
- EchoMountain. (2015-2017). Best-Practices Data Center Redundant & Precise HVAC Systems. Illinois, EEUU. URL: <http://www.echomountain.com/redundant-hvac.html>
- Evans, T. (2004). The different types of Air Conditioning Equipment for IT environments White paper 59. Rhode Island. EEUU. URL: <http://www.apcdistributors.com/white-papers/Cooling/WP-59%20The%20Different%20Types%20of%20Air%20Conditioning%20Equipment%20for%20IT%20Environments.pdf>
- Greenberg, S.; Tschudi, W.; Wealy, J. (2006). Self-Benchmarking Guide for Data Center Energy Performance. Version 1.0, Lawrence Berkeley National Laboratory. California, EEUU. URL: https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/self_benchmarking_guide-2.pdf
- Hannaford, P. (2015) Ten Cooling Solutions to Support High Density Server Deployment White paper 42. Rhode Island. EEUU. URL: http://www.apc.com/salestools/TDOY-5U362W/TDOY-5U362W_R5_EN.pdf?sdirect=true

- Menuet, R.; Turner, P. (2006) Continuous Cooling is required for continuous availability. The Uptime Institute. Washington, EEUU. URL: http://wilsonengineered.com/Tech/TUI809ContinuousCooling_WP.pdf
- Prism Enclosures. (2015-2017). Rapid Blanking: Prism Rapid Blank System. Hertfordshire, UK. URL: <http://www.prism-online.co.uk/prism-products/data-centre-solutions/airflow-management/rapid-blanking/>
- Rasmussen, N. (2012) Avoiding Costs from Oversizing Data Center and Network Room Infrastructure, Revision 7. Rhode Island, EEUU. URL: http://www.apc.com/salestools/SADE-5TNNEP/SADE-5TNNEP_R7_EN.pdf
- Sacco, P. (2006). The Difference Between Data Centers and Computer Rooms, White Paper 1. New Jersey. EEUU. URL: <http://pts-media.com/>
- SPEC. (2017). SPECpower_ssj2008 Results URL: http://www.spec.org/power_ssj2008/results/index.html .
- Sullivan, R.; Strong, L.; Brill, K. (2004) Reducing bypass airflow is essential for eliminating computer room hot spots The Uptime Institute. New Mexico, EEUU. URL: <http://www.42u.com/pdf/WhitePaper-ReducingBypassAirflow.pdf>
- Tschudi, W.; Mills, E.; Greenberg, S.; Rumsey, P. (2006, Marzo). Measuring and Managing Data Center Energy Use. *HPAC Engineering*. URL: https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/Measure_Manage%20Data%20Centers_2006.pdf
- Tschudi, W.; Xu, T.; Sartor, D.; Nordman, J. & Sezgen, O. (2004) Energy Efficient Data Centers. California. EEUU. URL: <https://buildings.lbl.gov/sites/default/files/54163.pdf>
- TileFlow. (2017) TileFlow: Publications. URL: <http://tileflow.com/tileflow/publications.html>
- Turner, P.; Seader, J.; Brill, K. (2008). Tier classifications definition site infrastructure performance. The Uptime Institute. New Mexico, EEUU. URL: [http://www.mm4m.net/library/\(TUI3026E\)TierClassificationsDefineSiteInfrastructure.pdf](http://www.mm4m.net/library/(TUI3026E)TierClassificationsDefineSiteInfrastructure.pdf)
- VanGilder, J. Schmidt, R. (2005). Airflow uniformity through perforated tiles in a raised-floor data center. Rhode Island, EEUU. URL: http://www.apc.com/salestools/KDUP-636LVV/KDUP-636LVV_R1_EN.pdf

8. Apéndices

8.1. Prontuario de diseño para AC en CPD

Esta sección brinda más de detalle en las recomendaciones, mencionadas anteriormente, que deben considerarse para el diseño de sistemas de climatización de CPD.

8.1.1. Recomendaciones relacionadas con los Sistemas de Tecnología de la Información.

Uno de los factores que contribuyen a diseñar un sistema de climatización que satisfice de una mejor forma la carga térmica de los equipos de cómputo, es la profundidad con que se analiza características tales como la cantidad y la configuración de dispositivos internos que tiene la tarjeta madre (dentro de las opciones que permite el fabricante del equipo), la frecuencia de renovación, el porcentaje de utilización que espera tener en los gabinetes de equipos, la forma como mantiene operando sistemas redundantes, sus necesidades de operación y la importancia que tiene para el encargado del cuarto el mantener dentro del rango recomendado las variables críticas definidas por ASHRAE así como las normas que se desean cumplir, como por ejemplo niveles TIER.

Uno de los parámetros sobre los cuales puede darse más discusión respecto al valor a utilizar, es el consumo eléctrico, que influye sobre la disipación de calor esperada. Una fuente de información que resulta de mucha utilidad para el equipo de diseñadores, es la Corporación de Evaluación de Desempeño Estándar, SPEC por sus siglas en inglés. Este grupo se creó para establecer, mantener y endosar un conjunto estandarizado de evaluaciones de desempeño que se aplican a las nuevas generaciones de equipos de cómputo de alto desempeño.

En su página web, se encuentran resultados publicados de 517 pruebas a equipos de diferentes fabricantes, con configuraciones distintas en el procesador (fabricante, modelo, velocidad, cantidad de núcleos), memoria, fuente de poder, por citar algunos.

Se llevan a cabo pruebas bajo ciertos parámetros controlados, como la temperatura ambiente, como resultado se obtienen detalles como la potencia del equipo en su condición de máxima demanda. Este dato es de mucha utilidad para definir el consumo de los equipos de cómputo dentro del Centro de Procesamiento de Datos.

Por ejemplo, la Ilustración 8-1 muestra los datos graficados de potencia activa y de temperatura ambiente durante la prueba. En este ejemplo en particular, el equipo contaba con una fuente de poder de 550 W mientras que la máxima potencia activa medida fue de 255 W, que se dio en el proceso de calibración. Este es un ejemplo más de la importancia de seleccionar el dato correcto a la hora de definir la disipación de calor.

Se recomienda solicitar los datos de consumo esperados según la guía generada por ASHRAE para cada uno de los tipos de equipos de cómputo, similar al que viene en la Ilustración 8-1. Este reporte incluye, para cada configuración posible, datos sobre:

- Descripción
- Disipación de calor en estado estable.
- Dimensiones
- Peso
- Características del flujo de aire
- Diagrama de flujo de aire a través del gabinete
- Designación de la clasificación ambiental según ASHRAE

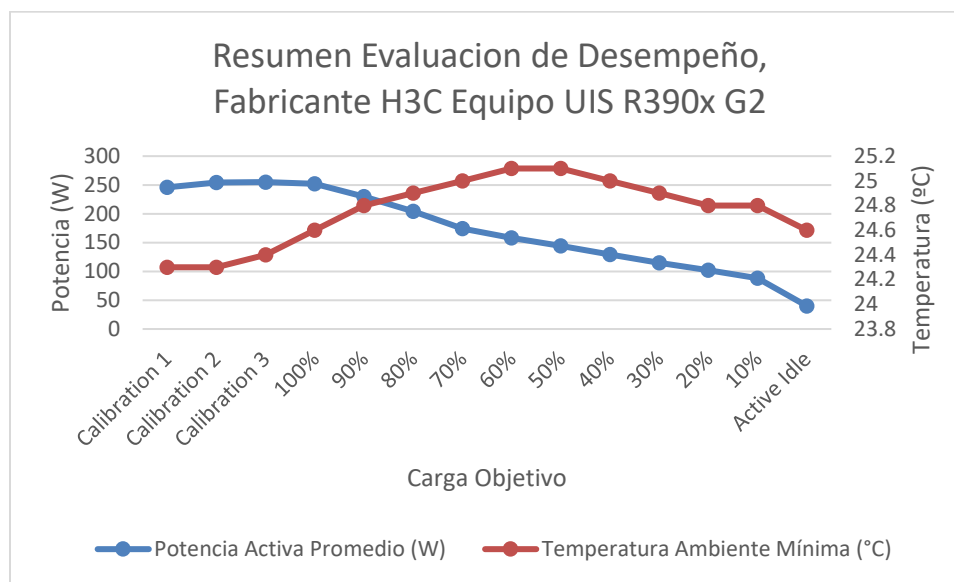


Ilustración 8-1 Ejemplo de reporte de evaluación de desempeño, (SPEC, 2017)

8.1.2. Utilización de diagramas de distribución de planta e inventario de equipos.

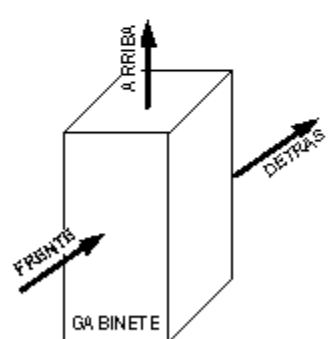
Una guía para llevar el control de los equipos, es el uso de un diagrama con la distribución del cuarto (similar al utilizado en la Ilustración 3-7), incluir además información relacionada con el detalle de las cargas eléctricas y las características de los equipos; funciona también como un resumen de todos los datos y permite identificar cambios de equipo por reemplazo, renovación, ampliación, obsolescencia, así como cualquier modificación en equipo que pueda repercutir en la carga térmica del cuarto y que implique una modificación en la instalación electromecánica.

Este diagrama, se complementa con un inventario o matriz, que caracteriza cada gabinete de equipos, la cantidad y tipo de cada uno de los servidores (modelo, fabricante, año, configuración), porcentaje de ocupación de cada gabinete actual (en el caso de un cuarto existente) o esperado. Por cada fila de gabinetes, se lograría especificar el consumo eléctrico máximo y promedio.

La información de las cargas del cuarto y el diagrama le permite al diseñador especificar una densidad de carga, definida como potencia por unidad de gabinete o por unidad de área. Este dato es útil para definir límites a los equipos que se pretende instalar y, en caso que se surja la necesidad de instalar un equipo que sobrepasa ese

valor predeterminado, el diagrama permite identificar zonas de menor densidad, en las cuales se aprovecha esa condición para “compartir” lo que los otros servidores no necesitan.

XYZ Co. Servidor modelo abc: Configuraciones típicas.									
	Condición					Peso		Dimensiones generales ^b , (Ancho x Profundidad x Altura)	
	Voltaje 110 V	Flujo de aire ^a , nominal	Flujo de aire máximo a 35°C						
Descripción	Disipación típica de calor Watts		cfm	m ³ /h	cfm	m ³ /h	lbs	kg	pulgadas
Configuración mínima	1765	400	680	600	1020	896	406	30 x 40 x 72	762 x 1016 x 1828
Configuración completa	10740	750	1275	1125	1913	1528	693	61 x 40 x 72	1549 x 1016 x 1828
Configuración típica	5040	555	943	833	1415	1040	472	30 x 40 x 72	762 x 1016 x 1828

Clase según ASHRAE 1, 2, 3		Configuración mínima	1 CPU – A, 1 GB memoria, 2 I/O
		Configuración completa	8 CPU – B, 16 GB memoria, 64 I/O (2 tarjetas memoria)
		Configuración típica	4 CPU – A, 8 GB memoria, 32 I/O (2 tarjetas memoria)

a. Los valores de flujo de aire son para una densidad de 1.2 kg/m³ (0.075 lb/ft³). Esto corresponde a aire a 20°C (68°F), 101.3 kPa (14.7 psia) y 50% humedad relativa.

b. La huella no incluye el espacio necesario para mantenimiento o cableado, el cual es cero a los lados, 1168 mm (46 pulg.) al frente y 1016 mm (40 pulg.) por detrás.

Ilustración 8-2 Ejemplo de reporte térmico (ASHRAE, 2015).

Una vez que se entiende la carga de diseño y la densidad especificada del cuarto, puede hacerse análisis con un pronóstico de las cargas esperadas al cabo de cierto tiempo, con la ayuda de las tendencias identificadas (ASHRAE, 2015) . Esto permite

entender si el cuarto puede llegar a quedarse sin capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios y de los dueños así como anticipar acciones correctivas.

En el diagrama se debe incluir, además de la ubicación de los gabinetes, los pasillos calientes y fríos, la ubicación de los equipos de aire acondicionado, la posición de las rejillas de suministro y retorno de aire, así como cualquier obstrucción al flujo de aire como lo son las columnas, rampas, entre otros. Esto ayuda a comprender el acomodo de todos los objetos dentro del cuarto así como las posibles interferencias o restricciones que tenga el flujo del aire, por ejemplo.

Una muestra de una matriz que lleva el inventario de gabinetes y de equipos dentro de gabinetes se muestra a continuación.

Rack ID	Brand	U	Status (1=ON, 0=OFF)	IT Group	Electrical Panel	Outlet 1	Outlet 2	Nominal power consumption (Amps)	Nominal power consumption (Kw)	Available rack U	Available power (Amps)
A/1	None	0	0	XXX	AP / BP	B-5 CKT 33		5.5	0.0	0	10.5
A/5	NCR	40	1	YYY	AP / BP	N/A	N/A	8.5	0.9	21	15.5
A/6	Network Appliance	36	1	IT ZZZ	AP / BP	A-5 CKT #17-19	B-8 CKT #13-15	25.0	5.2	20	-1.0
A/7	Network Appliance	36	1	IT ZZZ	AP / BP	A-5 CKT 25,27	B-8 CKT 14,16	20.7	4.3	6	3.3
A/9	Compaq	42	1	IT XYZ	AP / BP	N/A	N/A	8.2	0.9	17	15.8
A/10	Compaq	42	1	IT XYZ	AP / BP	A-15 CKT # 9-11	N/A	9.1	1.0	14	14.9
A/11	HP	42	1	ITZZZ	AP / BP	A-5 CKT # 5-7	A-5 CKT # 1-3	16.7	3.0	24	7.3
B/1	HP	42	1	ITXXX	AP / BP	CR1-1APDU1A-BCR CKT #09,11	CR1-1APDU1B-BCR CKT #21,23	15.6	2.467	22	8.4
B/2	Compaq	42	1		AP / BP	A-1 CKT #6 Sub Recep G	A-1 CKT #6 Sub Recep H	18.5	2.378	11	5.5

Ilustración 8-3 Inventario de Gabinetes en Centro de Proceso de Datos. Fuente: el autor.

La primera sección muestra, por gabinete (rack), información detallada sobre:

- Fabricante,
- Capacidad nominal del gabinete en unidades U
- Si se encuentra encendido o no
- Panel eléctrico que lo alimenta
- Circuito donde está conectado
- Consumo nominal, corriente (amperios) disipación térmica (watts)

- Espacios disponibles, en unidades U
- Disponibilidad eléctrica, en amperios.

La segunda sección analiza los servidores dentro de cada gabinete, se incluye información detallada sobre:

- Ubicación dentro de cada gabinete
- Fabricante del servidor
- Nombre del servidor
- Modelo del servidor
- Cliente atendido
- Si se encuentra encendido o no
- Voltaje de alimentación
- Consumo nominal del servidor, corriente y disipación térmica
- Espacio ocupado, en unidades U
- Circuito que lo alimenta

Rack ID	Brand	Server name	Server model	Business group	Status (1=On, 0=Off)	Voltage	Nominal Power Consumption (Amps)	Nominal power Consumption (Kw)	Space used (Rack U)	Circuit 1	Circuit 2
A/1	Sun	MONITOR	GDM-5010PT	XXX	0	110	1.0	0.000	0		
A/1	Sun	CRLS6000	SUN ULTRA 60	XXX	0	110	3.0	0.000	0		
A/1	Sun	CRILC6000	IBM INTELLISTATION Z PRO	XXX	0	110	1.5	0.000	0		
A/5	NEC	Monitor	Multisinc E500	YYY	1	110	1.5	0.165	9		B-5 CKT 23
A/5	Compaq		Proliant 6400R	YYY	1	110	4.0	0.440	4	B-5 CKT 21	B-5 CKT 23
A/5	HP		DL 380 R01	YYY	1	110	3.0	0.330	3	B-5 CKT 27	
A/6	Network Appliance	T67FILE1	NETAPPS F840C	IT ZZZ	1	208	12.5	2.600	5	A-5 CKT#17	B-8 CKT#13- 15
A/6	Network Appliance	T67FILE2	NETAPPS F840C	IT ZZZ	1	208	12.5	2.600	5		
A/7	Network Appliance		NETWORKAPPLIANCE DH14MK2 (14 DISKS)	IT ZZZ	1	208	2.3	0.478	3		

Ilustración 8-4 Inventario de servidores y equipos dentro de Gabinetes. Fuente: el autor.

Con el objeto de no perder control de las cargas que se instalan o desinstalan, es crítico que se actualicen en tiempo real estas dos matrices, los beneficios son grandes ya que puede preverse donde hay capacidad de instar un servidor adicional fácilmente.

8.1.3. Recomendaciones relacionadas con la distribución del cuarto.

La forma como se distribuya el cuarto es fundamental para el buen desempeño, es sugerido que su forma sea lo más regular posible, semejante a un rectángulo.

El protocolo pasillo caliente – pasillo frío es altamente recomendado, tanto a nivel de gabinetes como a los equipos dentro de los gabinetes. Los pasillos fríos deben ser de un ancho mínimo de 1.2 metros (48 pulgadas). En caso de ser piso falso, que sea posible remover dos filas de rejillas de piso. Todos los suministros de aire, rejillas de cielo o de piso, deben ubicarse en pasillo frío, a menos que exista justificación técnica para ubicarlos en otro lugar. En el caso de los pasillos calientes, el ancho mínimo recomendado es de 0.91 metros (36 pulgadas). En caso de ser piso falso, con posibilidad de remover al menos una fila completa de rejillas de piso.

Si bien es cierto no existe una preferencia indicada en la literatura consultada, en relación a si los gabinetes deben de alinearse con el pasillo frío o con el caliente, la recomendación es hacerlo según la primer opción. El tamaño estándar de un gabinete es de 0.61 metros (2 pies) de ancho por una profundidad que depende del fabricante, por lo general más de 0.61 metros (2 pies), por lo que siempre ocupa más de dos láminas de piso de tamaño normalizado, 0.37 metros cuadrados, 4 pies cuadrados de área.

Si el cuarto tiene distribución de aire mediante piso falso, entonces la elección del alineamiento y la de utilizar un tiro de pasillo de 7 láminas de piso, asegura que se tenga una rejilla de suministro de aire por cada gabinete de servidores, en lugar de compartir una rejilla de suministro por cada dos gabinetes de servidores. En el caso de utilizar un tiro de pasillo de 8 láminas, esta condición no representa limitación alguna, por cuanto se asegura una rejilla de suministro y una de retorno por cada gabinete.

El tiro de pasillo depende también de la carga eléctrica de los equipos, esta determina la cantidad de aire que debe suministrar cada rejilla de suministro y es una consideración adicional para el diseñador mecánico; es importante entender el impacto en el área de piso falso requerida de una opción respecto a la otra, ya que la selección de un tiro de pasillo de 8 láminas implica un 14% más de espacio y de piso falso comparada con el de 7 láminas, lo que al final implica más inversión.

No se recomienda instalar suministros de aire en los pasillos calientes, a menos que sea por razones técnicas, como el reducir la temperatura de retorno a la unidad de aire acondicionado.

Los cables de potencia sean instalados preferiblemente en el pasillo frío para minimizar las restricciones al flujo de aire de retorno, así como los cables de datos en pasillo caliente.



Ilustración 8-5 Ejemplo de instalación con inadecuado acomodo de cableado. (Hannaford, 2015).

Se debe verificar la no existencia de obstrucciones al flujo de aire y el adecuado manejo de instalación de cables. La Ilustración 8-7 es un ejemplo de una instalación que puede mejorar sustancialmente el acomodo de cables y cuyo resultado es un mejor flujo de aire.

8.1.4. Recomendaciones relacionadas con la adecuada distribución del aire.

La carga térmica del cuarto determina la cantidad de aire que se debe manejar y por ende influye en la altura del piso falso, es importante considerar en el diseño si se espera que se presenten obstrucciones o si se tiene pensado que las tuberías o cables de potencia generen resistencia al flujo de aire.

Se recomienda instalar solamente el número necesario de rejillas perforadas para disipar el calor generado por el equipo dentro del gabinete, lo ideal es que la rejilla de suministro de piso sea ubicada en el área inmediatamente adyacente al gabinete.

En el caso de que se utilice piso falso, es importante comprender el desempeño de rejillas con un 25% de área libre respecto a las de 56% de área libre, se encontró información anecdótica de que las primeras permiten un flujo uniforme y más predecible, comparadas con las de 56% de área libre.

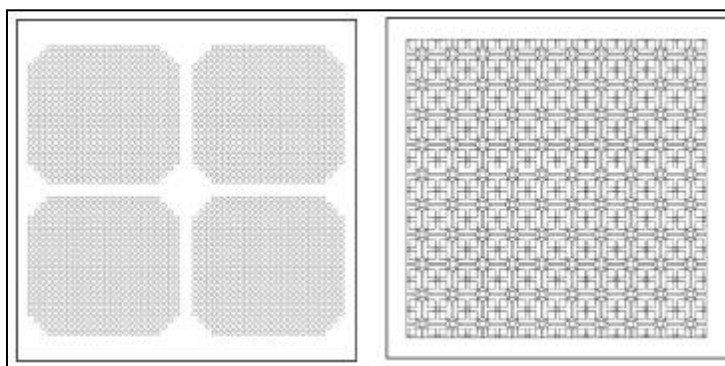


Ilustración 8-6 Dos tipos de rejillas perforadas de piso para suministro de aire: 25% área libre nominal (izquierda) 56% área libre nominal (derecha) (VanGilder, Schmidt, 2005)

El uso de persianas o “dámper” contra flujo en las rejillas perforadas no se recomienda, por cuanto pueden reducir el flujo hasta una tercera parte y pueden cerrarse sin control. Otra precaución adicional es que pueden desprenderse hojuelas del material que recubre el “dámper”, que impulsadas por el flujo de aire se ha visto que llegan a los equipos, dañándolos. Estos accesorios se recomiendan instalar, solamente en las unidades de aire acondicionado, para que en caso de mantenimiento o falla no se despresurice el piso falso.

Dentro de los factores que afectan la presurización adecuada del piso falso y que el diseñador debe considerar, es el adecuado sellado de cualquier penetración o pasado de conductos eléctricos o mecánicos que viole su integridad. El paso de estos conductos puede ser una forma de perder aire, por lo que su cuidado y especificación es importante para asegurar que la presión se mantiene dentro de los límites recomendados. Esto aplica no solo al piso falso, sino también a cualquier penetración que permita el flujo de aire no tratado hacia dentro o hacia fuera del volumen de control.

Otro factor que influye en una distribución del aire es la ubicación del equipo de enfriamiento, la recomendación general es de instalar las unidades al final de las filas de gabinetes, alineadas con el pasillo caliente de ser posible, para que el retorno de aire sea más fácil y rápido y la recirculación indeseada de aire sea menos propensa. Para cada fila o zona de enfriamiento, lo ideal es que las unidades se encuentren frente a frente, lo cual asegura una distribución uniforme del enfriamiento.

Las rejillas de suministro de aire deben ubicarse lejos de las descargas de las unidades de aire acondicionado, como mínimo a 1.8 metros (6 pies), ya que ese es el punto donde el aire tiene más velocidad y al aire no fluye a través de la rejillas. En todo caso, una de las formas de asegurar éxito en la distribución del aire en un piso falso es con uniformidad, las rejillas de suelo pueden tener hasta 30% variación respecto a los valores de diseño y mantenerse dentro de valores aceptables.

Respecto a la utilización de un sistema que distribuya el aire por piso falso o por medio de ductos a nivel de cielo suspendido, no se ha encontrado preferencia de uno sobre otro. Por el momento es una situación que depende del caso específico, sin embargo se hace la sugerencia de no dejarse llevar por el hecho de que el sistema predominantemente utilizado es el piso falso, ya que se ha concluido en otros estudios que el segundo tiene ciertas ventajas sobre el otro, como se explicó en secciones anteriores.

En caso de decidirse por un sistema de ductos, de las sugerencias que se tienen a la hora del dimensionado es que, se haga un análisis económico para justificar el tamaño más grande posible, dado que la potencia en abanicos es uno de los puntos fundamentales que afectan el costo total de operación del cuarto, sobre todo si se analiza a largo plazo.

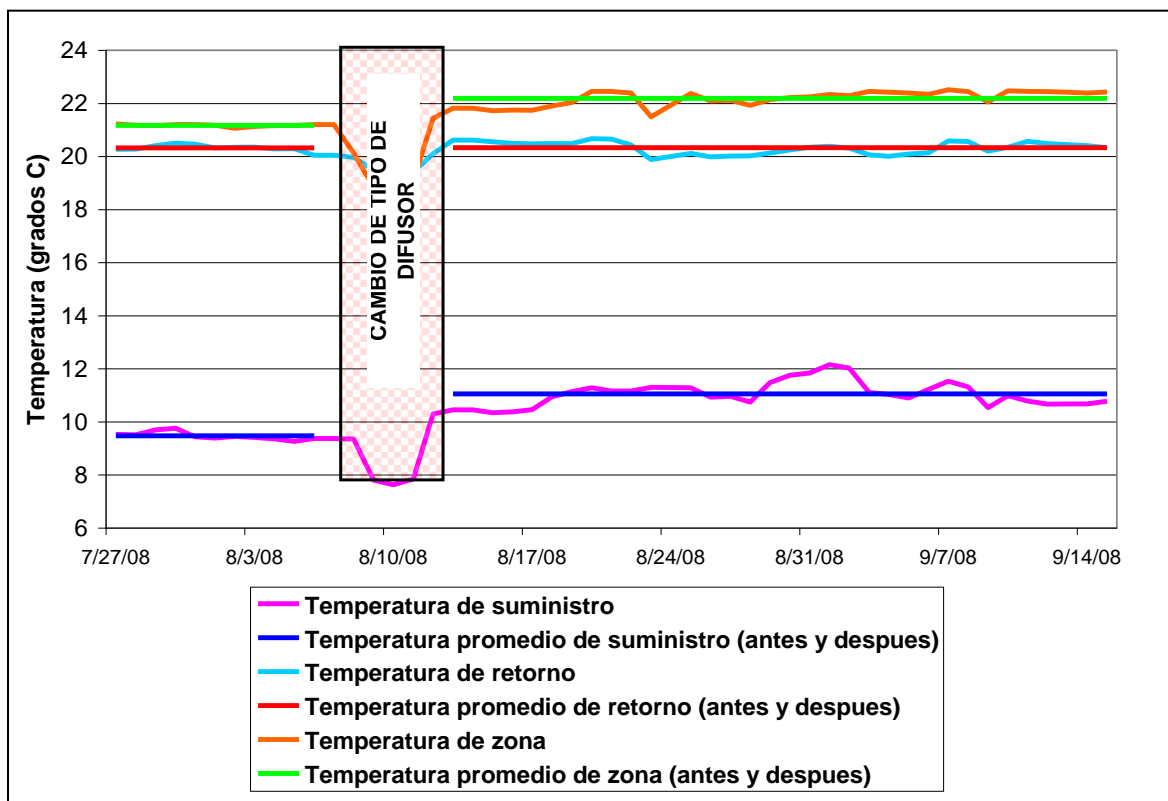


Ilustración 8-7 Proyecto cambio de difusores de suministro. Fuente: el autor.

La selección del tipo de difusor de suministro, si se opta por una distribución por ductos, es crítica para asegurar una buena distribución de aire, además de repercutir positivamente en otros aspectos. Durante el período de análisis del CPD, se llevó a cabo el cambio de rejillas de suministro por unas cuyo patrón de descarga se ajustara de forma tal que fuera lo más vertical posible. Se analizó el comportamiento de parámetros una semana antes y cuatro semanas después y los resultados fueron muy interesantes.

El nuevo patrón de descarga mejoró la mezcla de aire dentro del cuarto por cuanto se logró hacer el ambiente un poco más turbulento, los espacios calientes fueron menos evidentes y se alcanzó a subir la temperatura de suministro, en promedio 1.5° C, sin cambios evidentes en la temperatura de retorno y la temperatura de la zona subió 1° C.

Es de esperar que la cantidad de aire que se condensa en el serpentín disminuya, al pasar la temperatura de suministro de 9.5° C a 11.1° C, lo cual permite más ahorro energético ya que se necesita menos trabajo del sistema de humidificación. A parte de este ahorro, el conjunto de compresores tiene menos trabajo, ya que las condiciones ambientales se alcanzan exitosamente a una temperatura de suministro mayor. El

comportamiento de las temperaturas se observa en la Ilustración 8 – 10. En ella se muestra la temperatura promedio de suministro, zona y retorno para las dos unidades principales que alimentan el cuarto de servidores. También se graficaron los valores promedio de los días antes y después del cambio.

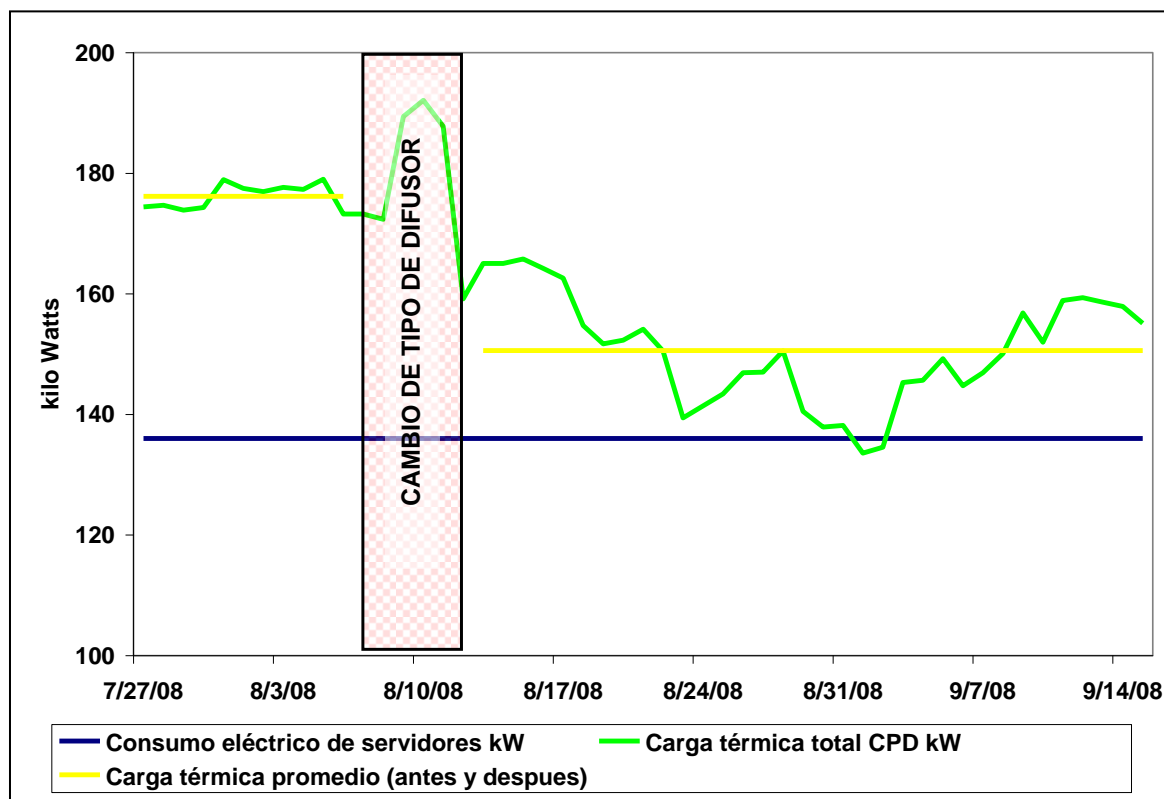


Ilustración 8-8 Consumo eléctrico y carga térmica, CPD. Fuente: el autor.

Durante todo el período de análisis la carga activa representada por el consumo eléctrico de los servidores se mantuvo constante en 136 kW y se observó una disminución en la carga térmica estimada para las dos unidades de aire acondicionado, esto se relaciona directamente con lo que se comentó en el párrafo anterior, cuando originalmente se encontraba en 176 kW se observó una reducción de 25 kW en carga térmica para el período posterior al cambio. Este comportamiento se observa en la Ilustración 8 - 11.

La Ilustración 8-12 muestra el último parámetro analizado, la razón de potencia eléctrica utilizada en los equipos de enfriamiento respecto a la potencia eléctrica utilizada

en el trabajo de los servidores. Al mantenerse constante la carga eléctrica que demandan los servidores, pero enfriándose de una mejor forma, el índice mejora en un 85%.

Un punto adicional es el control del aire, si luego de absorber calor de un servidor es tomado por otro servidor para absorber calor, antes de retornar a la unidad de aire acondicionado, se dice que recircula, esto hace que aire caliente se mezcle con aire frío. Si el cuarto es deficiente en controlar el flujo de aire hacia y desde las unidades de aire acondicionado, entonces se compensa bajando la temperatura de suministro, lo cual es incongruente con el principio de diseño y operación.

Este fenómeno, más probable en los servidores que se encuentran en la parte superior de los gabinetes, se muestra en la Ilustración 8-13.

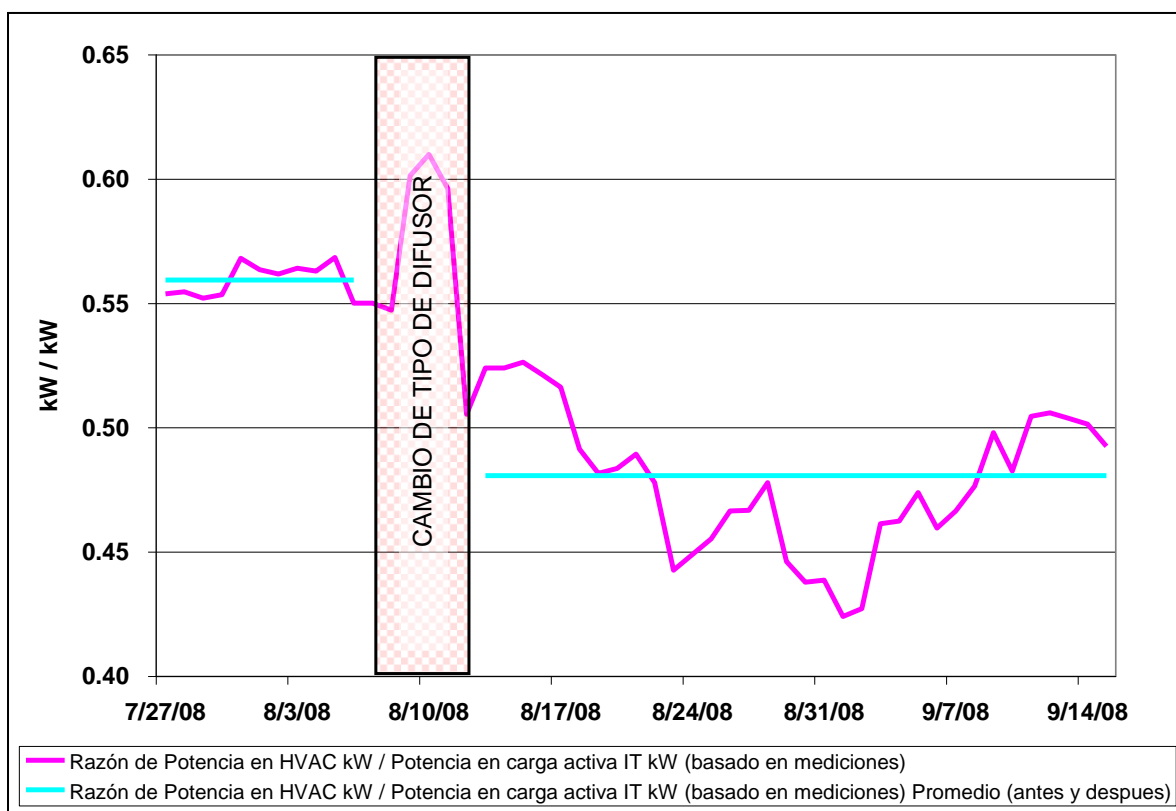


Ilustración 8-9 Razón potencia eléctrica en equipos HVAC a potencia eléctrica equipos cómputo. Fuente: el autor.

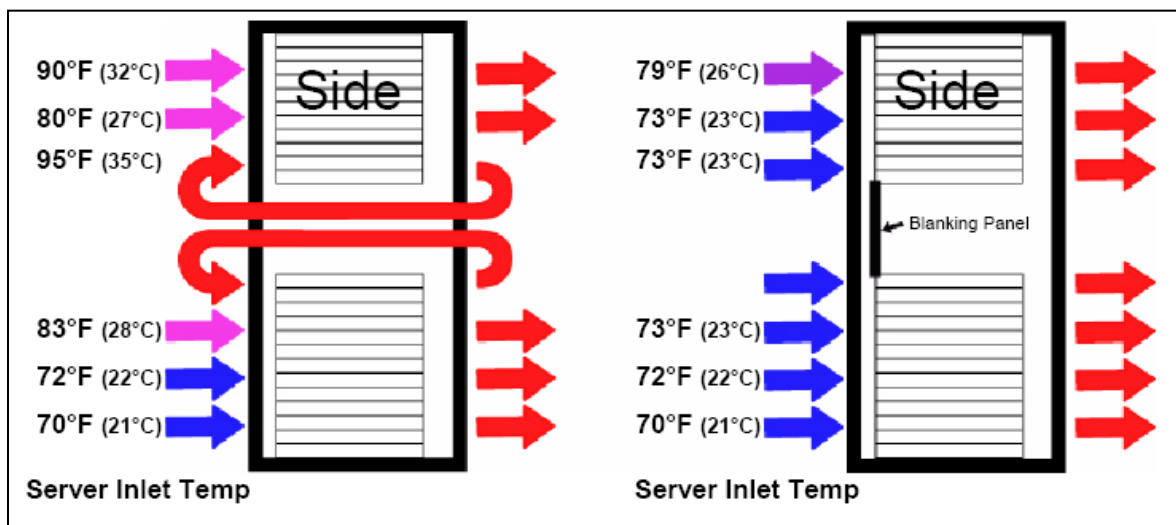


Ilustración 8-10 Efecto de la instalación de "blanking panels" en la temperatura de entrada de los servidores. (Hannaford, 2006)

8.1.5. Recomendaciones generales.

Una vez que se tenga clara la carga térmica del cuarto, en lo que respecta a los equipos dentro de él, deben incluirse todos aquellos factores que la incrementan, tales como la transferencia de calor por paredes, techo, piso, ventanas, migración de humedad, filtración desde o hacia el cuarto, gente, por mencionar algunos. Para asegurar un adecuado cálculo, todos estos puntos deben tomarse en cuenta, ya que una vez operando el sistema y en caso de que algo no funcione de acuerdo a lo que se diseñó, es una forma de eliminar posibles causas de error a la hora de analizar el sistema, a pesar de que pueden no ser un valor representativo.

Un punto importante es el sistema de monitoreo y control de los equipos de enfriamiento de aire. La ubicación de los sensores debe ser escogida cuidadosamente, de forma tal que el punto de monitoreo corresponda al lugar que se desea. ASHRAE indica cuales son las ubicaciones recomendadas (ASHRAE, 2015), la temperatura del aire puede ser controlada en la entrada de los equipos de cómputo, es por esta razón que el ingeniero de control y el ingeniero mecánico deben de coordinar el mejor lugar para que la reacción a la temperatura de la unidad de aire acondicionado sea la que se debe llevar a cabo. La sugerencia de ASHRAE es que el sensor se instale a una altura de 1.5 metros (5 pies), cada cuatro gabinetes en una fila, en medio de los pasillos fríos. La

Ilustración 8-16 muestra un esquema de acomodo de servidores y los puntos sugeridos de medición de temperatura y humedad.

Existen dispositivos que se venden para instalar dentro de los gabinetes de servidores para tomar los valores de temperatura los cuales se pueden coordinar entre disciplinas para que representen el valor de referencia para el control.

El último punto de las recomendaciones generales, es el uso de programas de cómputo que simulen la dinámica del flujo de aire en un cuarto de cómputo. En caso de que se cuente con éste recurso, es una oportunidad de ver el cuarto trabajando, bajo ciertos supuestos, pero que permite identificar áreas de mejora y las formas de optimizar el diseño, la ubicación de las rejillas de suministro y de retorno, además de capturar potenciales problemas de alta temperatura en la entrada de aire a los servidores dentro de los gabinetes, recirculación del aire, entre muchos otros beneficios.

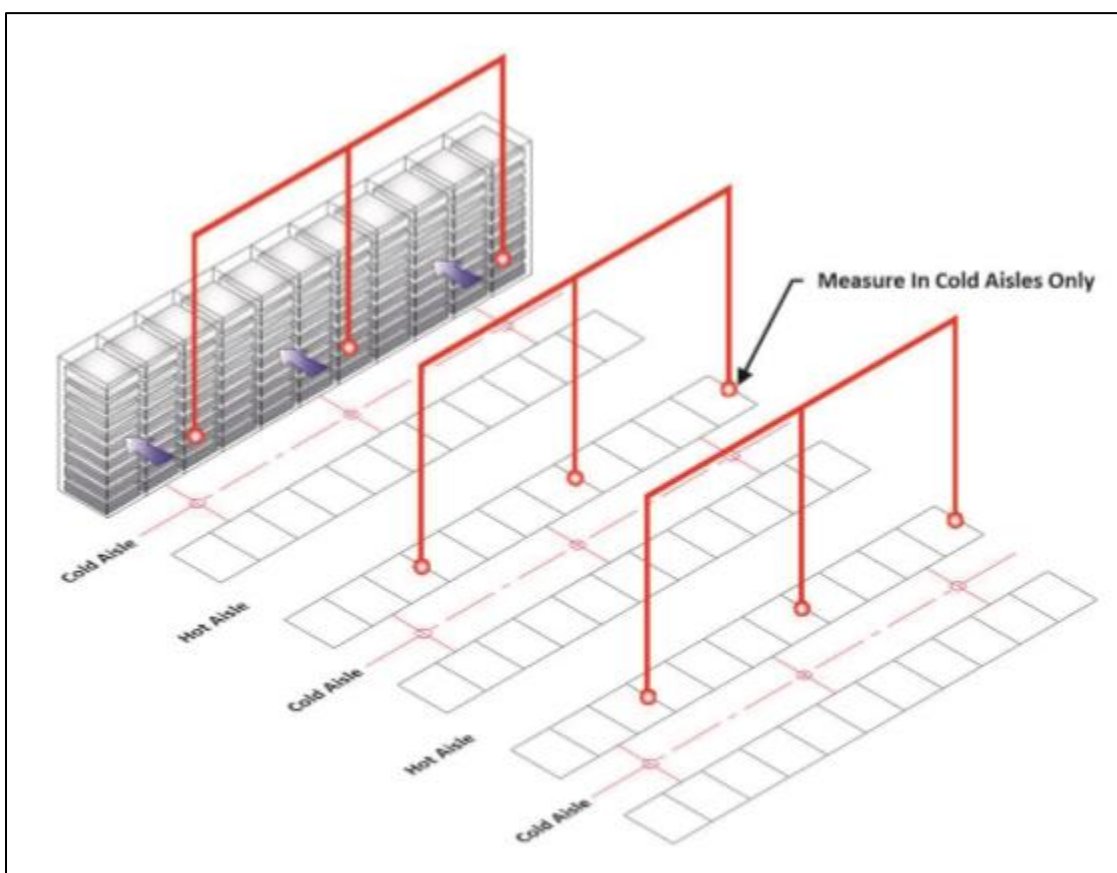


Ilustración 8-11 Puntos de verificación de condiciones ambientales en protocolo pasillo caliente pasillo frío. (ASHRAE, 2015)

En ocasiones se requieren los resultados de las simulaciones de cómputo para demostrar que el cuarto cumple con ciertos niveles de eficiencia mínimo. Además de ser una herramienta, la inversión en simulaciones permite identificar oportunidades de ahorro desde etapas tempranas de diseño conceptual hasta ahorros operativos.

Como siempre, se debe ser precavido ya que la calidad del resultado de la simulación depende de la calidad de la información que lo alimenta, además que si se va a utilizar para simular instalaciones existentes, debe de haberse realizado previamente una auditoria e inspección para resolver cualquier tipo de problemas evidentes o que puedan alimentar los supuestos iniciales de la simulación, por tanto si no se incluyen arrojan datos erróneos que más bien pueden confundir a quienes los interpretan.

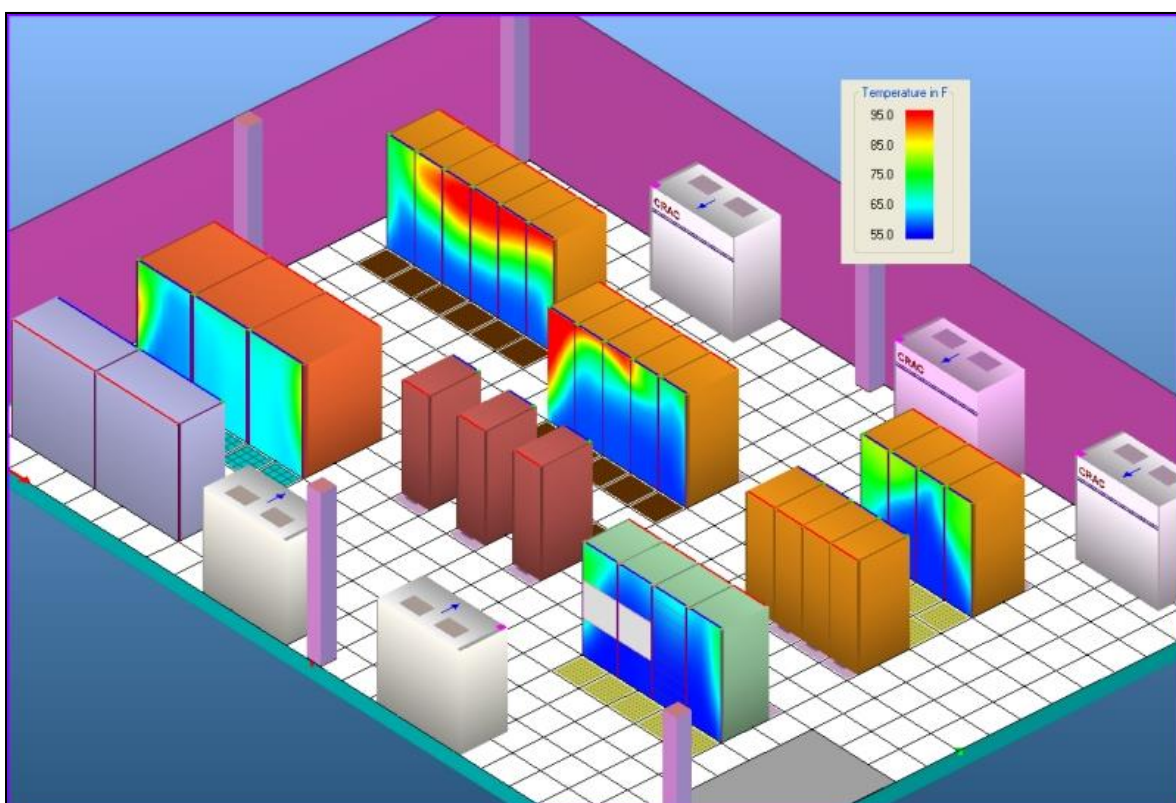


Ilustración 8-12 Ejemplo de mapa de distribución de temperaturas en gabinetes, (TileFlow, 2017).

Para mencionar uno de los programas que se conocen para modelado de Centro de Procesos de Datos, se tiene el TileFlow, el cual permite tener reportes como:

- Distribución de flujos de aire y temperaturas en planos horizontales y verticales.
- Patrones de flujo de aire en un Centro de Proceso de Datos.
- Distribución de flujos de aire a través de láminas de piso perforadas o penetraciones para el paso de cables.
- Distribución de presiones y temperaturas debajo del piso falso.
- Mapa de distribución de temperaturas en gabinetes.

Estos son ejemplos de lo que se puede hacer con un programa de modelado de CPD, de lo observado en el campo permite entender el comportamiento de los componentes dentro del recinto, para entender el efecto sobre los flujos de aire y sobre la eficiencia de enfriamiento de los gabinetes, así como el comportamiento de las unidades de aire acondicionado, al verificar si las que operan lo hacen de la mejor forma o si se pueden hacer cambios que permitan un mejor desempeño, antes de construir el lugar.

9. Memoria de Cálculo

Cuadro 9-1 Datos obtenidos para análisis I. Fuente: el autor

fecha	CR1 AHU 48 Temperatura promedio de suministro	CR1 AHU 48 temperatura zona	CR1 AHU 48 Temperatura promedio de retorno	CR1 AHU 49 Temperatura promedio de suministro	CR1 AHU 49 temperatura zona	CR1 AHU 49 Temperatura promedio de retorno	CR1 AHU 48 DT	CR1 AHU 49 DT	CR1 AHU 48 Carga sensible kW	CR1 AHU 49 Carga sensible kW	Carga térmica total CPD kW
10/4/07	9.1	21.5	20.3	9.4	23.0	20.6	11.2	11.1	91	90	181
10/7/07	9.0	21.3	20.3	9.3	22.8	20.6	11.3	11.2	92	91	183
10/10/07	8.9	21.2	20.3	9.4	22.8	20.6	11.4	11.2	92	91	183
10/17/07	8.4	21.1	20.3	9.0	22.5	20.6	11.8	11.6	96	94	190
10/20/07	10.1	22.1	20.8	9.6	23.4	20.6	10.8	11.0	87	89	177
10/22/07	11.2	22.7	20.8	9.9	23.4	21.1	9.6	11.2	78	91	169
10/23/07	11.2	22.7	20.8	9.8	23.5	21.1	9.6	11.3	78	92	170
10/26/07	11.0	22.7	20.8	9.7	23.5	21.1	9.8	11.4	80	93	172
10/27/07	11.1	22.7	20.7	9.7	23.7	20.7	9.6	10.9	78	89	167
10/28/07	11.6	22.7	20.9	9.0	23.7	21.4	9.4	12.4	76	101	177
10/29/07	11.2	22.7	20.9	9.6	23.9	21.1	9.7	11.4	79	93	171
10/30/07	9.8	22.1	20.8	10.8	23.9	21.2	11.0	10.4	89	84	174
11/1/07	8.2	20.6	20.0	10.4	23.2	21.1	11.8	10.7	96	87	182
11/3/07	8.2	20.6	20.3	10.4	23.2	21.1	12.1	10.7	98	87	185
11/4/07	8.2	20.6	20.2	10.4	23.2	20.7	12.0	10.2	97	83	180
11/5/07	8.2	20.5	20.2	10.5	23.0	21.0	12.0	10.5	97	85	183
11/6/07	8.2	20.5	20.2	10.4	23.1	20.8	12.0	10.4	97	84	182
11/7/07	8.2	20.5	20.2	10.1	23.1	20.9	11.9	10.8	97	88	185
11/8/07	8.9	20.5	20.2	11.2	21.7	19.9	11.2	8.7	91	71	162
11/9/07	11.2	19.9	20.0	11.3	20.1	20.0	8.8	8.7	71	71	142
11/10/07	12.0	19.7	20.0	7.8	21.3	20.3	7.9	12.5	64	102	166
11/11/07	9.4	20.3	20.0	7.7	21.8	20.1	10.6	12.4	86	101	187
11/12/07	9.1	20.3	20.1	8.1	22.2	20.6	11.0	12.5	90	101	191
11/13/07	8.6	20.5	20.3	9.4	22.8	21.2	11.7	11.9	95	96	191
11/14/07	8.8	20.6	20.1	9.0	22.8	20.7	11.4	11.8	92	96	188
11/15/07	8.9	20.6	20.3	8.8	22.8	20.7	11.4	11.9	93	97	189
11/16/07	8.9	20.5	20.3	9.0	22.8	21.1	11.5	12.1	93	98	192
11/17/07	8.9	20.4	20.2	8.3	22.6	21.1	11.3	12.8	92	104	195
11/18/07	8.9	20.4	20.2	8.5	22.5	21.1	11.3	12.6	92	102	194
11/19/07	8.9	20.4	20.2	8.4	22.7	21.2	11.2	12.8	91	104	195
11/20/07	9.3	20.3	20.2	8.8	22.8	21.1	10.9	12.3	89	100	189
11/27/07	9.4	19.1	19.9	8.1	22.1	20.5	10.5	12.4	85	101	186
11/28/07	9.2	19.3	19.9	9.0	22.6	20.4	10.7	11.4	87	93	180
11/29/07	9.0	19.4	20.0	9.0	22.7	20.4	10.9	11.4	89	93	182
11/30/07	9.1	19.4	20.0	9.0	22.8	20.3	10.9	11.3	88	91	180
12/1/07	9.0	19.3	19.9	8.8	22.6	20.2	10.9	11.4	89	92	181
12/2/07	9.1	19.2	20.0	8.5	22.5	20.2	10.8	11.6	88	95	182
12/3/07	8.9	19.2	20.0	8.6	22.5	20.2	11.0	11.6	89	94	184
12/4/07	10.4	19.6	20.0	8.5	22.4	20.3	9.6	11.8	78	96	174
12/5/07	11.5	20.5	20.3	8.1	22.5	20.8	8.8	12.7	71	103	174
12/6/07	11.1	20.5	20.3	8.8	23.1	20.8	9.2	12.0	75	97	172
12/7/07	10.9	20.6	20.3	9.5	23.4	20.4	9.4	10.8	76	88	164
12/8/07	11.0	20.5	20.2	9.3	23.5	20.4	9.2	11.1	75	90	165
12/9/07	11.1	20.5	20.4	9.3	23.5	21.0	9.3	11.7	75	95	170
12/10/07	10.9	20.5	20.4	8.9	23.3	20.7	9.4	11.8	76	96	172
12/13/07	11.3	20.5	20.0	7.9	22.3	20.2	8.7	12.3	71	99	170
12/14/07	11.5	20.5	20.1	7.7	21.9	20.5	8.6	12.7	70	103	173
12/15/07	11.4	20.5	20.1	7.9	22.2	20.7	8.6	12.8	70	104	174

Cuadro 9-2 Datos obtenidos para análisis II. Fuente: el autor.

fecha	Consumo eléctrico de servidores kW	Razon Carga Térmica kW / Carga activa eléctrica servidores kW	CR1 AHU 48 Capacidad enfriamiento sensible estimada kW	CR1 AHU 49 Capacidad enfriamiento sensible estimada kW	CR1 AHU 48 Factor de Utilización	CR1 AHU 49 Factor de Utilización	CR1 Factor de Utilización Total	CR1 AHU 48 Carga enfriamiento total estimada	CR1 AHU 49 Carga enfriamiento total estimada
10/4/07	138.3	1.31	114	114	80%	79%	80%	152	150
10/7/07	138.3	1.32	114	114	80%	80%	80%	153	152
10/10/07	138.3	1.32	114	114	81%	80%	80%	154	151
10/17/07	138.3	1.37	114	114	84%	82%	83%	160	156
10/20/07	138.3	1.28	114	114	77%	78%	78%	146	149
10/22/07	138.3	1.22	114	114	68%	80%	74%	130	151
10/23/07	138.3	1.23	114	114	68%	80%	74%	130	153
10/26/07	138.6	1.24	114	114	70%	81%	76%	133	154
10/27/07	138.6	1.20	114	114	68%	78%	73%	130	148
10/28/07	138.6	1.28	114	114	67%	89%	78%	127	168
10/29/07	138.6	1.23	114	114	69%	81%	75%	131	154
10/30/07	139.6	1.24	114	114	78%	74%	76%	149	141
11/1/07	139.6	1.30	114	114	84%	76%	80%	159	144
11/3/07	139.6	1.32	114	114	86%	76%	81%	163	145
11/4/07	139.6	1.29	114	114	85%	73%	79%	162	138
11/5/07	139.6	1.31	114	114	85%	75%	80%	162	142
11/6/07	139.6	1.30	114	114	85%	74%	80%	162	140
11/7/07	139.6	1.32	114	114	85%	77%	81%	162	146
11/8/07	139.6		114	114	80%	62%	71%	152	118
11/9/07	139.6		114	114	62%	62%	62%	119	118
11/10/07	139.6		114	114	56%	89%	73%	107	169
11/11/07	139.6	1.34	114	114	75%	88%	82%	143	168
11/12/07	139.6	1.37	114	114	79%	89%	84%	149	168
11/13/07	139.6	1.37	114	114	83%	84%	84%	158	160
11/14/07	139.6	1.35	114	114	81%	84%	82%	154	159
11/15/07	139.6	1.36	114	114	81%	85%	83%	154	162
11/16/07	139.6	1.37	114	114	82%	86%	84%	155	164
11/17/07	139.6	1.40	114	114	80%	91%	86%	153	173
11/18/07	139.6	1.39	114	114	80%	90%	85%	153	170
11/19/07	139.6	1.40	114	114	80%	91%	85%	152	173
11/20/07	139.6	1.35	114	114	78%	88%	83%	148	167
11/27/07	139.6	1.33	114	114	75%	89%	82%	142	168
11/28/07	139.6	1.29	114	114	76%	81%	79%	145	154
11/29/07	139.6	1.30	114	114	78%	81%	80%	148	155
11/30/07	139.6	1.29	114	114	77%	80%	79%	147	152
12/1/07	139.6	1.30	114	114	78%	81%	79%	148	154
12/2/07	139.6	1.31	114	114	77%	83%	80%	147	158
12/3/07	139.6	1.32	114	114	78%	83%	81%	149	157
12/4/07	139.6	1.25	114	114	68%	84%	76%	130	160
12/5/07	139.6	1.25	114	114	62%	91%	76%	119	172
12/6/07	139.6	1.23	114	114	66%	85%	75%	124	162
12/7/07	139.6	1.18	114	114	67%	77%	72%	127	147
12/8/07	139.6	1.18	114	114	66%	79%	72%	124	150
12/9/07	139.6	1.22	114	114	66%	83%	75%	126	158
12/10/07	139.6	1.23	114	114	67%	84%	76%	127	160
12/13/07	139.6	1.22	114	114	62%	87%	75%	118	166
12/14/07	139.6	1.24	114	114	61%	91%	76%	116	172
12/15/07	139.6	1.25	114	114	62%	91%	76%	117	173

Cuadro 9-3 Datos obtenidos para análisis III. Fuente: el autor.

fecha	CR DC AHU Potencia medida (kW) EER Resultante = 13.18	Razón de Potencia enfriamiento kW / Cargas activas TI kW - basado en EER estimado	Razón de Potencia en HVAC kW / Potencia en carga activa IT kW (basado en mediciones)	Densidad (Watts / m2 area activa)	Densidad (Watts / m2 area total)
10/4/07	78.3	0.51	0.57	427	46
10/7/07	78.9	0.52	0.57	427	46
10/10/07	79.1	0.52	0.57	427	46
10/17/07	82.0	0.54	0.59	427	46
10/20/07	76.3	0.50	0.55	427	46
10/22/07	72.8	0.48	0.53	427	46
10/23/07	73.2	0.48	0.53	427	46
10/26/07	74.4	0.49	0.54	428	46
10/27/07	72.1	0.47	0.52	428	46
10/28/07	76.5	0.50	0.55	428	46
10/29/07	73.9	0.48	0.53	428	46
10/30/07	75.0	0.49	0.54	431	46
11/1/07	78.7	0.51	0.56	431	46
11/3/07	79.8	0.52	0.57	431	46
11/4/07	77.9	0.51	0.56	431	46
11/5/07	78.8	0.51	0.56	431	46
11/6/07	78.4	0.51	0.56	431	46
11/7/07	79.7	0.52	0.57	431	46
11/8/07	70.0			431	46
11/9/07	61.3			431	46
11/10/07	71.6			431	46
11/11/07	80.6	0.52	0.58	431	46
11/12/07	82.3	0.54	0.59	431	46
11/13/07	40.9	0.54	0.29	431	46
11/14/07	39.9	0.53	0.29	431	46
11/15/07	40.0	0.53	0.29	431	46
11/16/07	82.7	0.54	0.59	431	46
11/17/07	84.4	0.55	0.60	431	46
11/18/07	83.7	0.54	0.60	431	46
11/19/07	84.1	0.55	0.60	431	46
11/20/07	81.5	0.53	0.58	431	46
11/27/07	80.4	0.52	0.58	431	46
11/28/07	77.6	0.51	0.56	431	46
11/29/07	78.4	0.51	0.56	431	46
11/30/07	77.6	0.51	0.56	431	46
12/1/07	78.2	0.51	0.56	431	46
12/2/07	78.8	0.51	0.56	431	46
12/3/07	79.3	0.52	0.57	431	46
12/4/07	75.1	0.49	0.54	431	46
12/5/07	75.3	0.49	0.54	431	46
12/6/07	74.3	0.48	0.53	431	46
12/7/07	70.9	0.46	0.51	431	46
12/8/07	71.2	0.46	0.51	431	46
12/9/07	73.5	0.48	0.53	431	46
12/10/07	74.4	0.48	0.53	431	46
12/13/07	73.5	0.48	0.53	431	46
12/14/07	74.8	0.49	0.54	431	46
12/15/07	75.1	0.49	0.54	431	46

Cuadro 9-4 Datos obtenidos para análisis IV. Fuente: el autor.

fecha	CR1 AHU 48 Temperatura promedio de suministro	CR1 AHU 48 temperatura zona	CR1 AHU 48 Temperatura promedio de retorno	CR1 AHU 49 Temperatura promedio de suministro	CR1 AHU 49 temperatura zona	CR1 AHU 49 Temperatura promedio de retorno	CR1 AHU 48 Carga sensible kW	CR1 AHU 49 Carga sensible kW	Carga térmica total CPD kW	Carga térmica promedio (antes y despues)	Consumo eléctrico de servidores kW
7/27/08	9.5	21.4	20.4	9.5	21.1	20.2	88	86	174	176	136.0
7/28/08	9.6	21.3	20.4	9.4	21.0	20.2	87	88	175	176	136.0
7/29/08	9.8	21.3	20.4	9.6	21.0	20.4	86	88	174	176	136.0
7/30/08	9.7	21.4	20.5	9.8	21.0	20.5	88	87	174	176	136.0
7/31/08	9.0	21.4	20.5	9.9	21.0	20.4	93	86	179	176	136.0
8/1/08	9.2	21.4	20.4	9.6	21.0	20.2	91	86	177	176	136.0
8/2/08	9.2	21.3	20.4	9.7	20.8	20.3	91	86	177	176	136.0
8/3/08	9.3	21.4	20.5	9.5	20.9	20.2	91	87	178	176	136.0
8/4/08	9.3	21.4	20.4	9.4	20.9	20.1	90	87	177	176	136.0
8/5/08	9.3	21.4	20.4	9.3	20.9	20.2	91	88	179	176	136.0
8/6/08	9.1	21.5	20.1	9.7	20.9	20.0	89	84	173	176	136.0
8/7/08	9.1	21.5	20.1	9.7	20.9	20.0	89	84	173		136.0
8/8/08	8.5	21.5	20.0	10.2	18.7	19.9	93	79	172		136.0
8/9/08	8.4	20.9	19.5	7.2	16.7	19.4	90	99	189		136.0
8/10/08	8.0	20.7	19.4	7.2	16.7	19.5	92	100	192		136.0
8/11/08	8.5	20.9	19.4	7.2	17.3	19.4	89	99	188		136.0
8/12/08	8.5	21.9	20.1	12.1	20.9	20.1	94	66	159		136.0
8/13/08	8.6	22.2	20.6	12.3	21.4	20.7	97	68	165	151	136.0
8/14/08	8.6	22.2	20.6	12.3	21.4	20.7	97	68	165	151	136.0
8/15/08	8.5	22.2	20.5	12.2	21.2	20.6	97	68	166	151	136.0
8/16/08	8.6	22.2	20.5	12.2	21.3	20.5	96	68	164	151	136.0
8/17/08	8.6	22.2	20.5	12.3	21.3	20.5	96	67	163	151	136.0
8/18/08	7.3	21.9	20.4	14.6	21.9	20.5	106	49	155	151	136.0
8/19/08	7.5	22.2	20.4	14.8	21.9	20.5	105	47	152	151	136.0
8/20/08	8.6	22.8	20.6	13.9	22.1	20.7	97	55	152	151	136.0
8/21/08	8.6	22.8	20.6	13.7	22.1	20.7	97	57	154	151	136.0
8/22/08	8.8	22.7	20.4	13.5	22.1	20.4	94	56	151	151	136.0
8/23/08	9.8	22.3	19.9	12.8	20.7	19.9	82	58	139	151	136.0
8/24/08	8.6	22.4	20.0	14.0	21.5	20.0	93	49	141	151	136.0
8/25/08	7.3	22.4	20.1	15.2	22.4	20.2	103	40	143	151	136.0
8/26/08	7.5	22.2	20.0	14.4	22.0	20.0	101	46	147	151	136.0
8/27/08	7.5	22.2	20.0	14.4	22.0	20.1	101	46	147	151	136.0
8/28/08	7.8	22.1	19.9	13.7	21.8	20.1	99	52	151	151	136.0
8/29/08	10.8	22.2	20.2	12.2	22.1	20.0	77	64	141	151	136.0
8/30/08	11.1	22.1	20.4	12.4	22.3	20.1	76	62	138	151	136.0
8/31/08	11.4	22.1	20.4	12.3	22.4	20.3	73	65	138	151	136.0
9/1/08	12.3	22.3	20.4	12.0	22.3	20.3	66	67	134	151	136.0
9/2/08	12.9	22.5	20.4	11.1	22.1	20.2	61	74	135	151	136.0
9/3/08	8.5	22.8	20.1	13.8	22.1	20.1	94	51	145	151	136.0
9/4/08	8.4	22.8	20.0	13.7	22.1	20.0	95	51	146	151	136.0
9/5/08	8.6	22.8	20.1	13.2	22.0	20.1	93	56	149	151	136.0
9/6/08	8.9	22.7	20.1	13.5	22.0	20.1	91	54	145	151	136.0
9/7/08	10.1	22.7	20.6	13.0	22.3	20.6	85	62	147	151	136.0
9/8/08	10.2	22.8	20.5	12.5	22.1	20.6	84	66	150	151	136.0
9/9/08	9.4	22.6	20.2	11.7	21.5	20.2	87	69	157	151	136.0
9/10/08	9.8	23.1	20.3	12.2	21.8	20.4	85	67	152	151	136.0
9/11/08	9.5	23.1	20.5	12.0	21.8	20.7	89	70	159	151	136.0
9/12/08	9.4	23.1	20.5	12.0	21.8	20.5	90	69	159	151	136.0
9/13/08	9.4	23.0	20.4	12.0	21.8	20.5	89	69	159	151	136.0
9/14/08	9.4	23.0	20.4	11.9	21.8	20.4	89	69	158	151	136.0
9/15/08	9.6	23.0	20.3	11.9	21.8	20.3	87	68	155	151	136.0

Cuadro 9-5 Datos obtenidos para análisis V. Fuente: el autor.

fecha	Razón Carga Térmica kW / Carga activa eléctrica servidores kW	Cooling kW ratio / Active load kW average	CR1 AHU 48 Capacidad enfriamiento sensible estimada kW	CR1 AHU 49 Capacidad enfriamiento sensible estimada kW	CR1 AHU 48 Factor de Utilización	CR1 AHU 49 Factor de Utilización	CR1 Factor de Utilización Total	CR1 AHU 48 Carga enfriamiento total estimada	CR1 AHU 49 Carga enfriamiento total estimada	CR1 DC AHU Potencia estimada basada en EER = 14.5 (kW)
7/27/08	1.28	1.30	114	114	77%	76%	76%	147	144	68.5
7/28/08	1.28	1.30	114	114	76%	77%	77%	145	146	68.6
7/29/08	1.28	1.30	114	114	75%	77%	76%	143	147	68.3
7/30/08	1.28	1.30	114	114	77%	76%	76%	146	144	68.4
7/31/08	1.32	1.30	114	114	82%	75%	78%	155	143	70.2
8/1/08	1.31	1.30	114	114	80%	76%	78%	152	144	69.7
8/2/08	1.30	1.30	114	114	80%	75%	78%	152	143	69.5
8/3/08	1.31	1.30	114	114	79%	76%	78%	151	145	69.7
8/4/08	1.30	1.30	114	114	79%	76%	78%	150	145	69.6
8/5/08	1.32	1.30	114	114	80%	78%	79%	151	147	70.3
8/6/08	1.27	1.30	114	114	78%	74%	76%	149	140	68.0
8/7/08	1.27		114	114	78%	74%	76%	149	140	68.0
8/8/08	1.27		114	114	82%	70%	76%	155	132	67.7
8/9/08	1.39		114	114	79%	87%	83%	150	166	74.3
8/10/08	1.41		114	114	81%	87%	84%	154	166	75.4
8/11/08	1.38		114	114	78%	87%	82%	148	165	73.7
8/12/08	1.17		114	114	82%	58%	70%	156	109	62.5
8/13/08	1.21	1.11	114	114	85%	60%	72%	162	113	64.8
8/14/08	1.21	1.11	114	114	85%	60%	72%	162	113	64.8
8/15/08	1.22	1.11	114	114	85%	60%	73%	162	114	65.1
8/16/08	1.21	1.11	114	114	84%	60%	72%	161	113	64.5
8/17/08	1.20	1.11	114	114	84%	58%	71%	160	111	63.8
8/18/08	1.14	1.11	114	114	93%	43%	68%	177	81	60.7
8/19/08	1.12	1.11	114	114	92%	41%	67%	175	78	59.5
8/20/08	1.12	1.11	114	114	85%	48%	67%	162	92	59.8
8/21/08	1.13	1.11	114	114	86%	50%	68%	162	94	60.5
8/22/08	1.11	1.11	114	114	83%	49%	66%	157	94	59.1
8/23/08	1.03	1.11	114	114	72%	51%	61%	136	96	54.7
8/24/08	1.04	1.11	114	114	81%	43%	62%	154	81	55.5
8/25/08	1.05	1.11	114	114	91%	35%	63%	172	67	56.3
8/26/08	1.08	1.11	114	114	89%	40%	64%	169	76	57.7
8/27/08	1.08	1.11	114	114	89%	40%	64%	169	76	57.7
8/28/08	1.11	1.11	114	114	87%	45%	66%	165	86	59.1
8/29/08	1.03	1.11	114	114	67%	56%	62%	128	106	55.2
8/30/08	1.01	1.11	114	114	66%	55%	60%	126	104	54.1
8/31/08	1.02	1.11	114	114	64%	57%	61%	122	108	54.2
9/1/08	0.98	1.11	114	114	58%	59%	59%	110	112	52.4
9/2/08	0.99	1.11	114	114	54%	64%	59%	102	123	52.8
9/3/08	1.07	1.11	114	114	83%	45%	64%	157	85	57.0
9/4/08	1.07	1.11	114	114	83%	45%	64%	158	85	57.2
9/5/08	1.10	1.11	114	114	82%	49%	65%	155	93	58.6
9/6/08	1.06	1.11	114	114	80%	47%	63%	152	89	56.8
9/7/08	1.08	1.11	114	114	74%	55%	64%	141	104	57.7
9/8/08	1.10	1.11	114	114	74%	58%	66%	140	110	58.9
9/9/08	1.15	1.11	114	114	77%	61%	69%	146	116	61.6
9/10/08	1.12	1.11	114	114	75%	59%	67%	142	111	59.6
9/11/08	1.17	1.11	114	114	78%	61%	70%	148	117	62.4
9/12/08	1.17	1.11	114	114	79%	61%	70%	150	115	62.6
9/13/08	1.17	1.11	114	114	78%	61%	70%	149	115	62.3
9/14/08	1.16	1.11	114	114	78%	61%	69%	148	115	62.0
9/15/08	1.14	1.11	114	114	76%	60%	68%	145	114	60.9

Cuadro 9-6 Datos obtenidos para análisis VI. Fuente: el autor.

fecha	CR DC AHU Potencia medida (kW) EER Resultante = 13.18	Razón de Potencia enfriamiento kW / Cargas activas TI kW - basado en EER estimado	Razón de Potencia en HVAC kW / Potencia en carga activa IT kW (basado en mediciones)	Densidad (Watts / m2 area activa)	Densidad (Watts / m2 area total)	Temperatura de suministro	Temperatura promedio de suministro (antes y despues)	Temperatura de retorno	Temperatura promedio de retorno (antes y despues)	Temperatura de zona	Temperatura promedio de zona (antes y despues)
7/27/08	75.3	0.50	0.55	4518	483	9.5	9.5	20.3	20.3	21.2	21.2
7/28/08	75.4	0.50	0.55	4518	483	9.5	9.5	20.3	20.3	21.2	21.2
7/29/08	75.1	0.50	0.55	4518	483	9.7	9.5	20.4	20.3	21.2	21.2
7/30/08	75.3	0.50	0.55	4518	483	9.8	9.5	20.5	20.3	21.2	21.2
7/31/08	77.3	0.52	0.57	4518	483	9.4	9.5	20.5	20.3	21.2	21.2
8/1/08	76.6	0.51	0.56	4518	483	9.4	9.5	20.3	20.3	21.2	21.2
8/2/08	76.4	0.51	0.56	4518	483	9.5	9.5	20.4	20.3	21.1	21.2
8/3/08	76.7	0.51	0.56	4518	483	9.4	9.5	20.4	20.3	21.1	21.2
8/4/08	76.6	0.51	0.56	4518	483	9.4	9.5	20.3	20.3	21.2	21.2
8/5/08	77.3	0.52	0.57	4518	483	9.3	9.5	20.3	20.3	21.2	21.2
8/6/08	74.8	0.50	0.55	4518	483	9.4	9.5	20.0	20.3	21.2	21.2
8/7/08	74.8	0.50	0.55	4518	483	9.4		20.0		21.2	
8/8/08	74.4	0.50	0.55	4518	483	9.4		20.0		20.1	
8/9/08	81.8	0.55	0.60	4518	483	7.8		19.5		18.8	
8/10/08	83.0	0.55	0.61	4518	483	7.6		19.5		18.7	
8/11/08	81.1	0.54	0.60	4518	483	7.9		19.4		19.1	
8/12/08	68.7	0.46	0.51	4518	483	10.3		20.1		21.4	
8/13/08	71.3	0.48	0.52	4518	483	10.5	11.1	20.6	20.3	21.8	22.2
8/14/08	71.3	0.48	0.52	4518	483	10.5	11.1	20.6	20.3	21.8	22.2
8/15/08	71.6	0.48	0.53	4518	483	10.3	11.1	20.6	20.3	21.7	22.2
8/16/08	70.9	0.47	0.52	4518	483	10.4	11.1	20.5	20.3	21.8	22.2
8/17/08	70.2	0.47	0.52	4518	483	10.5	11.1	20.5	20.3	21.7	22.2
8/18/08	66.8	0.45	0.49	4518	483	11.0	11.1	20.5	20.3	21.9	22.2
8/19/08	65.5	0.44	0.48	4518	483	11.1	11.1	20.5	20.3	22.0	22.2
8/20/08	65.8	0.44	0.48	4518	483	11.3	11.1	20.7	20.3	22.5	22.2
8/21/08	66.6	0.44	0.49	4518	483	11.2	11.1	20.7	20.3	22.5	22.2
8/22/08	65.0	0.43	0.48	4518	483	11.2	11.1	20.4	20.3	22.4	22.2
8/23/08	60.2	0.40	0.44	4518	483	11.3	11.1	19.9	20.3	21.5	22.2
8/24/08	61.1	0.41	0.45	4518	483	11.3	11.1	20.0	20.3	21.9	22.2
8/25/08	61.9	0.41	0.46	4518	483	11.3	11.1	20.1	20.3	22.4	22.2
8/26/08	63.4	0.42	0.47	4518	483	10.9	11.1	20.0	20.3	22.1	22.2
8/27/08	63.5	0.42	0.47	4518	483	11.0	11.1	20.0	20.3	22.1	22.2
8/28/08	65.0	0.43	0.48	4518	483	10.8	11.1	20.0	20.3	21.9	22.2
8/29/08	60.7	0.41	0.45	4518	483	11.5	11.1	20.1	20.3	22.1	22.2
8/30/08	59.6	0.40	0.44	4518	483	11.8	11.1	20.3	20.3	22.2	22.2
8/31/08	59.7	0.40	0.44	4518	483	11.8	11.1	20.4	20.3	22.2	22.2
9/1/08	57.7	0.39	0.42	4518	483	12.2	11.1	20.4	20.3	22.3	22.2
9/2/08	58.1	0.39	0.43	4518	483	12.0	11.1	20.3	20.3	22.3	22.2
9/3/08	62.7	0.42	0.46	4518	483	11.1	11.1	20.1	20.3	22.5	22.2
9/4/08	62.9	0.42	0.46	4518	483	11.0	11.1	20.0	20.3	22.4	22.2
9/5/08	64.5	0.43	0.47	4518	483	10.9	11.1	20.1	20.3	22.4	22.2
9/6/08	62.5	0.42	0.46	4518	483	11.2	11.1	20.1	20.3	22.3	22.2
9/7/08	63.4	0.42	0.47	4518	483	11.5	11.1	20.6	20.3	22.5	22.2
9/8/08	64.8	0.43	0.48	4518	483	11.3	11.1	20.6	20.3	22.4	22.2
9/9/08	67.7	0.45	0.50	4518	483	10.5	11.1	20.2	20.3	22.1	22.2
9/10/08	65.6	0.44	0.48	4518	483	11.0	11.1	20.3	20.3	22.5	22.2
9/11/08	68.6	0.46	0.50	4518	483	10.8	11.1	20.6	20.3	22.5	22.2
9/12/08	68.8	0.46	0.51	4518	483	10.7	11.1	20.5	20.3	22.4	22.2
9/13/08	68.5	0.46	0.50	4518	483	10.7	11.1	20.4	20.3	22.4	22.2
9/14/08	68.2	0.46	0.50	4518	483	10.7	11.1	20.4	20.3	22.4	22.2
9/15/08	67.0	0.45	0.49	4518	483	10.8	11.1	20.3	20.3	22.4	22.2

