



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA DE CLIMATIZACIÓN Y
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS EFICIENTE,
BAJO EL ESTÁNDAR ASHRAE T.C. 9.9 Y TOPOLOGÍA DE UPTIME
INSTITUTE PARA EMPRESA DE COMUNICACIONES**

Marlon Estuardo Chilel De León

Asesorado por el M.A. Ing. Edgar Yanuario Laj Hun

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA DE CLIMATIZACIÓN Y
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS EFICIENTE,
BAJO EL ESTÁNDAR ASHRAE T.C. 9.9 Y TOPOLOGÍA DE UPTIME
INSTITUTE PARA EMPRESA DE COMUNICACIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARLON ESTUARDO CHILEL DE LEON

ASESORADO POR EL M.A. ING. EDGAR YANUARIO LAJ HUN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Yanuario Laj Hun
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA DE CLIMATIZACIÓN Y ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS EFICIENTE, BAJO EL ESTÁNDAR ASHRAE T.C. 9.9 Y TOPOLOGÍA DE UPTIME INSTITUTE PARA EMPRESA DE COMUNICACIONES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 20 de junio de 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marlon Estuardo Chilel de León', enclosed within a large, hand-drawn circle.

Marlon Estuardo Chilel de León



EPPFI-PP-0029-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DE CLIMATIZACIÓN Y ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS EFICIENTE, BAJO EL ESTÁNDAR ASHRAE T.C. 9.9 Y TOPOLOGÍA DE UPTIME INSTITUTE PARA EMPRESA DE COMUNICACIONES**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Uso eficiente en residencias y edificios**, presentado por el estudiante **Marlon Estuardo Chilel De** carné número **201232357**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

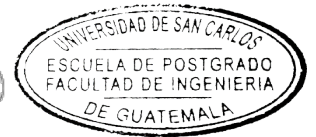
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Edgar Yanuario Laj Hun
Asesor(a)
Edgar Yanuario Laj Hun
Ingeniero Electricista
Col.11475

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0029-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DE CLIMATIZACIÓN Y ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS EFICIENTE, BAJO EL ESTÁNDAR ASHRAE T.C. 9.9 Y TOPOLOGÍA DE UPTIME INSTITUTE PARA EMPRESA DE COMUNICACIONES**, presentado por el estudiante universitario **Marlon Estuardo Chilel De**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022



LNG.DECANATO.OI.624.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA DE CLIMATIZACIÓN Y ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS EFICIENTE, BAJO EL ESTÁNDAR ASHRAE T.C. 9.9 Y TOPOLOGÍA DE UPTIME INSTITUTE PARA EMPRESA DE COMUNICACIONES**, presentado por: **Marlon Estuardo Chilel De León**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada 

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría, disciplina y fuerza para cumplir esta meta.
- Mis padres** Rene Chilel y Miriam De León, gracias por el apoyo incondicional, sin ustedes este objetivo no sería una realidad.
- Mis hermanos** Darwin y Linda Chilel De León, por su apoyo y compañía a lo largo de mi vida y en especial durante este proceso.
- Mis abuelos** Por los sabios consejos brindados a lo largo de mi vida, pilar fundamental para poder cumplir este objetivo.
- Familia y amigos** Por el compañerismo, amistad y apoyo brindado a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación y desempeñarme en el ámbito laboral
Empresa	Por haberme brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Mis amigos	Por haberme acompañado durante la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Edgar Yanuario Laj Hun, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Familia y amigos en general	Por el apoyo incondicional que, a pesar de la distancia, mi familia siempre me acompañó durante este proceso.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1 General.....	15
5.2 Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1 Centro de datos	19
7.2 Sistema de climatización de precisión.....	19
7.3 ASHRAE.....	20
7.3.1 ASHRAE T.C. 9.9	20

7.3.2	Parámetros recomendados de operación de un centro de datos según ASHRAE T.C. 9.9	21
7.4	Consideraciones para el cálculo de carga térmica en centro de datos	23
7.4.1	Equipos de cómputo (servidores).....	23
7.4.2	Gabinets o racks	25
7.4.3	Otras cargas.....	27
7.5	Climatización para centros de datos	28
7.5.1	Sistema de aire acondicionado enfriado por aire expansión directa tipo dividido (dos piezas)	29
7.5.2	Sistema de aire acondicionado enfriado por aire expansión directa tipo autocontenido (una pieza) ...	31
7.5.3	Sistema de aire acondicionado de precisión enfriado por agua	31
7.5.4	Sistema de aire acondicionado de precisión de agua helada.....	32
7.6	Distribución y manejo del aire para aumentar la eficiencia en centro de datos	33
7.6.1	Manejo del aire dentro del centro de datos	35
7.7	Sistema eléctrico.....	35
7.7.1	Distribución eléctrica en centro de datos.....	36
7.7.2	Normativos y códigos eléctricos	36
7.7.3	Alimentación eléctrica	36
7.7.4	Equipos de respaldo de energía UPS y generador .	38
7.8	Uptime Institute	39
7.8.1	Uptime Institute clasificación de niveles	39
7.8.2	Tier I: infraestructura básica	40
7.8.3	Tier II: componentes redundantes.....	41

7.8.4	Tier III: infraestructura del centro de datos concurrentemente mantenible	41
7.8.5	Tier IV: permite fallas sin interrumpir operación.....	42
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1	Características del estudio	47
9.2	Unidades de análisis	47
9.3	Variables.....	48
9.4	Fases del estudio	49
9.4.1	Fase 1: exploración bibliográfica	49
9.4.2	Fase 2: exploración de centros de datos en ciudad de Guatemala	49
9.4.3	Fase 3: evaluación de los equipos eléctricos y mecánicos.....	51
9.4.4	Fase 4: propuesta de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos eficiente basado en ASHRAE y Uptime Institute	53
9.4.5	Fase 5: estimación de ahorro energético y financiero	54
9.5	Presentación y discusión de resultados.....	55
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	61
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO	63

13. REFERENCIAS65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Selección de condiciones ambientales dentro del CPD	23
2.	Tendencias de carga térmica por huella de producto.....	26
3.	Tendencia de carga térmica por huella de producto para servidores de 1U.....	27
4.	Diagrama general de instalación eléctrica TIER III de un centro de datos.....	54
5.	Cronograma de actividades.....	61

TABLAS

I.	T.C. 9.9 ASHRAE	22
II.	Variables	48
III.	Levantamiento de información en centro de datos	49
IV.	Mediciones en distribución eléctrica de centro de datos	50
V.	Características del sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)	51
VI.	Características de aire acondicionado.....	52
VII.	Características de planta de respaldo	52
VIII.	Características de distribuidor de energía	53
IX.	Análisis de ahorro energético	55
X.	Análisis financiero.....	55
XI.	Recursos necesarios para la investigación	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
α	Ángulo de factor de potencia
S	Área
°C	Celsius
CA	Corriente alta
CD	Corriente directa
d	Distancia
é	Eficiencia energética
Hz	Hertz
H	Hora
KW	Kilogramo
KW	Kilovatio
KWh	Kilovatio hora
Km	Kilómetro
KV	Kilovoltio
MW	Megavatio
m	Metro
m^3	Metro cúbico
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
'	Pies o minutos
mm	Milímetro
N	Norte
%	Porcentaje

P	Potencia
"	Pulgadas o segundos
Q	Quetzales
RPM	Revoluciones por minuto
W	Vatio
V	Voltio

GLOSARIO

ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
ASHRAE	Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
ATS	Interruptor de transferencia automática.
BTU	Unidad térmica británica.
CDP	Centro de procesamiento de datos.
DCIM	Administrador de infraestructura de centros de datos.
Generador	Máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica.
ICREA	Asociación internacional de expertos en centros de datos.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
ISO	Organización Internacional de Estandarización
IT	Tecnologías de información.

NEC	Código nacional eléctrico.
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
PDU	Unidad de distribución de potencia.
PUE	Eficiencia energética en centro de datos.
TIA	Asociación Industrial de Telecomunicaciones
TIER	Es un estándar de infraestructura en data center.
UPS	Sistema ininterrumpido de potencia.
UPTIME INSTITUTE	Es responsable de crear y administrar el Tier Standard conocido y reconocido a nivel mundial que ayuda a los centros de datos a alcanzar sus objetivos a medida que reducen el riesgo.

RESUMEN

Los centros de datos actualmente tienen una relevancia que va en aumento, ya que todo lo digital se mueve a través de la internet y prácticamente todo está conectado. Por lo cual, la calidad de vida está directamente relacionada con estos servicios digitales como lo son: las comunicaciones, la banca, entretenimiento, etc. que prestan las grandes compañías y para hacerlo requieren en su mayoría de un centro de datos.

Actualmente los centros de datos consumen una cantidad de energía para su operación, donde se ocupa esta para alimentar los equipos de tecnología de la información (TI) en general, sin embargo, por la densidad de equipos de TI, se requiere climatización en la mayoría de los casos, aunque sea un centro de datos pequeño. Es por ello que el centro de datos para su operación requiere de energía para prestar el servicio y además para mantenerse operativo durante 24 horas al día, los 7 días de la semana los 365 días del año.

El presente diseño de investigación hace una propuesta de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos eficiente basado en estándares para centros de datos como el ASHRAE T.C. 9.9, complementado por códigos eléctricos como el NEC y estándares de eficiencia energética como la ISO 50001.

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente diseño de investigación se realizará la propuesta de climatización que será de utilidad para instituciones gubernamentales o privadas, que busquen aumentar la eficiencia energética del centro de datos que ya estén construidos o servirá como guía para profesionales que realicen diseños de climatización en esta aplicación, que busquen garantizar una alta eficiencia energética del centro de datos. Esta investigación se basa en la línea de investigación gestión y uso eficiente de la energía, específicamente en el área de centro de datos en Guatemala.

Se plantea la problemática del uso irracional de la energía en dichos centros por el desconocimiento de estándares, normas y códigos. Donde se busca dar respuesta a interrogantes como: ¿Existen centros de datos en el medio que sean eficientes? ¿Su dimensionamiento en la climatización es el adecuado?, ¿Están utilizando tecnologías actualizadas? etc.

Para la realización de esta investigación se tomará como línea base lo que se establece en el estándar de ASHRAE específicamente para centros de datos y cómo se complementa con las topologías o niveles que se establece en el Uptime Institute. La propuesta de climatización se realizará según el requerimiento del cliente, en donde, proporcionan los datos importantes a considerar como lo son: el área para el dimensionamiento, equipos de TI, disponibilidad de alimentación eléctrica, etc. Para la climatización y alimentación eléctrica del centro de datos, se realizará un cálculo de estimación de carga térmica y eléctrica, se elaborarán planos, secciones y diagramas unifilar

mecánico y eléctrico para el entendimiento de profesionales o personas en general.

Se cuenta con información de primera mano para la realización de la investigación, con respecto a los estándares y topologías que indican el nivel de disponibilidad del centro de datos. Se tiene la disponibilidad de realizar las simulaciones en *software* de fabricante de aires acondicionados para centros de datos; con ello se validará el manejo del aire dentro de la sala, manteniendo los parámetros establecidos por ASHRAE y garantizando la disponibilidad del servicio.

En el capítulo 1 se describen los antecedentes internacionales relevantes con respecto al estudio de investigación, en donde se presentan diseños de climatización eficientes utilizando tecnología que aprovechan las condiciones ambientales exteriores. En el capítulo 2 se realizará una revisión bibliográfica de los conceptos, de los fundamentos teóricos que rigen centros de datos, climatización de centros de datos, tipos de climatización, pasillos fríos y calientes, manejo del aire, etc.

El capítulo 3 propone el modelo de alimentación eléctrica y climatización para centro de datos, donde se realizará una simulación de dinámica de fluidos (CFD-por sus siglas en ingles) para la validación de los parámetros recomendados por ASHRAE. En el capítulo 4 se revisará el equipamiento de última tecnología acorde a la necesidad del centro de datos, que se encuentra en el mercado para la alimentación eléctrica y, por supuesto, para la climatización del centro de datos.

En el capítulo 5 se realizará la planografía correspondiente para la parte mecánica y la parte eléctrica, incluidas las especificaciones de los equipos y diagramas. En el capítulo 6 se realizará el análisis de ahorro de energía comparándolo con un sistema de climatización convencional.

El capítulo 7 presenta los resultados más significativos de la investigación y la discusión de estos. Finalizando se plantean las conclusiones y las recomendaciones derivadas de la investigación propuesta.

2. ANTECEDENTES

Actualmente en Guatemala no se encontraron estudios publicados respecto al diseño de climatización para centro de datos basado en normativas para aumentar la eficiencia energética, sin embargo, se sabe que existen numerosas empresas dedicadas al diseño e implementación de centro de datos con eficiencia energética. A continuación, se presentan algunos casos de estudio e investigaciones con respecto al tema de climatización para centro de datos a nivel internacional.

En la tesis *Evaluación por indicadores de confiabilidad del sistema de aire acondicionado para un centro de almacenamiento de datos* (Cortes, 2017) se afirma que la propuesta de diseño óptimo para el centro de datos se logra cuando se trabaja en conjunto con las diferentes especialidades, con el objetivo que todas estas comprenden lo crítico de la operación del centro de datos. Se indica que la especialidad mecánica realiza la estimación de la carga térmica, por añadidura, se dimensiona el equipo de climatización de manera correcta.

La tesis valora en gran medida los parámetros de operación, donde se caracterizó el calor generado correspondiente al centro de datos analizado, con el fin de prevenir escenarios críticos de operación en los que se involucra fallas de operación por alta temperatura, por lo tanto, se establecen recomendaciones para mitigar estas fallas

La metodología utilizada en esta investigación fue dividida en dos partes, la primera parte fue determinar las consideraciones de diseño para un sistema de aire acondicionado para centro de datos. Se toma para la primera parte el

estándar de ASHRAE, entre otros. La segunda parte, se centra en los parámetros críticos que dan como resultado el rendimiento del centro de datos.

Parte del análisis es comparar el sistema actual con otras instalaciones de características similares, donde se apoyan con tomas de medición de temperatura por medio de medidor termo grafico infrarrojo, que ayuda a detectar áreas críticas y en riesgo para suplir con más flujo de aire para mantener la operación

Lo relevante del trabajo de investigación titulado *Diseño e implementación de un sistema de climatización para el data center de la corporación CENACE* (Medina, 2015) es el estudio térmico por cada dispositivo que alberga el centro de datos, además de realizar el análisis de flujo de aire y el diseño e implementación de un sistema de monitoreo, el cual permite tener datos en tiempo real del comportamiento de la temperatura y la humedad del centro de datos. Es importante mencionar que este trabajo de graduación de grado fue realizado en Quito, Ecuador.

En el mismo país y mismo año del antecedente anterior, el trabajo de graduación titulado *Estudio del diseño de ampliación del centro de datos nacional Iñaquito para el sector eléctrico ecuatoriano basado en el estándar ANSI/TIA/EIA-942 TIER III* (Flores, 2015), se indican cuatro grandes especialidades primordiales en un centro de datos, los cuales son: sistema eléctrico, sistema mecánico, arquitectónico y telecomunicaciones, esto lo indica el estándar de la ANSI/TIA-942, que establece las bases para los nuevos centros de datos y con estas bases se logra realizar el estudio de ampliación del centro de datos operativo para Iñaquito, tomando en consideración los requerimientos de potencia eléctrica futura, climatización, espacio físico e infraestructura de telecomunicaciones.

En el trabajo de graduación titulado: *Estudio de factibilidad para la implementación de Sistemas de Enfriamiento Freecooling de Eficiencia Energética para Data Center* (Segura y Ricaurte, 2017), se realiza el análisis para el aumento de la eficiencia energética en el sistema de climatización de los centros de datos, implementando la tecnología de ahorro de energía utilizando las condiciones ambientales exteriores, denominado por sus siglas en inglés como “*freecooling*”, el medio de intercambio de calor y recurso primario es el aire exterior, estos sistemas de climatización integran sistemas de control, capaces de realizar un tratamiento de aire previo a ingresarlo a la sala, puesto que el centro de datos cuenta con sistemas de detección de incendios, por lo cual, el tratamiento del aire evita que este sistema se active, operando en conjunto con los componentes del circuito de refrigeración como lo es el compresor e intercambiadores de calor.

Según ese trabajo de graduación, los resultados que se pueden obtener implementando sistema de *freecooling*, es una significativa reducción del consumo eléctrico, por lo cual, ayuda a reducir la huella del carbono en un porcentaje significativo, donde se determinó una reducción del PUE, el cual es un indicador de eficiencia para centros de datos.

Finalmente, para este estudio de factibilidad, se demuestra que la instalación del sistema de climatización, utilizando equipos con *freecooling* es factible y viable, aunque la inversión inicial es elevada. El mantenimiento y operación de estos sistemas es particular, por lo cual, el costo de estos puede ser mayor a los sistemas de climatización tradicionales.

En el trabajo de graduación de la Universidad Internacional SEK, Quito, titulada: *Diseño de un data center para la empresa Elipe S.A. de acuerdo con las especificaciones técnicas de la norma TIA-942* (Quimbita, 2015) se realiza una

propuesta de diseño de centro de datos para suplir la necesidad del cliente, puesto que no contaba con las condiciones adecuadas, esto se determinó por ambas partes, el cliente y el proveedor, al realizar la visita técnica de campo.

Debido al crecimiento y centralización de operaciones en Quito, surge la necesidad de ampliar la infraestructura eléctrica, mecánica, comunicaciones y de espacio. Se establece dentro de la investigación que la línea base del diseño, es la norma TIA-942, entre normas, como lo es NEC y ASHRAE. También indica que las especialidades operan interdependientes y son principalmente: infraestructura física, sistema eléctrico, sistema de climatización y comunicaciones.

En cada una de las investigaciones citadas, con respecto a centros de datos y climatización para estos, cada una de las investigaciones tienen en común, los estándares y normas que se utilizaron para poder determinar el diseño, evaluación y factibilidad de cada uno de los casos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los centros de datos (centros de misión crítica) por ser de alta disponibilidad, necesitan energía para ser alimentados las 24 horas al día, 7 días a la semana, 365 días al año, sin excepción. La mayoría de los centros de datos de alta densidad ubicados en países desarrollados brindan servicios ininterrumpidos, puesto que, estamos en la nueva era de globalización, por lo cual, la energía demandada para la operación es muy significativa; se estima que alrededor del 5 % del consumo global de energía proviene de productos electrónicos, el 2 % en los centros de datos y más del 50 % del consumo del centro de datos es del sistema de climatización.

Debido a ello, es sumamente importante que se tenga una alta eficiencia energética en los centros de datos medianos y grandes, esto permite reducir las grandes pérdidas de energía, ya que, si el sistema es ineficiente se tendrá un gran consumo eléctrico, generando costos adicionales. También, en los centros de datos se cuenta con respaldo de energía de emergencia, la mayoría de las plantas de respaldo para los centros de datos son generadores de combustión interna (grupos electrógenos basados en la quema de combustibles fósiles), si el centro de datos está ubicado donde la calidad de energía no es la adecuada, aumenta la probabilidad de que el generador opere la mayoría del tiempo para mantener la operación, lo que provoca que el centro de datos sea ineficiente, además, de aumentar la contaminación ambiental.

3.1 Descripción del problema

Muchos de los diseños de los centros de datos que se realizan en Guatemala omiten la aplicación de normativas y estándares internacionales, que buscan tener instalaciones óptimas y eficientes. Las asociaciones internacionales creadoras de normativas más utilizadas para el diseño de centros de datos son las siguientes: ANSI/TIA-942, ASHRAE, NFPA, IEEE y códigos como el NEC. Al no utilizar estas normativas y estándares de dichas asociaciones se corre el riesgo de utilización de equipamiento no adecuado, deficientes instalaciones electromecánicas, provocando pérdidas de energía en el sistema. Estas pérdidas en conductores eléctricos provocan calentamiento y generación de armónicos con respecto a la alimentación eléctrica. En el caso de la especialidad mecánica, ocurre el sobredimensionamiento en la climatización, pérdidas de flujo de aire por mala distribución de equipamiento de informática, etc.

Al igual que la aplicación de estas normas, la correcta selección de la tecnología energética de los equipos eléctricos y equipos mecánicos en el centro de datos contribuye a su óptimo funcionamiento. Los diseñadores de data center muchas veces optan por no utilizar equipos eléctricos y electromecánicos eficientes debido al costo de inversión inicial, pero a mediano y largo plazo resultan generando grandes pérdidas de energía y mayor consumo energético, que resulta no rentable cuando se compara el costo de la energía eléctrica por este sobre consumo. Esto es debido a que muchos equipos aún cuentan con tecnologías obsoletas y poco eficientes en el uso de los recursos. Asimismo, las instalaciones mecánicas deben ser diseñadas usando las tecnologías más eficientes que eviten pérdidas en el sistema.

Muchos diseñadores prefieren sobredimensionar los equipos mecánicos y eléctricos para evitar cualquier riesgo de avería que podría ser un problema más grande que la ineficiencia energética de la instalación. Por lo cual es sumamente importante la correcta selección de la tecnología de los equipos con base en especificaciones técnicas que promuevan la eficiencia y el ahorro energético, además que puedan ser gestionables e integrables a sistemas de monitoreo que permita su correcta administración y, en el mejor de los casos, la gestión.

Aproximadamente el 65 % de la energía del centro de datos global se produce mediante la quema de combustibles fósiles, debido a ello, el sector de las tecnologías de información y comunicación (ICT) predice que para el 2025 usarán el 20 % de la electricidad global y emitirán el 5.5 % de todas las emisiones de carbono, todo ello para que los centros de datos puedan mantener sin interrupción actividades como internet, e-mails, videos en *streaming*, interconexión de teléfonos móviles, bases de datos en la nube y toda aquellas actividades que impliquen comunicaciones por medio de la red.

3.2 Formulación del problema

- Pregunta central

¿Cómo realizar el diseño de climatización y alimentación eléctrica para un centro de datos eficiente?

- Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el modelo estándar de diseño de climatización y alimentación eléctrica de un centro de datos?
- ¿Qué equipamientos mecánicos y eléctricos son los adecuados para garantizar disponibilidad del servicio con el menor uso de energía?
- ¿Cuál es el ahorro de energía obtenido, en el tiempo de vida útil del equipamiento adquirido, cuando se diseña bajo los estándares y normativas que rigen centros de datos?

3.3 Delimitación del problema

A medida que avanza la tecnología de información (TI), aumentará la demanda de microcentros de datos, por lo cual, aumentarán las pérdidas de energía en corto plazo. Estos pequeño o minis centros de datos son comunes en ciudad de Guatemala, en la que los acuerdos gubernativos o normas locales no se enfocan en hacer uso racional de la energía, sino que, se enfocan en mantener la continua operación como, por ejemplo, el centro de datos de un banco que se rige a los lineamientos establecidos por la superintendencia de bancos.

Actualmente, muy pocas organizaciones buscan hacer uso racional de la energía en Guatemala, por lo cual, se enfoca la investigación en las entidades privadas que operan centros de datos y en un corto periodo de tiempo construirán centros de datos nuevos, donde sus estándares de diseño serán realizados bajo normativas, estándares, códigos nacionales e internacionales.

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y uso eficiente de la energía; en el área de gestión energética, de la Maestría en Energía y Ambiente, debido a que en Guatemala no se aplican estándares y normas de construcción eficiente y sostenible.

El consumo de energía de los centros de datos representa alrededor del 2 % del consumo global, debido a ello es de suma importancia que se tenga una alta eficiencia energética en estos. Realizar propuesta de climatización de un centro de datos que busque reducir las pérdidas de energía, sumado a la adecuada selección de equipos y herramientas de gestión energética, permitirá lograr los aportes siguientes: ahorro importante en el consumo de energía, disminución del costo económico y tener mayor confiabilidad y disponibilidad en la operación.

Este estudio brindará un modelo de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos, el cual, será útil para instituciones gubernamentales, privadas y profesionales en Guatemala, que busquen diseñar un centro de datos eficiente o evaluar su centro de datos con el objetivo de reducir el riesgo operativo aumentando la confiabilidad y la eficiencia energética.

También será de beneficio para personas que deseen entender cómo funciona un centro de datos desde el punto de vista energético, brindando apoyo para la correcta selección de los equipos electromecánicos que formarán parte de la operación, confiabilidad y disponibilidad del centro de datos, también beneficia indirectamente al medio ambiente, disminuyendo el consumo

energético y, por ende, reduciendo la quema de combustibles fósiles generados por las plantas de respaldo de estos.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Determinar una propuesta de diseño de climatización y alimentación eléctrica para un centro de datos eficiente para empresas de comunicaciones.

5.2 Específicos

- Determinar el modelo estándar de diseño de climatización y alimentación eléctrica de un centro de datos.
- Determinar el equipamiento mecánico y eléctrico adecuados para garantizar disponibilidad del servicio con el menor uso de energía.
- Calcular el ahorro de energía obtenido en el tiempo de vida útil del equipamiento adquirido, cuando se diseña bajo los estándares y normativas que rigen centros de datos.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Esta propuesta cubre la necesidad de un modelo de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos con las siguientes características: alta eficiencia energética, confiabilidad y disponibilidad. El cual estará basado en normas y códigos eléctricos como la IEEE y el NEC como bases secundarias y, el estándar ASHRAE y Uptime Institute como base primaria, que establece la referencia y filosofía de diseños, como también la operación de centros de datos en general. El propósito de la investigación es ampliar los conocimientos con respecto a buenas prácticas de diseño e implementación de climatización y alimentación eléctrica para centros de datos.

Se establecerá la propuesta óptima para la climatización y alimentación eléctrica del centro de datos para empresa de comunicaciones, con el objetivo de reducir el consumo de energía, donde no se afecta las condiciones ambientales interiores de temperatura y humedad establecidos por las normas y estándares, por lo cual, se podrá garantizar alta disponibilidad en el servicio brindado.

La propuesta de investigación se limita a la elaboración del modelo de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos, sin embargo, se propone realizar modelo computarizado de dinámica de fluidos para validar capacidades de equipos seleccionados, flujo de aire, temperatura y humedad relativa del centro de datos. Posteriormente, se realizan planos en 2D utilizando programa de dibujo "AutoCAD", dentro de la plano gráfica se pueden mencionar: diagramas unifilares mecánicos y eléctricos, planos de ubicación de equipos, rutas de infraestructura mecánica y eléctrica, tabla de equipos, detalles de instalación e interconexión de los equipos, etc.

La propuesta será una guía para futuros profesionales que necesiten diseñar un centro de datos desde cero o un centro de datos que actualmente esté operativo, no existen antecedentes nacionales enfocados específicamente a climatización en centro de datos, por lo cual actualmente es un reto para reducir los gases de efecto invernadero, contribuyendo a mantener la capa de ozono.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Centro de datos

Los centros de datos son un área donde se almacena toda la información digital como mensajes de texto, *e-mail*, video, audio, etc., de un determinado número de usuarios que utilizan la red para estar comunicados o simplemente guardar información en la nube.

La importancia de diseñar un centro de datos que garantice la integridad y funcionalidad de los sistemas mediante una distribución física y lógica, está dada al ser la información un aspecto crucial en la mayoría de las operaciones de una empresa u organización. Por otro lado, se encuentra la continuidad del negocio, sin dejar de lado la importancia de la disponibilidad y seguridad de los equipos informáticos o de comunicaciones implicados para la prestación de servicios (Soto, 2015).

Es claro que estar comunicados es una necesidad que obliga a las diferentes empresas de comunicaciones a estar disponibles con el servicio todo el tiempo, al igual que todos los servicios digitales que existen en la actualidad como por ejemplo la banca.

7.2. Sistema de climatización de precisión

En sala blancas se busca tener condiciones ambientales internas controladas, puesto que el equipo electrónico que se encuentra operando, corre

el riesgo de dañarse por altas temperaturas y condiciones de humedad fuera del rango recomendado.

Para el dimensionamiento del sistema de aire acondicionado, usualmente se toma en consideración la carga N de tecnología de la información, a la cual se le calcula carga térmica de iluminación, alimentación de energía y número de personas (Air –Conditioning and Refrigeration Institute, 1999).

7.3. ASHRAE

ASHRAE, fundada en 1894, es una sociedad global que promueve el bienestar humano a través de tecnología sostenible para el entorno construido. Esta sociedad y sus miembros se centran en los sistemas de construcción, la eficiencia energética, la calidad del aire interior, la refrigeración y la sostenibilidad dentro de la industria.

En 2012, como parte de un cambio de marca, ASHRAE comenzó a operar como "ASHRAE" en lugar de utilizar su nombre legal completo de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

7.3.1. ASHRAE T.C. 9.9

ASHRAE TC9.9, establece que en nuevas propuestas de aire acondicionado se maneje el aire de manera que siga la dirección del flujo de aire que dispone los equipos dentro de los gabinetes.

El desarrollo de nuevos productos que no se adhieren a un diseño de enfriamiento de adelante hacia atrás. No es recomendado. Se recomienda que

el equipo de red, donde el chasis no abarca toda la profundidad del bastidor, tenga un conducto de flujo de aire que se extiende hasta la cara frontal de la rejilla. Actualmente el estándar sugiere niveles más altos de temperatura para impulsar el ahorro de energía en la climatización.

7.3.2. Parámetros recomendados de operación de un centro de datos según ASHRAE T.C. 9.9

Actualmente grupos como el comité técnico, adscrito a la ASHRAE, han trabajado en desarrollar las condiciones ideales, en donde se establece rangos recomendados y rangos permisibles de operación, del ambiente interior en la cual residen los equipos de cómputo. Dentro de los parámetros establecidos en los rangos se encuentran, la temperatura de bulbo seco y su razón de cambio en el tiempo, humedad relativa, punto de rocío, filtros, flujo de aire. Estos parámetros controlan directamente la operación del centro de misión crítica. (ASHRAE, 2015).

El efecto de operar a distintas temperaturas ambientales y su influencia en los equipos de cómputo son: la operación del equipo de cómputo en el rango permisible con respecto al rango recomendado es un incremento en la potencia demandada, debido a que el ventilador interno que ventila y hace pasar a través del procesador el aire acondicionado debe de disipar el calor a mayor velocidad y, por lo cual demanda más potencia. Otra razón del incremento de potencia demandada es por la potencia consumida en los distintos componentes electrónicos, los cuales, al operar a temperaturas más altas, tienden a generar más pérdidas (ASHRAE 2015).

Operar fuera del rango recomendado, en el rango superior, tiene un efecto significativo en el nivel del ruido generado que los equipos de cómputo emiten, el

cual aumenta por el incremento de velocidad por el ventilador de cada procesador para disipar el calor generado, por lo que, las personas responsables del diseño deben de tener en cuenta el confort de las personas que operan el centro de misión crítica y personas que estén en la colindancia con este ambiente, realizando el análisis del nivel de ruido generado con respecto al beneficio de energético esperado (ASHRAE, 2021).

Las condiciones ambientales a tomar en cuenta en el diseño de sistemas para centros de misión crítica, deben de seguir los lineamientos documentados por el T.C. 9.9 ASHRAE, según se muestra en el cuadro 2 – 1.

Tabla I. **T.C. 9.9 ASHRAE**

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

Clase de CPD	Especificaciones Ambientales para equipos de cómputo, clase A1 y clase A2. Producto en Operación, elevación máxima 3050 msnm Máximo Razón de Cambio (°C/hr) 5-20				
	Temperatura de Bulbo Seco (°C)		Humedad Relativa (HR) (%)		Máximo Punto de Rocío (PR) (°C)
	Permisible	Recomendado	Permisible	Recomendado	
A 1	15 a 32	18 a 27	-12°C PR y 8% HR a 27°C PR y 80% HR	-9°C PR a 15°C PR y 60% HR	15
A 2	10 a 35	18 a 27	-12°C PR y 8% HR a 27°C PR y 80% HR	-9°C PR a 15°C PR y 60% HR	17

Fuente: ASHRAE (2015) *Estándar T.C. 9.9*

Cualquier decisión de diseñar fuera del área recomendada por ASHRAE, debe ser el resultado de la evaluación exhaustiva y el balance que resulta considerar el potencial de ahorro energético del sistema de climatización con respecto a los impactos documentados por ASHRAE. El cuadro 2 – 1 (página anterior) muestra los parámetros a tomar en cuenta.

7.4. Consideraciones para el cálculo de carga térmica en centro de datos

Este tipo de ambientes críticos se caracteriza por un alto componente de carga sensible muy cercano a la unidad. El aporte de los principales contribuyentes a este cálculo, así como algunas consideraciones a tomar en cuenta a cada uno, se detalla a continuación.

Figura 1. Selección de condiciones ambientales dentro del CPD



Fuente: elaboración propia con datos de ASHRAE, realizado con Microsoft Word ®

7.4.1. Equipos de cómputo (servidores)

Los componentes más comunes que se utilizan en los servidores son el procesador, los módulos de memoria, tarjetas madre o tarjetas de circuitos integrados, módulos de entradas y salidas de información, componente de almacenamiento, regulador de voltaje y fuente de poder. Una de las prácticas

comunes es asumir la totalidad del consumo eléctrico real de los servidores para que se disipe en forma de energía calorífica.

La fuente de calor en un servidor es típicamente el procesador conocido como CPU por sus siglas en inglés (unidad central de procesamiento). El procesador tiene funciones importantes como el cálculo matemático, administración de la información y también la potencia entre distintos componentes internos.

Los módulos de almacenamiento (memoria) retienen la información de manera temporal que ha sido o será procesada, estos módulos están integrados dentro de la tarjeta madre en la mayoría de los casos.

El regulador de voltaje proporciona el nivel de tensión adecuado al servidor, esto con el fin de brindar la energía para que cada componente interno realice la función correspondiente.

Estos servidores pueden ocupar también de discos duro o disco de estado sólido para el almacenamiento de información, fuente de poder y sistema de ventilación para el movimiento del calor y este que se disipa de los diferentes componentes se conduce a la superficie inmediata superior, lateral, inferior, etc. para realizar la transferencia de calor mediante convección forzada fuera del chasis para que el sistema de climatización del centro de misión crítica se encargue de la transferencia de calor y se repita el ciclo, todo esto a través de los materiales que está compuesto el servidor.

7.4.2. Gabinetes o racks

Los servidores son alojados en gabinetes o racks en un ambiente destinado para mantenerlos en operación. Dentro de las recomendaciones generales para el cálculo de carga térmica (ASHRAE, 2009), se especifica que en cuanto a equipos de cómputo se evita utilizar la información de la placa de la fuente de poder de los mismos como dato para la estimación de la carga térmica, en el estudio realizado por ASHRAE indica que es muy poco realista tomar los datos de placa para el cálculo de carga térmica.

Por temas prácticos se realiza usualmente en la estimación de carga. Se utiliza como línea base el dato de potencia eléctrica de suministro de los USP que soportan la carga eléctrica de todo el centro de datos. Esta práctica indica valor más cercano a la realidad de carga térmica del centro de misión crítica

Por tal motivo cobra valor lo realizado por el ASHRAE T.C. 9.9 y Uptime Institute, en la cual ellos establecen que el valor de carga térmica cambia en función del tiempo, por lo cual realizan recomendaciones como, por ejemplo, hasta cuando la carga térmica tiene validez. Por cuanto se espera que la densidad de carga térmica por gabinete se mantenga con una tendencia creciente (ASHRAE 2012).

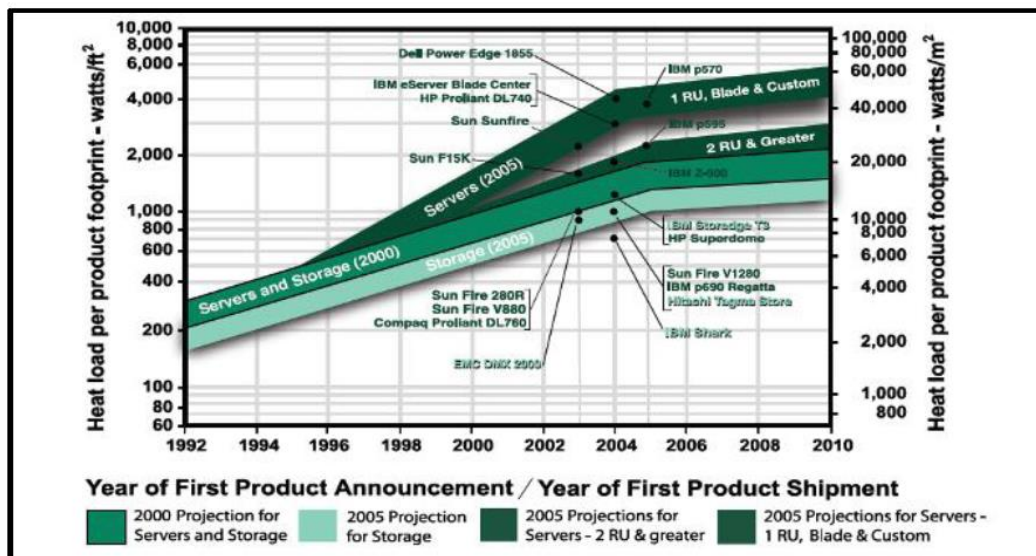
La carga térmica depende principalmente de los equipos de cómputo por lo cual se recomienda realizar un inventario, donde se determine la variedad y cantidad de equipo de cómputo se tendrá en el futuro.

A continuación, se listan los equipos comunes de cómputo:

- Equipo de comunicaciones, alta y súper alta densidad

- Servidores de cómputo, 1U, *blade* y especiales
- Servidores de almacenamiento
- Estaciones de trabajo individuales
- Sistemas de almacenamiento mediante cintas

Figura 2. Tendencias de carga térmica por huella de producto



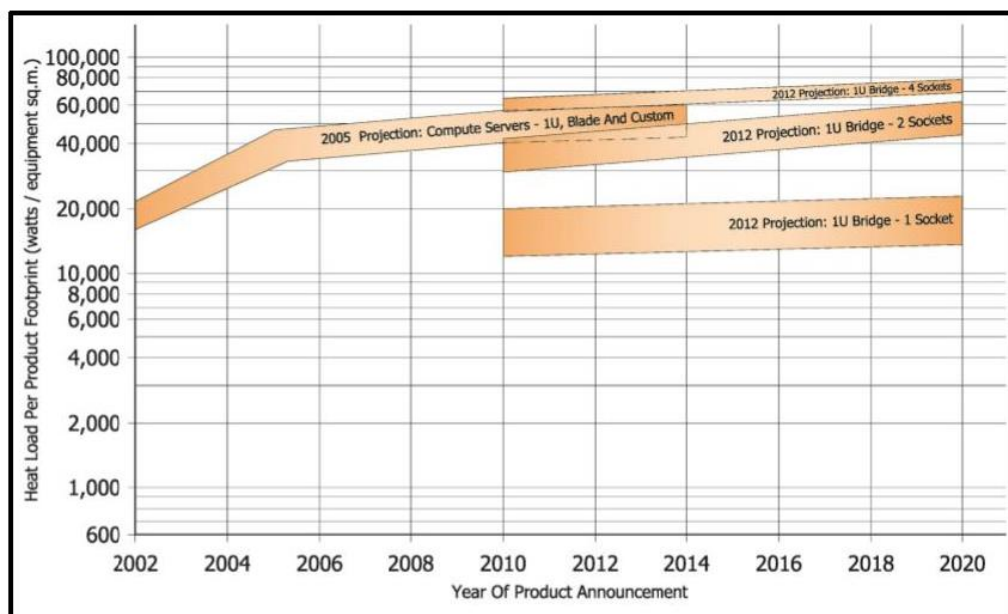
Fuente: Menuet y Turner, (2006) *Tendencias de carga térmica por huella de producto*

Esta clasificación se caracteriza en cuanto al crecimiento en la misma. Basado en predicciones realizadas en la industria, también como línea base de mediciones realizadas en laboratorios. La imagen 2 muestra la tendencia documentada realizada en el 2005. La imagen muestra la tendencia esperada según los estudios que se realizaron al 2012.

Las condiciones de operación en las pruebas realizadas en laboratorio fueron, componentes con mayor disipación de calor, los gabinetes se

encontraban ocupados al 100 %, por tal razón se recomienda que se evalué cada centro de misión crítica como caso particular.

Figura 3. **Tendencia de carga térmica por huella de producto para servidores de 1U**



Fuente: ASHRAE, (2012) *Tendencia de carga térmica por huella de producto, para servidores de 1U.*

7.4.3. Otras cargas

Existen otros factores que suman calor en el cálculo de carga térmica:

- Ventilación e infiltración: representa carga térmica, debido a aire fresco para mantener la calidad de aire interior, donde se manifiestan ambas cargas (latente y sensible).

- Iluminación: representa una adición de calor, el cual debe de calcularse por medio de la cuantificación de las luminarias y la potencia de cada una de ellas. Se asume también que la totalidad de la potencia se asume en la adición de calor en el recinto.
- Personas (ocupantes)
- Los centros de datos son cuartos considerados de ocupación o trabajo liviano, asimismo, las personas dentro de estas áreas suman con carga térmica latente y sensible
- Calentamiento y recalentamiento: la carga térmica se genera por el recalentamiento necesario para eliminar la humedad del recinto. En algunos escenarios iniciales de puesta de operación de los centros de misión crítica y la carga de equipos al inicio es baja, la unidad de aire acondicionado enciende el calentamiento del aire para mantener los ámbitos esperados.
- Humidificación: en esta etapa la humedad se agrega al aire para mantener las condiciones ideales de operación, según ASHRAE recomienda el rango permisible. Cuando se tiene el escenario de un centro de misión crítica que colinda con el exterior, se analiza la infiltración de humedad hacia el recinto y se debe de analizar la implementación de barreras de vapor.

7.5. Climatización para centros de datos

Es importante lograr una óptima funcionalidad en centro de misión crítica, por lo cual, es de suma importancia la climatización eficiente. La tendencia en la

actualidad es reducir el tamaño, pero no la cantidad de equipos de cómputo, lo que conlleva a mejorar la climatización por el aumento de la densidad de carga por gabinete.

El equipamiento que existe para el abatimiento del calor en estos centros se pueden clasificar en cinco tipos y cada uno de ellos cuenta con los ciclos de refrigeración para remover el calor generado dentro del centro de misión crítica, dentro del recinto por medio de un intercambiador de calor denominado como evaporador y llevarlo hacia el exterior por medio del circuito mecánico por medio del refrigerante hacia el exterior donde se ubica otro intercambiador de calor denominado como condensador (Schneider-Electric & Uniflair, 2015).

A continuación, se presentan los cinco tipos de climatización más comunes utilizados para acondicionar centros de misión crítica.

7.5.1. Sistema de aire acondicionado enfriado por aire expansión directa tipo dividido (dos piezas)

Este tipo de sistema de climatización comprende dos unidades, una interior y otra exterior. Están unidas por un circuito mecánico en el cual se mueve un fluido refrigerante que tiene como función el transmitir la energía de un punto a otro, las unidades tanto interior como exterior son intercambiadores de calor.

Se denomina de expansión directa al sistema de climatización que expande el refrigerante por medio de una válvula mecánica o electrónica, esto con el fin de disminuir la temperatura del refrigerante mientras pasa por un intercambiador de calor dentro del recinto, ganando energía (elevando su temperatura), llegando al compresor, en donde se comprime y se eleva la temperatura como también la presión, se envía hacia el condensador, donde se finaliza el ciclo de refrigeración.

Las partes más importantes que componen un circuito de refrigeración denominado de expansión directa son:

- Compresor
- Válvula de expansión
- Condensador
- Evaporador

Es un sistema de baja inversión inicial con costos de operación y mantenimiento promedio. En la implementación se requiere un sistema mecánico por medio de tuberías para el refrigerante, comúnmente se utiliza tubería de cobre tipo L para realizar este circuito. Se requiere alimentación eléctrica para cada equipo (unidades interior y exterior). En la diversidad de equipos que existen en el mercado se encuentran equipos que no requieren señal de comunicación entre equipos (interior y exterior) esta comunicación es mecánica por medio de presostatos.

Existen límites de rendimiento que deben ser calculados por un profesional certificado por el fabricante que representa con el fin de garantizar el óptimo funcionamiento del equipo al cliente final (Schneider-Electric & Uniflair, 2015). Entre los principales límites que influyen en el rendimiento del equipo están:

- Capacidad térmica
- Distancia mecánica entre unidad interior y exterior (horizontal y vertical)
- Altura sobre el nivel del mar o humedad relativa del sitio de instalación.
- Temperatura de bulbo seco exterior
- Humedad relativa deseada interior
- Temperatura de suministro interior.

7.5.2. Sistema de aire acondicionado enfriado por aire de expansión directa tipo autocontenido (una pieza)

El aire acondicionado de precisión tipo autocontenido se caracteriza por ser un solo equipo, es decir, que todos los elementos del circuito de refrigeración se encuentran dentro de un solo chasis. Esta característica lo hace un equipo de fácil instalación, no requiere una huella grande y por lo regular son para instalación entre filas de gabinetes.

Por lo compacto de su diseño, estos equipos son de baja densidad de carga térmica, por lo general hasta 5 kW de capacidad de abatimiento de calor. Es necesario tener en consideración que estos sistemas autocontenidos requieren disipar el calor del condensador que tienen internamente, por lo cual, se requiere ductos, un ducto para introducir aire a temperatura ambiente al condensador y dos ductos para descarga del aire caliente del condensador, este ducto de extracción por lo regular se conecta con el exterior (Schneider-Electric & APC, 2015).

La alimentación eléctrica de la unidad autocontenida es básica, por lo general no representa problema de conexión. La conexión de drenaje puede ser por gravedad o por una bomba de condensado. El servicio de mantenimiento es económico, puesto que solo se le hace servicio a un equipo y por lo general los mantenimientos son de manera trimestral.

7.5.3. Sistema de aire acondicionado de precisión enfriado por agua

En este tipo de sistemas se utiliza el agua como intercambiador de calor, el objetivo del agua es remover el calor absorbido por el fluido refrigerante. El

equipo exterior (condensador tipo *dry cooler*) que se utiliza en este tipo de sistemas (Tecnair-LV, 2016). En algunas aplicaciones se utiliza una torre de enfriamiento, por lo general, las torres de enfriamiento se utilizan para el acondicionamiento de ambientes de ocupación humana, en la cual, se agrega los sistemas de aire acondicionado de precisión para los centros de misión crítica. Tomando en consideración que la torre debe de operar las 24 horas del día, 7 días de la semana y los 365 días del año.

Si se separa el costo inicial de la torre de enfriamiento con los equipos de precisión internos puede llegar a ser una solución competitiva, económicamente hablando; sin embargo, los costos de instalación, operación y mantenimiento son elevados.

7.5.4. Sistema de aire acondicionado de precisión de agua helada

Los sistemas de este tipo se caracterizan por tener como unidad exterior un enfriador, comúnmente conocido como "*chiller*" en Estados Unidos. Este equipo enfría el agua que circula por él por medio del circuito de refrigeración. El evaporador de este tipo de enfriadores es un intercambiador de placas metálicas, en la cual intercambia la energía del refrigerante con la energía del agua que circula entre los equipos interiores y exteriores.

El agua es bombeada en todo el circuito cerrado por bombas centrífugas, comúnmente, haciendo circular por las unidades enfriadoras para posteriormente hacer circular el agua en las unidades interiores que, por lo general, requieren de los siguientes accesorios generales: válvulas de paso, válvulas de dos o tres vías, válvulas reguladoras, instrumentación mecánica y alimentación eléctrica. El sistema hidráulico por lo general se compone del sistema de bombeo, tanques

de expansión, tanque separador de aire, tanque de reposición de agua, tuberías de hierro negro generalmente, aislamiento, protección mecánica, válvulas mecánicas y electrónicas, sistema de control, etc. Estos sistemas son utilizados para centros de misión crítica de alta densidad de carga térmica.

Las unidades interiores por lo regular tienen internamente el serpentín, ventiladores de velocidad variable, válvulas modulantes de dos o tres vías, por lo cual, lo hace un equipo competitivo económicamente hablando. Además, cuenta con una huella igual a los equipos de expansión directa, los equipos enfriados por aire y los enfriadores secos, con la ventaja que estos equipos son de mayor capacidad puesto que manejan mayor flujo de aire (Schneider-Electric & Uniflair, 2015).

No existe limitante de distancia entre unidades interiores y exteriores, puesto que las tuberías se calculan en función de la distancia, al igual que el sistema de bombeo.

7.6. Distribución y manejo del aire para aumentar la eficiencia en centro de datos

El sistema de aire acondicionado de precisión deberá de estar acompañado por la distribución del aire adecuado según el requerimiento de cada cliente, Por lo cual, es importante poder seleccionar el sistema correcto, realizando una distribución de aire eficiente. Además de elegir sistemas que manejan flujos de aire densos, el flujo de aire es la clave para evitar que el centro de misión crítica eleve su temperatura.

Los equipos de IT (servidores) utilizan el aire donde se encuentran para poder disipar el calor que generan, por lo tanto, se debe de mantener el aire

según los parámetros recomendados por (ASHRAE, 2015). El suministro de aire frío debe de pasar a través de los servidores antes de regresar a las unidades interiores que son denominadas como (CRAC o CRAH – *computer room air conditioner* – *computer room air handler* respectivamente).

La disposición de los gabinetes dentro del centro de datos y la ubicación de los equipos de IT dentro de los mismos influye en gran medida en el manejo del aire dentro del recinto. Por tal motivo, ASHRAE 2009, *Equipment Cooling Classes* (EC) – según sus siglas en inglés- en la cual se establece los tipos de manejo de aire, en donde se adopta una nomenclatura para la descripción de los distintos tipos de manejo de aire. Fue adaptada y bien recibida en la industria.

A continuación, se lista los tipos de manejo de aire:

- *Dowflow* (Descarga por abajo y retorno frontal o superior)
- *Upflow* (Descarga superior y retorno inferior o frontal)
- *Front* (Descarga frontal y retorno superior o inferior)
- *Horizontal* (Suministro frontal y retorno posterior)

Para asegurar el adecuado manejo del aire dentro del centro de datos se implementa en los gabinetes, en los espacios en donde no se ocupa de equipos de IT, paneles ciegos para evitar que el suministro de aire de pasillo frío se mezcle directamente con el aire de retorno del pasillo caliente.

A continuación, se muestra la descripción gráfica de los paneles ciegos, instalados en gabinetes.

7.6.1. Manejo del aire dentro del centro de datos

El manejo de aire dentro del recinto se logra implementando soluciones que complementan al sistema de aire acondicionado de precisión como lo son, los confinamientos o contenciones de pasillos. Estos sistemas de contención tienen como objetivo principal evitar que el aire de suministro se mezcle con el aire de retorno.

También entra el concepto de pasillo frío como pasillo caliente, derivado del manejo del aire, se debe de pensar en la disposición de los gabinetes y de los equipos de IT de tal manera que se establezcan estos pasillos. Se maximiza la eficiencia implementando en cada uno de los pasillos la contención de pasillo frío o la contención del pasillo caliente.

7.7. Sistema eléctrico

La red eléctrica se compone de equipamiento e instalaciones que alimentan de energía eléctrica a cada uno de los elementos de un centro de datos. Sin el sistema eléctrico, el centro de datos no podría incluso ser construido. La red eléctrica realiza las siguientes funciones: generar, transportar y distribuir la energía eléctrica. La red eléctrica está determinada por la acometida eléctrica principal (la cual puede ser la energía comercial o de la planta de respaldo), la transferencia automática, el tablero de distribución, el sistema ininterrumpido de potencia UPS, sistema de distribución regulada o normal, protecciones eléctricas dentro de la red y el sistema de puesta a tierra. Cada uno de estos elementos están interrelacionados entre sí, el fallo de alguno de ellos pone en serio riesgo la operación del centro de datos (Lozada, 2019).

7.7.1. Distribución eléctrica en centro de datos

La distribución es la red eléctrica desde la acometida principal hacia la carga final dentro del centro de datos, regularmente en un solo camino de alimentación, y según el diseño, puede tener más de un camino de alimentación eléctrica hacia la carga final.

7.7.2. Normativos y códigos eléctricos

Para la seguridad del ocupante se debe de realizar el diseño eléctrico bajo códigos locales o internacionales como, por ejemplo, el Código Nacional Eléctrico (NEC) y este tiene como función principal resguardar y proteger la vida del ocupante como primera línea. Se garantiza por medio del diseño e implementación de instalaciones eléctricas seguras para los ocupantes.

Entre las áreas que abarca el NEC se pueden mencionar: montaje de equipo eléctrico, conductores eléctricos, canal eléctrico, dimensionamiento número de conductores por área de tuberías, dimensionamiento de conductores, etc. (NFPA, 2020).

7.7.3. Alimentación eléctrica

Esta comienza desde la propuesta del diseño, donde se establecen los diferentes suministros de energía eléctrica, por lo regular se cuenta con el suministro por medio de distribuidores que brindan el servicio, solo conlleva trámites administrativos para poder conectarse a la red. Sin embargo, se establece que esta fuente de alimentación no está bajo el control del operador del centro de datos, por lo cual, existen problemas de calidad de energía eléctrica, interrupciones, etc. Por lo que se conceptualiza esta fuente como no confiable.

La fuente primaria para un centro de datos se establece que es un generador eléctrico, esta fuente en comparación con la anterior, está bajo el control del operador del centro de datos, por lo cual, es llamada como fuente primaria o principal (Cummins, 2019).

Se puede hacer uso de las dos fuentes de alimentación, tanto como del generador (fuente primaria o principal) y de la fuente del distribuidor. Por lo que únicamente se requiere de un dispositivo para poder hacer la transferencia de una fuente a otra, que se denomina transferencia automática o ATS. En este dispositivo convergen las dos fuentes y estas son llamadas acometidas eléctricas principales, una por cada fuente y luego la ATS alimenta un tablero de distribución normal, siempre y cuando las especificaciones eléctricas sean las correspondientes tanto en voltaje, número de fases y frecuencia (Cummins, 2019). Posteriormente alimentar las cargas del equipamiento como lo es UPS, tablero de servicios generales, aires acondicionados de precisión y si aplica de confort, bypass de mantenimiento, etc.

Del UPS se deriva la alimentación hacia un tablero de distribución regulada, para posteriormente llevar los circuitos de alimentación hacia los gabinetes y alimentar los equipos de TI por medio de PDU o unidades de distribución de energía. Dependiendo de la criticidad de la operación del operador y el tiempo en el que el centro de datos puede parar la operación se realiza el diseño según las topologías o niveles para poder dar el servicio continuo, aún, cuando se le tenga que dar mantenimiento a cada componente de los sistemas eléctricos y mecánicos.

7.7.4. Equipos de respaldo de energía UPS y generador

La continuidad en el servicio depende de la disponibilidad de los componentes de cada sistema que conforma el centro de datos. En el sistema eléctrico se cuenta con respaldo de energía, esto se realiza por medio de un generador eléctrico que utiliza el principio de combustión interna, actualmente estos componentes reciben el nombre de grupos electrógenos. El generador requiere de un abastecimiento de combustible constante, regularmente el derivado denominado como diésel para suministrar la energía demandada por el centro de datos. Siguiendo lo establecido por el Uptime Institute, se requiere como mínimo de 12 horas de autonomía constante, es decir, se debe de suministrar un tanque de combustible que cumpla este requerimiento mínimo (Uptime Institute, 2021).

Los generadores cuentan con un sistema de arranque rápido, el cual incluye un cargador de baterías y calentadores que permiten que el generador esté listo para el arranque en el momento que se requiera, sin embargo, antes de tomar la carga regularmente los generadores tienen un tiempo de arranque de aproximadamente 1 minuto.

Por tal razón, al sistema eléctrico de distribución se le debe de contemplar los equipos de alimentación ininterrumpida denominados como UPS. Además de mantener la carga en cualquier evento de interrupción de alimentación eléctrica de distribuidor, el tiempo que los UPS están en línea está determinado por el tiempo de autonomía de las baterías y la carga actual en ese momento del centro de datos. También regulan la energía eléctrica hacia la carga, función importante, evitando problemas de sobretensiones, oscilaciones, sobrecargas, armónicos, etc. (Eaton, 2019).

7.8. Uptime Institute

Actualmente las empresas dependen de una compleja red de servicios para su operación cotidiana. Los operadores invierten en infraestructura en data center de alta disponibilidad donde buscan que los proveedores que brindan el servicio conozcan sobre el tema, puesto que, si no se diseña e implementa de manera adecuada a la aplicación, se tiene un alto riesgo y pueden provocar pérdidas considerables.

El tiempo de actividad del Instituto de Nivel Estándares y las certificaciones asociadas, son las inversiones individuales más importantes, que puede hacer para asegurar que estos recursos apoyan directamente las necesidades del negocio (Uptime Institute, 2021).

7.8.1. Uptime Institute clasificación de niveles

Nuestras clasificaciones de centros de datos se dividen en cuatro niveles que coinciden con una función comercial particular y definen criterios para las capacidades de mantenimiento, energía, enfriamiento y fallas. Los niveles son progresivos, por lo que cada uno incorpora los requisitos de los niveles inferiores, también se puede interpretar que los niveles se ajustan a diferentes operaciones comerciales. Las definiciones y los beneficios de los niveles se establecen en nuestro estándar de topología y se centran en la infraestructura del centro de datos.

Las definiciones de nivel del centro de datos definen criterios, pero no opciones de tecnología específicas o elecciones de diseño para cumplir con el nivel. Los niveles son lo suficientemente flexibles como para permitir muchas

soluciones que cumplen con los objetivos de rendimiento y las regulaciones de cumplimiento.

Los propietarios de centros de datos pueden querer alcanzar un nivel particular para satisfacer sus demandas comerciales. Esta certificación significa que la infraestructura no tiene áreas débiles y que el centro de datos tiene responsabilidad mundial por la excelencia (Uptime Institute, 2021).

7.8.2. Tier I: infraestructura básica

Un centro de datos de TIER I es el nivel de capacidad básico con infraestructura para respaldar la tecnología de la información para un entorno de oficina y más allá donde no se incluye redundancia solamente cubrir la capacidad N.

Los requisitos para una instalación de TIER I incluyen:

- Una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) para cortes de energía, cortes y picos.
- Un espacio para sistemas informáticos.
- Equipo de enfriamiento dedicado que funciona fuera del horario de oficina.
- Un motor generador para cortes de energía, con 12 horas de almacenamiento de combustible, produciendo energía en el sitio.

El TIER I está sujeto a interrupciones debido a actividades calendarizadas o planificadas o, también a actividades imprevistas. En el escenario de cometer un error humano, el sitio o centro de datos causaran una interrupción; por lo tanto, el centro de datos tendrá que cerrarse por completo para mantenimiento preventivo y reparaciones, y no hacerlo aumenta el riesgo de interrupciones no

planificadas y consecuencias graves por fallas del sistema (Uptime Institute, 2021).

7.8.3. Tier II: componentes redundantes

Las instalaciones de TIER II cubren componentes de capacidad redundante para energía y enfriamiento que brindan mejores oportunidades de mantenimiento y seguridad contra interrupciones. Se listan los elementos principales:

- Generadores de energía
- Fuente de alimentación ininterrumpida UPS
- Almacenamiento de energía
- Enfriadores
- Tanques de combustible para la capacidad N

La ruta de distribución del TIER II sirve a un entorno crítico y los componentes se pueden quitar sin apagarlo. Al igual que una instalación de Tier I, el cierre inesperado de un centro de datos de Tier II afectará al sistema (Uptime Institute, 2021).

7.8.4. Tier III: infraestructura del centro de datos concurrentemente mantenible

Un centro de datos de Tier III se puede mantener al mismo tiempo con componentes redundantes como diferenciador clave, con rutas de distribución redundantes por lo cual todo equipo IT tiene alimentación dual para servir al entorno crítico. La diferencia principal con respecto a los anteriores niveles es que en este nivel si se pueden realizar mantenimientos o si hay que realizar un

cambio de parte que corresponde a un mantenimiento correctivo no se ve afectada la operación.

Los componentes de Tier III se agregan a los componentes de Tier II para que cualquier pieza pueda apagarse sin afectar la operación de TI (Uptime Institute, 2021).

7.8.5. Tier IV: permite fallas sin interrumpir operación

La topología nivel 4 cuenta con ramas eléctricas dedicadas, además, se dispone de espacios independientes para cada uno de los componentes. Se dispone de espacios separados por temas de seguridad. El medio ambiente no se verá afectado por una interrupción de eventos planificados y no planificados.

Las instalaciones de Tier IV añaden tolerancia a fallas a la topología de Tier III. Los centros de datos de Tier IV también requieren enfriamiento continuo para estabilizar el entorno. Además, los sistemas complementarios y las redes de distribución deben estar aislados físicamente entre sí (compartimentados) (Uptime Institute, 2021).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Estudios previos

1.2 Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Centro de datos

2.1.1. Sistema de climatización para centro de datos

2.1.2. Densidad de carga térmica

2.1.3. ASHRAE

2.1.4. ASHRAE T.C. 9.9

2.2. Parámetros recomendados de operación de un centro de datos según ASHRAE T.C. 9.9

2.3. Consideraciones para el cálculo de carga térmica en centro de datos

2.3.1. Equipos de cómputo (servidores)

- 2.3.2. Gabinetes o *racks*
- 2.3.3. Distribución de potencia
- 2.3.4. Otras cargas
- 2.4. Climatización para centro de datos
 - 2.4.1. Sistema de aire acondicionado enfriado por aire de expansión directa tipo dividido (dos piezas)
 - 2.4.2. Sistema de aire acondicionado enfriado por aire de expansión directa tipo autocontenido (una pieza)
 - 2.4.3. Sistema de aire acondicionado enfriado por agua
 - 2.4.4. Sistema de aire acondicionado de agua helada
- 2.5. Distribución y manejo del aire para aumentar la eficiencia en un centro de datos
- 2.6. Sistema eléctrico
- 2.7. Uptime Institute
 - 2.7.1. Clasificación de niveles
 - 2.7.2. Topología de centro de datos según Uptime Institute
 - 2.7.2.1. Tier I: Infraestructura básica
 - 2.7.2.2. Tier II: Componentes de capacidad redundantes
 - 2.7.2.3. Tier III: Infraestructura concurrentemente mantenible
 - 2.7.2.4. Tier IV: Infraestructura tolerante a fallas

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1. Evaluación del modelo de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos
 - 3.1.1. Memoria de cálculo térmico
 - 3.1.2. Memoria de cálculo eléctrico
 - 3.1.3. Alcance

- 3.2. Evaluación del equipamiento
 - 3.2.1. Elección de los equipos mecánicos
 - 3.2.2. Elección de los equipos eléctricos
 - 3.2.3. Especificaciones técnicas
- 3.3. Elaboración de la propuesta de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos
 - 3.3.1. Simulación CFD
 - 3.3.2. Planos y diagramas mecánicos
 - 3.3.3. Planos y diagramas eléctricos
 - 3.3.4. Rendimiento y eficiencia del centro de datos
 - 3.3.4.1. Comparativo contra modelo estándar en Guatemala y modelo propuesto
- 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 4.1. Modelo propuesto de centro de datos contra modelo estándar
 - 4.2. Factibilidad de la implementación del modelo propuesto, evaluando ahorro de energía contra inversión inicial
 - 4.3. Discusión de resultados
- 5. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO
 - 5.1. Valor actual neto
 - 5.2. Tasa interna de retorno

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

La investigación del presente estudio es del tipo cuantitativa- descriptiva ya que la naturaleza de los datos, parámetros o variables, describen el comportamiento adecuado del diseño, implementación y operación óptima del centro de datos. Estos parámetros se comparan con lo recomendado por las entidades internacionales, por ende, se busca medir los parámetros y por tal motivo es de naturaleza cuantitativa.

El alcance del estudio de investigación es explicativo, dado que ya existe toda una base de datos, en donde se busca recopilar y condensar la información referente a climatización y alimentación eléctrica para centro de datos para una mejor comprensión para el lector.

El diseño adoptado será no experimental porque la información sobre la propuesta de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos se analizará en fase de diseño y, se podrá realizar una simulación del centro de datos para obtener información muy cercana a la realidad; además se puede mencionar que en esta información se estudiará y analizará los parámetros o resultados dados por la simulación.

9.2. Unidades de análisis

La población de estudio será todo profesional que opere centros de datos en Guatemala, estos se pueden clasificar según lo establece Uptime Institute, en

los niveles de centros de datos denominados como TIER. Una pequeña parte de estos centros de datos en Guatemala, cuentan con *software* de gestión, donde es posible solicitar los parámetros eléctricos y mecánicos, que serán estudiadas en su totalidad.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla II. Variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Modelo de climatización y alimentación eléctrica	Modelo que se establece bajo estándares, normas y filosofías para el diseño de centro de datos	Parámetros eléctricos y mecánicos
Equipamiento mecánico y eléctrico	Equipamiento para requerimiento de centro de datos	Requerimientos
Eficiencia o ahorro energético	Uso racional de la energía	Con medidores de calidad de energía, es adimensional

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

Para realizar esta medición se tomarán parámetros en centros de datos de iguales características y datos de las simulaciones realizadas, tabulando la información obtenida.

9.4. Fases del estudio

Se describirán a continuación las fases del estudio que se llevarán a cabo para el desarrollo de la presente investigación.

9.4.1. Fase 1: exploración bibliográfica

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema para enriquecer los conocimientos de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos en general. Con la información condensada se obtiene la base teórica y conceptual para llevar a cabo las fases siguientes.

9.4.2. Fase 2: exploración de centros de datos en ciudad de Guatemala

En la fase 2 se realizarán visitas técnicas a centros de datos de entidades financieras, gubernamentales e industriales, donde se evaluará el modelo estándar de climatización y alimentación eléctrica más utilizado en nuestro medio. A continuación, se establece en una tabla los criterios de evaluación.

Tabla III. **Levantamiento de información en centro de datos**

Descripción	DC1	DC2	DC3
Tipos de UPS instalados			
Tipos de aires acondicionados instalados			
Nivel de redundancia en UPS			
Nivel de redundancia en aires acondicionados			
Nivel de redundancia en líneas de alimentación			
Tiempo de respaldo (min)			
Dimensiones físicas (mts)			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

Se realizará la medición de calidad de energía a través de un analizador, el cual se instalará en el tablero de distribución principal. En los sistemas de alimentación ininterrumpida se accederá al panel para obtener los parámetros de potencia de entrada y salida; con lo cual se obtendrán los consumos eléctricos del centro de datos y eficiencia del equipo UPS. Estas mediciones se realizarán por medio de un analizador de calidad de energía de la marca Fluke.

Se establece una tabla para tabulación de la información que brinda el medidor de calidad de energía. El parámetro de la eficiencia energética se obtendrá al aplicar la siguiente ecuación de las mediciones obtenidas de la potencia eléctrica de entrada y salida.

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{Potencia eléctrica de salida (Kw)}}{\text{Potencia eléctrica de entrada (Kw)}}$$

Tabla IV. **Mediciones en distribución eléctrica de centro de datos**

Descripción	VM1	MM2	MM3
Voltajes de entrada (V)			
Corriente de entrada (A)			
Potencia eléctrica de entrada (KW)			
Frecuencia eléctrica (Hz)			
Voltaje de salida (V)			
Corriente de salida (A)			
Potencia eléctrica de salida (KW)			
Eficiencia energética (%)			
Consumo eléctrico (KWh)			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

9.4.3. Fase 3: evaluación de los equipos eléctricos y mecánicos

En esta fase se analizará el equipamiento de los centros de datos que se evaluaron en la fase anterior. Se realizarán las visitas que sean necesarias para obtener la información mínima descrita en cada una de las tablas siguientes:

En la tabla que se encuentra a continuación, se establece un listado con los datos más relevantes del sistema de UPS.

Tabla V. **Características del sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)**

Descripción	EE1	EE2	EE3
Marca y modelo			
Redundancia			
Topología de operación			
Modular			
Escalable			
Tiempo de respaldo (min)			
Dimensiones (mts)			
Eficiencia energética según fabricante (%)			
Voltaje (V)			
Corriente eléctrica (A)			
Potencia aparente (KVA)			
Potencia útil (KW)			
Factor de Potencia			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

En la tabla que se encuentra a continuación, se muestra la lista de las variables a considerar en la evaluación de las unidades de aire acondicionado.

Tabla VI. **Características de aire acondicionado**

Descripción	EE1	EE2	EE3
Marca y modelo			
Redundancia			
Tecnología de operación			
Potencia eléctrica de entrada (KW)			
Capacidad de refrigeración (KW)			
Dimensiones (metros)			
Eficiencia energética			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

En la Tabla siguiente se lista las variables a considerar en la evaluación de la planta de respaldo.

Tabla VII. **Característica de planta de respaldo**

Descripción	EE1	EE2	EE3
Marca y modelo			
Tipo de operación			
Potencia eléctrica (KW)			
Fuente de energía			
Voltaje (V)			
Corriente eléctrica (A)			
Frecuencia (Hz)			
Eficiencia energética según fabricante (%)			
Factor de potencia			
Revoluciones por minuto (rpm)			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

En la tabla que se encuentra a continuación se lista las variables a considerar en la evaluación de los sistemas de distribución de energía (PDU).

Tabla VIII. **Característica de distribuidor de energía**

Descripción	EE1	EE2	EE3
Marca y modelo			
Dimensiones (mts)			
Eficiencia energética según fabricante (%)			
Voltaje (V)			
Potencia eléctrica (KW)			
Corriente eléctrica (A)			
Cantidad de salidas de voltaje			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

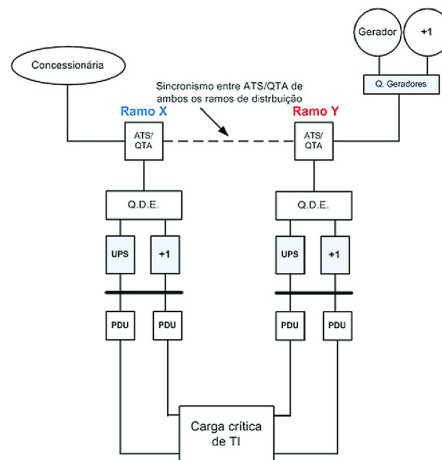
9.4.4. Fase 4: propuesta de climatización y alimentación eléctrica para centro de datos eficiente basado en ASHRAE y Uptime Institute.

En esta fase se realiza la propuesta de alimentación eléctrica y propuesta de climatización para centro de datos; en busca del ahorro energético con un centro de datos de alta eficiencia. La propuesta se realiza tomando como base los estándares antes mencionados y los niveles que nos ofrece el Uptime Institute para las diferentes aplicaciones de centros de datos.

Para esta propuesta en particular se toman las siguientes consideraciones:

- Grupo electrógeno con capacidad N+1.
- Sistema Ininterrumpido de potencia con capacidad N+1.
- Múltiples rutas de distribución eléctrica.
- Equipo de enfriamiento N+1.
- Equipos de TI energizados por dos fuentes de alimentación.

Figura 4. **Diagrama general de instalación eléctrica TIER III de un centro de datos**



Fuente: Fazion, (2016). *Conceptos e infraestrutura de data centers*. p. 46.

El modelo del centro de datos se realizará en 2D en AutoCAD y en 3D en programa Revit, en la cual se realizarán diagramas unifilares, planos de distribución eléctrica y diseño de distribución física y construcción de los distintos componentes del centro de datos. La simulación del proyecto se realizará en un programa llamado StruxureWare Data Center Operation.

9.4.5. Fase 5: estimación de ahorro energético y financiero

Se realizará la evaluación del ahorro energético y financiero que podría tener un centro de datos con base al modelo planteado comparado con las mediciones realizadas en centros de datos analizados. En la tabla XI se presentan los resultados de los consumos eléctricos encontrados, así como el ahorro energético que se podría obtener al implementar este modelo.

Tabla IX. **Análisis de ahorro energético**

Descripción	Datos
Consumo eléctrico de diseño (KWh)	
Consumo eléctrico de medición (KWh)	
Ahorro energético (KWh)	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

Con los resultados anteriores se realizará la evaluación financiera básica para determinar la viabilidad económica del modelo propuesto, comparado con el ahorro energético obtenido. En la Tabla XII se presentan los resultados financieros con los cuales se evaluará el modelo proyectado a una vida útil de 10 años, que es la de los componentes electromecánicos del centro de datos.

Tabla X. **Análisis financiero**

Descripción	Datos
Inversión inicial (Qtz)	
Ahorro económico (Qtz)	
Valor presente neto (Qtz)	
Tasa interna de retorno (%)	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

9.5. Presentación y discusión de resultados

En esta fase se presentarán los resultados obtenidos de forma resumida y se expondrá la factibilidad de implementación del proyecto, donde la toma de decisión se basa tanto en el aspecto financiero como en el energético.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La recolección de los parámetros mecánicos a analizar en el centro de datos se realizará con base en dos metodologías. La primera será a través de un *software* que simula el comportamiento del flujo de aire dentro de la sala blanca, brindando parámetros de temperatura, humedad relativa, capacidad, entre otros. Este *software* es de la marca Schneider Electric, cuya compañía proporciona la herramienta a sus socios de negocio. Se realizará el modelo del centro de datos para posteriormente analizar las diferentes gráficas y comportamiento en función de los escenarios simulados.

La segunda metodología es a través de una herramienta de gestión y monitoreo energético implementado en el centro de datos, llamada StruxureWare DCIM, que permite obtener informes diarios, semanales, mensuales o anuales de los consumos energéticos, voltajes, corrientes, potencias y distorsiones existentes en ese período de tiempo.

El estudio económico será analizado comparando los consumos de energía eléctrica proporcionados por el *software* de simulación de dinámica de fluidos, inversión inicial y de tiempo de vida de cada equipo e instalación.

El análisis estadístico y económico será realizado por las herramientas de Microsoft Excel.

Herramientas de recolección de datos:

- Tabla de características de la red eléctrica, equipos eléctricos y mecánicos.
- Tabla de límites de comportamiento del consumo eléctrico del centro de datos y equipos.
- Gráficos del comportamiento del consumo eléctrico del centro de datos y equipos.
- Gráficos del comportamiento de la potencia eléctrica de entrada y salida del centro de datos y equipos.
- Tabla de costos de materiales y equipo
- Tabla de proyección de flujos de efectivo
- Tabla comparativa de ahorro energético y financiero

Herramientas estadísticas:

- Media y desviación estándar de todas las mediciones
- Gráfico de control (máximos y mínimos) de potencia eléctrica
- Gráfico de control (máximos y mínimos) de voltaje
- Gráfico de control (máximos y mínimos) de corriente
- Gráfico de control (máximos y mínimos) de consumo eléctrico
- Gráfico de control comparativo para la potencia eléctrica de entrada y salida de centro de datos y equipos
- Gráfico de dispersión de potencia eléctrica de entrada y salida de centro de datos y equipos y su tendencia
- Gráfico de dispersión de carga y eficiencia energética y su tendencia
- Gráfica de barras del consumo energético de los diferentes equipos
- Gráfica de barras de la eficiencia energética de los diferentes equipos
- Análisis de tendencias

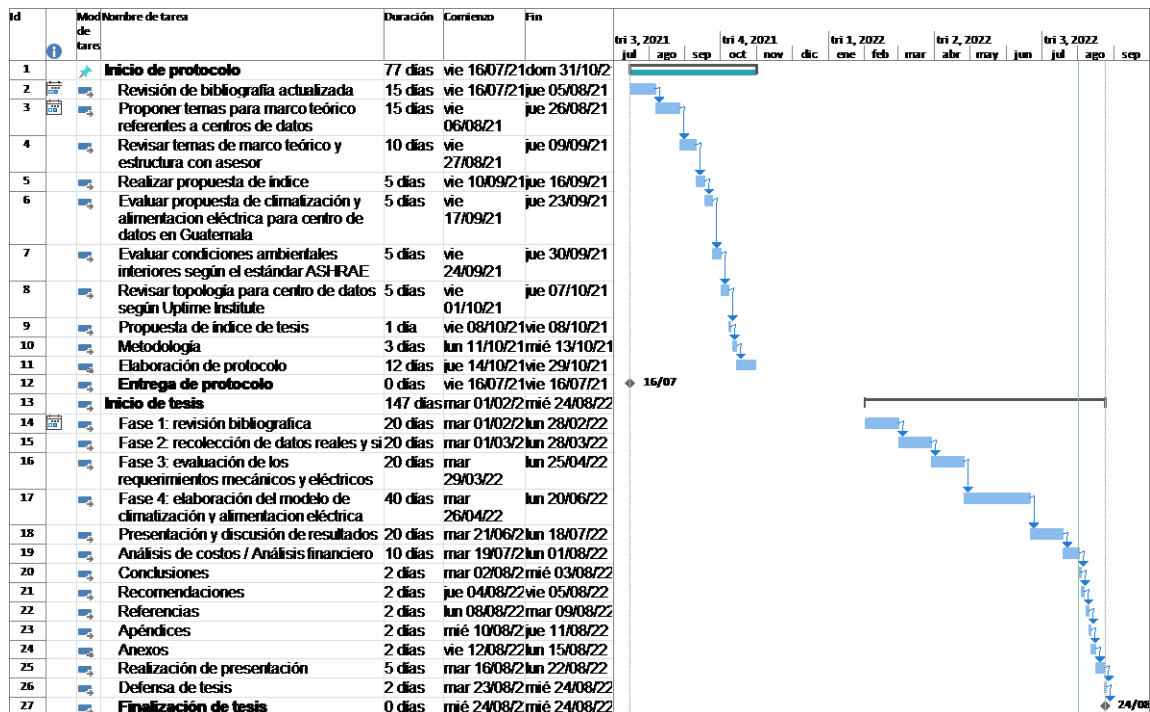
Tasa de comparación entre ahorro energético e inversión:

- Gráfico que relaciona y muestra la tendencia que existe entre el ahorro de energía y el coste de inversión de equipamiento mecánico eléctrico eficiente.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se realiza la planificación de la elaboración de la tesis de posgrado con apoyo del programa Project, herramienta de gran utilidad, que tiene como objetivo principal establecer la planificación del desarrollo del protocolo y realización de tesis. A continuación, se muestra el detalle del cronograma utilizando el método gráfico denominado diagrama de Gantt.

Figura 5. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project ®

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización del estudio se cuenta con los recursos siguientes: como recurso tecnológico el *software* de simulación de dinámica de fluidos y *software* de gestión para el monitoreo del consumo de energía ya instalado en un centro de datos, del propietario donde me desempeño laboralmente.

Se tiene acceso a la documentación técnica del equipamiento, a la relación comercial directa con los fabricantes brindando la documentación necesaria de los equipos eléctricos y mecánicos específicos para centros de datos.

Se cuenta con los permisos necesarios para realización de visitas técnicas de campo necesarias para la toma de datos y levantamiento. En cuanto a las mediciones por medio del *software* de gestión, se cuenta con el permiso directo de la dirección general para trasladar y compartir dicha información con fines estudiantiles.

Equipos de medición puntual o periódica de energía eléctrica adicionales necesarios para la investigación serán proporcionados en calidad de préstamo la por la empresa en donde me desempeño laboralmente para el fin que se necesario en esta investigación.

Se cuenta con el recurso humano para realizar el levantamiento de información en los centros de datos en Guatemala y se dispone de una persona adicional para realizar esta tarea. Para la realización del análisis de información, diseño, simulación y planos del centro de datos propuesto, se requiere el tiempo

necesario del investigador y también del asesor para llevar a cabo cada una de las tareas.

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos financieros propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

Tabla XI. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
<i>Software</i> para simulación	Q 0.00
<i>Software</i> de gestión	Q. 0.00
Tóner de impresora e insumos	Q. 700.00
Viáticos (combustible, hospedaje y alimentación)	Q. 2,000.00
Asesor	Q. 2,500.00
Recurso humano	Q 2,500.00
TOTAL	Q. 7,700.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word ®

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. ASHRAE. (2021). Recursos Técnicos. ASHRAE. Recuperado el 22 de 10 de 2021, de <https://www.ashrae.org/>
2. Comisión General de Energía Eléctrica CNEE. (2018). Marco Legal. CNEE. Recuperado el 12 de 10 de 2018, de www.cnee.gob.gt
3. Cortes, F. (2017). Evaluación por Indicadores de Confiabilidad del Sistema de Aire Acondicionado para un Centro de Almacenamiento de Datos. Universidad de Costa Rica.
4. Cummis. (2019). Generadores y Sistemas de Energía. Recuperado el 25 de 10 de 2021, <https://www.cummins.com/es/generators-power-systems>
5. Eaton. (2019). Centro de Datos. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <https://www.eaton.com/us/en-us/markets/data-centers/data-center-white-space.html>
6. Flores, D. (2015). Estudio del Diseño de Ampliación del Centro de Datos Nacional Iñaquito para el Sector Eléctrico Ecuatoriano Basado en el Estándar ANSI/TIA/EIA-942 TIER III. Universidad Central del Ecuador.
7. Medina, W. (2015). Diseño e Implementación de un Sistema de Climatización para el Data Center de la Corporación CENACE. Universidad Internacional del Ecuador.

8. Quimbita, O. (2015). Diseño de un Data Center para la Empresa Elipe S.A. de Acuerdo a las Especificaciones Técnicas de la Norma TIA 942. Universidad Internacional SEK.
9. Schneider-Electric, & APC. (2015). Aire Acondicionado ACSC100. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <https://www.apc.com/shop/gt/es/products/InRow-SC-300-mm-refrigerado-por-aire-independiente-200-240-V-60-Hz/P-ACSC100>
10. Schneider-Electric, & Uniflair. (2015). Aire Acondicionado Perimetral. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <https://www.se.com/es/es/product-range/62220-uniflair-med-large-room-cooling/>
11. Segura, J., & Ricaurte, D. (2017). Estudio de Factibilidad para la Implementación de Sistemas de Enfriamiento Freecooling de Eficiencia Energética para Data Center. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
12. Tecnair-LV. (2016). Techline. Recuperado el 26 de octubre de 2021, de <https://www.tecnairlv.it/en/serie/techline/close-control-air-conditioners-for-large-data-centers-close-control-air-conditioners-for-in-row-installation----free-cooling-air-conditioners-with-adiabatic-cooling---air-cooled-condenser/>
13. Uptime Institute. (2021). Certificación Tier. Recuperado el 22 de 10 de 2021, de <https://es.uptimeinstitute.com/tier-certification/design>

14. NFPA. (2020). Código Nacional Electrico. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <https://catalog.nfpa.org/NFPA-70-National-Electrical-Code-NEC-Softbound-P1194.aspx>