

CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS VERDE  
IDENTIFICACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN  
CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS UBICADO EN LA  
ZONA TROPICAL Y ALTITUD MEDIA

Rodrigo Rueda Garcia

UNIVERSIDAD DE MANIZALES CIMAD  
Facultad de Economía  
Escuela de Posgrados  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales  
Abril 20 de 2014

CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS VERDE  
IDENTIFICACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN  
CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS UBICADO EN LA  
ZONA TROPICAL Y ALTITUD MEDIA

Rodrigo Rueda Garcia

Tesis presentada como requisito para optar el títulos de Magíster en  
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director de la Tesis de grado: Dr. Diego Hernández García

UNIVERSIDAD DE MANIZALES CIMAD  
Facultad de Economía  
Escuela de Posgrados  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
2014

“la facultad y los jurados del trabajo de grado no son responsables de las líneas emitidas por el o los autores.”

Artículo 24, resolución 04 de 1974.

Dedicado a:

Leticia Palacio Arango, mi esposa, por su apoyo incondicional durante mis estudios.

Rodrigo Rueda Garcia

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Diego Hernández García por su acompañamiento durante el proceso investigativo, igualmente a mis compañeros de trabajo del Centro Operativo de Bancolombia, en especial al grupo de tecnólogos e ingenieros y a nuestro Gerente Diego Córdoba Arango, a los compañeros de la maestría especialmente a Pablo Andrés Vargas López.

Gracias a todos.

## RESUMEN

Esta investigación responde a la necesidad de analizar a fondo los vínculos entre el consumo de energía de los centros de procesamiento de datos (CPD) ubicados en la zona tropical y su impacto en el medio ambiente.

La eficiencia energética de los CPD no constituye el factor primordial en su diseño, construcción y operación y se centra más en la confiabilidad, los CPD, disponen de infraestructuras redundantes y “sobre dimensionadas” en la parte electromecánica y de componentes de equipos de las TIC, esto con el fin de garantizar un alto nivel de confiabilidad. El análisis de pérdidas energéticas de los CPD, en los ciclos de uso de la energía para enfriamiento, el consumo de energía en las UPS, consumo de energía en los equipos de las TIC, de acuerdo a la teoría del Ingeniero Robert Tozer del equipo de Hewlett Packard Mission Critical Systems, definida en el documento “Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos” determina que del 100% de la energía que ingresa a un CPD, solo el 1% se transforma en trabajo útil, esto para CPD ubicados en las zonas templadas. (Tozer, Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos, 2010)

La investigación evaluará el comportamiento energético y el impacto ambiental, de un CPD ubicado en la zona tropical, para determinar cuál es su eficiencia energética. Los CPD ubicados en estas zonas tienen comportamientos energéticos que no se han documentado; la presente

investigación busca evaluar las pérdidas energéticas de un CPD ubicado en el Valle de Aburrá en Antioquia, Colombia (zona tropical y a una altitud media) y determinar si la teoría del Doctor Robert Tozer se aplica a las condiciones del trópico.

**PALABRAS CLAVES:** Centros de Procesamiento de Datos, eficiencia energética, confiabilidad, impacto ambiental.

## ABSTRACT

This research responds to the need to analyze the linkages between energy consumption of data processing centers (DPC ) located in the tropical zone and its impact on the environment.

The energy efficiency of CPD is not the primary factor in its design , construction and operation and is more focused on reliability, CPD , have redundant infrastructure and "over sized " on electromechanical part and component of ICT equipment , this in order to ensure a high level of reliability . The analysis of energy losses of CPD , in the cycles of energy use for cooling energy in UPS, energy consumption of ICT equipment , according to the theory of engineer Robert Tozer team Mission Critical Systems Hewlett Packard , defined in the document " energy Strategy in data Processing Centers " determined that 100 % of the energy entering a data center , only 1% is converted into useful work , this for CPD located in the temperate zones. ( Tozer Energy Strategy in Data Processing Centers , 2010)

The investigation will assess the energy performance and environmental impact of a CPD located in the tropical zone, to determine their energy efficiency. The CPD located in these areas have energy behaviors that have not been documented , this research aims to evaluate the energy loss of a data center located in the Valle de Aburrá in Antioquia, Colombia ( tropical zone and average altitude ) and determine if the theory of Doctor Robert Tozer applies to tropical conditions .

**KEY WORDS:** Data Processing Centers , energy efficiency , reliability , environmental impact

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCION	19
2. OBJETIVOS	25
2.1. OBJETIVO GENERAL	25
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3. JUSTIFICACION	26
4. PROBLEMA DE INVESTIGACION	27
5. MARCO TEORICO	30
5.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA	30
5.1.1. Métrica PUE (Power Usage Effectiveness)	35
5.1.2. Métrica DCiE (Data Center infrastructure Effectiveness)	36

5.1.3. Equipos de medida para las variables del PUE	37
5.1.3.1. Medida de energía a la entrada de la acometida general del CPD	38
5.1.3.2. Medida de energía del sistema de aire acondicionado	38
5.1.3.3. Registro de las condiciones atmosféricas y de temperatura	39
5.1.3.4. Medida de energía sistemas UPS	40
5.1.3.5. Medida de energía en el sistema de iluminación y servicios auxiliares	40
5.1.4. Análisis estadístico del PUE	40
5.1.5. Frecuencia de recolección de la información de las variables del PUE	42
5.1.6. Comparativos de PUE	42
5.1.7. Carga de los equipos de TI o carga informática	43
5.1.8. Afectación de la eficiencia energética de un CPD debida al efecto combinado de la temperatura y humedad exterior y de la carga informática.	45
5.2. HUELLA DE CARBONO	46
5.2.1. Términos usados en la determinación del impacto ambiental de los CPD	48
5.2.1.1. Huella de Carbono o el coeficiente de emisiones de dióxido de carbono	48
5.2.1.2. El CUE (Carbon Usage Effectiveness)	48
5.2.1.3. Picos de demanda	50
5.2.1.4. Emisiones evitadas	51
5.2.1.5. CO <sub>2</sub> (Dióxido de Carbono, o “Carbón”) GEI	51
5.2.2. Uso de los componentes de operación y constructivos en un CPD en relación a los edificios convencionales.	54
5.2.3. Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)	55
5.3. AIRE ACONDICIONADO DE UN CPD	56
5.3.1. Soluciones de sistemas de enfriamiento	58

5.3.2.	Distribución del aire en un CPD, sala de equipos de TI	60
5.3.3.	Ineficiencias del sistema de distribución de aire	62
5.3.4.	Energía del aire acondicionado	64
5.3.5.	Determinación de la potencia consumida por los equipos de TI dentro de un rack	64
5.3.6.	Componentes del cálculo de la capacidad del sistema de aire acondicionado para un CPD	66
5.4.	SISTEMA ININTERRUMPIDO DE POTENCIA (UPS)	68
6.	MATERIALES Y METODOS	70
6.1.	ÁREA DE ESTUDIO	70
6.1.1.	Sistemas electromecánicos	71
6.1.2.	Planta de frio	72
6.1.3.	Sistema de distribución de energía	75
6.1.4.	Sistema de UPS	80
6.1.5.	Sistema de transformación	81
6.2.	MÉTODOS	82
6.3.	TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA MEDICIÓN	83
7.	RESULTADOS Y ANALISIS	86
7.1.	HUELLA DE CARBONO	86
7.1.1.	Huella de carbono de los materiales constructivos.	86
7.1.2.	Huella de carbono de la operación	87
7.1.2.1.	Huella por el consumo de energía	87
7.1.2.2.	Huella por las pérdidas de energía (CUE)	88
7.1.3.	Resumen de los aportes de CO <sub>2</sub> del CPD	89

7.2.	PERDIDAS DE ENERGIA ELECTRICA	90
7.2.1.	Sistema de distribución	90
7.2.2.	Perdidas en la transformación	91
7.2.3.	Perdidas en UPS	93
7.3.	PERDIDAS EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	95
7.4.	RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y APORTES DE CO <sub>2</sub> .	97
7.5.	PUE	98
7.5.1.	Comportamiento del PUE durante el mes de noviembre de 2013.	98
7.5.2.	Comportamiento del PUE de los años 2012 y 2013	100
8.	COMPARACIÓN DE UN CPD UBICADO EN UNA ZONA TROPICAL Y ALTITUD MEDIA RESPECTO A UN CPD UBICADO EN UNA ZONA TEMPLADA	101
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
10.	BIBLIOGRAFIA	106
	ACRONICOS, SIGLAS Y ABREVIATURAS	109
	ANEXOS	112
	Anexo No. 1 Reglamentos, normas, códigos y estándares para la Construcción y operación de CPD.	112

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla No. 1. Nivel de eficiencia de acuerdo al PUE y DCiE. Fuente “The Green Grid Metrics: Data Center Power Efficiency”. Referenciado por (Datacenter Consultores, 2010)

Tabla No. 2. Desglose del aporte de CO<sub>2</sub> del material constructivo de un CPD.

La tabla tiene un número negativo, que debe ser considerado como un impacto positivo en las emisiones CO<sub>2</sub>, neutralización de las emisiones CO<sub>2</sub>, debido a que utiliza materiales reciclados.

Tabla No. 3. Consumo en 10 años de materiales de un CPD. Fuente: (Bouley, 2011).

Tabla No. 4. Condiciones típicas de diseño para CPD. Fuente: (Camacho Garcia, 2011)

Tabla No. 5. Equipos de medida. Fuente: el autor.

Tabla No. 6. Registro de tendencias. Fuente: el autor.

Tabla No.7. Aportes de CO<sub>2</sub> en la construcción del CPD en la zona tropical, con una área de 2.000 m<sup>2</sup>. Fuente: el autor.

Tabla No. 8. Consumo de energía en kWh del CPD en los años 2012 y 2013. Fuente: El autor

Tabla No. 9. Registro de la producción de CO<sub>2</sub> de acuerdo a los consumos de energía del CPD en los años 2012 y 2013. Fuente: el autor.

Tabla No. 10. Registro del PUE años 2012 y 2013 por mes. Fuente: Datos del autor.

Tabla No. 11. Generación de CO<sub>2</sub> por la ineficiencia energética en los años 2012 y 2013. Fuente el autor.

Tabla No.12. Aportes de CO<sub>2</sub> en toneladas durante la operación del CPD en la zona tropical. Fuente: el autor.

Tabla No.13. Registro de consumos de energía acometida en media tensión CPD y cálculo de las pérdidas. Fuente: el autor.

Tabla No. 14. Registro energía a la entrada/salida y las de pérdidas de energía en el transformador de 44kv. Fuente: el autor.

Tabla No. 15. Perdidas de energía eléctrica en los sistemas de UPS. Fuente: el autor.

Tabla No. 16. Pérdidas totales del sistema de refrigeración. Fuente: el autor.

Tabla No. 17. Resumen de la perdidas de energía y aportes de CO<sub>2</sub> de los sistemas evaluados del CPD.

Tabla No. 18. PUE del mes de noviembre de 2013. Fuente: el autor.

Tabla No. 19. PUE del año 2012. Fuente: el autor.

Tabla No. 20. PUE del año 2013. Fuente: el autor.

Tabla No. 21. Comparativo CPD zona tropical respecto a zona templada. Fuente: el autor.

## LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Perfil de demanda de potencia eléctrica de un CPD en el periodo de un mes.

Fuente: (Jauregualzo, 2011).

Figura No. 2. Circulación de la energía en un CPD típico. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

Figura No. 3. Demanda de potencia en vatios [W] respecto a uso porcentual [%] de la CPU en un PC de mesa. Fuente (Jauregualzo, 2011).

Figura No. 4. Variación del PUE respecto a la variación de la temperatura exterior. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

Figura No. 5. Relación de la potencia de entrada al CPD con respecto a la potencia de los equipos de TI. Fuente: grafica adaptada de (Tiple, 2009).

Figura No. 6. Punto de PUE, relación de la potencia media de entrada al CPD con respecto a la potencia media de los equipos de TI. Fuente: grafica adaptada de (Tiple, 2009).

Figura No. 7. Variaciones de la eficiencia energética en función de la carga informática.

Fuente (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

Figura No.8. Comparación entre dos CPD con PUE diferentes con respecto a la carga informática. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012) .

Figura No. 9. Modelamiento de la eficiencia energética de un CPD. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

Figura No. 10. Crecimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera y el aumento de la temperatura de la tierra. Fuente: (Conciencia ECO, 2011)

Figura No. 11. Curvas de demanda energética y kg CO<sub>2</sub> /kWh de una día, para un país Europeo. Fuente: (Jaureguialzo, 2011)

Figura No. 12. CO<sub>2</sub> producido durante toda operación del CPD. Fuente: (Bouley, 2011)

Figura No. 13. Porcentaje del uso de la energía en un CPD. Fuente: (Bouley, 2011)

Figura No. 14. Porcentaje del uso de la energía en un edificio de oficinas. Fuente: (Bouley, 2011)

Figura No.15. Flujos de aire en un CPD. Fuente: (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones, 2010)

Figura No. 16. Número de equipos TI de acuerdo al rango de temperatura de aire suministrado. Fuente: (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones, 2010)

Figura No.17. Flujo del aire acondicionado en un rack. Fuente: (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones, 2010)

Figura No. 18. Curva de eficiencia de una UPS. Fuente (Sawyer, 2012)

Figura No. 19. Sistema de enfriadores de agua helada (chiller). Fuente: Programa Chiller Control Planet.

Figura No. 20 Sistema de torres de enfriamiento. Fuente: Programa Chiller Control Planet.

Figura No. 21. Mediciones de los sistemas para evaluación de la eficiencia energética.

Fuente: el autor.

Figura No. 22. Emisiones en gramos de CO<sub>2</sub> por kWh. Fuente: (Acolgen, 2013)

Figura No. 23. Huellas de carbono asociadas a sistemas de enfriamiento y a los sistemas de alimentación de energía. Fuente: el autor

Figura No. 24. Diagrama de las pérdidas de energía del CPD. Fuente: el autor

## LISTA DE ANEXOS

Anexo No. 1      Reglamentos, normas, códigos y estándares para la construcción y  
operación de CPD.

## **1. INTRODUCCION**

Un Centro de Procesamiento de Datos (CPD), es el espacio físico donde se garantiza la protección efectiva de los activos informáticos sensibles y críticos (datos y hardware) de las organizaciones informatizadas y la alta disponibilidad de los datos, conforme a normas locales, regionales o internacionales.

El objetivo principal de un CPD, es proporcionar a los equipos de cómputo el ambiente adecuado para cumplir las funciones para las que fue diseñado, de acuerdo a los requerimientos específicos de los fabricantes de hardware, cumpliendo los niveles de eficiencia y confiabilidad exigidos por la comunidad internacional. (ICREA, 2013)

El CPD debe proteger el equipo de cómputo, la información y la vida del personal que lo opera, para lo cual se analiza el nivel de riesgo en aspectos como: el personal de operación, su

entrenamiento, normas de seguridad y de construcción que le aplican, los procedimientos para conservar los equipos, las especificaciones de los fabricantes, los procedimientos de recuperación en caso falla de la infraestructura. Así mismo el nivel del riesgo es el resultado de la evaluación de las amenazas y vulnerabilidades menos las medidas de control adoptadas para su mitigación, para lo cual se toma como criterio las normas: ISO 27001 “Tecnología de información- Técnicas de Seguridad- Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información- Requisitos” (ICREA, 2013), Telecommunication Infrastructure Standard for Data Centers. ANSI/TIA/EIA-942, BCSI Telecommunications Distribution Methods Manual (TDMM) e ICREA-Std-13132013 que permiten definir el nivel de protección y redundancia de un CPD. Adicionalmente a las normas mencionadas se consultan los reglamentos, normas, códigos y estándares del Anexo No. 1, estos corresponden a códigos eléctricos, códigos de construcción, códigos de fuego y estándares que permiten asegurar el mínimo nivel de desempeño de los materiales y componentes. Los reglamentos técnicos garantizan la seguridad de las personas, la vida animal y vegetal, la preservación del medio ambiente y el abastecimiento energético.

En los CPD se concentra una gran cantidad de equipos de Tecnología de Información (TI) como equipos servidores, equipos de telecomunicaciones, equipos de almacenamiento de información, equipos de seguridad informática y unidades de almacenamiento en cintas. Estos equipos de TI requieren para su operación de sistemas de suministro de energía de forma ininterrumpida, sistemas de aire acondicionado que mantienen los equipos de TI operando a la temperatura y humedad relativa definidas por los fabricantes, armarios (Rack) para la ubicación de servidores, iluminación artificial con los niveles de luxes apropiados, redes de cableado de telecomunicación y condiciones de limpieza que impidan la contaminación de los equipos de TI. El edificio debe ser sismo resistente, protegido contra la humedad y las condiciones climáticas externas, este edificio debe permitir operar de forma satisfactoria los sistemas

electromecánicos, disponer de espacios para el almacenamiento de agua y oficinas para el personal de monitoreo y operación.

Los equipos de TI dentro del CPD se encuentran interconectados tanto entre ellos, como con el mundo exterior, para realizar cálculos de forma conjunta y almacenar la información procesada, que es enviada al mundo exterior de acuerdo a peticiones.

El almacenamiento de la información en CPD lo realizan equipos especializados de TI, los que contienen todo tipo de información desde notas académicas, resultados científicos, datos de contabilidad, información de las empresas, cuentas financieras, páginas web, textos, imágenes, audios, etc.

Los procesadores de información en el CPD, son servidores que alojan aplicaciones que procesan datos para obtener resultados contables, científicos, bancarios, bases de datos, etc.

En el CPD se concentra una gran infraestructura electromecánica, que permite la operación de forma confiable de los equipos de TI, está constituido en primera instancia por equipos de suministro de energía eléctrica, como subestaciones eléctricas, plantas eléctricas, sistemas ininterrumpidos de potencia eléctrica llamados por sus siglas en ingles UPS y tableros de distribución de energía denominados por sus siglas en ingles PDU, RPP. Un componente adicional de gran importancia son los sistemas equipos de aire acondicionado constituidos por maquinas enfriadoras (chillers), torres de enfriamiento, equipos de bombeo de agua, tuberías de conducción de agua y unidades manejadoras de aire llamadas por sus siglas en ingles CRAC y CRAH. Finalmente un sistema de gran importancia es el sistema de cableado de comunicaciones el cual es denominado cableado estructurado y está constituido por cientos de kilómetros de cables UTP( por sus siglas en ingles), cables de fibra óptica, cables coaxiales y armarios donde se administran las conexiones de comunicación.

Ante el desarrollo de la industria de la Tecnología de la Información se vienen presentando un aumento en el número de CPD, tanto en cantidad como en dimensiones, principalmente por:

- Mayores transacciones electrónicas financieras como la banca online, la bolsa, cajeros electrónicos, pagos electrónicos, tarjetas de crédito y débito, etc.
- Aumento de las comunicaciones por internet por medio de video, voz, texto de forma instantánea, desde cualquier parte de mundo.
- Incremento del comercio electrónico en las grandes superficies comerciales e industriales, que están migrando gran parte de sus transacciones a la web.
- Crecimiento de las instituciones educativas que usan la virtualidad para el proceso de formación de sus estudiantes, así como para las comunicaciones administrativas y el uso de las bibliotecas.
- Aumento de los medios de comunicación que usan el internet como plataforma, en igualdad con los medios impresos.
- La migración de las instituciones públicas al uso del internet para las publicaciones de sus trámites administrativos.
- La migración de las instituciones públicas y centros de pruebas que demandan una gran cantidad de servidores y equipos de almacenamiento de información.

Un ejemplo de este crecimiento lo observamos en Google que tiene más o menos 36 CPD en diferentes partes del mundo, 19 en Estados Unidos, 12 en Europa, 3 en Asia, 1 en Rusia, 1 Latinoamérica (ALT1040, 2013), lo que lleva a un aumento de la energía que consumen los CPD del mundo que están entre el 1.1% y el 1.5% del total de la energía eléctrica que se consume en el mundo (Toledo, 2013). La utilización de la energía en los CPD ha crecido globalmente, se

reporta que el consumo por servidor crece en 9% por año, debido al incremento de su rendimiento (O'Connor, 2013).

## **USO DE LA ENERGIA DE LOS CPD**

Los Centros de Procesamiento de Datos (CPD) usan la energía en sus diferentes sistemas termo-mecánicos, eléctricos e informáticos; del total de la energía que ingresa, solamente el 40% llega a los equipos de TI, el 60% restante es usado por los sistemas termo-mecánicos y eléctricos (Tozer, Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos, 2010), es este un proceso de degradación entrópica de la energía, toda la energía que consume un CPD genera calor residual que se elimina en dirección al exterior y se descarga a la atmósfera (Rasmussen, 2006). Por lo tanto a un CPD ingresa energía de bajo nivel entrópico y se produce mucha energía de alto nivel entrópico, este aporte al incremento de la entropía de la biosfera, es uno de los impactos del uso de la energía en los CPD sobre el medio ambiente.

Los CPD ubicados por fuera de las zonas templadas de la tierra, ampliamente estudiados, tienen unos comportamientos en el uso de su energía, el cual debe ser evaluado si aplica para los CPD de datos ubicados en la zona tropical de la tierra y a altitudes medias. Para estos últimos se analiza el ciclo de uso de la energía en los sistemas de enfriamiento (refrigeración), el proceso de consumo de energía en los sistemas de UPS por sus siglas en inglés (Sistemas Ininterrumpidos de Potencia), el consumo de energía de los equipos de Tecnología de la Información y determinar la relación entre la disponibilidad del suministro de energía de los centros de datos con respecto a la eficiencia energética.

El análisis energético de las pérdidas de energía en CPD, ubicados en zonas templadas, en los ciclos de uso de la energía de enfriamiento, consumo de energía en la UPS, consumo de energía en los equipos de las TIC, de acuerdo a la teoría del Ingeniero MSc MBA PhD CEng Robert Tozer del equipo de Hewlett Packard Mission Critical Systems definida en el documento

“Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos”, es que del 100% de la energía que ingresa a un centro de procesamiento de datos, solo el 1%, se transforma en trabajo útil o en datos. (Tozer, Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos, 2010)

De acuerdo al Doctor Robert Tozer las pérdidas se inician desde el mismo proceso de la generación de la energía eléctrica y son debidas al proceso de transformación de la energía química del gas natural, gasoil y carbón en energía eléctrica, que es usada en el CPD. A las perdidas en la refrigeración que se deben a la alta concentración de equipos de TI, los cuales disipan calor, como parte de su proceso de manejo de la información, el cual requiere de un proceso termodinámico para retirar el calor del espacio en donde se encuentran alojados y de no realizarse esta actividad, los equipos dejarán de operar de forma normal y se apagarán para protegerse. Finalmente destacan las perdidas debidas a los equipos de TI parados, que son los equipos de procesamiento de datos que se encuentran encendidos sin procesar información. (Tozer, Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos, 2010)

Los CPD ubicados en las zonas tropicales y a altitudes de 1.500 msnm tienen comportamientos energéticos diferentes, la presente investigación busca evaluar las perdidas energéticas de un CPD ubicado en el Valle de Aburra Antioquia y determinar si la teoría del Doctor Robert Tozer se aplica a las condiciones del trópico.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar la forma como los centros de procesamiento de datos (CPD) usan la energía en sus diferentes sistemas termo-mecánicos, eléctricos e informáticos y consecuentemente determinar su impacto en el medio ambiente.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Caracterizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento (refrigeración) de un centro de procesamiento de datos en la zona tropical.
- Examinar el proceso de consumo de energía en los sistemas de UPS (Sistemas Ininterrumpidos de Potencia).

### **3. JUSTIFICACION**

Las inversiones de los propietarios de los centros de datos, en lograr una mayor eficiencia energética se recupera, a través de la mejoras en el ciclo vida de los equipos, la reducción de los consumos de energía y de agua.

La reducción del gasto energético hace a los centros de datos más competitivos y a sus empresas propietarias, de esta forma logran permanecer en el mercado del procesamiento de la información de forma más competitiva.

Los centros de procesamiento de datos que apliquen las políticas de eficiencia de energía, crecerán más que lo proyectado por sus propietarios, debido a que optimizaran el uso del espacio.

La estabilidad operativa es mayor en los centros de procesamiento datos al aplicar políticas de uso racional de la energía, por la implementación de procesos más eficientes en todos los frentes como el de mantenimiento y operación.

#### 4. PROBLEMA DE INVESTIGACION

¿Qué impacto genera en el medio ambiente el consumo de energía de los centros de procesamiento de datos?

Van más de 30 años en el desarrollo de las tecnologías de la información a un ritmo vertiginoso, llegando a una drástica disminución en las dimensiones de las computadoras y el surgimiento de equipos más simplificados y rápidos. Cada 18 meses se duplica el número de transistores en un circuito integrado. Esto implica mayor potencia, a menor tamaño y a la mitad del precio. Un equipo nuevo es 5 veces más potente que su antecesor, requiere sólo 2 veces la energía que consumía este último y ocupa la mitad de espacio. (Quintana, 2009).

Observando desde el punto de vista de sus prestaciones, los nuevos equipos son mucho más eficientes, ofrecen un mayor rendimiento para la misma energía, pero se presenta un fenómeno, donde antes había un servidor, ahora se pueden instalar dos y por lo tanto la potencia requerida será 4 veces superior.

Esta situación en donde se requiere un menor espacio teniendo mayor potencia de procesamiento, lleva a que se concentre un gran consumo de potencia eléctrica y produzcan grandes disipaciones de calor. (Quintana, 2009)

El aumento de la densidad, en los centros de procesamiento de datos, requiere de un mayor suministro de energía para el procesamiento de información así como para los sistemas de refrigeración.

Solo entre un 5% y el 8% creció el consumo de energía por unidad de equipo de procesamiento de información, debido a que la industria del hardware ha conseguido mejores prestaciones técnicas, pero debido al número de servidores se ha generado un 90% del crecimiento del consumo de energía. El número de servidores que están ubicados en centros de procesamiento de datos es superior a 30 millones. (Quintana, 2009)

Debido a lo anterior los centros de procesamiento consumen cada vez más energía, si tomamos como base de medida el rack (bastidor donde se alojan los servidores), en 1992 estos requerían de una fuente de energía de 2.1 kw, para el año 2006 de 8 kW y para el 2010 20 kW.

El consumo de energía en el mundo ha crecido un 45% desde 1980 y para el 2030 se proyecta que crecerá un 70%.

El consumo de un centro de procesamiento de datos referido a 1MW ( Tier 4) se estima durante su vida útil de 10 años en:

- 177.000.000 kWh de energía eléctrica
- 222.000.000 Litros de Agua
- 65.000 kg. de Cobre
- 9.500 kg de Plomo
- 15.000 kg de Plástico
- 33.000 kg de Aluminio
- 5.500 kg de Soldadura
- 170.000 kg de Acero

(APC by Schneider Electric, 2008)

Se está presentando otro fenómeno, el valor pagado por el consumo de energía se está igualando al de los equipos de procesamiento de información. Desde 1998 el precio de los servidores se ha reducido a una décima parte, pero el valor del consumo de energía se ha aumentado en ocho veces. Se estima que el costo de refrigerar un servidor y de darle suministro de energía durante tres años equivale al costo de adquisición del hardware.

Empresas como Google con un millón de servidores consume energía comparada con la que necesita una industria de fundición de aluminio.

Al requerir más energía para los procesos de información y de climatización los centros de procesamiento de información colaboran con el calentamiento global se estima que los equipos de tecnología de la información son los responsables del 2% de la emisiones de CO<sub>2</sub>. (Quintana, 2009)

Entre el 45% y el 60% de la energía que se consume en un centro de procesamiento de datos se destina al funcionamiento de las máquinas.

Los planteamientos anteriores nos llevan a concluir que es necesario un consumo de energía más eficiente, diseñar centros de procesamiento de datos más eficientes, que consuman menos energía. Este ya no es solo un planteamiento altruista para salvar el planeta, se adiciona que es necesario para sobrevivir económicamente.

Cambiar el paradigma que tienen los dueños de centros de procesamiento de datos, entorno a que la alta fiabilidad no es compatible con las altas eficiencias energéticas y por ende con la sostenibilidad y el medio ambiente. La respuesta nos dirá si es viable un futuro en donde construyamos y operemos centros de procesamiento de datos, en los cuales las pérdidas en los sistemas mecánicos y eléctricos sean despreciables y toda la energía sea utilizada de forma eficiente por los equipos de tecnología de la información.

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

El control de los consumos de energía en los CPD, se viene estableciendo como una política pública y a su vez como una buena práctica comercial, en donde el medir, evaluar y modelar está tomando cada vez más importancia (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012).

La eficiencia energética es la herramienta para mejorar la competitividad y la productividad de las industrias y en Colombia se tiene un marco legal y normativo del uso racional de la energía, que se fundamenta en la ley 697 de 2001, por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y adicionalmente promueve la utilización de energías alternativas (Orozco Hincapié, 2004).

Un CPD de una capacidad de 1MW (un mega vatio) puede llegar a tener un gasto de 20.000.000 dólares en pago de consumo de energía eléctrica durante su vida útil (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012) y establecer políticas de eficiencia energética permitirá reducir este gasto. Adicionalmente la huella de carbono producto de la operación y construcción de un CPD, puede ser reducida si se evalúa el comportamiento energético durante todas las etapas de la vida del CPD.

Investigadores de la industria de CPD consideran que la eficiencia energética, puede llegar a mejorarse de forma significativa en valores de hasta el 30% (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012).

Se dispone de una métrica para determinar la eficiencia energética de un CPD, desarrollada por la asociación The Green Grid y publicada en el 2007, denominada Power Usage Effectiveness (PUE) y que tiene su recíproco Datacenter Infrastructure Efficiency (DCiE), estas medidas de la eficiencia energética son una estimación rápida y permiten realizar comparaciones entre CPD. En resumen es una relación entre la energía consumida por los equipos de TI con respecto a la energía consumida por todo el CPD.

La versión más simple del PUE es la relación entre la energía anual consumida (demanda total de potencia) por el CPD y la energía anual consumida por los servidores (Jaureguiualzo, 2011), también se realizan medidas en periodos menores de tiempo, como mensuales, semanales, diarias y hasta cada 60 minutos, de forma que se pueda realizar un seguimiento al comportamiento del PUE.

El PUE permite tener registros y medidas reales que permiten evaluar y construir acciones respecto al uso eficiente de la energía y confrontarlas con las medidas históricas. Las mediciones anuales del PUE no permiten tener una evaluación del comportamiento del consumo de energía respecto a periodos de cambio del clima exterior o aumento de la carga de equipos de TI, mediciones en periodos de tiempo más cortos logran construir un perfil de la demanda del consumo de energía de forma más detallada y tienen en cuenta los cambios del clima exterior y las modificaciones a la carga de equipos de TI.

La demanda de potencia de un CPD es la integral entre cero y un tiempo determinado (llamado periodo de integración) de la curva de potencia de la instalación dividido por el período de integración:

$$DP = \frac{\int_0^{t_i} P \cdot dt}{t_i} [kW]$$

En donde:

DP: Es la demanda de potencia en kW.

P: Potencia instantánea de la instalación [kW].

t<sub>i</sub>: Periodo de integración [h].

El numerador ( $\int_0^{t_i} P \cdot dt$ ) de la ecuación es la energía consumida (E) en un periodo de tiempo y se observa como la demanda y la energía están directamente relacionadas.

$$E = DP \cdot t_i [kWh]$$

E: Es la energía consumida por el CPD en el periodo de integración t<sub>i</sub>. (Jaureguiualzo, 2011)

Los contadores de energía de los comercializadores de energía eléctrica miden el valor de energía y almacenan los datos e igualmente miden el valor máximo de la demanda de potencia de energía eléctrica, esta información es usada para la facturación de la energía. Para un CPD es factible la construcción en una gráfica del perfil de demanda real de energía ya sea en un mes o en una fracción de tiempo menor usando esta información del comercializador de energía. En la figura No. 1 se representa el perfil de demanda de un CPD durante un mes, los picos máximos que corresponden a los horarios de trabajo entre semana y las caídas a los fines de semana y las noches que no hay actividades, se destaca en la gráfica una caída a cero correspondiente a un corte programado por mantenimiento.

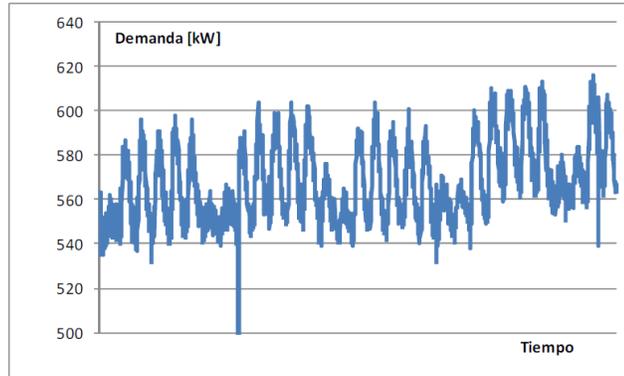


Figura No. 1. Perfil de demanda de potencia eléctrica de un CPD en el periodo de un mes. Fuente: (Jauregualzo, 2011).

La demanda de potencia eléctrica de un CPD es la energía de entrada que se debe transformar en energía “útil”, la que consumen los equipos de TI, si esta relación no es uno a uno, hay una energía que se “pierde”, transformándose en calor, en la figura No. 2 se muestra la circulación de la energía en un CPD y como la gran mayoría se transforma en calor, lo que implica que la generación de energía “útil” es muy bajo. El CPD evaluado es uno ubicado en la zona templada de la tierra, con una redundancia de  $N + 1^1$  en el sistema de aire acondicionado, funcionando al 30% de su capacidad proyectada.

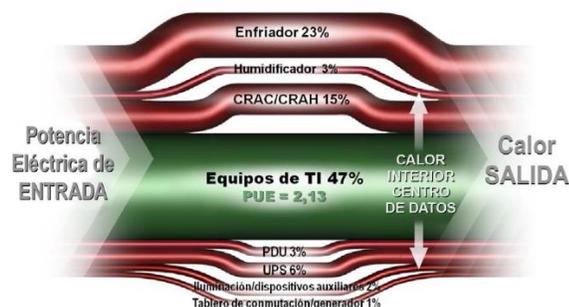


Figura No. 2. Circulación de la energía en un CPD típico. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

<sup>1</sup> Es también denominada redundancia en paralelo en donde dos equipos soportan la carga simultáneamente y en caso de falla de una, la que queda es capaz de soportarla completamente. Esta configuración requiere que los equipos estén sincronizados y en la mayoría de los caso que sean iguales.

La evaluación de la eficiencia energética de un CPD requiere de los siguientes procedimientos (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012):

- Un lenguaje estándar para describirla.
- Un método estándar para medirla.
- Un método estándar para especificarla.
- Un método estándar para analizarla y determinar los factores que la afectan.
- Datos de referencia.
- Herramientas de modelamiento para evaluar los diseños que la mejoran.

La eficiencia energética de un CPD depende de la eficiencia de los equipos de TI, estos deben usar toda la energía que reciben y transformarla en energía útil, con una mínima generación de calor, adicionalmente también está en función de la eficiencia energética de la infraestructura.

Los fabricantes de los equipos de infraestructura informan de la eficiencia de sus equipos, los equipos de aire acondicionado tienen expresada su eficiencia, como un coeficiente del rendimiento en la extracción del calor (COP)<sup>2</sup> que es la proporción entre el calor extraído (en kW) respecto al consumo de energía eléctrica, por ejemplo kW/tonelada de refrigeración (TR) o el factor de eficiencia energética (EER)<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> COP (coefficient of performance, coeficiente de operación) es adimensional y mayor que la unidad.

<sup>3</sup> El Índice de Eficiencia Energética (EER) de un dispositivo de enfriamiento en particular es la relación de la refrigeración de salida (en BTU) hacia la alimentación eléctrica de entrada (en Wh) en un punto de funcionamiento dado.

### 5.1.1. Métrica PUE (Power Usage Effectiveness).

En el indicador PUE se relaciona el consumo total de energía de la instalación con relación a la energía de los equipos de TI, que son considerados como el objeto del CPD, la siguiente ecuación muestra esta relación:

$$PUE = \frac{kWh \text{ anuales totales}}{kWh \text{ anuales de TI}} [Adimensional]$$

El PUE tiene una variación entre  $\infty$  (infinito) correspondiente a la peor situación y 1 que es la mejor situación.

$$1 \leq PUE \leq \infty$$

Un PUE = 2 se puede interpretar que por cada 1KWh (kilovatio hora) consumido por los servidores es necesario que ingresen 2 KWh (kilovatio hora) al CPD, un 1 KWh (kilovatio hora) se usa en los procesos de suministro de aire acondicionado, energía eléctrica ininterrumpida, servicios auxiliares como la iluminación, sistemas de seguridad, calentamiento del cárter de las plantas eléctricas, sistemas de ventilación y otros sistemas menores. En los desarrollos actuales de sistemas de virtualización <sup>4</sup>se observa que las cargas de TI se reducen, llevando a tener un PUE cada vez más altos. Un PUE = 1 es el ideal ya que indica que por cada 1 KWh (kilovatio hora) que ingresa al CPD, los equipos de TI usan 1 KWh (kilovatio hora), es la mejor situación respecto a la operación de los equipos electromecánicos, una investigación adicional es la de diagnosticar como los equipos de TI usan la energía (Jaureguiualzo, 2011).

---

<sup>4</sup> La virtualización agrupa varios servidores “virtuales” dentro de un servidor físico, aprovechando el poder de procesamiento de un equipo de TI, para realizar varias tareas, de esta forma se reduce el número de servidores de un CPD y adicionalmente mantiene en operación el equipo sin periodos parado.

### 5.1.2. Métrica DCiE (Data Center infrestucture Effectiveness).

Es el inverso del PUE, relacionando la energía total consumida por los equipos TI respecto a la energía total consumida por CPD. Informa más apropiadamente de la eficiencia del CPD relacionando la potencia de entrada respecto a la potencia de salida (Jauregualzo, 2011).

$$DCiE = \frac{kwh \text{ anuales de TI}}{kwh \text{ anuales totales}} [Adimensional]$$

$$DCiE = \frac{1}{PUE} [Adimensional]$$

El DCiE varía desde la mejor situación que es  $DCiE = 1$  a un  $DCiE = 0$  que es la peor situación.

$$0 \leq DCiE \leq 1$$

Las mediciones de PUE y su inverso el DCiE tienen su frontera en la entrada de energía a los equipos de TI. Si consideramos una situación de un PUE ideal de 1, en donde la energía total que ingresa al CPD es usada por los equipos de TI, pero estos equipos no están realizando ningún proceso informático, desde el punto de la métrica del PUE es una situación excelente, pero respecto al CPD no hay producción, para estos casos es necesario usar otras métricas, concentrándonos en la forma como usan la energía los equipos de TI. Evaluando la relación de la demanda de potencia respecto al tiempo del uso de una CPU, dentro de un equipo de TI por ejemplo un PC del tipo de mesa, se observa que cuando la CPU no está procesando información el PC continúa consumiendo energía, en esta situación el rendimiento del equipo es cero (0). En la figura No. 3 se grafica este comportamiento, en determinado periodo de tiempo la demanda de potencia, sigue al uso de la CPU (Intel Pentium D de 2,66 GHz), entregando

la energía necesaria para sus actividades, pero el gráfico muestra que cuando la CPU tiene un uso de 0% el equipo está demandando 92 W, que no tienen ninguna función productiva (Jauregualzo, 2011).

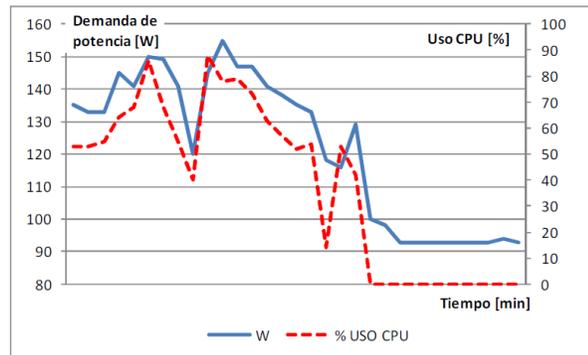


Figura No. 3. Demanda de potencia en vatios [W] respecto a uso porcentual [%] de la CPU en un PC de mesa. Fuente (Jauregualzo, 2011).

### 5.1.3. Equipos de medida para las variables del PUE.

Para la medición de la demanda de potencia de energía, es viable el uso de los mismos equipos usados por empresas comercializadoras de energía, los cuales tienen una exactitud normalmente de clase 0.2 o 0.5, almacenan una gran cantidad de registros en el tiempo y pueden registrar otras variables como la demanda de potencia aparente, potencia reactiva, armónicos y fluctuaciones de la red. También se usan equipos especializados llamados analizadores de red que disponen de un mayor número de variables y se pueden integrar a una red LAN (Red de área local, local area network).

Estos equipos de medida se ubican en las entradas de las acometidas de energía eléctrica de un CPD (corresponde a la medida del comercializador de energía para CPD independientes), sistema de aire acondicionado, sistema de energía ininterrumpida o UPS, sistema de iluminación y servicios auxiliares.

Para la medida de las condiciones atmosféricas al exterior del CPD se usan estaciones meteorológicas que registran la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica exterior.

La temperatura interior de las salas donde se ubican los equipos de TI, se mide mediante equipos portátiles o con termocuplas ubicadas en los rack<sup>5</sup>.

#### **5.1.3.1. Medida de energía a la entrada de la acometida general del CPD.**

Es viable el uso de la información suministrada por el comercializador de energía, la cual contiene los kWh (kilovatio hora), kVARh reactivos consumidos y los kW máximos demandados, para diferentes periodos de tiempo, así como el valor comercial del kWh que será facturado. Para un CPD con mayor número de instrumentación se pueden tener equipos de medida denominados analizadores de redes, que se instalan tanto a la entrada de los transformadores eléctricos de potencia, como a la salida de estos. Esta información es fundamental para el cálculo del PUE ya que es el numerador de la ecuación que calcula su valor.

#### **5.1.3.2. Medida de energía del sistema de aire acondicionado.**

El sistema de aire acondicionado dispone de equipos de medida, en la acometida general eléctrica de este sistema, así como como a la entrada de los diferentes componentes, como Chillers (Un equipo que utiliza el ciclo refrigeración para producir grandes volúmenes de agua fría, normalmente a 45-48 ° F o 7-9 ° C y mediante equipos de bombeo enviarla a las CRAH), torres de enfriamiento, CRAC y CRAH.

---

<sup>5</sup> Un rack es un soporte metálico destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Las medidas para la anchura están normalizadas para que sean compatibles con equipamiento de cualquier fabricante. También son llamados bastidores, cabinas y armarios.

### 5.1.3.3. Registro de las condiciones atmosféricas y de temperatura.

El clima es una variable importante dentro del PUE, al cambiar la temperatura exterior, determina diferentes aportes de calor hacia el interior del CPD, llevando a diferentes niveles de operación del sistema de aire acondicionado. También la temperatura al interior de las salas donde se ubican los equipos de TI debe estar constantemente monitoreada con el objeto de evaluar la carga térmica de estos equipos. Esta información permite determinar los rendimientos de la carga térmica interior en función del clima exterior, así como la disipación de calor de los equipos de TI. La eficiencia energética de un CPD depende de la temperatura exterior, si esta aumenta, los sistemas de aire acondicionado deben extraer mayor cantidad de calor, producto de la filtración exterior hacia el CPD, el PUE aumenta al ser necesaria más capacidad de enfriamiento. La figura No. 4 muestra la variación del PUE respecto a la variación de la temperatura exterior, a mayor temperatura el PUE se hace mayor, lo que indica una mayor ineficiencia del CPD.

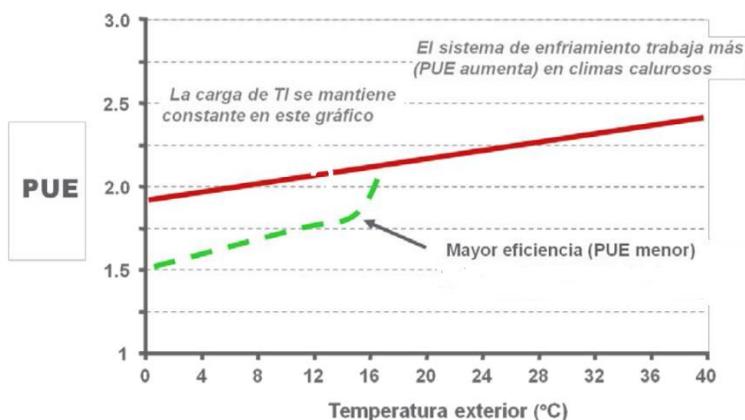


Figura No. 4. Variación del PUE respecto a la variación de la temperatura exterior.  
Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

#### **5.1.3.4. Medida de energía sistemas UPS.**

Las UPS disponen de equipos de medida interna que permiten evaluar su demanda de energía (en kWh), así como la energía de salida (en kWh) hacia los equipos de TI. La diferencia entre estas medidas permite determinar las pérdidas reales de energía de las UPS y su curva de eficiencia de acuerdo a la carga. La medida de energía de salida en kWh es la energía que requieren los equipos de TI y nos permite completar la ecuación del PUE con el valor del denominador.

#### **5.1.3.5. Medida de energía en el sistema de iluminación y servicios auxiliares.**

Las cargas de iluminación, ventilación, ascensores, equipos de oficina, sistemas de aire acondicionado auxiliares, cámaras de seguridad, controles de acceso, etc.; se mide mediante dispositivos ubicados en los tableros de distribución de energía eléctrica. Los perfiles de consumo de energía de estas cargas permitirán compararlas con las de otros sistemas para determinar si es necesario desplazar sus consumos, para evitar picos de demanda.

#### **5.1.4. Análisis estadístico del PUE.**

En la figura No. 5 se relaciona la energía total que ingresa al CPD con respecto a la energía que usan los equipos de TI y la siguiente ecuación define la potencia media (Tiple, 2009):

$$Potencia\ media = \frac{1}{N} \sum_1^N Potencia(i)$$

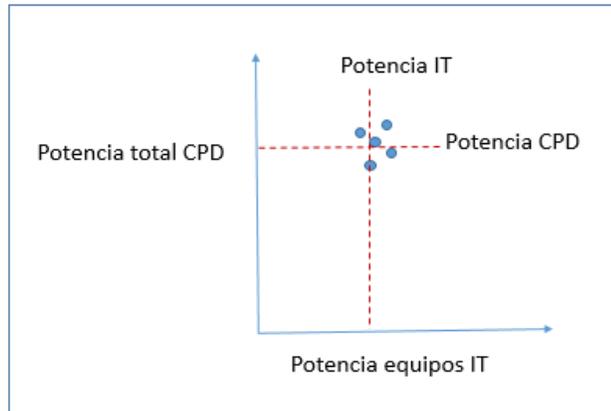


Figura No. 5. Relación de la potencia de entrada al CPD con respecto a la potencia de los equipos de TI. Fuente: grafica adaptada de (Tiple, 2009).

El punto que relaciona la potencia media del CPD y la potencia media de TI en momento dado es el PUE y se representa en la figura No. 6.

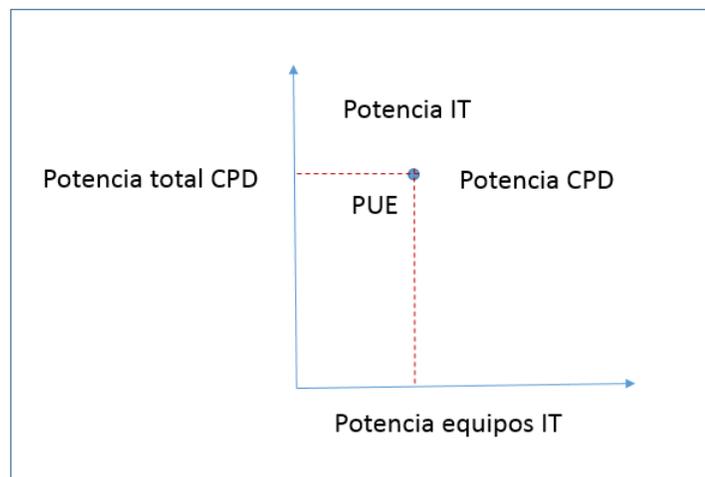


Figura No. 6. Punto de PUE, relación de la potencia media de entrada al CPD con respecto a la potencia media de los equipos de TI. Fuente: grafica adaptada de (Tiple, 2009).

La siguiente ecuación expresa esta relación.

$$PUE = \frac{\text{La media de la Potencia total de entrada al CPD}}{\text{La media de la Potencia total de entrada a los equipos TI}}$$

La desviación estándar se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\text{Potencia}(i) - \text{Potencia Media})^2 \right]}$$

### **5.1.5. Frecuencia de recolección de la información de las variables del PUE.**

El consumo de energía de un CPD se calcula de acuerdo al promedio de la eficiencia en este mismo periodo de tiempo. La medición del PUE es la eficiencia promedio durante un determinado periodo de tiempo. Los ciclos de operación de los equipos en los CPD es del más o menos 10 minutos, por lo que el periodo de tiempo más corto que nos aporta información útil es el de 60 minutos. Los promedios de medición del PUE mensual, semanal y diario se usan para determinar diferentes condiciones de operación de un CPD. Una medición anual del PUE permite relacionar de forma fácil el consumo de energía durante la vida útil del CPD. Las mediciones instantáneas del PUE se deben evaluar detalladamente ya que están reflejando la situación específica de la operación de los equipos de TI y de los equipos de infraestructura, para evaluar mejor los parámetros de eficiencia de un CPD es necesario el uso de periodos de tiempo mayores (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012).

### **5.1.6. Comparativos de PUE**

Un valor PUE puede estar en rangos de infinito a uno (1), este último indica una eficiencia del 100%. La información que se tiene del comportamiento del PUE en los CPD nos dice que tienen un comportamiento muy cercanos a un  $PUE = 3$  o mayores (Datacenter Consultores, 2010).

La organización The Green Grid estableció la siguiente tabla, la cual asigna a cada valor de PUE y DCiE un nivel de eficiencia.

PUE	DCiE	NIVEL DE EFICIENCIA
3.0	33%	MUY INEFICIENTE
2.5	40%	INEFICIENTE
2.0	50%	PROMEDIO
1.5	67%	EFICIENTE
1.2	83%	MUY EFICIENTE

Tabla No. 1. Nivel de eficiencia de acuerdo al PUE y DCiE. Fuente “The Green Grid Metrics: Data Center Power Efficiency”. Referenciado por (Datacenter Consultores, 2010)

Cuando se requiere realizar una comparación entre los PUE de diferentes CPD es necesario que se suministre suficiente información que permita realizar una comparación válida, esta información es:

- Periodo de medición del PUE, anual, mensual, diario, por hora.
- Condiciones de temperatura exterior, zona de la tierra donde se ubica.  
(Templada, tropical, polos). Altitud sobre el nivel del mar. Las condiciones climáticas mantienen continuas variaciones.
- Porcentaje de la carga informática del CPD. Esta varía en las horas del día, así como cada semana y cada mes.

#### **5.1.7. Carga de los equipos de TI o carga informática.**

La carga informática varía periódicamente en un CPD, esta puede estar representada por ingreso y salida de equipos de TI, así como por el procesamiento de la información. Para el primer caso esta afecta la carga del CPD a largo tiempo, al contrario del segundo caso que produce cambios instantáneos de la carga de los equipos de TI, afectando la carga del CPD.

La figura No. 7 muestra la variación de la eficiencia de un CPD con respecto a la carga informática, a mayor carga informática, próxima al 100%, la eficiencia se hace mejor aproximándose a valores de  $PUE = 1$ .

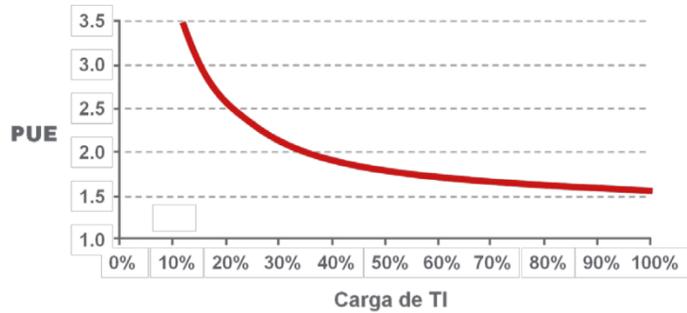


Figura No. 7. Variaciones de la eficiencia energética en función de la carga informática. Fuente (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

Las cargas de los equipos de TI varían en el transcurso de un día, cambiando el valor de la eficiencia de acuerdo a la hora que se mida. En los fines de semana y festivos las cargas de TI tienen variaciones con respecto a los días laborables cambiando la eficiencia de acuerdo al día en que se tome.

La determinación del punto de operación, en la gráfica de “la eficiencia energética en función de la carga informática” de un CPD permite evaluar si está sobredimensionado en su diseño o tiene un diseño ajustado a la carga de equipos de TI. En la figura No. 8 se comparan dos CPD uno con un PUE = 2 con carga informática al 10% y otro de PUE=1.7 con carga informática al 70%. Para el instante de la medida el CPD con PUE = 2 parece más ineficiente energéticamente, pero al llegar al 70% de la carga su eficiencia es mayor a la del CPD con un PUE de 1.7.

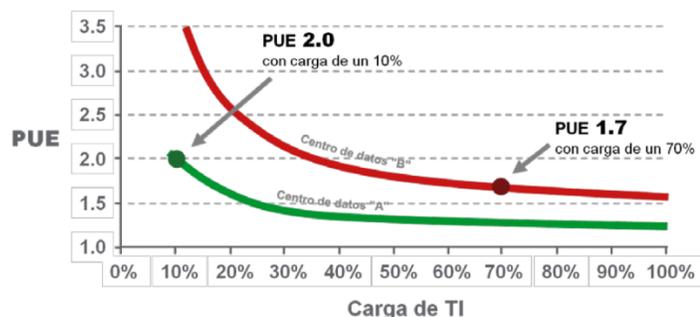


Figura No.8. Comparación entre dos CPD con PUE diferentes con respecto a la carga informática. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012) .

### **5.1.8. Afectación de la eficiencia energética de un CPD debida al efecto combinado de la temperatura, humedad exterior y de la carga informática.**

Variaciones de la temperatura exterior combinadas con la variación de la carga informática determinan un comportamiento de la eficiencia energética de un CPD que requiere de un modelamiento matemático para representar con precisión estos cambios en el tiempo.

En el modelamiento matemático propuesto por Neil Rasmussen en el informe No. 154 “Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos” representado en la figura No. 9 “Demanda vs Perdidas de la eficiencia energética de un CPD”, muestra como el consumo total de energía está determinado por las condiciones atmosféricas exteriores (temperatura y humedad) y la carga de los equipos de TI. Estos generan las demandas energéticas al sistema de aire acondicionado (torres de enfriamiento, chillers, bombas, CRAC o CRAH), al sistema de alimentación eléctrica (UPS y subestación), generando las perdidas energéticas (calor) de acuerdo a la eficiencia de los equipos de TI o los de infraestructura.

El modelo determina que las pérdidas eléctricas totales son debidas a la suma de las perdidas eléctricas debidas a la alimentación, enfriamiento e iluminación. Las pérdidas por la alimentación eléctrica son la suma de las perdidas por la distribución, por UPS y las generales. Las pérdidas del sistema de enfriamiento están en los humificadores, crah, bombas, planta de agua helada, torre de enfriamiento. La carga informática impacta directamente la distribución de potencia y las UPS, así como la carga térmica (calor disipado por los equipos de TI). La temperatura y humedad relativa exterior impacta directamente las infiltraciones de calor, las torres de enfriamiento y la planta de frio.

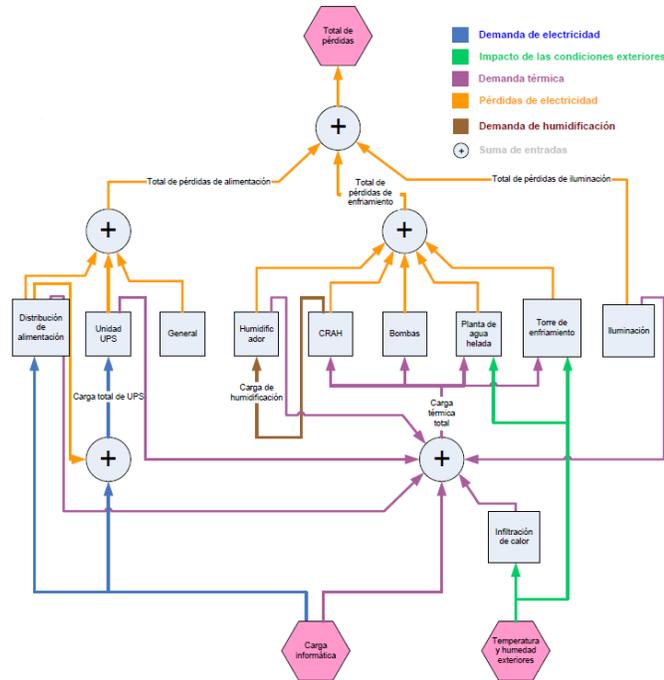


Figura No. 9. Modelamiento de la eficiencia energética de un CPD. Fuente: (Rasmussen, Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos, 2012)

## 5.2. HUELLA DE CARBONO.

Toma cada vez más importancia la identificación, el estudio de la huella de carbono y el uso eficiente de la energía en los CPD, para los gobiernos y las ONG (organizaciones no gubernamentales) y su impacto en el calentamiento global, de forma que se puedan establecer planes de acción para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los CPD.

De acuerdo a un informe de la EPA (Environmental Protection Agency), los CPD de EE.UU consumieron 61 billones de kWh en el 2006, lo que representó el 1.5% de la energía producida en EE.UU y un costo de 4.5 billones de dólares. Los CPD se tienen identificados como los de mayor crecimiento en la demanda de energía, por lo que la EPA estableció que los CPD del gobierno de EE.UU deben reducir su huella de carbono para el 2011 en un 20%, para luego solicitar la aplicación de esta medida, a los CPD privados (Bouley, 2011).

Los 15 países miembros de la UE, en el 2004, y que firmaron el protocolo de Kyoto, acordaron reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero en un 8% por debajo del nivel de 1990 para el año 2012. La European Commission (EC) estableció el Code of Conduct on Data Center Energy Efficiency (Código de conducta para Centro de Datos de la UE -Mejores prácticas), que son un conjunto de medidas, para aplicación voluntaria respecto a la eficiencia de los CPD, con estándares mínimos que serán la base de las futuras regulaciones, tienen como objetivo mejorar la eficiencia de los CPD en un 30%. La figura No. 10 muestra como la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera viene presentando un aumento desde 1900 y como acompaña un aumento de la temperatura promedio de la tierra.

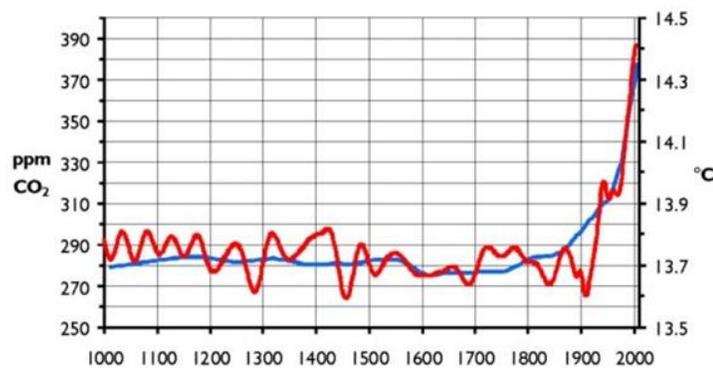


Figura No. 10. Crecimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera y el aumento de la temperatura de la tierra. Fuente: (Conciencia ECO, 2011)

En el año 2007 los centros de procesamiento de datos de Europa Occidental consumieron 56 teravatios-hora (TWh) y según la UE esta cantidad se duplicara para el año 2020 pasando a 104 TWh. Este crecimiento debe ser compensado con innovaciones sobre los equipos tanto infraestructura como de TI para mejorar su eficiencia energética, como parte de los objetivos de la UE de reducir su emisión de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático global.

Estimar el consumo de energía de los CPD y en consecuencia determinar la huella de carbono, permite determinar su efecto sobre el medio ambiente.

Para responder a la pregunta ¿Qué impacto genera en el medio ambiente el consumo de energía de los CPD? Se debe primero determinar su consumo de energía y luego convertir esta información en emisiones de carbono. La huella de carbono de un CPD es directamente proporcional a los consumos de energía eléctrica.

Las tres variables que tienen un mayor impacto en el consumo de energía son:

- La localización, ubicación geográfica y altitud sobre el nivel del mar.
- La carga de los equipos de TI (Carga informática).
- La eficiencia energética de los equipos de infraestructura y los de TI.

### **5.2.1 Términos usados en la determinación del impacto ambiental de los CPD.**

#### **5.2.1.1. Huella de Carbono o el coeficiente de emisiones de dióxido de carbono.**

Es la medición de la cantidad de gases de efecto invernadero, incluido el CO<sub>2</sub>, producido por las actividades básicas como conducir un vehículo o la energía usada por una industria. Para el caso de una industria se debe evaluar la huella de carbono desde la generación de energía eléctrica, la transmisión y la distribución hasta su punto de uso final. La cantidad de electricidad que consume un CPD determina su huella de carbono.

#### **5.2.1.2. El CUE (Carbon Usage Effectiveness)**

Esta métrica evalúa las emisiones de CO<sub>2</sub> (gas de efecto invernadero GEI) asociadas a las pérdidas de energía en un CPD y la siguiente es la ecuación para su cálculo:

$$CUE = \frac{kg\ CO_2}{kWh} \cdot \frac{kWh\ anuales\ totales}{kWh\ anuales\ de\ TI} \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

$$CUE = \frac{kg\ CO_2}{kWh} \cdot PUE \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

La tecnología con la cual es generada la electricidad que usa el CPD, define las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por cada kWh que se consume y su expresión es el termino kg CO<sub>2</sub>/kWh. La tecnología de generación de cada país define un mix (mezcla) de generación de electricidad (hidroeléctrica, nuclear, termoeléctricas, eólica, etc.). Las constantes de mix para la generación por medio de energías renovables tiene un valor de kg CO<sub>2</sub>/kWh= 0 para el caso cuando la energía eléctrica es producida por energía nuclear por ejemplo. Un país requiere de varias formas de generación de energía para cubrir la demanda, como generación hidroeléctrica, eólica, nuclear y térmica la cual consume combustibles fósiles, como el carbón y gas natural, por lo tanto el mix energético varía de acuerdo al estado de la demanda. En los horarios de punta de consumo, el mix energético puede ser muy contaminante, debido a que este pico de demanda debe ser cubierto por la generación térmica. La figura No. 11 muestra las curvas de demanda energética (línea continua) y del mix (kg CO<sub>2</sub>/kWh-línea punteada) para un país europeo, se observa como en una misma demanda produce diferentes emisiones de acuerdo a la hora del día.

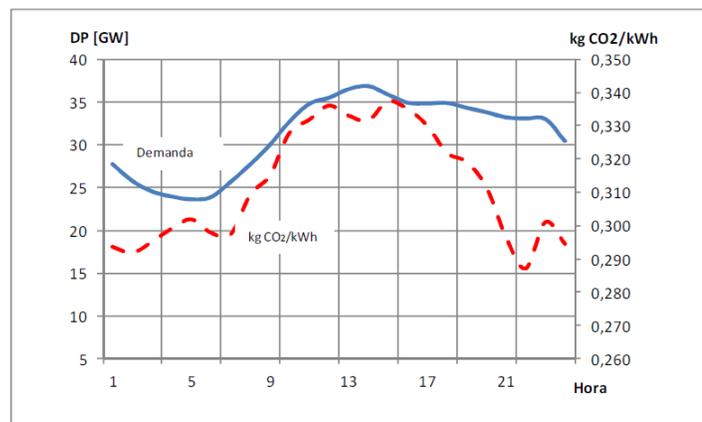


Figura No. 11. Curvas de demanda energética y kg CO<sub>2</sub> /kWh de una día, para un país Europeo. Fuente: (Jauregui, 2011)

Si calculamos el CUE para un CPD ubicado en este país, el valor es diferente de acuerdo a la hora del día que se calcule:

Para las 21 horas es:

$$CUE = 0.29 \cdot PUE \left[ \frac{kg \text{ CO}_2}{kWh} \right]$$

Para las 13 horas es:

$$CUE = 0.33 \cdot PUE \left[ \frac{kg \text{ CO}_2}{kWh} \right]$$

Como se observa el CUE tiene un diferente valor de acuerdo al horario y el PUE de cada CPD. (Jaureguialzo, 2011)

La ubicación geográfica del CPD juega un papel muy importante en la huella de carbono, los CPD ubicados en zonas de fácil acceso a fuentes hidroeléctricas, eólicas o nucleares tienen una huella de carbono menor que los ubicados en zonas que dependen en mayor medida de energía eléctrica producida por carbón, gas natural y petróleo.

### **5.2.1.3. Picos de demanda.**

Las empresas generadoras de energía eléctrica asumen los picos máximos de demanda mediante plantas generadoras de electricidad, que usan los combustibles fósiles como el ACPM o el gas natural que son grandes generadores de CO<sub>2</sub>. Estas plantas permanecen inactivas y solo se usan en el momento que la demanda llegue a su máximo valor. Estas plantas generadoras de electricidad pueden necesitar operar unas cuantas horas al día o solo unas pocas horas al año.

Estas plantas generadoras de electricidad son normalmente menos eficientes y más antiguas que las hidroeléctricas y nucleares. Si en la zona donde se ubica el CPD se

tiene picos continuos de demanda se dará en uso reiterado de estas fuentes de generación lo que incrementará las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono.

#### **5.2.1.4. Emisiones evitadas**

Cuando se aplican políticas de reducción de consumo de energía eléctrica en un CPD, se exige una menor demanda al sistema interconectado de potencia eléctrica, por lo que se evita la generación de gases de efecto invernadero y se reduce la huella de carbono. Esto es aún más beneficioso si en la zona, se tiene una amplia generación de energía eléctrica por combustibles fósiles para suplir los picos de la demanda.

#### **5.2.1.5. CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono, o “Carbón”) GEI.**

Es el gas que más contribuye al efecto invernadero, representa el 76% de los gases de efecto invernadero, de acuerdo a lo reportado por el panel Intergubernamental del Clima 2007. El CO<sub>2</sub> es emitido a la atmosfera en grandes cantidades y tiene una duración de 100 años en ella.

En términos generales para un CPD las emisiones de carbono se deben evaluar en todo su ciclo de vida, iniciando con el producido en la fabricación de los componentes, que hay al interior del CPD como: servidores, UPS, la infraestructura física del edificio, los sistemas de refrigeración, etc., este carbono se denomina el carbono incrustado. Dentro de las emisiones de CO<sub>2</sub> también se deben incluir el producido en la operación, iniciando con la energía eléctrica consumida, el mantenimiento, la quema de combustibles fósiles durante la operación con

generadores, el cambio de baterías y bancos de condensadores y la eliminación de los componentes al final de su vida útil (Bouley, 2011).

La figura No. 12 representa el aporte de CO<sub>2</sub> en los diferentes ciclos de vida del CPD.

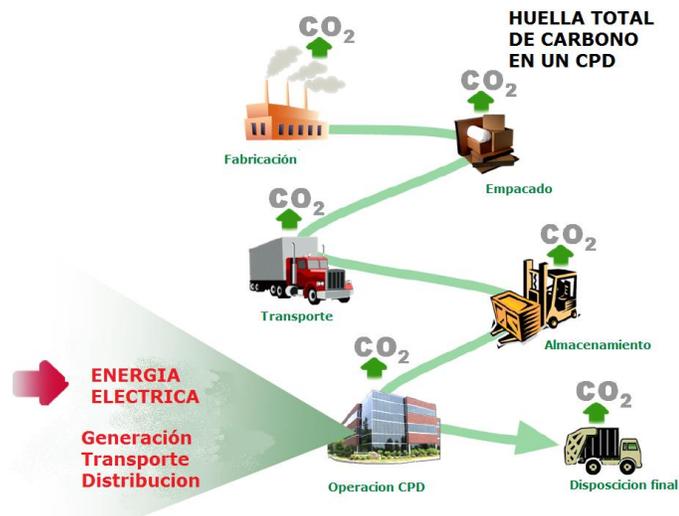


Figura No. 12. CO<sub>2</sub> producido durante toda operación del CPD. Fuente: (Bouley, 2011)

El carbono incrustado, producto del proceso constructivo del edificio donde se aloja el CPD, se cuantifica con la siguiente información tomada de Edinburgh Centre for Carbon Management Ltd., Forestry Commission Scotland Greenhouse Gas Emission Comparison Carbon Benefits of Timber in Construction de Agosto del 2006 citado en el informe Estimating a Data Center's Electrical Carbon Footprint por Dennis Bouley.

En la tabla No. 2 se estima el aporte de CO<sub>2</sub> de los materiales constructivos de un CPD con una superficie de 530 m<sup>2</sup> para equipos de procesamiento de información.

<b>Edificio CPD materiales para un área de 530 m<sup>2</sup>(5.700ft<sup>2</sup>) Edificio de oficinas</b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub></b>	<b>Porcentaje del total (%)</b>
Fundaciones (hormigón)	4.7	4
Pisos (Losas)	39.9	31
Techos (Placas de yeso)	2.3	2
Estructura (Vigas de acero)	15.4	12
Paredes externas (Ladrillo, concreto)	32.1	25
Paredes internas (Placa de yeso)	8.7	7
Escalera (Hormigón)	1.1	1
Ventanas (Vidrio y marcos)	0.59	0.4
Puertas internas (material aglomerado, reciclado)	-0.4	-0.3
Puertas exteriores	0.6	0.5
Cubierta (madera, hormigón y material aislamiento)	23.4	18
<b>TOTAL</b>	<b>128.3</b>	<b>100</b>

Tabla No. 2. Desglose del aporte de CO<sub>2</sub> del material constructivo de un CPD.

La tabla tiene un número negativo, que debe ser considerado como un impacto positivo en las emisiones CO<sub>2</sub>, neutralización de las emisiones CO<sub>2</sub>, debido a que utiliza materiales reciclados.

### **Estimación de consumos en la operación de un CPD.**

Los siguientes son los consumos de electricidad, de agua, cobre, plomo, plástico, aluminio, soldadura, acero para un CPD de una capacidad de un 1MW, y una vida útil operativa de 10 años, con sistemas de alta redundancia en el aire acondicionado y fuentes de alimentación eléctrica, se incluyen los rack, los equipos TI y no se incluye el edificio del CPD:

La tabla No. 3 reúne la información estimada, del consumo de un CPD para 10 años de operación.

<b>ELEMENTO</b>	<b>CONSUMO EN 10 AÑOS</b>
Energía eléctrica	177.000.000 kW/h.
Agua	59.999.998,55 m <sup>3</sup>
Cobre	65.771 kg.
Plomo	9.525 kg.
Plástico	14.968 kg.
Aluminio	33.112 kg.
Soldadura	5.443 kg.
Acero	171.004 kg.

Tabla No. 3. Consumo en 10 años de materiales de un CPD. Fuente: (Bouley, 2011).

La obra civil del edificio de un CPD, de una potencia de 1MW, contiene los siguientes materiales y productos:

- Hormigón
- Albañilería
- Ladrillo: piedra, mortero.
- Metales: Vigas de acero, tuberías de plomo, cables de cobre, laminas aluminio, escaleras, barandillas, placas de piso, rejillas, clavos, tornillos, pernos, tapajuntas de aluminio, láminas de metal, aluminio.
- Madera, plástico: muebles, cubiertas de cables, puertas y ventanas.
- Protección térmica / humedad: Aislamientos y barreras de vapor.
- Agua: Servicio de limpieza, refrigeración, extinción de incendios.
- Productos Químicos: Pegamento, glicol, limpiadores, repelentes de agua, selladores, material para extinción de incendios.
- Vidrio.
- Alquitrán: Los techos, carreteras, aceras, estacionamientos.
- Tejas, azulejos.

### **5.2.2. Uso de los componentes de operación y constructivos en un CPD en relación a los edificios convencionales.**

El edificio donde se aloja un CPD tiene especificaciones y características diferentes a las de un edificio convencional de oficinas. En un CPD la energía tiene un uso mayor que un edificio de oficinas, esta puede ser del orden de 40 veces, por lo que se asemejan más a instalaciones industriales. Las instalaciones son construidas para alojar equipos de TI y no personas por lo que no disponen de ventanas y el ingreso a aire exterior es el

mínimo. La vida útil del edificio de un CPD se estima en 10 años y la de un edificio de oficinas en 50 años.

La figura No.13 muestra el porcentaje de utilización de la energía en un CPD.

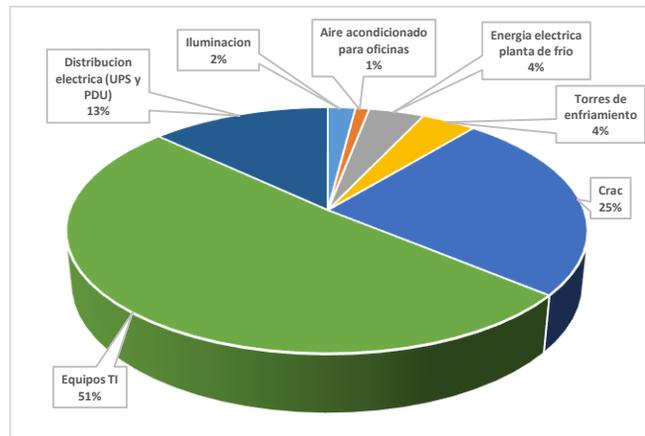


Figura No. 13. Porcentaje del uso de la energía en un CPD. Fuente: (Bouley, 2011)

La figura No. 14 muestra el porcentaje de uso de la energía en un edificio convencional de oficinas.

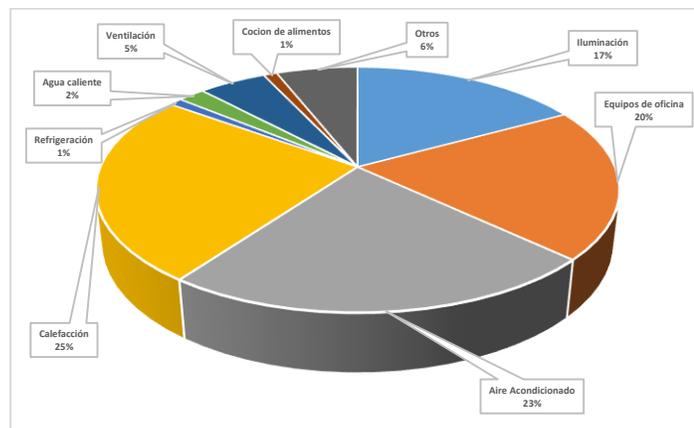


Figura No. 14. Porcentaje del uso de la energía en un edificio de oficinas. Fuente: (Bouley, 2011)

### 5.2.3. Mecanismo de desarrollo limpio (MDL).

Es un acuerdo suscrito en el marco del Protocolo de Kioto que en su artículo 12, permite a los gobiernos de los países industrializados o llamados países del Anexo 1 del Protocolo de Kioto y las empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o

privadas) suscriban acuerdos para cumplir con las metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI), invirtiendo en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo o llamados países no incluidos en el Anexo. Este mecanismo es una alternativa para adquirir reducciones certificadas de emisiones (RCE) (Wikipedia, 2014). Este concepto de créditos de carbono se introduce en los CPD al plantar árboles en los alrededores de las instalaciones de los CPD para reducir la huella de carbono.

Los CPD que son proveedores de servicios para diferentes organizaciones, tienen en algunos países la obligación de imputar las emisiones de GEI, esta situación permite a los CPD desarrollar cambios en las conductas de administración de la energía de forma que lleven a su reducción (Rasmussen, Imputación de costos energéticos y emisiones de carbono de un centro de datos a usuarios de servicios informáticos, 2012).

### **5.3. AIRE ACONDICIONADO DE UN CPD**

El sistema de aire acondicionado tiene las funciones de retirar el calor sensible y latente producido por los equipos de TI y por el personal de operadores, controlar la humedad relativa y remover las partículas de polvo contaminante mediante filtros, los equipos electromecánicos que realizan esta función son las CRAC y CRAH (ICREA, 2013). Los equipos de TI son sensibles a las condiciones ambientales y deben cumplir requisitos estrictos para su ambiente de operación (BCSI, 2002).

Las diferentes zonas del CPD, como la sala de equipos de procesamiento de información que contiene los servidores y equipos de almacenamiento, la sala de telecomunicaciones en

donde se alojan los switch<sup>6</sup> y routers<sup>7</sup>, la sala de operadores de telecomunicaciones, la sala de UPS, la sala de monitoreo y operación(Network Operations Centers–NOC), la sala de cintoteca. Cada una requiere de un diseño específico de aire acondicionado, las salas de equipos de TI, en donde no se presenta intervención humana de forma permanente, es necesario protegerla del entorno y la infraestructura de equipos de aire acondicionado debe garantizar independencia respecto a las otras salas y deben ser de alta disponibilidad (ICREA, 2013). Las salas en donde se presenta intervención humana como el NOC, sala de cintoteca deben disponer de sistema de aire acondicionado de confort y no deben tener ninguna relación con las salas de hardware.

Las condiciones típicas de diseño para un CPD en la sala de los equipos de TI están definidas en la tabla No. 4:

<b>FACTOR</b>	<b>NIVEL RECOMENDADO</b>
Temperatura de ajuste y rango	22 +/- 1°C
Humedad relativa	50 +/- 5%
Calidad del aire filtrado(ASHRAE standard 52.1 – 1992,eficiencia a través de la decoloración producida por el polvo atmosférico)	45% mínimo 20%

Tabla No. 4. Condiciones típicas de diseño para CPD. Fuente: (Camacho Garcia, 2011)

La temperatura de 22 +/- 1°C garantiza la operación adecuada de los equipos de TI, así como permitirá soportar picos de calor de corta duración. La humedad relativa (HR) del 50 +/- 5% con HR superiores a este valor, se produce condensación en las superficies de los equipos de TI, cuando la HR es inferior puede causar descargas estáticas. La presencia de polvo atmosférico afecta la operación de los equipos, se controla con la instalación de filtros en

<sup>6</sup> Un switch es un dispositivo digital lógico de interconexión de redes de computadores.

<sup>7</sup> Un router es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel de la red, su función principal es enviar o encaminar paquetes de datos e interconectar subredes.

los sistemas de toma de aire exterior, en los equipos de TI los filtros sucios reducen el intercambio de calor, situación que debe ser evitada. Mantener una presión positiva permite que los flujos de aire sean siempre del interior al exterior, lo que evita el ingreso de polvo atmosférico. Un criterio adicional es el de definir las tasas de cambio en la temperatura y la humedad que se establecen de  $\pm 0.5$  ° C y  $\pm 5\%$  de HR (Camacho Garcia, 2011).

La carga de enfriamiento está determinada por los equipos de TI, la cual puede estar altamente concentrada o distribuida, la iluminación aporta una carga que es relativamente baja comparada con la de los equipos de TI. Los requerimientos por ocupación de personas son bajos, ya que en las salas de equipo de TI la presencia de personal técnico es muy baja. Se tendrán ganancias por estructuras dependiendo de la ubicación del CPD y del sistema de aislamiento térmico.

Las ganancias de calor de los CPD son siempre por calor sensible, debido a la baja ocupación y a la poca proporción de aire exterior, esto lleva a que la relación de suministro de aire por kW sea mayor a la de cualquier otro sistema de aire acondicionado, estando entre 0.9 y 1 (Camacho Garcia, 2011).

### **5.3.1. Soluciones de sistemas de enfriamiento.**

Un sistema de aire acondicionado para un CPD debe contener los procesos de filtración, enfriamiento, des-humidificación, humectación, calentamiento del aire y estas actividades las debe realizar de forma continua y con un alto nivel de confiabilidad.

Un CPD puede disponer de los siguientes sistemas de acondicionamiento de aire:

- Unidad compacta que incluye el manejo del aire y el enfriamiento de expansión directa. Disponen de un compresor con circuitos para condensación y

enfriamiento. Tienen filtros de aire, humidificadores, resistencia calentadoras. El sistema de condensación es remoto y normalmente es enfriado por aire. Esta se asimilan a las denominadas CRAC.

- Unidad de agua helada y acoplada a una planta de agua helada. El sistema no contiene el equipo de refrigeración ya que este es sustituido por el agua helada proveniente de un Chiller. Esta se asimilan a las denominadas CRAH.
- Sistema central de manejo de aire y con equipos de refrigeración por fuera de la sala de los equipos de TI. El aire es conducido al salón de los equipos de TI mediante conductos de suministro y el retorno igualmente se realiza por conductos.

Para grandes requerimiento de extracción de calor en un CPD, se usan sistemas de agua helada que tienen bajos consumos de energía eléctrica al ser comparados con sistemas que usan compresores y condensadoras enfriadas por agua. Se tienen los siguientes sistemas de producción de agua helada:

- Chiller enfriados por aire con ventiladores axiales estándar y screw compressor.
- Chiller enfriados por aire con ventiladores tipo EC-Fan de bajo consumo eléctrico y screw compressor.
- Chiller enfriados por aire con ventiladores axiales estándar con Free-Cooling y screw compressor.
- Chiller enfriados por aire con ventiladores tipo EC-Fan de bajo consumo eléctrico y Free-Cooling y screw compressor.
- Chiller enfriados por agua con Torres de Enfriamiento con screw o centrifugal compressor.

- Chiller enfriados por agua con Dry Cooler en circuito cerrado con SCROLL compressor, eventualmente screw o centrífugal compressor.

Los Chiller enfriados por agua con Torres de enfriamiento son usados principalmente en áreas que puedan prever una buena cantidad de agua ya sea de fuentes hídricas o del agua lluvia, esta última reduce el uso del agua potable que es para consumo humano.

Los Chiller en disposición (N+1) descargan el agua helada a un anillo con doble salida hacia la estación de bombas que alimentan los consumos CRAH (Computer Room Air Handler) y PTU (Pump Transfer Unit). Un PLC es responsable de calcular la cantidad de chiller en operación, arrancar la unidad en Stand-By en caso de falla en la unidad en operación y realizar rotación para garantizar un desgaste parejo en el tiempo. Dependiendo de la importancia de la sala servidores, se pueden instalar adicionalmente tanques con agua helada. El volumen de éstos depende de la capacidad requerida a un tiempo asociado. Esto para prever un colapso total en la producción de agua helada.

La producción de agua helada de este sistema, de tipo planta de agua helada, es de 7 °C para una inyección de aire frío desde las CRAH de 14°C. La tendencia futura es tener una temperatura de agua helada de 12°C y una inyección de aire frío de 20°C.

### **5.3.2. Distribución del aire en un CPD, sala de equipos de TI.**

El aire del CPD, que circula vía los sistemas termo-mecánicos (el cual enfría y circula el aire), es el mecanismo para enfriar los equipos de TI. Es importante entender la dinámica del aire en un CPD ya que tiene un efecto significativo sobre los sistemas de refrigeración y circulación (ventiladores) de aire, determinando la eficiencia con la que se usa el aire acondicionado que sale de las maquinas CRAC.

Los sistemas de suministro de aire se diseñan para 560 CFM /TR para satisfacer los requerimientos de retiro de calor de los equipos de TI. Los pisos falsos sobre los que se instalan los rack (contienen los equipos de TI), tienen una cavidad en la parte inferior para ubicar las canalizaciones de los cables de potencia y comunicación que interconectan los equipos de TI, este espacio es también el canal de distribución del aire acondicionado, el cual es llevado mediante rejillas de suministro hasta los rack. El espacio libre bajo el piso falso debe ser no menor a 25 centímetros. El aire de retorno con una mayor carga calórica es retornado a los equipos de enfriamiento mediante el uso del plenum de techo (Camacho Garcia, 2011).

Las temperaturas de aire que típicamente se encuentra en un CPD tradicional son:

- $T_r = 21^{\circ}\text{C}$ , temperatura de retorno a las CRAC o CRAH, es normalmente la temperatura de consigna de las impulsoras de aire.
- $T_c = 14^{\circ}\text{C}$ , temperatura de alimentación de las CRAC o CRAH (medida en la impulsora).
- $T_f = 14.1^{\circ}\text{C}$ , temperatura del aire en el piso elevado, después de aspirar el flujo de presión negativa.
- $T_s = 21^{\circ}\text{C}$ , temperatura del entrante a los servidores (mezcla de aire de rejillas con la de recirculación).
- $T_h = 28^{\circ}\text{C}$ , temperatura del aire expulsado de los servidores (antes de mezclarse con el aire frío de bypass).

La figura No.15 muestra los flujos de aire en un CPD, mediante la medición de la temperatura.

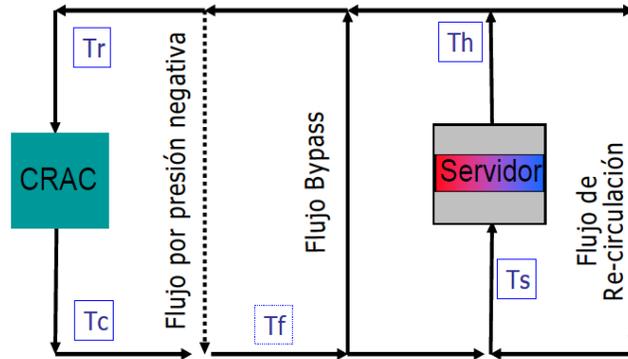


Figura No.15. Flujos de aire en un CPD. Fuente: (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones, 2010)

### 5.3.3. Ineficiencias del sistema de distribución de aire.

La mitad del caudal de aire de las CRAH o CRAC hace bypass a los servidores y vuelve directamente a las impulsoras sin enfriar nada, esto es una pérdida de energía en las CRAC o CRAH y la que más aporta a la ineficiencia energética del aire acondicionado. La mitad del aire que alimenta los servidores proviene de la descarga de los mismos. Para compensar el aumento de temperatura por esta recirculación, es entonces necesario bajar las temperaturas de alimentación del aire de las impulsoras de la CRAH, muy por debajo de las temperaturas a las que necesitan los equipos de TI. En una investigación realizada por Robert Tozer profesor colaborador en el South Bank University y participe de comités técnicos de ASHRAE, The Green Grid y el Código Europeo de Conducta entre otros, se concluyó que en un grupo de CPD el 50% del aire suministrado por las máquinas impulsoras de aire (CRAC o CRAH) hace bypass a los servidores y regresa a estas máquinas sin realizar la función de refrigerar (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones, 2010).

En la misma investigación se encontró que una gran cantidad de equipos de TI reciben aire demasiado frío y otro número mayor lo reciben demasiado caliente. La situación por

la cual los equipos de TI reciben aire a mayor temperatura se debe a que se presenta un alto grado de recirculación del aire, por la falta de paneles de bloqueo en los espacios de los rack que no tienen equipos. La figura No. 16 representa la relación entre la temperatura que ingresa a los equipos TI, respecto a la cantidad de equipos de TI. La columna de color blanco representa el número de equipos de TI que reciben la temperatura solicitada por ASHRAE (Código técnico TC 9.9) para equipos TI clase 1(servidores), los equipos TI de las columnas de colores azul y naranjada, están por fuera de los requerimientos de los fabricantes.

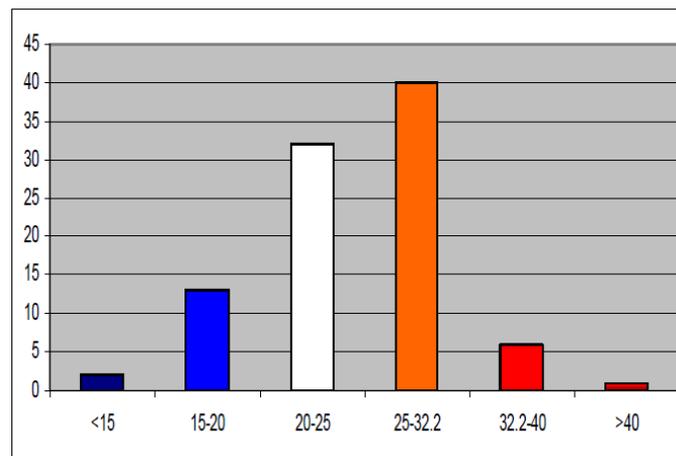


Figura No. 16. Número de equipos TI de acuerdo al rango de temperatura de aire suministrado. Fuente: (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos- Aplicaciones, 2010)

Las desviaciones respecto a la entrada de aire, a la temperatura solicitada por ASHRAE, dispone de un indicador llamado RCI (Rack Cooling Index) que es porcentual, evaluando los equipos de TI que reciben aire por encima de los 27°C el RCI hi y los que reciben aire a menos de 18°C el RCI lo.

La mezcla de aire de suministro con el aire de retorno de los equipos de TI, se muestra en la figura No. 17, el aire que ingresa al rack por el piso falso, se mezcla en el interior del rack con el aire de retorno, esta situación lleva a que los servidores reciban un aire

por fuera de los requerimientos de los fabricantes o que se requiera llevar al temperatura del aire de suministro a niveles más bajos (por debajo de los 18°C) lo que aumenta el consumo de energía del sistema de aire acondicionado.

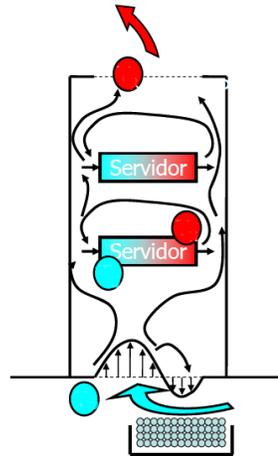


Figura No.17. Flujo del aire acondicionado en un rack. Fuente: (Tozer, Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones, 2010)

#### **5.3.4. Energía del aire acondicionado**

La energía de los sistemas de aire acondicionado, constituidos por compresores (Chillers), bombas y ventiladores (de torre de refrigeración, etc.), es el grupo más grande de la energía termo-mecánica. La energía promedio del sistema de aire acondicionado es el 27% de la energía de los CPD, mientras que la energía de los ventiladores de las CRAC o CRAH representa el 11% (Salim Munther, 2008).

#### **5.3.5. Determinación de la potencia consumida por los equipos de TI dentro de un rack.**

Aplicando el concepto de calentamiento del aire a condiciones de presión atmosférica normales, se puede determinar los requerimientos de energía calórica que son necesarios para aumentar la temperatura del aire, normalmente los equipos de TI reciben el aire a

una temperatura y sale a una mayor. Esta energía eléctrica necesaria para calentar el aire que circula dentro de los equipos de TI, representa las pérdidas energéticas de las actividades del procesamiento de la información.

Recurriendo a la siguiente ecuación (Chromalox Precision Heat and Control, 2010) es viable determinar la potencia en kW que fue necesaria por parte del equipo de TI para calentar el aire:

$$kW = \frac{CFM * \frac{lbs}{pie^3} * 60 \text{ min} * Cp * \Delta T}{3412 \text{ Btu/kW}} * SF$$

CFM: Volumen de aire en pie cúbico por minuto que pasa por el rack.

Lbs/pie<sup>3</sup>: Densidad del aire a temperatura inicial.

Cp: Calor específico a temperatura inicial.

ΔT: Incremento de la temperatura en °F.

SF: Factor de protección.

Los valores medios de Cp y lbs/pie<sup>3</sup> se pueden considerar así:

$$\text{Lbs/pie}^3 = 0.08$$

$$Cp = 0.24 \text{ Btu/lb/}^\circ\text{F}$$

Para el caso de un servidor que requiere de un volumen de circulación de aire 153.23 CFM para eliminar su calor y la temperatura del aire de entrada respecto a la de salida tiene una diferencia de ΔT= 20°F al aplicar la ecuación para hallar los kW, con las siguientes variables (Dunlap, 2008):

$$CFM = 153.23$$

$$Cp = 0.24 \text{ Btu/lb/}^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 20^\circ\text{F}$$

$$SF = 1$$

$$kW = \frac{153.23CFM * 0.08 \frac{lbs}{pie^3} * 60 \text{ min} * 0.24Btu/lb/^{\circ}F * 20^{\circ}F}{3412 Btu/kW} * 1$$

$$kW = 1.034$$

Esta es la cantidad de energía que fue necesaria, para calentar el aire en su paso por el servidor. Conociendo la energía eléctrica en kW que ingresa al servidor, es viable conocer cuanta de esta se usa efectivamente por el equipo de TI.

Energía efectiva el procesamiento de datos = Energía eléctrica de entrada – Energía necesaria para calentar el aire.

De acuerdo al segundo principio de la termodinámica, principio de la entropía, el calor es la energía de menor calidad, por lo tanto este calor desprendido de los equipos de TI no es aprovechable y entra a formar parte del aumento de la entropía del planeta (Herrero, Cembranos, Pascual, & Otros, 2011).

### **5.3.6. Componentes del cálculo de la capacidad del sistema de aire acondicionado para un CPD.**

Para el cálculo de la capacidad de enfriamiento es necesario tener información en detalle de:

- Características del edificio. Los materiales del edificio, tamaño de los componentes, colores de las superficies exteriores.
- Ubicación del edificio, orientación, latitud, longitud.
- Datos climatológicos de la zona de ubicación del CPD.
- Determinación de las condiciones de diseño interior, temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco, grado de ventilación.

- Información de las especificaciones de las luminarias, equipos de TI y su distribución en el cuarto, ocupantes.

Etapas del proceso de diseño (Camacho Garcia, 2011):

- Determinación del calor transmitido por la estructura, determina la carga de enfriamiento.
- Determinación del calor recibido a través del techo, determina la segunda carga de enfriamiento.
- Ganancia de calor por las paredes exteriores, tercera carga de enfriamiento.
- Carga de los equipos de TI, iluminación y personal.
- Determinación del caudal de aire para el manejo del calor.
- Selección de los equipos de refrigeración.

Los sistemas de aire acondicionado para un CPD deben estar diseñados para manejar cargas extremas de 538 a 2153 vatios/m<sup>2</sup>. Las condiciones objetivo de diseño deben estar en temperatura de 22 a 24°C y en humedad relativa de 35 a 50%. El flujo de aire debe ser de una tasa alta para brindar un alto factor de calor sensible, mejor distribución de aire, aumento de tasas de filtrado. El control de la pureza del aire debe evitar el polvo suspendido, mediante el uso de filtros del tipo plegado. La sala debe ser diseñada con barreras de vapor que impida el ingreso de vapor en verano y la salida de este en invierno, las barreras son entre otras, cielo rasos con película de polietileno, las paredes de mampostería cubiertas con pinturas de base plástica o caucho, las puertas con cierres herméticos y todas las entradas de cables y cañerías deben estar selladas.

El aire proveniente del exterior, aire fresco, debe reducirse al mínimo (20 CFM), esto reduce el ingreso de calor latente (APC, 2005).

La redundancia se logra mediante equipos adicionales que proveen el 100% de capacidad de la carga de refrigeración requerida, aun después de salir de servicio una unidad principal. Esta redundancia es necesaria debido a que los costos por no operación del CPD son superiores a los de disponer de estos sistemas redundantes.

#### **5.4. SISTEMA ININTERRUMPIDO DE POTENCIA (UPS)**

La UPS provee energía eléctrica en forma continua a los equipos de TI, en caso de fallos de la red de energía pública. Las eficiencias de las UPS varían en forma considerable, dependiendo del fabricante y tipo de UPS (doble conversión, doble conversión con filtro, conversión delta, rotativo). Las UPS de conversión doble son bastante populares en sistemas críticos de gran escala. Estos tipos de sistemas usan un rectificador para convertir la corriente alterna (CA) a corriente directa (CD), donde las baterías proveen el respaldo a la fuente de corriente directa (CD), y luego es convertida nuevamente en corriente alterna (CA) usando inversores de modulación por ancho de pulso.

Tanto los procesos de rectificación como de inversión tienen pérdidas, lo cual se manifiesta en calor. Típicamente estos varían de 5% a 10% de la carga en las UPS, pero puede llegar a valores del 30% a bajas cargas.

Las UPS con dos sistemas 2N para redundancia son particularmente propensos a pérdidas por baja carga, ya que funcionan siempre por debajo de 50% de su plena carga. Las eficiencias también dependen del tipo de UPS (doble conversión, doble conversión con filtro, conversión delta, rotativo) y del fabricante.

Por lo tanto dos factores aportan a las pérdidas de energía en los sistemas de UPS, las ineficiencias en los diferentes componentes de las UPS (rectificadores e inversores) y la necesidad de altos niveles de redundancia que obliga a tener UPS en paralelo sobredimensionadas.

Las UPS en su operación normal funcionan muy próximas al 50% de su capacidad, ya sea por la necesidad de redundancia o por preverse un crecimiento en la carga de equipos de TI. Las curvas de eficiencia de las UPS son la herramienta que permite determinar las pérdidas a las que está sometida una UPS de acuerdo al nivel de carga de equipos de TI. La figura No. 18 compara el nivel de eficiencia con respecto a la carga en una UPS, se observa que al 50% de la carga la eficiencia esta próxima al 80%. Para lograr la máxima eficiencia de la UPS es necesario llevarla a una carga del 100%.

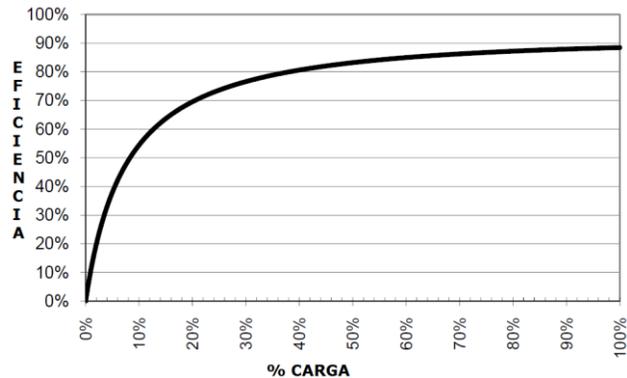


Figura No. 18. Curva de eficiencia de una UPS. Fuente (Sawyer, 2012)

## **6. MATERIALES Y METODOS**

### **6.1. ÁREA DE ESTUDIO**

Este estudio se efectuó en la región del Valle de Aburra del Departamento de Antioquia, en el Municipio de Bello.

El Centro de Procesamiento de Datos de una entidad financiera Colombiana, está constituido en un campus de 2 edificios el CPD y un edificio de Gestión.

En el edificio CPD se encuentran las siguientes áreas:

- Un sótano donde se encuentran: los tanques de almacenamiento de aguas lluvias, agua tratada e incendio, una planta de tratamiento de aguas lluvias, la bomba de la red contra incendio.
- Una galería técnica, por la cual se conducen las redes de energía, comunicaciones, la tubería de agua helada, abastos y desagües.
- El módulo NOC de dos pisos y una cubierta:
  - Primer piso, conformado por la recepción, hall de ascensor, zona de cargue y descargue, esclusa de acceso, patio de torres de enfriamiento, cuarto de chiller, compactadora de basuras, bodega de alistamiento, cuarto de la UMA, baños de hombres y mujeres, cafetín, oficina de proveedores.
  - Segundo piso, conformado por hall de acceso, autoservicios, baños de hombres y mujeres, minusválidos, cuarto telecomunicaciones y cuarto

eléctrico, área de descanso, salas de reuniones, oficina electromecánica y oficina de networking.

- Modulo AB de dos niveles.
  - Piso 1, conformado por el área de equipos de TI (AB) actual y área de equipos de TI (AB) futura, circulaciones perimetrales, galerías técnicas, cuartos de telecomunicaciones, cuartos de operadores, cuartos de UPS, cuartos de operación de generadores, cuartos de UMAs.
  - Piso 2 conformado por puentes técnicos, que contienen las RPP y las PDU.
- Módulo de generadores.
  - Piso 1, conformado por los patios de generadores, cuarto mecánico, cuarto crítico, cuartos de transformadores, subestación de 44 kV, cuarto de sistema de extinción.
  - Piso 2, conformado por puentes técnicos que contienen las redes de agua helada y condensación, redes de energía, cableado de comunicaciones, sistema de extinción de incendio.

#### **6.1.1. Sistemas electromecánicos**

Para la evaluación energética se consideran los consumos de energía en kWh de los siguientes sistemas del CPD.

- El sistema de distribución de energía, constituido por una acometida en media tensión a 44kV, desde la subestación del comercializador-operador a la subestación del CPD.
- El sistema de transformación integrado por una subestación tipo encapsulada, un transformador de 4 MVA que reduce la tensión de 44.000 voltios a 13.200 voltios y otro

transformador de 3 MVA en cascada que la que la transforma de 13.200 voltios a 480 voltios.

- Un sistema de UPS, integrado por 4 UPS de 750KVA, operando en paralelo redundante, en dos grupos con SCC a la salida.
- Un sistema de aire acondicionado, con un componente principal de 3 chiller de 450 Toneladas de refrigeración cada uno. Este sistema produce agua helada la cual alimenta sistemas de equipos CRAH, UMAS y Minimate.

### **6.1.2. Planta de frio**

Sistema mediante el cual se extrae el calor producido por los equipos de TI. En el cuarto técnico de enfriadores de agua se encuentran tres unidades de refrigeración de 450 toneladas de refrigeración, que suministran agua helada a los serpentines de las diferentes unidades manejadoras (UMAS) de las zonas de circulación y cuartos electromecánicas, CRAH (Computer Room Air Handlers) unidades manejadoras de precisión y Mini-Mate (equipos de aire acondicionado de precisión para espacios pequeños) distribuidas el CPD por medio de tuberías aisladas térmicamente. Para el agua helada se tiene un delta de temperatura de 15°F (9.4°C).

Como complemento de la unidad enfriadora están instalados tres grupos bombas de recirculación de agua helada (dos por equipo) y tres grupos de bombas para el agua de condensación (dos por equipo).

En el patio de torres se encuentran tres torres de enfriamiento, las cuales enfrían el agua para la condensación del refrigerante en las unidades de refrigeración. Cada torre tiene

un par de bombas, una principal y otra de respaldo. Para el agua de condensación se tiene un delta de temperatura de 10°F (12.2°C).

El agua de reposición, para las torres de enfriamiento, proviene del tanque de la planta de enfriamiento de aguas lluvias, el cual es abastecido por la planta de tratamiento o agua de acueducto, para los casos de ausencia de lluvias.

Estos equipos están divididos en grupos, cada unidad de enfriamiento tiene disponible dos bombas de agua helada (la selección entre ellas es manual), dos bombas de agua de condensación (la selección entre ellas es manual) y una torre de enfriamiento.

Cada unidad enfriadora gobierna sus equipos periféricos, inclusive cuando el sistema de control no esté disponible, este se controla de modo autónomo, buscando lograr la temperatura programada. Cada unidad enfriadora envía la señal de encendido hacia sus bombas de condensación y de agua fría, válvulas de aislamiento y torre de enfriamiento.

El salón de unidades de enfriamiento tiene instalado un ventilador para realizar cambios de aire y efectuar renovación. Se tiene instalado un sistema de conductos metálicos en lámina galvanizada para la distribución de aire. A su vez se tienen rejillas y difusores para la inyección y extracción de aire. Este ventilador opera normalmente a una frecuencia mínima para garantizar movimiento y renovación de aire.

El sistema de control de la planta de frío, es monitoreado y controlado por un sistema central de control.

Para el aire acondicionado el sistema está orientado a la variable temperatura como su objetivo, la cual está programada en 44°F (6°C), a partir del comparativo entre esta y la temperatura de suministro de agua de la planta se adicionan o sustraen unidades

enfriadoras (Chiller) y cada una de ellos controlan el nivel de carga (enfriamiento) que debe ejercer para satisfacer la necesidad de agua helada.

El sistema de distribución del agua, cuenta con tuberías en acero para la distribución de agua, tanto helada como de condensación. Esta tubería es cedula 40(denominación de la tubería en base a su resistencia a presión estática interior o exterior), en acero bajo carbón, pintado y aislado con poliuretano expandido y cubierta con lamina de acero inoxidable, para la protección de poliuretano.

La planta de frio es un sistema de flujo variable primario, donde el caudal de agua helada es variable y depende de un diferencial de presión existente en las tuberías de suministro de agua helada.

El delta de temperatura en agua helada es de 15°F (9.4°C) y un caudal nominal de 717 GPM (Galones por Minuto) el cual es variable y el delta de temperatura en agua de condensación es de 10°F (12.2°C) y el caudal es 1.350 GPM.

La figura No. 19 es una representación esquemática del sistema de chiller (enfriadores) y sus respectivas tuberías de agua helada y sus bombas, no está representado el sistema de agua de condensación.

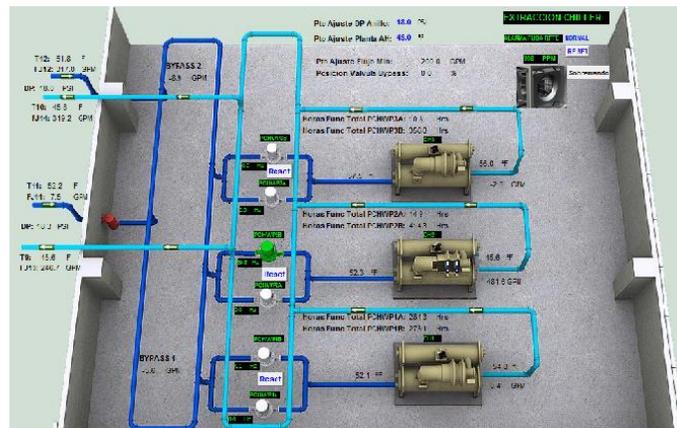


Figura No. 19. Sistema de enfriadores de agua helada (chiller). Fuente: Programa Chiller Control Planet.

La figura No. 20 representa el sistema de torres de enfriamiento, detallando las tres torres de enfriamiento las cuales están asociadas a cada chiller y el sistema de tuberías de agua de condensación con sus bombas.

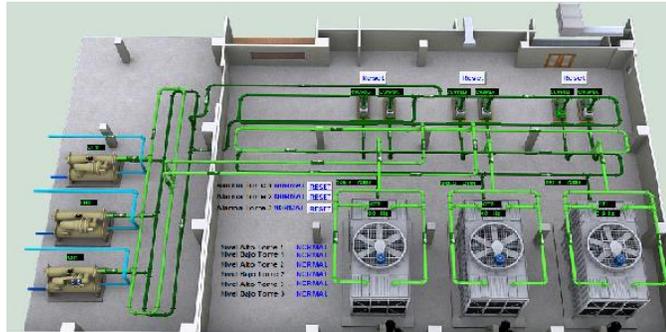


Figura No. 20 Sistema de torres de enfriamiento. Fuente: Programa Chiller Control Planet.

Los chiller disponen de equipos de medida que permiten determinar sus consumos de energía de entrada y las toneladas de refrigeración que están produciendo, estas variables se monitorean al instante y se lleva un registro diario de sus consumos.

### 6.1.3. Sistema de distribución de energía.

El CPD dispone de un alimentador principal de 44kV en conductores de las siguientes especificaciones 3x250 MCM, CU 46KV, XLPE 173% en 4" PVC, proveniente de una subestación del operador local de red, un solo circuito subterráneo de alimentación a media tensión. El equipo de medida de consumo de energía del comercializador de energía está ubicado en la subestación. El CPD dispone de una celda de protección y derivación de 44kv y de allí alimenta un transformador de 4 MVA, 44/13.2kV, tipo seco con bobinas embebidas en resina epóxica. Desde este transformador se alimenta el interruptor principal de 13.2kV que alimenta un transformador de 3MVA, 13,2kV/480V tipo seco.

Desde el secundario del transformador de 3MVA (480v) se alimenta una blindobarra de 4000 A. 3F, 4H 480V mas tierra, para llegar a el tablero de distribución principal TDG-U y desde estas celdas se alimentan los servicios auxiliares, las transferencias (ATS UC y UD) (para servicio de UPS) y el tablero TDG-M (para servicio de equipos electromecánicos) y servicios vitales.

Para condiciones de ausencia total de suministro desde el sistema del operador de red, en 44 KV, El CPD dispone de 4 equipos electrógenos diesel de 1750 KW, 3F, 3H,480V que ante la falta de tensión del sistema normal, operan automáticamente y asumen la carga. El CPD dispone de cuatro UPS de 750KVA A 480V, desde las UPS se alimentan los equipos llamados PDU 480/208/120V y desde allí se alimenta los RPP, a partir de la cual se alimentará con servicio de tensión regulada los equipos de procesamiento de datos, telecomunicaciones y almacenamiento.

Las cargas de los servicios auxiliares están soportadas por una UPS de 15kVA. Toda la distribución de potencia del CPD es a 480v para alimentar el servicio crítico de las UPS y para los servicios vitales de iluminación es a 277V. Dicha distribución se hace usando sistemas de tuberías, para el servicio normal y regulado. En los cuartos técnicos las cargas de aire acondicionado se alimentan directamente a 480V, para alimentar las demás cargas se instalaron transformadores secos con relación de transformación 480/208-120V. La distribución de potencia para iluminación está instalada empleando un sistema convencional de montaje con conductores por tubería EMT.

Los tableros multibreakers fueron utilizados para hacer la distribución horizontal de la energía normal y regulada en el CPD.

Se dispone de tableros denominados Powerlink, empleados para hacer la distribución de los circuitos de iluminación de cada una de las zonas del edificio. Estos tableros se

diferencian entre “Maestros” y “Esclavos”. La diferencia física entre ellos es que el tablero Maestro está equipado con un display que permite programar el encendido y apagado de los circuitos de manera local.

Se dispone de dos subestaciones, la del sistema denominado crítico (UPS) y la del sistema mecánico (aires acondicionados).

Están compuestas por:

- Celda de entrada de cable y de protección a 44kV- SF6, circuito del Operador de Red.
- Celda salida 44Kv –SF6.
- Transformadores trifásicos de 4 MVA 44kV/13.2kV.
- Celda de entrada de cables y medida 13.2kV- SF6.
- Celda con interruptor-seccionador de alimentación a 44K –SF6.
- Celda de entrada de cable y medida a 44kv para el circuito principal – SF6 y celda de interruptor.
- Celda con interruptor-seccionador de alimentación a 44Kv.

Todas las celdas de media tensión de las subestaciones están aisladas en hexafluoruro de Azufre (SF6). Este es un gas inerte, incoloro, inodoro, no tóxico e incombustible que tiene excelentes propiedades de aislamiento, así como una estabilidad térmica y química excepcionalmente altas. Debido a su baja temperatura de ionización y su alta energía de disgregación posee excelentes propiedades de interrupción del arco.

**Sistema de iluminación.** El CPD dispone de varias clases de luminarias dependiendo del uso final de cada espacio, algunas de las más importantes se reseñan a continuación:

Algunas especificaciones importantes:

- Luminaria Hermética

Las luminarias tipo herméticas fluorescentes de sobreponer y /o descolgar en estructura, para ambientes húmedos o de alta contaminación, tiene cuerpo fabricado en policarbonato, difusor en policarbonato transparente tipo prismático antideslumbrante y cumple con el estándar IP65. Está equipada con dos tubos T8 de 32W, (4100 y 3500°K). Balasto electrónico 2 x 32W, 277V. Ubicadas en las zonas de circulación.

Las luminarias tipo herméticas fluorescentes de sobreponer y /o descolgar en estructura, para ambientes húmedos o de alta contaminación, tiene cuerpo fabricado en policarbonato, difusor en policarbonato transparente tipo prismático antideslumbrante y cumple con el estándar IP65. Está equipada con dos tubos T8 de 32W, (4100 y 3500°K). Balasto electrónico 2 x 54W, 277V, ubicadas en cuartos técnicos.

- Luminaria de Emergencia

Luminaria compacta que brinda hasta 90 minutos de iluminación al perder la alimentación de red. Para ser instalada en muros o techos. Contiene baterías de plomo-calcio libres de mantenimiento. Utiliza dos bombillas de 10 W cada una. Entrada de tensión dual 277V.

- Luminaria Ojo de Buey Existe gran variedad de luminarias de este tipo instaladas en el CPD, a continuación reseñamos las más representativas:

- Luminaria de 2X26W, 277 V.
- Luminaria MH 150 W compacta recesada con lente difusora, instalada en patio chiller 277V.
- Luminaria de 1x26 w tipo tortuga, 120V.
- Luminaria tipo tortuga para 60 grados centígrados con bombillo ahorrador de 15W a 120V.
- Luminaria Metal Halide de 400W Balasto CWA a 277 V.
- Luminaria Metal Halide de 250W Balasto CWA a 277 V.

**Sistema de medición.** Este sistema cuenta con los siguientes sistemas de medida de energía eléctrica que se listan en la tabla No. 5.

NOMBRE	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD
ION_44_EPM	KWH_ion7650_epm.PV	kWh
ION_TDGU	KWH_ION7350_TDGU.PV	kWh
ION_MB1	KWH_ION7350_MB1.PV	kWh
ION_MB2	KWH_ION7350_MB2.PV	kWh
ION_MB-SV	KWH_ION7350_MBSV.PV	kWh
ION_MB-SV-BT	KWH_ION7350_MBSVBT.PV	kWh
ION_MB1_G3	KWH_ION7350_MB1G3.PV	kWh
ION_MB1_G4	KWH_ION7350_MB1G4.PV	kWh
ION_MB1_UPS	KWH_ION7350_MB1UPS.PV	kWh
ION_MB1_CP	KWH_ION7350_MB1CP.PV	kWh
ION_MB1_AUX	KWH_ION7350_MB1A.PV	kWh
ION_GESTION_8600	KWH_ION8600_GEST.PV	kWh
PM820_TDGFE	KWH_PM820_TDGFE.PV	kWh
PM820_TDGEM	KWH_PM820_TDGEM.PV	kWh
ION_MB2_G4	KWH_ION7350_MB2G4.PV	kWh
ION_MB2_G3	KWH_ION7350_MB2G3.PV	kWh
ION_MB2_UPS	KWH_ION7350_MB2UPS.PV	kWh

<b>NOMBRE</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
ION_MB2_CP	KWH_ION7350_MB2CP.PV	kWh
ION_MB2_AUX	KWH_ION7350_MB2A.PV	kWh
SEPAM_S40	KWH_SEPS40_EPM.PV	kWh
SEPAM_T87	KWH_SEPT87_CRI.PV	kWh
ElectricalMeter1	.PV	kWh
ElectricalMeter2	.PV	kWh
UPS_C1	Pot_Act_out_UPS1_C.PV	kWh

Tabla No. 5. Equipos de medida. Fuente: el autor.

#### **6.1.4. Sistema de UPS.**

Las UPS's instaladas en el CPD, son dos sistema paralelo redundante de constituidos cada uno por 2 UPS de 750KVA, que son equipos electrónicos diseñados para el suministro ininterrumpido de energía y de forma regulada, cuya finalidad es mantener por un lapso determinado de tiempo las cargas a ella conectadas en normal funcionamiento. Este equipo, a partir de un banco de baterías de corriente directa y un inversor, proporciona una señal de tensión de corriente alterna de amplitud, frecuencia y forma de onda similares a la de la corriente de la red pública o de la planta eléctrica.

#### **CARACTERISTICAS ELECTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO:**

- Salida eléctrica regulada al 100 %.
- Salida eléctrica de onda sinusoidal al 100 %.
- Salida eléctrica ON - LINE ininterrumpida.
- Sistema automático de protección By-Pass que conmute automáticamente la carga a la red en caso de una sobrecarga o de un cortocircuito a la salida.

#### **COMPONENTES INCORPORADOS A LA U.P.S:**

- Sistema rectificador y cargador de batería.

- Sistema inversor.
- Módulos de entrada y de salida de potencia.
- Sistema automático de protección By - Pass.
- Convertidor automático de tensión.
- Convertidor automático de frecuencia.

#### **6.1.5. Sistema de transformación.**

El CPD cuenta con dos transformadores para media tensión, uno de 4MVA, 44/13.2 Kv. y uno aguas abajo de 3MVA, 13200/480V que se encuentran instalados en el cuarto crítico. Los datos técnicos de estos equipos son:

Datos de placa de los transformadores:

Transformadores de 44.kV

CAPACIDAD 4000 kVA TIPO CRHV3 SERIE 2925010 FASES 3 FRECUENCIA 60 Hz CLASE F Δ T DEV 100°C T AMB MAX 40°C CONEXIÓN Dyn5 PESO 10500 kg ALTA TENSIÓN 44000 V BAJA TENSIÓN 13800/7968 V FACTOR K 1 FACTOR SERV 1 No. AÑO 2010.

Transformador de 13.2kV

CAPACIDAD 3000 kVA

TIPO CRHV3 SERIE 29260109 FASES 3 FRECUENCIA 60 Hz

CLASE F Δ T DEV 100°C T AMB MAX 40°C CONEXIÓN Dyn5 PESO 5500 kg ALTA TENSIÓN 13.200 V BAJA TENSIÓN 480/277 V FACTOR K 1 FACTOR SERV 1 AÑO 2010.

Transformadores de distribución en baja tensión.

Para la distribución horizontal de energía, se dispuso en un cuarto de dos transformadores tipo seco, uno de 400 kVA 480/480v 3F 4H, para alimentación del alumbrado, alimentación extracciones sótano, ascensor otro de 150 KVA 480/208v 3F, 4H, Para alimentación de los tableros de tomas normales, alimentación de UPS de 15KVA.

## **6.2. MÉTODOS**

El CPD dispone de instrumentación de que permite la supervisión de los consumos de energía en los diferentes sistemas, electromecánicos, TI y sistema eléctrico.

Los modelos de medición disponibles e implementados en el CPD son los de medición con tecnología de punta, la cual permite recoger los datos en tiempo real mediante el uso de sistemas de registro automatizados/permanentes, con la ayuda de un software online con una gran capacidad de análisis.

Los puntos de toma información del consumo de energía:

- Sistema de media tensión, equipo ION 7650 celda in 44kv, medición de consumo de energía en kWh y kVARh.
- Medidor de facturación del comercializador de energía, contador de energía, Kwh y kVARh.
- Sistema de media tensión equipo SEPAM, celda de 13.2Kv, medición de promedio de energía Kw y Kvar.
- Sistema de baja tensión, equipo ION 7350 celda de 480V TDGU, medición de promedio de energía Kw y Kvar.

- Sistema de generación, equipos propios del sistema de sincronismo, generadores 1, 2, 3, generación Kwh, kvah.
- Sistema de UPS, equipos de medición internos, medición de promedio de energía Kw y Kva. Para los dos módulos de UPS.
- Sistema de PDU, equipos internos, consumo del promedio de energía Kw y Kvar por cada una de las 14 PDU.
- Sistema de RPP, medición con equipos internos, medición de demanda Kw por cada una de las 30 RPP.
- Sistema de aire acondicionado, medición de equipos internos, medición de kw y Kwh a las tres unidades enfriadoras.

La información es monitoreada mediante el programa Enterprise Buildings Integrator (EBI) que:

- Muestra datos del sistema de una manera que puede ser fácilmente interpretada.
- Permite el control del sistema mediante el envío de los comandos apropiados.
- Realiza automáticamente tareas programadas.
- Notifica las actividades del sistema, incluyendo alarmas y eventos del sistema.
- Produce reportes fácilmente entendibles

### **6.3. TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA MEDICIÓN.**

La medición se realizó desde el día 1 de noviembre al 30 de noviembre de 2013 se recogieron las mediciones de tendencias, que se registran en la tabla No. 6.

<b>NRO. EN EBI</b>	<b>DESCRIPCION</b>
3	Tension L-L SEPAM EPM celda 44KV
7	Corrientes SEPAM principal EPM
17	% THDV 44KV
18	THDV L-L PM820 SC
26	Temperaturas TRAF0 44 KV
31	Potencias y FP Sepam T87 Prot. 13.2KV SC
33	Temp. trafo Sepam T87 Prot. 13.2KV SC
37	Voltajes Ion7350 TDGU SC
40	Potencias y FP Ion7350 TDGU SC
41	Corrientes Ion7350 TDGU SC
59	Tension de salida modulo 1 UPS C
60	Potencia Modulo 1 UPS C
61	Corrientes Modulo 1 UPS C
65	Tension de salida modulo 2 UPS C
66	Potencia Modulo 2 UPS C
67	Corrientes Modulo 2 UPS C
72	Potencia SCC UPS C
77	Voltaje y Frecuencia CARGA UPS D1 SC
78	Poten. y FP CARGA UPS D1 SC
79	Corrientes CARGA UPS D1 SC
83	Voltaje y Frecuencia CARGA UPS D2 SC
84	Poten. y FP CARGA UPS D2 SC
85	Corrientes CARGA UPS D2 SC
90	Potencias y F.P.SALIDA SCC UPS D SC
96	Potencia PDU C1
103	Potencia y F.P. ENTRADA FPC C2 SC
110	Potencia y F.P. ENTRADA FPC C3 SC
117	Potencia y F.P. ENTRADA FPC C4 SC
124	Potencia y F.P. ENTRADA FPC C5 SC
131	Potencia y F.P. ENTRADA FPC C6 SC
138	Potencia y F.P. ENTRADA FPC C7 SC
154	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D1 SC
161	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D2 SC
168	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D3 SC
175	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D4 SC
182	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D5 SC
189	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D6 SC
196	Potencia y F.P. ENTRADA FPC D7 SC
245	Potencia, Ener. y F.P. RPP C2-1 SC

<b>NRO. EN EBI</b>	<b>DESCRIPCION</b>
250	Potencia, Energía y F.P. RPP D2-2 SC
255	Potencia, Energía y F.P. RPP C2-2 SC
260	Potencia, Energía y F.P. RPP C4-1 SC
265	Potencia, Energía y F.P. RPP D4-1 SC
270	Potencia, Energía y F.P. RPP C5-3 SC
275	Potencia, Energía y F.P. RPP D5-3
280	Potencia, Energía y F.P. RPP D4-2 SC
285	Potencia, Energía y F.P. RPP C4-2 SC
290	Potencia, Energía y F.P. RPP STS C
295	Potencia, Energía y F.P. RPP STS D
300	Potencia, Energía y F.P. RPP C5-1 SC
305	Potencia, Energía y F.P. RPP D5-1 SC
310	Potencia, Energía y F.P. RPP C5-2 SC
315	Potencia, Energía y F.P. RPP D5-2 SC
320	Potencia, Energía y F.P. RPP C6_1 SC
325	Potencia, Energía y F.P. RPP D6-1 SC
330	Potencia, Energía y F.P. RPP C6-2 SC
335	Potencia, Energía y F.P. RPP D6-2 SC
340	Potencia, Energía y F.P. RPP C7-1 SC
345	Potencia, Energía y F.P. RPP D7-1 SC
350	Potencia, Energía y F.P. RPP C7-2 SC

Tabla No. 6. Registro de tendencias. Fuente: el autor.

La información de se transfirió a un archivo en Excel, en donde cada libro contiene en promedio 90 registros para un total 5.400 registros de las variables de tensión, corriente, potencia, temperatura, factor de potencia y energía.

Las medidas de las variables recogidas se seleccionaron las que permiten realizar una evaluación de la eficiencia energética y que se expresa en la figura No. 21.

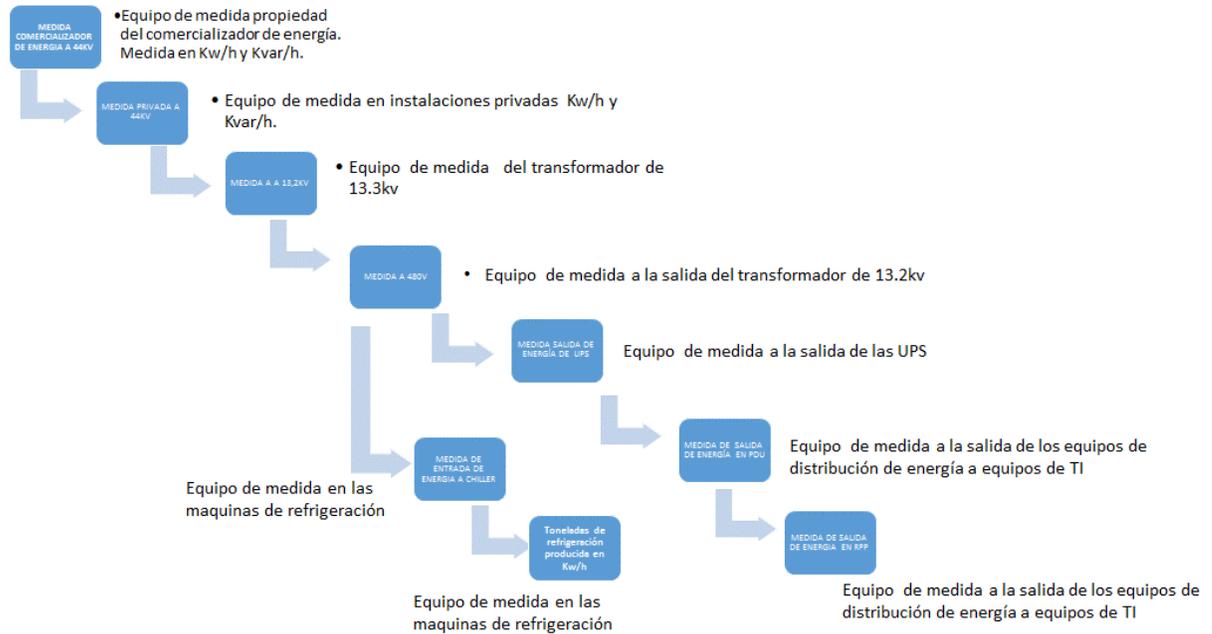


Figura No. 21. Mediciones de los sistemas para evaluación de la eficiencia energética.  
Fuente: el autor.

## 7. RESULTADOS Y ANALISIS

### 7.1. HUELLA DE CARBONO.

#### 7.1.1. Huella de carbono de los materiales constructivos.

La huella de carbono generada por los materiales constructivos del CPD, se calculó de acuerdo a los datos de la tabla No.2 “Desglose del aporte de CO<sub>2</sub> del material constructivo de un CPD” y se extrapolo para un edificio con un área para equipos de TI de 2000 m<sup>2</sup>, la cual es el objeto de la investigación, ubicado en la zona tropical. La tabla No. 7 reúne la información de los materiales típicos de la construcción y la huella de carbono de cada material y la total del edificio. La huella de Carbono en la construcción del edificio fue de 484,01 toneladas de CO<sub>2</sub>. Esta emisión de carbono correspondió a

una sola oportunidad y se calculó que para compensar esta emisión de CO<sub>2</sub> es necesario sembrar 461 árboles.

<b>Edificio CPD en zona tropical materiales para un área de 2.000 m<sup>2</sup></b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub></b>
Fundaciones (hormigón)	19,36
Pisos (Losas)	150,08
Techos (Placas de yeso)	9,68
Estructura (Vigas de acero)	58,09
Paredes externas (Ladrillo, concreto)	121,03
Paredes internas (Placa de yeso)	33,89
Escalera (Hormigón)	4,84
Ventanas (Vidrio y marcos)	1,93
Puertas internas (material aglomerado, reciclado)	-1,45
Puertas exteriores	2,42
Cubierta (madera, hormigón y material aislamiento)	87,14
<b>TOTAL</b>	<b>484,01</b>

Tabla No.7. Aportes de CO<sub>2</sub> en la construcción del CPD en la zona tropical, con una área de 2.000 m<sup>2</sup>. Fuente: el autor.

La estimación de esta compensación se basa en que 1.000 kg de carbono, en la madera de un árbol representan 3.500 kg de CO<sub>2</sub> y en que el 42% de la biomasa de un árbol es carbono (De la Vega, 2014).

El peso de un árbol promedio es de 714 kg (De la Vega, 2014) por lo que tiene 299.80 kg de carbono, representando 1.049 kg de carbono. Para compensar los 484.010 kg de CO<sub>2</sub> emitidos durante la construcción del edificio del CPD es necesario la siembra de 461 árboles.

### **7.1.2. Huella de carbono de la operación.**

#### **7.1.2.1. Huella por el consumo de energía.**

Los consumos de energía del CPD durante los años 2012 y 2013 se registran en la tabla No. 8.

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	429.352,0	429.352,0	429.352,0	452.841,1	486.637,6	490.873,3	512.235,5	515.662,5	506.374,5	528.507,5	498.114,5	500.233,9
2103	525.980,0	460.184,0	522.049,6	509.763,1	500.294,3	505.519,8	520.279,5	520.038,3	477.478,3	493.393,8	497.441,0	497.441,0

Tabla No. 8. Consumo de energía en kWh del CPD en los años 2012 y 2013. Fuente: El autor

De acuerdo a los consumos de energía eléctrica del CPD y el mix de Colombia de 2012 a 2013 de 0.150 KgCO<sub>2</sub>/kWh, se calculó la producción del CO<sub>2</sub> en 1771.41 toneladas de CO<sub>2</sub>. La tabla No.9 recoge este cálculo.

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	64.402,8	64.402,8	64.402,8	67.926,2	72.995,6	73.631,0	76.835,3	77.349,4	75.956,2	79.276,1	74.717,2	75.035,1
2103	78.897,0	69.027,6	78.307,4	76.464,5	75.044,1	75.828,0	78.041,9	78.005,7	71.621,7	74.009,1	74.616,2	74.616,2
TOTAL de kg de CO <sub>2</sub> :	1.771.409,82		Tn CO <sub>2</sub> = 1.771,41									

Tabla No. 9. Registro de la producción de CO<sub>2</sub> de acuerdo a los consumos de energía del CPD en los años 2012 y 2013. Fuente: el autor.

### 7.1.2.2. Huella por las pérdidas de energía (CUE).

El Mix Nacional (KgCO<sub>2</sub>/kWh) para el periodo 2006-2008 se estimó en 0.120 (Camargo, Arboleda, & Cardona, 2013), de acuerdo a la figura No. 22 el mix entre el 02/Sep/13 al 02/Oct/13 oscilo de 0.100 a 0.200 KgCO<sub>2</sub>/kWh por lo que para nuestro calculo estimamos 0.150 KgCO<sub>2</sub>/kWh.

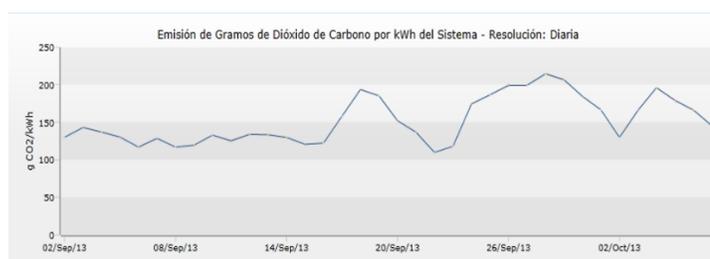


Figura No. 22. Emisiones en gramos de CO<sub>2</sub> por kWh. Fuente: (Acolgen, 2013)

El PUE del CPD de la zona tropical de los años 2012 y 2013 esta registrado en la tabla No.10 .

MES	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2012	1.99	1.96	1.94	1.67	1.75	1.74	1.79	1.83	1.82	1.78	1.76	1.78
2013	1.79	1.84	1.85	1.92	1.90	1.86	1.91	1.96	1.98	2.00	1.94	1.94

Tabla No. 10. Registro del PUE años 2012 y 2013 por mes. Fuente: Datos del autor.

De acuerdo a los valores del PUE de la tabla No. 11, el MIX de 0.150 KgCO<sub>2</sub>/kWh y la ecuación de CUE se calcula la generación de CO<sub>2</sub> por las ineficiencias en el sistema energético del CPD.

La tabla No. 11 recoge esta generación de CO<sub>2</sub> de los años 2012 y 2013 por la ineficiencia del sistema.

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	0,30	0,29	0,29	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,27
2103	0,27	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,29	0,29
TOTAL de kg de CO <sub>2</sub> :		6,71										

Tabla No. 11. Generación de CO<sub>2</sub> por la ineficiencia energética en los años 2012 y 2013. Fuente el autor.

En total se generaron en el CPD durante los años 2012 y 2013, 6.71 KgCO<sub>2</sub>/kWh como producto de la ineficiencia del sistema y de acuerdo al mix de Colombia del año 2012.

### 7.1.3. Resumen de los aportes de CO<sub>2</sub> del CPD.

En total se generaron 2.255,42 toneladas de CO<sub>2</sub> debida a la construcción, operación e ineficiencias en la operación desde el año 2012 en el CPD información que se registra en la tabla No. 12.

<b>APORTE DE CO<sub>2</sub></b>	<b>CANTIDAD DE TONELADAS DE CO<sub>2</sub></b>
CONSTRUCCION	484.01
OPERACIÓN	1.777,41
ENEFICIENCIA	0.0671
<b>TOTAL</b>	<b>2.255,42</b>

Tabla No.12. Aportes de CO<sub>2</sub> en toneladas durante la operación del CPD en la zona tropical. Fuente: el autor.

## **7.2. PERDIDAS DE ENERGIA ELECTRICA**

### **7.2.1. Sistema de distribución.**

Con los registros de mediciones de energía eléctrica del comercializador de energía, que llamaremos medidas externas y con las medidas de los equipos interno del CPD de la zona tropical, que llamaremos medida interna, se construyó la tabla No. 13 que contiene los valores de medida diaria del mes de noviembre de 2013, en la columna perdidas están calculados los kWh que se disipan en forma de calor debido a la acometida en media tensión desde la subestación del comercializador hasta la subestación en media tensión del CPD.

MEDIDA INTERNA	MEDIDA EXTERNA	PERDIDAS DISTRIBUCION
kWh/Día	kWh/Día	kWh/Día
17.301,00	20.898,90	3.597,90
23.021,50	20.940,43	-2.081,08
12.103,50	20.963,53	8.860,03
16.727,50	19.639,40	2.911,90
16.470,75	19.757,38	3.286,63
16.611,50	19.692,20	3.080,70
16.426,50	19.693,85	3.267,35
15.347,25	17.611,00	2.263,75
15.437,25	19.307,48	3.870,23
16.514,00	19.378,98	2.864,98

MEDIDA INTERNA	MEDIDA EXTERNA	PERDIDAS DISTRIBUCION
16.907,25	20.491,35	3.584,10
17.557,50	20.599,98	3.042,48
17.237,00	20.412,15	3.175,15
17.274,00	20.280,98	3.006,98
17.219,25	20.348,63	3.129,38
17.261,25	20.319,75	3.058,50
16.796,00	19.956,20	3.160,20
15.962,25	18.927,15	2.964,90
15.718,75	18.832,83	3.114,08
15.822,50	18.689,00	2.866,50
15.999,00	19.010,20	3.011,20
16.394,50	19.631,15	3.236,65
16.618,50	19.492,55	2.874,05
16.493,25	19.573,40	3.080,15
16.319,50	19.393,83	3.074,33
16.298,75	19.360,83	3.062,08
16.080,00	19.282,18	3.202,18
16.278,00	19.358,35	3.080,35
16.536,50	19.646,83	3.110,33
16.706,50	19.742,53	3.036,03
TOTAL PERDIDAS DISTRIBUCION : 93.791,95 kWh		

Tabla No.13. Registro de consumos de energía acometida en media tensión CPD y cálculo de las pérdidas. Fuente: el autor.

Las pérdidas de energía eléctrica de 93.791,95 kWh representan de acuerdo a un factor de emisión de (Kg de CO<sub>2</sub> eq /kWh) de 0.385 (estrategia aragonesa, 2014): 36.109,9 Kg de CO<sub>2</sub> eq (36.109 tn de CO<sub>2</sub>).

### 7.2.2. Pérdidas en la transformación.

De acuerdo a las mediciones internas la energía eléctrica de entrada al transformador de 44 kv y de la medida de energía eléctrica de entrada al transformador de 13.2 kv, los cuales se encuentran en cascada, se determinaron las pérdidas, que son de 90.902,44

kWh al mes. La información está registrada en la tabla No. 14 y en la columna “perdidas en trafo 44kv” se determinó la pedida total por día y por el mes en kWh.

<b>ENTRADA TRAF0 44 kv</b>	<b>ENTRADA 13.2 kv</b>	<b>PERDIDAS EN TRAF0 44kv</b>
KWh/Día	KWh/Día	KWh/Día
<b>17.301,00</b>	20.609,04	3.308,04
<b>23.021,50</b>	20.794,56	- 2.226,94
<b>12.103,50</b>	21.069,60	8.966,10
<b>16.727,50</b>	20.422,56	3.695,06
<b>16.470,75</b>	19.504,32	3.033,57
<b>16.611,50</b>	19.609,92	2.998,42
<b>16.426,50</b>	19.543,20	3.116,70
<b>15.347,25</b>	19.563,84	4.216,59
<b>15.437,25</b>	17.394,96	1.957,71
<b>16.514,00</b>	19.229,76	2.715,76
<b>16.907,25</b>	19.494,00	2.586,75
<b>17.557,50</b>	20.446,32	2.888,82
<b>17.237,00</b>	20.380,08	3.143,08
<b>17.274,00</b>	20.290,08	3.016,08
<b>17.219,25</b>	20.171,52	2.952,27
<b>17.261,25</b>	20.258,16	2.996,91
<b>16.796,00</b>	20.159,76	3.363,76
<b>15.962,25</b>	19.461,60	3.499,35
<b>15.718,75</b>	18.747,60	3.028,85
<b>15.822,50</b>	18.753,36	2.930,86
<b>15.999,00</b>	18.486,48	2.487,48
<b>16.394,50</b>	19.163,28	2.768,78
<b>16.618,50</b>	19.509,36	2.890,86
<b>16.493,25</b>	19.389,36	2.896,11
<b>16.319,50</b>	19.422,48	3.102,98
<b>16.298,75</b>	19.203,12	2.904,37
<b>16.080,00</b>	19.214,16	3.134,16
<b>16.278,00</b>	19.151,28	2.873,28
<b>16.536,50</b>	19.359,12	2.822,62
<b>16.706,50</b>	19.540,56	2.834,06
<b>TOTAL PERDIDAS</b>		<b>90.902,44</b>

Tabla No. 14. Registro energía a la entrada/salida y las de pérdidas de energía en el transformador de 44kv. Fuente: el autor.

Las pérdidas de energía eléctrica de 90.902,44 kWh representan de acuerdo a un factor de emisión de (Kg de CO<sub>2</sub> eq /kWh) de 0.385 (estrategia aragonesa, 2014): 34997.43 Kg de CO<sub>2</sub> eq (34.997 tn de CO<sub>2</sub>).

### **7.2.3. Pérdidas en UPS.**

Las pérdidas de energía en las UPS corresponden a las mediciones de consumo de energía a la entrada de cada UPS (modulo) y a las salida SCCi (System Control Cabinet). Por disponer el CPD de dos sistemas de UPS el denominado C y el D, se sumaron las pérdidas de cada sistema para determinar las pérdidas totales del sistema de UPS.

La tabla No. 15 registra la información del mes de noviembre de 2013, correspondiente a cada día de consumo de energía eléctrica de los dos sistemas de UPS el C y D. Las mediciones de las salidas de consumo eléctrico de energía de los SCC están registradas en la tabla, el resultado final del cálculo determinó que las UPS tienen una pérdida en kWh de 11.962,80.

Las pérdidas de energía eléctrica de 11.96,80 kWh representan de acuerdo a un factor de emisión de (Kg de CO<sub>2</sub> eq /kWh) de 0.385 (estrategia aragonesa, 2014): 4605.67 Kg de CO<sub>2</sub> eq (4.6 tn de CO<sub>2</sub>).

UPS C			SCC C	PERDIDAS UPS C	UPS D			SCC D	PERDIDAS UPS D	PERDIDAS TOTALES UPS
Módulo 1	Modulo2	Total UPS C			Módulo 1	Modulo 2	Total UPS D			
kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
<b>2.225,04</b>	2.232,00	4.457,04	4.247,28	209,76	2.259,84	2.238,00	4.497,84	4.305,36	192,48	402,24
<b>2.230,56</b>	2.228,88	4.459,44	4.252,56	206,88	2.254,32	2.238,00	4.492,32	4.301,04	191,28	398,16
<b>2.222,88</b>	2.228,88	4.451,76	4.254,00	197,76	2.247,12	2.237,04	4.484,16	4.296,72	187,44	385,20
<b>2.222,40</b>	2.221,20	4.443,60	4.238,40	205,20	2.238,72	2.230,08	4.468,80	4.284,96	183,84	389,04
<b>2.212,80</b>	2.216,64	4.429,44	4.219,20	210,24	2.229,12	2.233,20	4.462,32	4.268,16	194,16	404,40
<b>2.221,20</b>	2.220,72	4.441,92	4.233,12	208,80	2.232,72	2.239,92	4.472,64	4.278,48	194,16	402,96
<b>2.210,40</b>	2.211,84	4.422,24	4.217,04	205,20	2.230,80	2.230,08	4.460,88	4.260,00	200,88	406,08
<b>2.211,12</b>	2.214,72	4.425,84	4.214,64	211,20	2.232,96	2.229,36	4.462,32	4.261,92	200,40	411,60
<b>2.207,28</b>	2.206,56	4.413,84	4.209,60	204,24	2.225,04	2.220,72	4.445,76	4.258,32	187,44	391,68
<b>2.201,04</b>	2.203,20	4.404,24	4.193,76	210,48	2.225,52	2.223,36	4.448,88	4.250,88	198,00	408,48
<b>2.199,12</b>	2.193,84	4.392,96	4.192,56	200,40	2.221,68	2.223,12	4.444,80	4.251,36	193,44	393,84
<b>2.189,76</b>	2.190,96	4.380,72	4.176,24	204,48	2.221,44	2.215,44	4.436,88	4.238,88	198,00	402,48
<b>2.201,52</b>	2.208,72	4.410,24	4.202,88	207,36	2.240,16	2.223,60	4.463,76	4.267,92	195,84	403,20
<b>2.193,60</b>	2.209,20	4.402,80	4.200,24	202,56	2.232,24	2.219,76	4.452,00	4.267,68	184,32	386,88
<b>2.199,36</b>	2.199,84	4.399,20	4.202,16	197,04	2.237,04	2.236,32	4.473,36	4.268,88	204,48	401,52
<b>2.207,04</b>	2.212,80	4.419,84	4.203,84	216,00	2.235,12	2.232,24	4.467,36	4.273,20	194,16	410,16
<b>2.195,52</b>	2.196,48	4.392,00	4.189,44	202,56	2.225,76	2.223,60	4.449,36	4.255,44	193,92	396,48
<b>2.191,44</b>	2.201,52	4.392,96	4.188,96	204,00	2.225,28	2.222,88	4.448,16	4.254,48	193,68	397,68
<b>2.202,96</b>	2.204,88	4.407,84	4.203,84	204,00	2.234,40	2.228,16	4.462,56	4.274,40	188,16	392,16
<b>2.204,88</b>	2.202,72	4.407,60	4.201,68	205,92	2.236,08	2.233,20	4.469,28	4.275,84	193,44	399,36
<b>2.183,28</b>	2.184,48	4.367,76	4.162,32	205,44	2.217,36	2.214,24	4.431,60	4.233,84	197,76	403,20
<b>2.181,12</b>	2.185,68	4.366,80	4.162,56	204,24	2.214,72	2.213,04	4.427,76	4.231,20	196,56	400,80
<b>2.176,80</b>	2.179,44	4.356,24	4.159,44	196,80	2.213,52	2.208,72	4.422,24	4.224,48	197,76	394,56
<b>2.164,56</b>	2.164,80	4.329,36	4.126,32	203,04	2.199,12	2.196,00	4.395,12	4.200,72	194,40	397,44
<b>2.168,16</b>	2.165,52	4.333,68	4.130,64	203,04	2.201,04	2.200,56	4.401,60	4.204,08	197,52	400,56
<b>2.174,40</b>	2.167,44	4.341,84	4.140,48	201,36	2.211,36	2.208,24	4.419,60	4.224,48	195,12	396,48
<b>2.169,36</b>	2.167,20	4.336,56	4.139,28	197,28	2.211,60	2.208,00	4.419,60	4.226,64	192,96	390,24
<b>2.169,12</b>	2.175,84	4.344,96	4.139,52	205,44	2.211,36	2.207,76	4.419,12	4.224,24	194,88	400,32
<b>2.173,20</b>	2.170,32	4.343,52	4.145,04	198,48	2.213,04	2.210,40	4.423,44	4.230,72	192,72	391,20

UPS C			SCC C	PERDIDAS UPS C	UPS D			SCC D	PERDIDAS UPS D	PERDIDAS TOTALES UPS
Módulo 1	Modulo2	Total UPS C			Módulo 1	Modulo 2	Total UPS D			
kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
2.171,76	2.184,00	4.355,76	4.145,28	210,48	2.216,16	2.209,68	4.425,84	4.231,92	193,92	404,40
									<b>TOTAL PERDIDAS UPS</b>	<b>11.962,80</b>

Tabla No. 15. Pérdidas de energía eléctrica en los sistemas de UPS. Fuente: el autor.

### 7.3. PERDIDAS EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

Se calcularon las pérdidas de sistema de aire acondicionado, evaluando los consumos de energía de entrada a los chiller con respecto a la capacidad de refrigeración, llevada a kWh de acuerdo a una eficiencia de los chiller del 35% (TRANE, 2013), el consumo de salida se relacionó con el de entrada y la diferencia de energía son las pérdidas del sistema, la tabla No. 16 recoge esta información, las pérdidas totales debidas al sistema de refrigeración fueron en el mes de noviembre de 41.272,92 kWh.

Las pedidas de energía eléctrica de 41.272,92 kWh representan de acuerdo a un factor de emisión de (Kg de CO<sub>2</sub> eq /kWh) de 0.385 (estrategia aragonesa, 2014): 15890.07 Kg de CO<sub>2</sub> eq (15.890 tn de CO<sub>2</sub>).

FECHA	TONELADAS DE REFRIGERACION ACTIVAS	kWh SALIDA	CONSUMO DE kW	kWh CONSUMO	PERDIDAS EN kWh
01/11/2013	208,50	1.751,40	115,50	2.772,00	1.020,60
02/11/2013	394,80	3.316,32	234,00	5.616,00	2.299,68
03/11/2013	197,00	1.654,80	124,20	2.980,80	1.326,00
04/11/2013	171,70	1.442,28	116,20	2.788,80	1.346,52
05/11/2013	174,30	1.464,12	117,40	2.817,60	1.353,48
06/11/2013	178,40	1.498,56	119,30	2.863,20	1.364,64
07/11/2013	173,00	1.453,20	115,90	2.781,60	1.328,40
08/11/2013	380,30	3.194,52	234,50	5.628,00	2.433,48

FECHA	TONELADAS DE REFRIGERACION ACTIVAS	kWh SALIDA	CONSUMO DE kW	kWh CONSUMO	PERDIDAS EN kWh
09/11/2013	196,90	1.653,96	115,30	2.767,20	1.113,24
10/11/2013	197,30	1.657,32	115,10	2.762,40	1.105,08
11/11/2013	216,70	1.820,28	121,70	2.920,80	1.100,52
12/11/2013	219,50	1.843,80	122,90	2.949,60	1.105,80
13/11/2013	207,20	1.740,48	118,10	2.834,40	1.093,92
14/11/2013	205,90	1.729,56	117,50	2.820,00	1.090,44
15/11/2013	208,80	1.753,92	119,00	2.856,00	1.102,08
16/11/2013	422,90	3.552,36	237,50	5.700,00	2.147,64
17/11/2013	208,90	1.754,76	116,10	2.786,40	1.031,64
18/11/2013	186,10	1.563,24	109,20	2.620,80	1.057,56
19/11/2013	186,20	1.564,08	108,70	2.608,80	1.044,72
20/11/2013	179,70	1.509,48	106,80	2.563,20	1.053,72
21/11/2013	184,50	1.549,80	108,10	2.594,40	1.044,60
22/11/2013	203,60	1.710,24	114,10	2.738,40	1.028,16
23/11/2013	379,70	3.189,48	231,60	5.558,40	2.368,92
24/11/2013	176,00	1.478,40	117,00	2.808,00	1.329,60
25/11/2013	172,50	1.449,00	114,50	2.748,00	1.299,00
26/11/2013	171,40	1.439,76	115,20	2.764,80	1.325,04
27/11/2013	171,10	1.437,24	114,60	2.750,40	1.313,16
28/11/2013	170,10	1.428,84	114,10	2.738,40	1.309,56
29/11/2013	178,20	1.496,88	116,80	2.803,20	1.306,32
30/11/2013	388,50	3.263,40	237,20	5.692,80	2.429,40
<b>TOTAL PERDIDAS MES</b>					<b>41.272,92</b>

Tabla No. 16. Pérdidas totales del sistema de refrigeración. Fuente el autor.

#### 7.4. RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y APORTES DE CO<sub>2</sub>.

La tabla No. 17 recoge las pérdidas de energía y los aportes de CO<sub>2</sub> del CPD en la zona tropical.

<b>PERDIDAS</b>	<b>kWh</b>	<b>APORTE TN DE CO<sub>2</sub></b>
<b>DISTRIBUCION DE ENERGIA</b>	<b>93.791,95</b>	<b>36.1</b>
<b>TRANSFORMACION DE ENERGIA</b>	<b>90.902,44</b>	<b>34.9</b>
<b>SISTEMA DE UPS</b>	<b>11.962,80</b>	<b>4.6</b>
<b>SISTEMA DE REFRIGERACION</b>	<b>41.272,92</b>	<b>15.8</b>

Tabla No. 17. Resumen de la pérdidas de energía y aportes de CO<sub>2</sub> de los sistemas evaluados del CPD.

La siguiente figura compara los aportes de CO<sub>2</sub> de los diferentes sistemas del CPD objeto de estudio, la generación de energía tiene un aporte de 6.281 Tn de CO<sub>2</sub> por mes, muy por encima de todo el aporte de CPD que es de 91.4 TN de CO<sub>2</sub>.

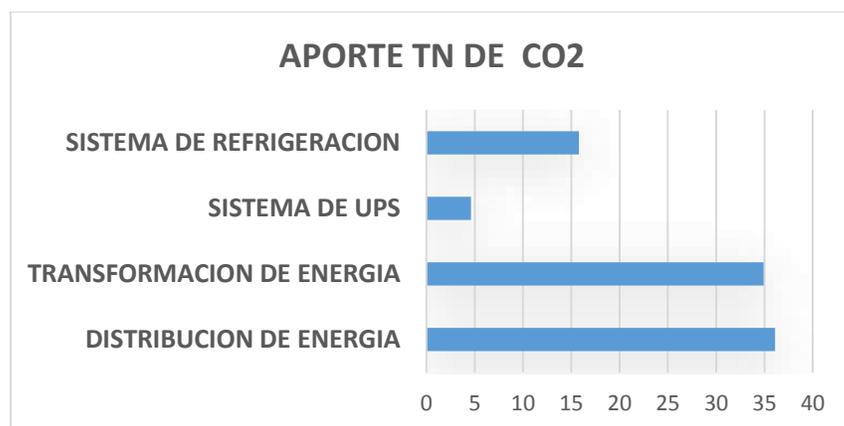


Figura No. 23. Huellas de carbono asociadas a sistemas de enfriamiento y a los sistemas de alimentación de energía. Fuente: el autor

La siguiente figura No. 24 representa las pérdidas de energía del CPD.

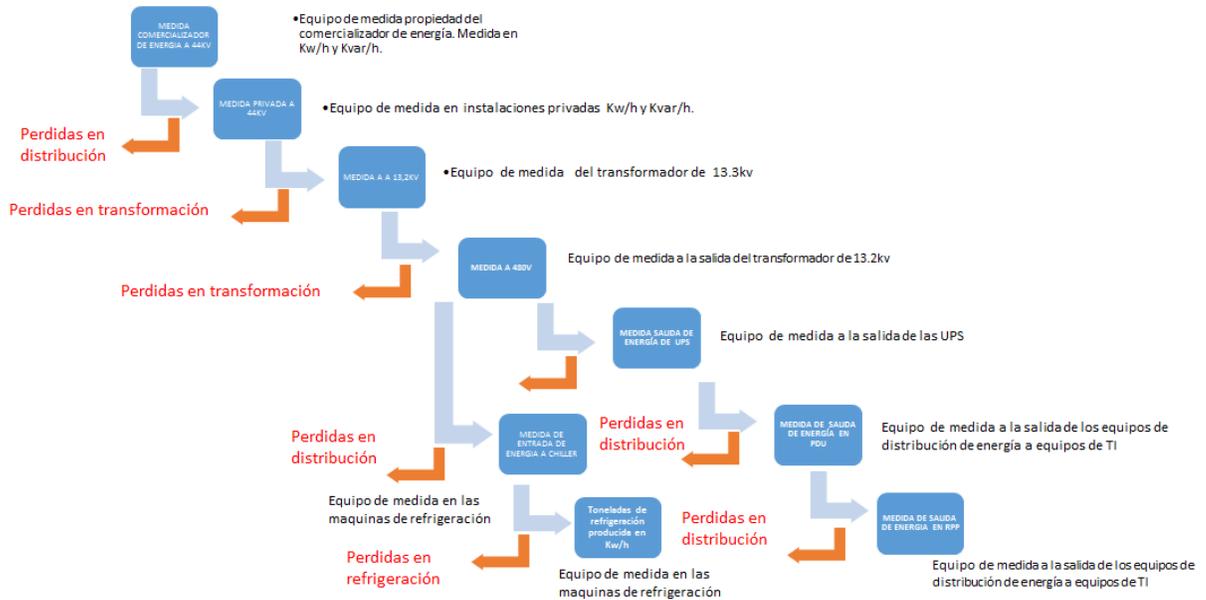


Figura No. 24. Diagrama de las pérdidas de energía del CPD. Fuente: el autor

## 7.5. PUE

### 7.5.1. Comportamiento del PUE durante el mes de noviembre de 2013.

La energía de entrada diaria al CPD se compara con la energía que usan los equipos TI. Se realizan dos cálculos del PUE, uno corresponde al llamado PUE externo en donde se consideran las pérdidas por el sistema de distribución y otro al llamado PUE interno en donde solo se estiman las pérdidas internas, el PUE externo tienen un valor promedio de 2.33 para el mes de noviembre y el PUE interno un valor promedio de 1.96 para el mes de noviembre. Los resultados están registrados en la tabla No.18.

FECHA	ENERGIA ENTRADA TOTAL CPD	ENERGIA TOTAL INTERNA	ENERGIA ENTRADA EQUIPOS TI	PUE TOTAL	PUE INTERNO
	KWh/Día	KWh/Día	KWh/Día		
01/11/2013	20.898,90	17.301,00	8.552,64	2,44	2,02
02/11/2013	20.940,43	23.021,50	8.553,60	2,45	2,69
03/11/2013	20.963,53	12.103,50	8.550,72	2,45	1,42
04/11/2013	19.639,40	16.727,50	8.523,36	2,30	1,96
05/11/2013	19.757,38	16.470,75	8.487,36	2,33	1,94
06/11/2013	19.692,20	16.611,50	8.511,60	2,31	1,95
07/11/2013	19.693,85	16.426,50	8.477,04	2,32	1,94
08/11/2013	17.611,00	15.347,25	8.476,56	2,08	1,81
09/11/2013	19.307,48	15.437,25	8.467,92	2,28	1,82
10/11/2013	19.378,98	16.514,00	8.444,64	2,29	1,96
11/11/2013	20.491,35	16.907,25	8.443,92	2,43	2,00
12/11/2013	20.599,98	17.557,50	8.415,12	2,45	2,09
13/11/2013	20.412,15	17.237,00	8.470,80	2,41	2,03
14/11/2013	20.280,98	17.274,00	8.467,92	2,40	2,04
15/11/2013	20.348,63	17.219,25	8.471,04	2,40	2,03
16/11/2013	20.319,75	17.261,25	8.477,04	2,40	2,04
17/11/2013	19.956,20	16.796,00	8.444,88	2,36	1,99
18/11/2013	18.927,15	15.962,25	8.443,44	2,24	1,89
19/11/2013	18.832,83	15.718,75	8.478,24	2,22	1,85
20/11/2013	18.689,00	15.822,50	8.477,52	2,20	1,87
21/11/2013	19.010,20	15.999,00	8.396,16	2,26	1,91
22/11/2013	19.631,15	16.394,50	8.393,76	2,34	1,95
23/11/2013	19.492,55	16.618,50	8.383,92	2,32	1,98
24/11/2013	19.573,40	16.493,25	8.327,04	2,35	1,98
25/11/2013	19.393,83	16.319,50	8.334,72	2,33	1,96
26/11/2013	19.360,83	16.298,75	8.364,96	2,31	1,95
27/11/2013	19.282,18	16.080,00	8.365,92	2,30	1,92
28/11/2013	19.358,35	16.278,00	8.363,76	2,31	1,95
29/11/2013	19.646,83	16.536,50	8.375,76	2,35	1,97
30/11/2013	19.742,53	16.706,50	8.377,20	2,36	1,99

Tabla No. 18. PUE del mes de noviembre de 2013. Fuente: el autor.

### 7.5.2. Comportamiento del PUE de los años 2012 y 2013

La tabla No. 19. Recoge la información del PUE los diferentes meses del año 2012

<b>2012</b>		
<b>MES</b>	<b>PUE</b>	<b>DciE</b>
<b>ENERO</b>	1,99	0,50
<b>FEBRERO</b>	1,96	0,51
<b>MARZO</b>	1,94	0,52
<b>ABRIL</b>	1,67	0,60
<b>JUNIO</b>	1,74	0,57
<b>JULIO</b>	1,79	0,56
<b>AGOSTO</b>	1,83	0,55
<b>SEPTIEMBRE</b>	1,82	0,55
<b>OCTUBRE</b>	1,78	0,56
<b>NOVIEMBRE</b>	1,76	0,57
<b>DICIEMBRE</b>	1,78	0,56

Tabla No. 19. PUE del año 2012. Fuente: el autor.

La Tabla No. 20 Recoge el valor del PUE calculado de los meses del año 2012. Fuente: el autor.

<b>2013</b>		
<b>MES</b>	<b>PUE</b>	<b>DciE</b>
<b>ENERO</b>	1,79	0,56
<b>FEBRERO</b>	1,84	0,54
<b>MARZO</b>	1,85	0,54
<b>ABRIL</b>	1,92	0,52
<b>JUNIO</b>	1,86	0,54
<b>JULIO</b>	1,91	0,52
<b>AGOSTO</b>	1,96	0,51
<b>SEPTIEMBRE</b>	1,98	0,51
<b>OCTUBRE</b>	2,00	0,50
<b>NOVIEMBRE</b>	1,94	0,52
<b>DICIEMBRE</b>	1,94	0,52

Tabla No. 20. PUE del año 2013. Fuente: el autor.

## **8. COMPARACIÓN DE UN CPD UBICADO EN UNA ZONA TROPICAL Y ALTITUD MEDIA RESPECTO A UN CPD UBICADO EN UNA ZONA TEMPLADA**

### **8.1. FUENTES DE ENERGIA**

Las fuentes de energía provenientes del carbón y de energía nuclear son las más usadas en los países de la zona templada de tierra, compañías como Apple, Amazon y Microsoft construyen sus CPD alimentados por fuentes de energía eléctrica provenientes del centrales de generación alimentadas por combustibles fósiles. (Villarrubia, 2012)

Los países ubicados en zonas tropicales tienden a disponer de una generación mediante centrales hidroeléctricas la cual es considerada una energía limpia y de baja emisión de CO<sub>2</sub>.

La generación hidroeléctrica representa el 84.3% de la energía eléctrica renovable producida, Asia se ha convertido en el principal productor de energía hidroeléctrica con el 23% de la producción mundial, América del Sur y Norteamérica se ubican en el segundo lugar. (GlobpMeter, 2014)

Para las exigencias del uso de energías renovables los CPD que tiendan a ubicarse en las zonas tropicales se verán beneficiados por que el suministro de energía es preferencialmente de centrales hidroeléctricas.

### **8.2. CALIDAD DE LA ENERGETICA**

Las fallas prolongadas en el suministro de energía eléctrica, se presentan de forma continua en los países ubicados en el trópico, lo que lleva a necesitarse en el diseño sistema de UPS

con una mayor tiempo de autonomía, por lo contrario en los países de regiones templadas los cortes de energía son menos continuos. Esta una situación de desventaja en la ubicación de CPD en las zonas tropicales.

### **8.3. INVERSION FINANCIERA**

La tendencia en la construcción de CPD en el trópico es una baja inversión, contrario al enfoque de las construcciones de CPD en las zonas templadas de invertir ahora para tener ahorros en el futuro.

### **8.4. EFICIENCIA ENERGETICA PUE**

Los procesamientos y almacenamiento de información, de los CPD ubicados en el trópico son bajos respecto a la infraestructura de suministro de energía eléctrica lo implica que su PUE este entre 1.5 a 2.0. En los CPD ubicados en los países templados el procesamiento de información es muy alto lo que lleva a tener eficiencias mejores con PUE de 1.2 a 1.5.

#### **Cuadro comparativo de CPD en zona templadas vs de zonas tropicales.**

<b>VARIABLE</b>	<b>CPD ZONA TROPICO</b>	<b>CPD ZONA TEMPLADA</b>
<b>FUENTES DE ENERGIA</b>	RENOVABLES	NO RENOVALES
<b>CALIDAD DE LA ENERGETICA</b>	NO CONTINUA	CONTINUA
<b>INVERSION FINANCIERA</b>	BAJA	ALTA
<b>EFICIENCIA ENERGETICA PUE</b>	MEDIA	BUENA

Tabla No. 21. Comparativo CPD zona tropical respecto a zona templada. Fuente: el autor.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hoy los CPD no son ajenos a la problemática de la afectación del medio ambiente: la contaminación, el calentamiento global, la pérdida de la diversidad animal y vegetal, etc. La investigación desarrollada en el CPD de la zona tropical y ubicado a una altitud media, busca contribuir a crear conciencia en los diseñadores, constructores y administradores de este tipo de edificios de que es posible tener alta confiabilidad y alta eficiencia energética.

Actualmente los administradores de CPD tienen una gran presión para reducir sus consumos de energía y una herramienta fundamental para desarrollar esta gestión, son las mediciones del PUE y de la huella de carbono.

La huella de carbono total del CPD objeto de nuestro estudio, en los dos años de operación fue de 2.255,42 Tn CO<sub>2</sub> (incluida la debida a los materiales de construcción), de acuerdo al estudio se estima que cada año se tendrá una huella de carbono de 885.7 Tn CO<sub>2</sub>. El mayor aporte a la huella de carbono lo representa el consumo de energía eléctrica.

Por cada día de operación en CPD objeto de nuestro estudio, tiene una huella de carbono de 2.42 Tn CO<sub>2</sub> que comparada con la huella de carbono de Data Center de Facebook en Forest City (Carolina del Norte USA), que es de 567<sup>8</sup> TnCO<sub>2</sub> diarias (Sverdlik, 2013) es solo el 0.4 %, esto

---

<sup>8</sup> La infraestructura completa de data centers de Facebook consumió 509 millones de Kw/h de energía en el año 2011, lo que equivale a 207.000 Tn métricas de CO<sub>2</sub>. En un día en promedio se tendría una emisión de 567 TnCO<sub>2</sub> (207.000 TnCO<sub>2</sub>/365 días). La generación de CO<sub>2</sub> del CPD objeto del estudio es de 3.0 día para el año 2013,(para el año 2011 se consideró del 20% menos por lo que la producción de CO<sub>2</sub> se estimó en 2.41 Tn CO<sub>2</sub> día) (Sverdlik, 2013)

debido a que el CPD ubicado en el valle de Aburra recibe la gran mayoría de su energía de fuentes renovables hidroeléctricas.

La ubicación de los CPD en nuestro país permitirá disponer de una huella de carbono muy baja al disponer de recursos energéticos de fuentes renovables.

El uso de la energía del CPD representa varias ineficiencias, que acumuladas representan 91.4 TnCO<sub>2</sub> de las cuales el mayor aporte está representado por la distribución de energía con 36.1 TnCO<sub>2</sub>.

En la investigación se observa cómo se da el consumo de energía, en un CPD ubicado en la zona tropical y la evaluación indica que su comportamiento es diferente al que se da en una zona templada de la tierra.

Los desarrollos de procesos de TI que se dan en los países de trópico, que normalmente están en vías de desarrollo, se sitúan en bajos niveles de procesamiento y almacenamiento de información, con respecto a los países desarrollados, lo que lleva a los CPD ubicados en el trópico a tener unas grandes infraestructuras para bajos niveles de procesamiento de información, que presentan ineficiencias debidas al sobredimensionamiento de los equipos y sistemas.

El PUE presento comportamiento entre eficiente y promedio, en los dos años de operación se mantuvo en la ventana de 1.5 a 2.0, este valor es una cifra absoluta de PUE que puede promocionar una instalación muy eficiente, pero es necesario llegar a un método unificado que permita hacer comparativos entre las distintas instalaciones. La metodología del PUE no indica donde “donde medir”, de forma que se incluya las “cargas IT” (denominador de la ecuación) o de los equipos de TI.

Aunque el intento de homogeneizar sea válido, es mucho más interesante e inmediato aplicar un criterio, cualquiera sea, en la medición. La finalidad de la medición del PUE, no es comparar entre si los CPD, sino el estado del CPD hoy para poder acometer acciones y la medición del mañana para evaluar el impacto de mis acciones correctivas. (Jauregualzo, 2011)

La investigación determinó que las principales causas de la ineficiencia de los CPD son el sobredimensionamiento comparado con la carga, redundancia debida a la necesidad de alta confiabilidad, la ineficiencia de los equipos, el manejo y configuración inadecuada del equipo y las relacionadas con el diseño como el sistema eléctrico y el sistema de enfriamiento.

Es viable el diseño y construcción de CPD con sistemas de gestión del aire en los cuales todo el aire se use para la refrigeración de los equipos de TI, estos diseños logran importantes ahorros de energía reduciendo el impacto de los CPD en el medio ambiente. Los diseños deben desarrollar barreras entre los flujos de aire frío y caliente, las principales metodologías son las de pasillo frío contenido, pasillo caliente contenido y rack contenido.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Acolgen. (2013). BENCKMARKING INTERNACIONAL Y EVOLUCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Medellín.
- ALT1040. (26 de Diciembre de 2013). Obtenido de ALT1040:  
<http://alt1040.com/2011/04/%C2%BFsabes-cuanta-energia-consumen-los-principales-centros-de-datos>
- APC. (2005). En qué difieren los sistemas de refrigeración de misión crítica de los aires acondicionados comunes y por qué.
- APC by Schneider Electric. (31 de 07 de 2008). APC. Recuperado el 11 de 06 de 2012, de APC: [www.apc.com.co](http://www.apc.com.co)
- BCSI. (2002). Manual de Métodos de Distribución de Telecomunicaciones. Tampa.
- Bouley, D. (2011). Estimating a Data Center's Electrical Carbon Footprint.
- Camacho Garcia, H. (2011). Acondicionamiento de aire para salas de proceso electrónico de datos.
- Camargo, L. A., Arboleda, M. N., & Cardona, E. (2013). PRODUCCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN COLOMBIA, LA BASE PARA UN CRECIMIENTO SOSTENIBLE. Medellín.
- Chromalox Precision Heat and Control. (2010). Determinación de los requisitos de energía para el calentamiento de aire y gas.
- Conciencia ECO. (31 de enero de 2011). ConcienciaECO. Obtenido de Conciencia ECO:  
<http://www.concienciaeco.com/2011/01/31/convertir-el-co2-en-un-recurso-limpio/>
- Datacenter Consultores. (2010). Métricas de eficiencia energética para data center según The Green Grid: PUE y DCiE.

- De la Vega, J. A. (12 de Enero de 2014). Eco Portal.net. Obtenido de [http://www.ecoportal.net/Temas\\_Especiales/Cambio\\_Climatico/Calentamiento\\_Global\\_-\\_Captura\\_de\\_Carbono](http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Cambio_Climatico/Calentamiento_Global_-_Captura_de_Carbono)
- Dunlap, K. (2008). Auditoría de esquemas de enfriamiento para identificar posibles problemas de enfriamiento en centros de datos.
- estrategia aragonesa. (12 de enero de 2014). camarazaragoza. Obtenido de [www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/.../calculoemisiones.xls](http://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/.../calculoemisiones.xls)
- GlobpMeter. (5 de Abril de 2014). GloboMeter las cifras en el mundo. Obtenido de <http://es.globometer.com/energias-hidroelectricita.php>
- Herrero, Y., Cembranos, F., Pascual, M., & Otros. (2011). Cambiar la gafas para mirar el mundo. Madrid: Ecologistas en Acción.
- ICREA. (2013). NORMA INTERNACIONAL PARA LA CONSTRUCCION E INSTALACION DE EQUIPAMIENTO DE AMBIENTES PARA EL EQUIPO DE MANEJO DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y SIMILARES. Mexico.
- Jaureguialzo, E. (2011). PUE: métrica Green Grid para la evaluación de la eficiencia energética en CPD. Método de medida mediante la demanda de potencia. Madrid.
- O'Connor, K. (2013). Guía informativa para la optimización de la eficiencia energética del centro de datos moderno.
- Orozco Hincapié, C. A. (2004). AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION. Pereira.
- Rasmussen, N. (2006). Implementación de centros de datos con alta eficiencia energética. Informe interno No. 114 APC.
- Rasmussen, N. (2012). Imputación de costos energéticos y emisiones de carbono de un centro de datos a usuarios de servicios informaticos.
- Rasmussen, N. (2012). Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos.
- Sawyer, R. (2012). Making Large UPS Systems More Efficient.
- Sverdlik, Y. (14 de enero de 2013). Datacenter Dynamics. Obtenido de <http://www.datacenterdynamics.es/focus/archive/2012/08/facebook-tiene-un-largo-camino-hacia-la-eficiencia-energ%C3%A9tica>
- The Green Grid. (26 de Febrero de 2011). thegreengrid. Recuperado el 26 de Febrero de 2011, de <http://www.thegreengrid.org>
- Tipley, R. (2009). PUE Scalability Metric and Statistical Analyses.
- Toledo, V. (26 de Diciembre de 2013). DataCenterDynamics. Obtenido de Data Center Dynamics: <http://www.datacenterdynamics.es/node/50413>

- Tozer, R. (2009). Estrategia Energetica en Centros de Proceso de datos. Londres.
- Tozer, R. (24 de Febrero de 2010). Estrategia Energética en Centros de Proceso de Datos. Londres, Reino Unido.
- Tozer, R. (2010). Gestión del Aire en Centros de Proceso de Datos-Aplicaciones. Londres.
- TRANE. (2013). Trane Seies L CentraVac Chillers.
- Villarrubia, C. (18 de Abril de 2012). Datacenter Dynamics. Obtenido de <http://www.datacenterdynamics.es/focus/archive/2012/04/greenpeace-acusa-amazon-apple-y-microsoft-de-usar-energ%C3%ADa-%E2%80%9Csucia%E2%80%9D>
- Wikipedia. (5 de Enero de 2014). Wikipedia . Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo\\_de\\_desarrollo\\_limpio](http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_desarrollo_limpio)

## ACRONICOS, SIGLAS Y ABREVIATURAS

ANSI: American National Standards Institute. Instituto Nacional Americano de Estándares.

ASHRAE: Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

BCSI: Servicio de Consultoría de la Industria de la Construcción Internacional.

CENELEC: Comité Europeen de Normalisation Electrotechnique. Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.

COP: Coefficient of performance.

CPD: Centro de Procesamiento de Datos.

CPU: Unidad Central de Procesamiento. Central Processing Unit).

CRAC: Computer room air conditioner. Unidad de aire acondicionado para sala de cómputo.

CRAH: Computer room air handler. Manejadora de aire para sala de cómputo.

CSA: Canadian Standards Association. Asociación de Estándares Canadienses.

CUE: Carbon Usage Effectiveness.

DCiE: Datacenter Infrastructure Efficiency.

EIA: Alianza de Industrias Electrónicas.

EPA: Environmental Protection Agency.

EER: Energy Efficiency Ratio.

GEI: Gases de efecto invernadero.

IEC: International Electrotechnical Commission. Comisión Internacional Electrotécnica.

ICREA: INTERNATIONAL COMPUTER ROOM EXPERTS ASSOCIATION.

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

ISO: Organización Internacional de Normalización.

kWh: kilovatio hora.

MDL: Mecanismo de desarrollo limpio.

MIX: Mezcla de generación eléctrica.

MW: Mega vatio, unidad de medida de la potencia eléctrica.

NFPA: Asociación Nacional de Protección Contra Incendios.

NOC: Network Operations Centers.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

LAN: Red de área local. Local Area Network.

PDU: Power Distribution Unidad.

PLC: Programmable Logic Controller. Controlador lógico programable.

PTU: Pump Transfer Unit.

PUE: Power Usage Effectiveness.

RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

RETILAP. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

RPP: Rack Power Panel.

SCCi: System Control Cabinet.

The Green Grid: Asociación de profesionales de TI que buscan la optimización de los recursos energéticos de los CPD.

TI: Tecnología de Información.

TIA: Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones.

UL: Underwriters Laboratories.

UPS: Uninterruptible Power Supply .Fuente de Alimentación ininterrumpida.

UTP: Cable de par trenzado sin Blindaje.

## ANEXOS

### Anexo No. 1

Reglamentos, normas, códigos y estándares para la construcción y operación de CPD.

Reglamentos y Normas Colombianas:

- RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Resolución No. 90708 de agosto de 2013 del Ministerio de Minas y Energía de Colombia.
- RETILAP. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Resolución No. 180540 de marzo 30 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía de Colombia.
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050. Primera actualización de 1998-11-25. Código Eléctrico Colombiano.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-1, 4552-2, 4552-3. Protección contra rayos.
- Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.

Normas, códigos y estándares internacionales:

- 2011 Best Practices for the EU Code of Conduct on Data Centres.
- IEC 61643-1:2005. Comisión Internacional Electrotécnica (International Electrotechnical Commission)
- ANSI/TIA/EIA568-B.1-2001. “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 1: General Requirements”.
- ANSI/TIA/EIA568-B.2-2001. “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Part 2: Balanced Twister-Pair Cabling Components”.
- ANSI/TIA/EIA568-B.3-2000. “Optical Fiber Cabling Components Standard”.

- ANSI/TIA/EIA 606-A-2002. “Administration Standard for the Telecommunications Infrastructure”
- ANSI/TIA-942-2005. “Telecommunication Infrastructure Standard for Data Centers”.
- ANSI-STD-607-A-2002. “Commercial Building Grounding (Earthing) and Bonding Requirements For Telecommunication”.
- ANSI X3T9.5/TDDI
- ANSI/IEEE C62.11-2005 IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (> 1kV).
- ANSI/IEEE C62.41.1-2002 IEEE Guide on the Surge Environment in Low Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits.
- ANSI/IEEE C62.45-2002. IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits.
- EN-1047 part II. “Secure Storage Unit, classification method of test to resistance to FIRE, part II, DATA ROOM & DATA CONTAINERS”.
- EN 61643-11: 2007-08.
- IEEE Std 1100-2005. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment” (IEEE Emerald Book).
- IEEE Std 242-2001. “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems” (IEEE Buff Book).”
- IEEE Std 602-2007. “IEEE Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities” (IEEE White Book).”
- ISO-13.220.01.- Protección contra Fuego.
- ISO/IEC 11801,Ed.2:2002. “Generic Cabling for Customer Premises”.
- ISO/IEC 24764. “Information technology-Generic cabling for Customer Premises”.

- ISO/IEC 27001. “Information technology-Security techniques-Information security management systems requirements”
- LS-1-1992. Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (National Electrical Manufacturer Association - NEMA)
- NBR/ABNT 11.515. “Criterios de Seguridad Física relativos al Almacenamiento de Datos”
- NBR/ABNT 15.247. “Unidades de almacenamiento seguro, SALAS
- COFRE Y COFRES PARA HARDWARE, Clasificación y métodos de ensayo de resistencia al fuego”
- NFPA 70 “National Electrical Code 2011 Edition”
- NFPA-13. “Instalación de sistema de rociadores”.
- NFPA-15. “Sistemas fijos de rocío de agua para extinción de fuego”.
- NFPA-20. “Instalación de bombas estacionarias para extinción de fuego”.
- NFPA-75. “Protección de computadoras y equipo de proceso de datos”.
- NFPA-76. “Prácticas recomendadas para protección contra fuego en instalaciones de telecomunicaciones”.
- NFPA-80 A. “Protección contra fuego expuesto”.
- NFPA-90B. “Instalación de equipos de aire acondicionado”.
- NFPA-92. “Sistemas de control de humo”.
- NFPA-99. “El cuidado de la salud”.
- NFPA 780 “Standard for the Installation of Lightning Protection Systems 2011 Edition”
- NFPA-2001. “Sistema de agentes limpios en la extinción de fuego”.

- TIA 569-B. “Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces”
- UL-1449. “Underwriters Laboratories (3ª Edición de UL 1449)”

Unificación de vocabulario con los siguientes documentos:

- La norma ISO-IEC Guide 73:2002 y su equivalente regional en Brasil la ABNT ISO/IEC GUÍA 73, publicada en 2005. “Installation management vocabulary guidelines for use in standards”.
- Instituto Nacional Americano de Estándares (American National Standards Institute - ANSI)
- Asociación de Estándares Canadienses (Canadian Standards Association - CSA)
- Organización Internacional de Estándares (International Standards Organization - ISO 9001 para fabricación, diseño y servicio)
- Publicación de Estándares Federales de Proceso de Información (Federal Information Processing Standards Publication 94 - FIP PUB 94).
- The European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC; [www.cenelec.eu](http://www.cenelec.eu)) EN 50173-5 Information Technology—Generic Cabling Systems Part 5: Data Centres que se publicó en Mayo 2007 para soportar la infraestructura de cableado en los data center.

Para definiciones respecto a confiabilidad:

- Clasificación por capas de acuerdo con el Uptime Institute Inc.