



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN
CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO EL ESTÁNDAR ANSI TIA**

Julio David Mejia Ambrosio
Asesorado por el M.A. Ing. Axel Ernesto Siguí Gil

Guatemala, marzo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN
CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO EL ESTÁNDAR ANSI TIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIO DAVID MEJIA AMBROSIO

ASESORADO POR EL M.A. ING. AXEL ERNESTO SIGUÍ GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2021

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
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 DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO EL ESTÁNDAR ANSI TIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de junio de 2020



Julio David Mejia Ambrosio

Ref. *EEPFI-1529-2020*
Guatemala, 20 de noviembre de 2020

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO EL ESTÁNDAR ANSI TIA**, presentado por el estudiante **Julio David Mejía Ambrosio** carné número **201403734**, 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. Axel Ernesto Sigüí Gil
Asesor


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético


Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería






EEP-EIME-019-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería 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 DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO EL ESTÁNDAR ANSI TIA**, presentado por el estudiante universitario Julio David Mejia Ambrosio, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica


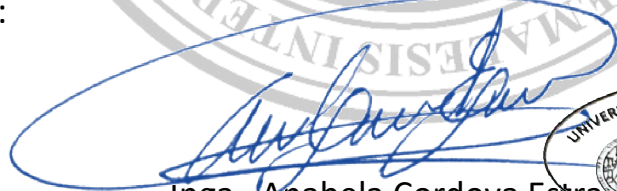


Guatemala, noviembre de 2020

DTG. 081.2021.

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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA, BAJO EL ESTÁNDAR ANSI TIA**, presentado por el estudiante universitario: **Julio David Mejía Ambrosio**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, marzo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme cumplir con esta meta, brindarme la salud y fuerza necesaria.
Mis padres	Julio Mejia y Cristina Ambrosio por su apoyo incondicional y por estar presentes en todo momento.
Mi hermana	Natali Mejia por todo el apoyo y ánimo brindado para conseguir esta meta.
Mis abuelos	Por todas las sabias enseñanzas y consejos brindados para afrontar esta meta.
Familia y amigos	Por cada uno de los momentos compartidos y la motivación brindada para conseguir esta meta.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, y la institución que me permitió iniciar mi carrera profesional de ingeniería.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todas las herramientas y enseñanzas necesarias para convertirme en un ingeniero.
Empresa	Por haberme brindado la información necesaria para realizar esta investigación.
Mis amigos	Por brindarme su apoyo en cada uno de los cursos de la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Axel Ernesto Siguí Gil por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Mi tío	Ing. Roberto Ambrosio por guiarme en toda la carrera.
Familia y amigos en general	

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS.....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Centros de datos	17
7.1.1. Normativas y estándares en centros de datos	18
7.1.1.1. Norma ANSI/TIA	18
7.1.1.2. Nivel TIER de un centro de datos.....	19
7.1.2. Características de un centro de datos.....	20

	7.1.2.1.	Redundancia	20
	7.1.2.2.	Confiabilidad	20
	7.1.2.3.	Disponibilidad	20
7.1.3.		Componentes de un centro de datos	21
	7.1.3.1.	Sistema eléctrico	21
	7.1.3.2.	Sistema de enfriamiento	21
	7.1.3.3.	Sistema de gestión y monitoreo energético.....	22
	7.1.3.4.	Infraestructura de red	23
	7.1.3.5.	Sistema contra incendios	23
	7.1.3.6.	Sistema de seguridad y controles de acceso	24
7.2.		Distribución eléctrica en centro de datos	24
	7.2.1.	Normativas o códigos eléctricos	24
	7.2.1.1.	Código Nacional Eléctrico (NEC)	25
	7.2.2.	Equipos eléctricos en centro de datos	25
	7.2.2.1.	Sistema de alimentación.....	26
	7.2.2.2.	Planta de respaldo	26
	7.2.2.3.	Sistema de alimentación ininterrumpida.....	27
	7.2.2.4.	Transformadores	29
	7.2.2.5.	Unidades de distribución de energía (PDU)	30
	7.2.2.6.	Transferencias automáticas (ATS).....	31
	7.2.2.7.	Panelboard, Switchboard y Switchgear	32
	7.2.2.8.	Cableado eléctrico	33
	7.2.2.9.	Canalización eléctrica	34
	7.2.2.10.	Protecciones eléctricas	35
	7.2.2.11.	Sistema de puesta a tierra	36

7.3.	Diseño eficiente de centro de datos	37
7.3.1.	Eficiencia energética	37
7.3.2.	Ahorro energético	40
7.3.3.	Normativas y estándares de eficiencia energética	40
7.3.3.1.	Norma ISO 50001	40
7.3.3.2.	Estándar ASHRAE 90.1	42
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA	47
9.1.	Tipo de estudio	47
9.2.	Fases del estudio	47
9.2.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	47
9.2.2.	Fase 2: evaluación del modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos utilizado en la actualidad	48
9.2.3.	Fase 3: evaluación de los equipos eléctricos y electromecánicos	50
9.2.4.	Fase 4: elaboración del modelo de instalación eléctrica de un centro de datos de alta eficiencia energética	53
9.2.5.	Fase 5: evaluación del sistema de gestión y monitoreo energético de un centro de datos a través de software DCIM	56
9.2.6.	Fase 6: elaboración de plan de mejora continua de eficiencia energética de un centro de datos basado en el estándar ISO 50001	59

9.2.7.	Fase 7: estimación de ahorro energético y financiero.....	61
9.2.8.	Fase 8: presentación y discusión de resultados	62
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	63
11.	CRONOGRAMA	67
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	69
13.	REFERENCIAS	71
14.	APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Modelo de Gestión de la Norma ISO 5001	41
2.	Analizador de calidad de energía Fluke	49
3.	Diagrama general de instalación eléctrica TIER III de un centro de datos	54
4.	Diagrama unifilar resumido de fuentes de alimentación eléctrica TIER III.....	55
5.	Diseño de centro de datos 3D	56
6.	Sistema de monitoreo y gestión energética en centros de datos DCIM.....	57
7.	Informes de consumos energéticos DCIM.....	58
8.	Cronograma de actividades	67

TABLAS

I.	Niveles TIER en centros de datos	19
II.	Estrategias para aumentar el ahorro y eficiencia energética en centros de datos	39
III.	Evaluación de modelo de centro de datos visitado.....	48
IV.	Mediciones en distribución eléctrica de centro de datos.....	50
V.	Características del Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)	51
VI.	Características de aire acondicionado.....	51
VII.	Características de planta de respaldo	52
VIII.	Características del Sistema de Distribución de energía (PDU).....	52

IX.	Parámetros eléctricos en centro de datos monitoreado	59
X.	Ejes de acción de un plan de gestión energética	60
XI.	Análisis de ahorro energético	61
XII.	Análisis financiero.....	61
XIII.	Recursos necesarios para la investigación	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
α	Ángulo de factor de potencia
S	Área
C°	Celcius
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	Mega Vatio
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.

RESUMEN

Los centros de datos son grandes consumidores de energía eléctrica, debido a su característica de alta disponibilidad. En la actualidad los centros de datos son diseñados de una forma poco eficiente, generando grandes pérdidas energéticas que generan altos costos económicos. Además, no se cuentan con sistemas de gestión energética para una planificación de consumo energético que aumente la eficiencia del sistema.

El presente diseño de investigación propone un modelo de instalación eléctrica basado en estándares para centros de datos como el ANSI/TIA, complementado por códigos eléctricos como el NEC y estándares de eficiencia energética como ASHRAE e ISO 50001.

Juntamente con ello se propone la evaluación de los sistemas de gestión y monitoreo energético para un centro de datos de alta eficiencia energética, así como el análisis de los equipos eléctricos y electromecánicos que garanticen el mayor aprovechamiento de la energía.

Finalmente se realizará un análisis comparativo del ahorro energético y financiero que podría tener un centro de datos de alta eficiencia.

1. INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se propondrá la guía de un modelo de instalación eléctrica que sea útil para instituciones que busquen mejorar la eficiencia energética de un centro de datos ya construido o que sea la base para un diseño inicial. Así mismo se presentará un análisis del ahorro energético y económico que se podría obtener al implementar dicho modelo.

Para la realización de este estudio se realizarán visitas técnicas a centros de datos, donde se realizarán mediciones a través de un analizador de calidad de energía. También se tomarán datos de un sistema de gestión y monitoreo energético, con lo cual se comparará el ahorro energético que podría tener un centro de datos con el modelo propuesto. El modelo de instalación eléctrica será realizado en base a planos, diagramas y simulaciones. Para la recolección de los datos ya se cuenta con el instrumento de medición y el software de gestión energética.

En el capítulo 1, se presentarán los antecedentes más relevantes del estudio de investigación. En el capítulo 2, se realizará una revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos del diseño eléctrico de centros de datos de alta eficiencia energética. En el capítulo 3, se realizará la evaluación del modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos, en la cual se realizarán mediciones para realizar el análisis energético.

En el capítulo 4, se evaluarán los equipos eléctricos y electromecánicos considerados en el modelo de la instalación eléctrica del centro de datos, analizando principalmente la eficiencia energética de los equipos. En el capítulo

5, se realizará el modelo de la instalación eléctrica de un centro de datos por medio de planos, especificaciones, diagramas y simulaciones, lo cual servirá de guía para futuros diseños. En el capítulo 6, se evaluará un sistema de gestión y monitoreo energético, además de los informes de consumo energético que se pueden obtener, lo cual se utilizará para el análisis del ahorro energético. En el capítulo 7, se realizará un plan de mejora continua de eficiencia energética de un centro de datos basado en el estándar ISO 50001.

En el capítulo 7, se calculará el ahorro energético que podría tener un centro de datos al implementar el modelo de instalación de un centro de datos propuesto. En el capítulo 8 se presentarán los resultados más significativos de la investigación y la discusión de los mismos. Finalmente se plantearán conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo de investigación.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala no se encontraron estudios publicados al respecto de diseños de data centers bajo normativas para aumentar la eficiencia energética, sin embargo, se sabe que existen numerosas empresas dedicadas al diseño e implementación de data centers con eficiencia energética. A continuación, se presentan algunos casos de estudio del tema a nivel internacional:

En la publicación *Optimizing energy consumption for data centers*, Rong, Zhang, Xiao y Hu (2016), analizan las fuentes de mayor consumo en el data center. Se encontró que la climatización en el data center consume el 40 % del total, el consumo del dispositivo de almacenamiento corresponde al 5 %, el consumo de todos los servidores llega al 40 %, equipos de telecomunicaciones el 5 % y la fuente de alimentación principal el 10 %. Se diseñaron distintos modelos de flujos de aire y distribución dentro del data center, para utilizar la tecnología y distribución de flujo de aire con menor consumo posible. También se aplicaron técnicas de Green IT y servidores bajo consumo, y la implementación de una herramienta de gestión energética, con lo cual se obtuvo una reducción en el consumo de hasta el 30 %.

En la publicación *Gestión de Riesgos Energéticos en un DC*, Cebrián (2014), aplican conceptos de Monitoreo y gestión de energía en todos los equipos del Centro de Datos, basados en la filosofía de DCIM. El diseño se orientó hacia la aplicación de una red de monitoreo para Data Centers bajo el estándar ANSI TIA 942, Nivel TIER IV, lo cual permitió que los datos interactuaran de forma activa en el sistema de control de energía y climatización, llegando a controlar más de 1000 parámetros, con lo cual se obtuvo un PUE (Power Usage

Effectiveness) de 1.15, lo cual representa un 14 % de reducción de costos, por la baja en el consumo comparado con el valor inicial y reducción del 21 % de costos por mantenimiento, con lo que se concluyó que las herramientas basadas en la filosofía DCIM de gestión energética aumentan la eficiencia en un Data Center.

En la publicación *Data Center Energy Consumption Modeling*, Dayarathna, Wen y Fan (2015), se analizan distintos modelos de consumo energético en los equipos y componentes del Data Center, y realizan predicciones a través de los mismos. Se estudiaron más de 200 modelos, dividiéndose los mismos en dos grandes ramas de enfoques de consumo energético: Modelos de potencia centrados en hardware y modelos de potencia centrados en software. En la cual se lograron identificar principales problemas en el diseño energético del Data Center, ya que en muchos modelos se busca cumplir con la alta disponibilidad del data center, pero omiten totalmente el eficiente consumo energético de los equipos. En otra gran cantidad de casos, la solución está enfocada únicamente en la virtualización de servidores, pero no abordan la mejora en el diseño electromecánico de los equipos de soporte.

En la publicación *Diseño de la Infraestructura Física del Data Center en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Pedro de Pimampiro basado en la Norma Internacional ICREA-Std-131-2013*, Garrido (2015), se propone el diseño físico del Data Center Nivel 1 (Tier I) en el GAD Municipal de Pimampiro, en la cual se realiza el análisis basado en la norma ICREA-Std-131-2013 de las distintas instalaciones o soluciones, como Obra civil, Aire Acondicionado, Comunicaciones, Instalaciones de seguridad e Instalaciones Eléctricas. En la parte eléctrica del diseño, se consideraron aspectos como: las cargas de los circuitos no serán mayor al 80 % de su capacidad, implementación de supresores de transientes, la planta generadora de respaldo tendrá una capacidad del 125 % de la carga proyectada, el sistema ininterrumpido de energía

será doble conversión en línea y deberá ser previsto para un factor de crecimiento entre el 30 % y 40 % como expectativa para 5 años y para la protección contra descargas atmosféricas, se consideró en el diseño un pararrayos tipo Franklin de 5 puntas con cobertura parabólica de 150m de diámetro desde su origen.

En la publicación *Cómo mejorar la eficiencia en los Centros de Procesamiento de Datos (CPDs), La importancia de conocer el PUE*, Circutor (2014), se analiza la distribución del consumo en el centro de datos, indicando que el 60 % corresponde a consumos eléctricos de infraestructura y un 40 % restante de refrigeración. También se indica que del 100% de la energía suministrada durante la instalación, el 50 % es consumida por UPS, baterías, iluminación, acondicionamiento, refrigeradores, ventilación. El 50 % restante se consume por equipos informáticos, entre ellos servidores, terminales, proceso de datos y telecomunicaciones. Se encontraron que existen tres niveles o metodologías de medición de eficiencia energética en el data center, en el cual el nivel 0 de medición corresponde a los UPS's, el nivel 1 a los PDU's, y el nivel 2 en la alimentación de los equipos informáticos, los cuales proveen datos certeros del nivel de eficiencia energética del data center.

En la tesis de graduación de especialidad titulada: *Estudio de factibilidad para la implementación de Sistemas de Enfriamiento Freecooling de Eficiencia Energética para Data Center*, Garzón y Páez (2017), hacen una propuesta de mejora en la eficiencia energética en el sistema de enfriamiento de los data center basados en la tecnología Freecooling, la cual se basa en el aire como recurso primario, con sistemas de control capaces de monitorear en tiempo real etapas como arranques de compresores o evaporadores. Sus resultados dan un importante apoyo en la reducción del consumo energético y la huella del carbono en un porcentaje mayor al 50 %. También se encontró una reducción de un factor de 0.11 en el PUE. Finalmente, en el estudio de factibilidad se demostró que la

instalación del sistema de enfriamiento Freecooling es factible, aunque los costos de logística e inversión inicial son bastante altos, se obtiene un gran beneficio en la eficiencia energética del mismo al reducir gastos operacionales asociados principalmente a la energía eléctrica, y a los costos de mantenimiento, lo cual se debe a la infraestructura eléctrica y vial que facilita su implementación en cualquier data center.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los centros de datos 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. De esa manera se comportan la mayoría de los centros de datos alrededor del mundo, por lo cual la energía necesaria para alimentarlos es muy alta. Debido a ello es sumamente importante que desde la etapa del diseño de la instalación eléctrica se busque una alta eficiencia energética en el Centro de Datos, para evitar pérdidas de energía y mayor gasto en la factura eléctrica.

Muchos diseños de la instalación eléctrica de Centros de datos omiten la aplicación de normativas y estándares internacionales como la ANSI TIA, ASHRAE y códigos como el NEC. Al omitir estas normativas y estándares, se corre el riesgo de tener grandes pérdidas en el sistema, calentamientos, armónicos y otro tipo de situaciones que pueden vulnerar la operación del sistema. Otro aspecto sumamente importante es la correcta selección de los equipos eléctricos y electro mecánicos en el data center, los cuales contribuyen a su buen funcionamiento.

En muchas ocasiones se seleccionan equipos más económicos en cuanto a su inversión inicial, pero que a mediano y largo plazo resultan generando grandes pérdidas de energía, que reducen la rentabilidad cuando se compara el pago de energía eléctrica por el alto consumo de los mismos. Por lo cual es sumamente importante la correcta selección de los equipos, en base a especificaciones técnicas que promuevan la eficiencia y el ahorro energético, así mismo que puedan ser gestionables e integrables a sistemas de monitoreo que permita su correcta administración, detectar fallas en los equipos, tener visibilidad

de alertas o alarmas de los equipos, y tener un monitoreo constante del consumo energético.

Es común encontrar centros de datos en el que solo 1/3 de toda la energía consumida por los centros de datos es utilizada por los equipos IT y 2/3 de esa energía se desperdicia. El profesor Ian Bitterlin, el principal experto en energía de centros de Datos en Gran Bretaña declaró en 2016 que la cantidad de energía utilizada en los centros de Datos se duplicaba cada cuatro años. Esto implica que existe un bajo ahorro energético en los Centros de Datos con diseños eléctricos utilizados en la actualidad.

Muchos diseñadores prefieren sobredimensionar los equipos para evitar cualquier riesgo que podría ser un problema más grande, esto trae como consecuencia un alto costo financiero por el pago de la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar el sistema, debido a las pérdidas energéticas en la instalación y en los equipos. También el centro de datos pierde confiabilidad en su operación, debido a que el mismo no opera con un diseño óptimo.

Aproximadamente el 65 % de la energía del centro de datos global se produce mediante la quema de combustibles fósiles. En Guatemala la mayoría de plantas de respaldo para Centros de Datos son Grupos electrógenos, que basan su funcionamiento en la quema de combustible, lo que provoca una mayor contaminación ambiental.

Esto nos lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cómo realizar el modelo de la instalación eléctrica de un Data Center de alta eficiencia energética?

Para responder a esta pregunta, se deberán responder las siguientes preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos, utilizado en la actualidad?
- ¿Qué herramienta permite gestionar y monitorear el Data Center para tener una alta eficiencia energética?
- ¿Qué equipos eléctricos y electromecánicos, son los más adecuados para asegurar la mayor eficiencia energética en el Data Center?
- ¿Cuál es el ahorro energético y económico que podría tener un Data Center, al aplicar la tecnologías y normas de eficiencia energética en el data center?

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.

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 los mismos. Realizar el diseño eléctrico de un data center que busque reducir las pérdidas de energía, sumado a la adecuada selección de equipos y herramientas de gestión energética, permitirá lograr tres objetivos: Ahorro importante en el consumo de energía, Disminución del costo económico y tener mayor confiabilidad en la operación de los Centros de Datos.

Este trabajo presentará un modelo de la correcta instalación eléctrica que se debe realizar en un Centro de Datos basado en normas y estándares eléctricos, así como el análisis de los distintos equipos eléctricos y electromecánicos que forman parte de este, con lo cual se propondrán las soluciones con la mayor eficiencia energética y confiabilidad en la operación. También se presentará el análisis de un sistema de gestión y monitoreo energético, con lo que se obtendrá una reducción en el consumo eléctrico. De igual manera se realizará un análisis del ahorro energético y económico que podría tener un centro de datos basado en el modelo presentado, comparado con otros centros de datos evaluados en visitas técnicas y mediciones de campo.

Con este estudio brindará un modelo que será útil para instituciones que busquen aumentar la eficiencia energética de centros de datos que ya estén

construidos o que sirva como guía para ingenieros que realicen diseños eléctricos desde cero, que busquen garantizar una alta eficiencia energética del Data Center. También será de beneficio para personas que deseen entender cómo funciona un Centro de Datos desde el punto de vista energético y también brindar un apoyo para la correcta selección de los equipos eléctricos y electromecánicos que formaran parte de la operación y confiabilidad del Data Center.

El estudio beneficia a las instituciones e industrias que necesitan un Data Center en su operación, pero 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 los mismos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar el modelo de la instalación eléctrica de un Data Center de alta eficiencia energética basado en los estándares y normativas ANSI/TIA, ASHRAE y NEC.

5.2. Específicos

- Analizar el modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos, utilizado en la actualidad.
- Evaluar el sistema de gestión y monitoreo energético de un centro de datos.
- Evaluar los equipos eléctricos y electromecánicos, que garantizan la mayor eficiencia energética en el centro de datos.
- Estimar el ahorro energético y económico que podría tener un centro de datos al aplicar el modelo de instalación eléctrica de alta eficiencia.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con este estudio se brindará un modelo de la instalación eléctrica para un centro de datos de alta eficiencia energética, alta confiabilidad y disponibilidad, el cual estará basado en códigos eléctricos como el NEC que establece los lineamientos para una instalación eléctrica segura, el estándar ASHRAE que presenta guías para mejorar la eficiencia energética del sistema, y el estándar ANSI TIA que establece distintos niveles de redundancia para el mejor diseño y operación del centro de datos de acuerdo a las necesidades a cubrir. También se tomará en cuenta en el diseño la norma ISO 50001, que establece lineamientos para mejorar las prácticas de consumo de energía y mejorar la eficiencia energética.

Se presentarán los principales errores que se comenten en los diseños estándares que actualmente se utilizan para la instalación eléctrica de un data center, lo que provoca que los mismos tengan grandes pérdidas de energía, sobredimensionamiento de los equipos y que, ante cualquier falla, estos pierdan su disponibilidad y confiabilidad.

El alcance de la investigación se limita a la elaboración del modelo plasmado en planos, de la instalación eléctrica para un centro de datos, que sirva como guía para personas que necesiten diseñar un centro de datos desde cero, en un punto de vista eléctrico o también que brinde lineamientos que mejoren la instalación eléctrica de un centro de datos ya construido. Se realizarán los diagramas de interconexión de los equipos indispensables en la operación y se presentará un análisis comparativo de los equipos eléctricos que representen un ahorro energético. También se recopilarán datos de consumos eléctricos en dos

centros de datos a través de una herramienta de gestión y monitoreo energético, y también por mediciones en visitas de campo. Adicionalmente se presentará un plan de mejora continua de eficiencia energética de un centro de datos basado en el estándar ISO 50001, la cual será una herramienta que se utilizará para promover la eficiencia y ahorro energético, para reducir los costos asociados, así como los gases de efecto invernadero y contaminación ambiental derivada. Finalmente se realizará un análisis energético y financiero, del ahorro que se podría tener al aplicar el modelo presentado.

Este estudio beneficiará a instituciones que cuenten con un centro de datos en su operación, al reducir las pérdidas y el consumo energético, y con ello el gasto económico por energía eléctrica. De igual forma reducirá la contaminación ambiental generada por las plantas de respaldo, que para los centros de datos en su mayoría se basan en la quema de combustibles fósiles.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Centros de datos

Un centro de datos es el área en la cual convergen todos los equipos de Infraestructura y de respaldo energético necesarios para el procesamiento de datos. Garantizar la alta disponibilidad de un centro de datos es imprescindible para una empresa, ya que muchas de las actividades de la misma dependen su correcta operación (Briones, 2009).

Las instalaciones de los centros de datos son especializadas, y están compuestos por equipos y dispositivos interrelacionados, que cumplen con funciones de misión crítica. Los mismos pueden variar en tamaños desde un pequeño cuarto hasta algunos que alcanzan las dimensiones de un campo de fútbol.

La operación de los centros de datos depende en gran medida de la correcta armonía de tres partes principales, la estructura IT, el sistema eléctrico y el sistema de refrigeración. Cuando cualquiera de los tres sistemas tiene una falla, se pone en peligro la operación y disponibilidad del centro de datos.

Los sistemas de energía y enfriamiento son los encargados de mantener el correcto funcionamiento de la infraestructura IT. El sistema eléctrico se encarga del suministro de la energía necesaria para hacer funcionar todos los equipos IT y de enfriamiento, mientras que el sistema de refrigeración se encarga de mantener al sistema completo a una temperatura adecuada para su operación y evitar con ello calentamiento (Rytoft, 2013).

7.1.1. Normativas y estándares en centros de datos

Las normativas y estándares buscan que desde el diseño inicial, un centro de datos cumpla con las características necesarias para el buen funcionamiento.

7.1.1.1. Norma ANSI/TIA

La norma TÍA es una serie de lineamientos y normativas para el correcto diseño e instalación de centros de datos, abarcando temas como la nomenclatura estándar a utilizar, armado de telecomunicaciones, arquitectura del centro y ubicación del mismo, diseño eléctrico y mecánico, lo cual es sumamente importante para la mayor eficiencia energética (Paucar, 2015)

Este estándar tiene su origen en una serie de normas y especificaciones inicialmente para cableado estructurado y comunicaciones, las cuales tienen como principal objetivo crear lineamientos para determinar el grado de disponibilidad que dispone un centro de datos. Además, el estándar establece los requerimientos que debe tener un Centros de Datos desde el punto de vista de la infraestructura IT, sistema eléctrico y sistema de refrigeración.

También en esta normativa se consideran datos importantes como distancias de seguridad, crecimiento futuro de equipos y diseños un alto grado de redundancia, confiabilidad y disponibilidad. Para poder diferenciar el grado de disponibilidad y redundancia del centro de datos, el estándar ha definido un parámetro llamado Nivel TIER de la data center, el cual se define a continuación (Grados, 2014).

7.1.1.2. Nivel TIER de un centro de datos

El concepto TIER establece el nivel de fiabilidad que tiene un centro de datos en su operación (Paucar, 2015). Esto representa un indicador del porcentaje de disponibilidad ante una falla en un punto de la operación del Data Center.

El nivel TIER se puede clasificar en 4 clasificaciones, según el nivel de redundancia, disponibilidad y confiabilidad con el que cuentan. En la siguiente tabla se puede observar esta clasificación:

Tabla I. Niveles TIER en centros de datos

	TIER I	TIER II	TIER III	TIER IV
Disponibilidad	99.671 %	99.741 %	99.982 %	99.995 %
Interrupciones	Sensible a interrupciones, planificada como no planificada	Menos sensible a interrupciones planificadas o no planificadas	Las actividades planeadas pueden ejecutarse sin interrupción. Los eventos no planificados pueden ocasionar fallas.	La actividad no planificada no interrumpe el centro de datos. Se puede sostener una falla no planificada sin sufrir daños en la operación.
Redundancia	Un solo paso de corriente. Un solo sistema de refrigeración. No cuenta con componentes redundantes.	Un solo paso de corriente eléctrica. Un solo sistema de refrigeración. Cuenta con un componente redundante.	Múltiples pasos de energía y enfriamiento, pero con un camino activo. Se tiene redundancia N+1	Múltiples pasos de energía y enfriamiento, con componentes redundantes (2(N+1))
Piso Elevado	No es indispensable	Incluye piso elevado	Incluye piso elevado	Incluye piso elevado
Planta de Respaldo	Se cuenta con un generador independiente (N) y UPS (N)	Se cuenta con UPS (N+1) y generador de respaldo (N+1)	Se cuenta con UPS (N+1) y generador de respaldo (N+1)	Se cuenta con UPS (N+1) y generador de respaldo (N+1)
Implementación	3 meses de implementación	3 a 6 meses de implementación	15 a 20 meses de implementación	15 a 20 meses de implementación.
Tiempo de inactividad anual	28.82 horas	22.68 horas	1.57 horas	52.56 minutos

Continuación de la tabla I.

Mantenimiento	Debe estar cerrado por completo	Mantenimiento de la línea de alimentación requieren cierre de operación	Mantenimiento concurrente	Tolerante a fallas
---------------	---------------------------------	---	---------------------------	--------------------

Fuente: Grados (2014). *Seguridad de la información*.

7.1.2. Características de un centro de datos

Algunos de los elementos que describen a un centro de datos son la redundancia, confiabilidad y disponibilidad del mismo.

7.1.2.1. Redundancia

Los sistemas redundantes son aquellos que buscan asegurar la operación del centro de datos al tener equipos de respaldo para soportar el potencial fallo de un equipo principal.

7.1.2.2. Confiabilidad

La confiabilidad de un centro de datos indica el nivel de confianza de la operación del mismo ante cualquier fallo interno o externo

7.1.2.3. Disponibilidad

Representa el porcentaje que un centro de datos tiene asegurado en su operación ante cualquier fallo interno o externo (Paucar, 2015).

7.1.3. Componentes de un centro de datos

A continuación, se describen los componentes de un centro de datos.

7.1.3.1. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico está comprendido por todos aquellos equipos e instalaciones que suministran energía eléctrica a cada uno de los componentes de un centro de datos. Sin el sistema eléctrico, el centro de datos no podría operar, ya que a través de este es posible generar, transportar y distribuir la energía eléctrica en todo el sistema. El sistema eléctrico está compuesto por la acometida eléctrica principal (la cual puede ser la energía comercial o de la planta de respaldo), el switchboard y switchgear que forma la parte del panel de distribución principal, el sistema ininterrumpido de potencia, sistema de distribución secundaria, el sistema de protecciones eléctricas 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).

7.1.3.2. Sistema de enfriamiento

Es el sistema que se encarga de enfriar, transportar y limpiar el aire, el cual debe ser capaz de controlar la temperatura y humedad del ambiente. Para centros de datos se habla de sistemas de enfriamiento de precisión por el control de la temperatura y humedad (Guanipa, 2010).

El proceso de refrigeración consiste en la construcción de un circuito de refrigeración donde se hace circular refrigerante, el cual está sometido a cambios de presión, donde una parte del circuito es de baja presión y otro de alta presión.

La parte de la baja presión está comprendida entre la entrada del compresor y la salida del dispositivo de expansión. Mientras que la parte del circuito de alta presión está comprendida por entrada del equipo de expansión y la salida de compresor. Por lo cual se puede deducir que el ciclo de refrigeración está compuesto por los siguientes elementos, el primero es el refrigerante el cual se encuentra en estado líquido cuando se está a baja presión y temperatura, y por el contrario se encuentra en estado de vapor cuando se está a alta presión y temperatura. Esto es posible debido a la interacción de los otros componentes, los cuales son el compresor, condensador, evaporador y válvula de expansión.

La unidad de medida de los sistemas de refrigeración que generalmente se utiliza, incluyendo en centros de datos es el BTU. (British Thermal Unit) (Contreras, 2011).

7.1.3.3. Sistema de gestión y monitoreo energético

Los sistemas de gestión y monitoreo energético tienen como objetivo la supervisión en tiempo real de cada uno de los equipos e instalaciones que se encuentran en el centro de datos, así mismo permiten gestionar activamente cada uno de estos elementos. Cuando ocurre un fallo en el centro de datos, el sistema de gestión y monitoreo energético brinda toda la información necesaria para que se repare lo más pronto posible, además posee la característica de ser una interfaz de control automática entre los equipos y las personas, por lo cual se pueden ejecutar muchas acciones a través de este sistema.

El sistema permite verificar en tiempo real todo tipo de alarmas y advertencias de cada uno de los equipos que se encuentran monitoreados. Sin embargo uno de los puntos más importantes del uso de los sistemas de gestión y monitoreo energético es la capacidad de monitorear consumos energéticos de

cada uno de los equipos dentro del centro de datos. Esto es un aspecto muy importante ya que los Data Center permanecen energizados 24 horas 365 días al año. Por lo cual conseguir un equilibrio entre la eficiencia energética y la mejor operación del Data Center es el aporte que estos sistemas permiten obtener, contribuyendo a mitigar el riesgo de errores humanos o reducir sus consecuencias cuando estos se producen, ya que se estima que el 70 % de los problemas en los centros de datos son atribuyen a errores humanos. Estos errores pueden producirse de dos formas distintas, el error activo es cuando se lleva a cabo una acción que provoca pérdida de energización o refrigeración en el centro de datos, mientras que el error pasivo es por el contrario cuando no se emprende ninguna acción que provoque la pérdida de energización o refrigeración del centro de datos (Donovan, 2016).

7.1.3.4. Infraestructura de red

El sistema de infraestructura de red es el conjunto de cables, conectores, canalizaciones, equipos y todos los elementos utilizados en el procesamiento de datos y telecomunicaciones de un centro de datos (Briones, 2009).

7.1.3.5. Sistema contra incendios

Un sistema contra incendio tiene como objetivo para controlar un posible incendio y en algunas ocasiones hasta poder detenerlo, para proteger a las personas y las instalaciones. Está conformado por su fuente de alimentación, estación de bombeo, sistema de distribución, detectores de humo y el sistema de supresión de incendios. El sistema más común utilizado para protección contra incendios es el que utiliza agua.

La fuente de abastecimiento debe asegurar la cantidad, presión y calidad suficiente para el sistema de bombeo funcione al menos 4 horas. El sistema de supresión de incendios regularmente se diseña basado en la norma NFPA (National Fire Protection Association), la cual es reconocida nacional e internacionalmente. Esta norma compila una serie de normas, datos técnicos y recomendaciones para la prevención, control y protección del fuego (Archundia, 2010).

7.1.3.6. Sistema de seguridad y controles de acceso

Es un conjunto de dispositivos que tiene por objetivo limitar el libre acceso de personas públicas a diversas áreas y cuartos los cuales tienen carácter de restringido o protegido. Por lo cual lo primero que se debe de identificar, es la existencia de instalaciones o equipos a proteger. En el caso de los centros de datos por su característica de misión crítica, es de carácter obligatorio contar con sistema de seguridad y controles de acceso para restringir el paso de personas. Hay que tomar en cuenta de que el mismo signifique el único punto de acceso hacia el centro de datos (Cosentino, 2011).

7.2. Distribución eléctrica en centro de datos

Consiste en toda la infraestructura necesaria para la alimentación eléctrica del centro de datos.

7.2.1. Normativas o códigos eléctricos

Lo conforman cada uno de las normativas y códigos que fundamentan una correcta instalación eléctrica.

7.2.1.1. Código Nacional Eléctrico (NEC)

La principal función del NEC es tener el proteger la vida de las personas y de las instalaciones o bienes, contra los riesgos que pueden surgir por el uso de electricidad. Este código está compuesto por normativas que tienen como objetivo velar por la seguridad de la instalación haciendo que esté libre de riesgos. Debido a ello la aplicación de este código debe ejecutarse por personal capacitado en el área de electricidad.

Las áreas que se estudian en código podemos mencionar la instalación de equipos y conductores eléctricos, canalizaciones eléctricas y el número de conductores recomendados por ocupación, identificación y etiquetado de circuitos eléctricos, conexiones de conductores y equipos, sistemas monofásicos y trifásicos, sistemas de tierras, parámetros eléctricos como voltaje, corriente, factor de potencia y frecuencia eléctrica, distancias de seguridad, iluminación, tableros y gabinetes eléctricos, alimentación de fuerza normal, cálculos de carga y factor de demanda, requisitos de circuitos ramales, circuitos derivados de transformadores y autotransformadores, resistencia mecánica de circuitos y alimentadores, aisladores, dieléctricos, sistemas de corriente continua y alterna, entre otros. Cada uno de los temas incluidos por el Código Nacional Eléctrico, buscan asegurar la funcionalidad y seguridad de los elementos (NFPA, 2020).

7.2.2. Equipos eléctricos en centro de datos

Comprende cada uno de los elementos eléctricos que comprende un centro de datos.

7.2.2.1. Sistema de alimentación

La acometida eléctrica comercial en corriente alterna es la primera opción para suministrar la energía de alimentación para el centro de datos, la cual debe ser una línea dedicada y exclusiva desde la empresa distribuidora de energía hasta el cuarto donde se ubicarán los tableros eléctricos de alimentación del centro de datos. La línea de alimentación del centro de datos debe ser totalmente independiente para asegurar que la potencia instalada cubra el consumo total del centro de datos. De igual manera se realiza esto para evitar que exista una interferencia con las máquinas que producen transitorios, y también para evitar que las protecciones generales o adyacentes, puedan interrumpir el servicio de energía al data center. La conformación del sistema de alimentación principal de un centro de datos puede tener más de una alimentación eléctrica, siendo una de ellas la alimentación eléctrica comercial y otra conformada por la planta de respaldo de energía (Landirez, 2012).

7.2.2.2. Planta de respaldo

Debido a la criticidad de la operación de los centros de datos, la disponibilidad de este se debe ser asegurada. Para ello es necesario tener aparte de la energía comercial, una planta de respaldo que inicie su operación inmediatamente cuando quede fuera de servicio la energía eléctrica comercial. Ésta planta puede ser cualquier tipo de generador eléctrico, pero los más convencionalmente utilizados en el ámbito comercial y especialmente en Guatemala son los generadores basados en combustibles fósiles que conforman los llamados Grupos electrógenos. El grupo electrógeno es la máquina encargada de la generación de energía a partir de un motor de gas, diesel o gasolina, donde el movimiento del motor y la corriente en el rotor generan un campo magnético que induce corriente eléctrica alterna en el estator, con lo cual se genera la

energía eléctrica necesaria para el respaldo de los centros de datos. El grupo electrógeno se compone principalmente de un motor que se dimensiona según la potencia útil que se desea suministrar dependiendo el consumo eléctrico del data center. Los grupos electrógenos dependen de la quema del combustible en su arranque, es por ello que se está investigando nuevas fuentes de generación de energía para el respaldo de los centros de datos (Landirez, 2012).

7.2.2.3. Sistema de alimentación ininterrumpida

El sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) es un equipo imprescindible en el centro de datos, debido a que cumple la función del respaldo de energía cuando ocurre una falla en el sistema de alimentación eléctrica principal. Están diseñados de diferentes tamaños dependiendo el consumo eléctrico en el Centro de Datos, puede alimentar a sistemas pequeños de pequeñas cantidades de KW de consumo, hasta alimentar a sistemas robustos del orden de MW. El uso de los mismos sirve tanto para el respaldo como para la protección de cargas críticas, ya que están compuestos por filtros eléctricos que eliminan distorsiones en la red eléctrica.

Esto es debido a que muchas de las topologías con las cuales se diseñan estos sistemas, realizan una doble conversión de energía. Primero realizan una conversión de corriente alterna de la red eléctrica hacia corriente directa por medio de un rectificador y filtros eléctricos, y luego por medio de inversores convierten la corriente directa en alterna nuevamente para poder alimentar la carga final, la cual conforma una doble conversión en línea. Todos los sistemas ininterrumpidos de potencia utilizan básicamente los mismos componentes constructivos, lo que cambia según la topología del mismo es la ubicación de estos.

Los sistemas ininterrumpidos de potencia están generalmente compuestos por:

- Filtros de entrada
- *Bypass* automático
- Rectificador e inversor
- Banco de baterías
- Cargador de baterías
- Outlets o salidas
- Sistema de comunicación o red y de control.
- Transformador

Algunos de los aspectos a considerar de estos componentes se enlistan a continuación:

- En el caso del sistema de baterías y el cargador de baterías generalmente son de 12 VDC. Esta es una de las partes más importantes del sistema, debido a que es el encargado de almacenar la energía que se utilizará en el caso de ausencia del suministro eléctrico comercial.
- El sistema del filtro de entrada y salida realiza la función de limpiar la señal sinusoidal de 60 Hz 120 V, eliminando las distorsiones existentes en la señal de entrada.
- El *Bypass* permite que el equipo realice de forma automática la transferencia entre la energía proveniente de la red eléctrica comercial y la energía entregada por el sistema de baterías del SAI.
- El transformador también forma parte de un sistema de alimentación ininterrumpida, ya que permite obtener diferentes voltajes de salida con

respecto a los de entrada. Además, funciona como un aislamiento eléctrico entre la carga y la salida del SAI.

También se tienen diferentes topologías de los sistemas ininterrumpidos de potencia, de los cuales uno se mencionó anteriormente. Las mismas son el Modo Stand By, Interactivo y doble conversión en línea.

- En el Stand By el SAI únicamente entra a funcionar cuando existe una ausencia en la alimentación eléctrica y entra el modo baterías.
- En el caso de la topología interactiva se tiene un filtro de entrada y salida para eliminar las distorsiones de la red eléctrica y una corrección del factor de potencia, pero al igual que el modo Stand By, el sistema ininterrumpido de potencia entra a funcionar cuando existe una ausencia en la alimentación eléctrica de entrada.
- En el caso de la topología Doble Conversión en Línea, como se mencionó, se tiene una conversión en todo momento de corriente alterna a directa y luego de directa a alterna, con la función de filtrado y regulación de la corriente y voltaje, y la corrección del factor de potencia. (Landirez, 2012).

7.2.2.4. Transformadores

Es un dispositivo que permiten cambiar el voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada, manteniendo constante la potencia eléctrica del mismo, mediante la interacción de un campo magnético. Está compuesto por dos o más bobinas de conductor enrolladas alrededor de un núcleo de hierro o ferromagnético. Las bobinas por lo general no están conectadas entre sí, ya que la interacción de ambas bobinas con el núcleo ferromagnético es lo que genera

el flujo magnético común. En el caso del devanado primario la conexión se realiza a la fuente de alimentación, el cual tendrá un voltaje determinado. El devanado secundario se conecta a la carga, donde se obtendrá un voltaje mayor al primario si el transformador es de tipo elevador, o se obtendrá un voltaje menor al primario si el transformador es tipo reductor. De igual manera también existen transformadores que tienen un voltaje de entrada igual al de salida, a estos se les llama de aislamiento eléctrico.

En las instalaciones eléctricas de Centros de Datos muchas veces los transformadores se utilizan para reducir el voltaje de alimentación desde 480V hasta 208V, que es el voltaje con el cual se distribuye generalmente en el interior del centro (Chapman, 2012)

7.2.2.5. Unidades de distribución de energía (PDU)

Las unidades de distribución de energía deben ser consideradas para distribución eléctrica en puntos de cargas críticas, debido a que poseen protección eléctrica para las cargas a diferencia de las regletas de tomacorrientes convencionales. También estos equipos permiten alimentar gran cantidad de cargas eléctricas sin la necesidad de instalar numerosos tableros eléctricos o transformadores. Además, también tienen la opción de ser monitoreados a través de un punto de red, lo cual permite conocer en tiempo real el consumo eléctrico del PDU completo, el estado de cada uno de los tomacorrientes de salida y su consumo, el voltaje de entrada, la corriente de entrada y salida, y la frecuencia eléctrica (Paucar, 2015).

7.2.2.6. Transferencias automáticas (ATS)

Un interruptor de transferencia automática consiste en un sistema de relevación integrado a un sistema de control, que permite realizar el traslado de una fuente A hacia fuente B de forma automática. La transferencia se activa cuando la alimentación eléctrica normal principal se suspende, realizando el cambio hacia la alimentación auxiliar, es decir la fuente B.

Dependiendo de la aplicación la configuración de transferencia automática puede ser simple o más complejo, pero generalmente la misma está compuesta por dos interruptores, una barra común que llevará la alimentación hacia la carga, y un sistema de control, el cual es el encargado de ordenar el accionamiento del interruptor A o el interruptor B dependiendo de la fuente a utilizar. Otra forma de clasificar los componentes de una transferencia automática es diferenciando el circuito de fuerza y el circuito de mando. En el circuito de fuerza, los interruptores son los encargados de realizar la conmutación entre una fuente A y fuente B al recibir una señal del circuito de control. El circuito de mando está conformado generalmente por un controlador lógico programable, los dispositivos periféricos de entradas y salidas, los actuadores, los relés y medidores de potencia.

La implementación de la transferencia automática es imprescindible para un centro de datos, ya que la misma permite realizar la transferencia entre la energía comercial y la planta de respaldo cuando existe una ausencia de alimentación, esta es la configuración que comúnmente se encuentra, que sin embargo puede variar con la utilización de dos fuentes de generación propias sin la energía comercial, o puede tener también dos fuentes de alimentación eléctrica comercial. Los centros de datos por su característica de alta disponibilidad deben tener al menos una transferencia automática, para cumplir con el nivel TIER más básico (Taltique, 2006).

7.2.2.7. Panelboard, Switchboard y Switchgear

Los panelboards y switchboards son equipos de distribución energía eléctrica, donde se tiene una alimentación centralizada a un panel, y posteriormente se lleva la energía por medio de circuitos ramales, cada uno de los mismos protegido por elementos interruptores. A pesar de que en forma general estos equipos realizan estas tareas, existen algunas diferencias sustanciales en las funciones de estos.

En el caso del panelboard ofrece protección eléctrica y control de los circuitos de iluminación, fuerza normal, fuerzas dedicadas como por ejemplo de calefacción, entre otras, las cuales se delimitan para aplicaciones comerciales e industriales.

El NEC define a los panelboards como “Un panel o serie de paneles que incluyen dispositivos automáticos de protección eléctrica, los cuales están diseñados para instalarse en gabinetes en pared accesible desde la parte frontal del mismo”. (EATON, 2010, p. 4)

En el caso de un switchboard se utiliza para dividir grandes bloques de energía, en bloques más pequeños. Es decir permite distribuir una gran cantidad de potencia eléctrica en diferentes aplicaciones más pequeñas como pueden ser las distintas oficinas de un gran edificio, los diferentes locales de un centro comercial, entre otros. El NEC define a los switchboards como “Un gran panel individual, o conjunto de los mismos, que tienen acceso frontal o posterior, en el cual se encuentran distribuidos diferentes circuitos secundarios con interruptores de protección de sobre corriente”. (EATON, 2010, p. 4)

En el caso de los switchgear se definen como celdas de media tensión que conforman un conjunto de secciones verticales o celdas, en las cuales se ubican los equipos de protección eléctrica y maniobra como seccionadores, interruptores entre otros. También se ubican en dichas celdas los equipos de medición y control, los cuales en su mayoría de veces son transformadores de potencial y corriente. Los switchgear al igual que los switchboards cumplen con la función de distribución de energía, sin embargo, esto se realiza en media tensión, a diferencia de los switchboards que se realizan en baja tensión.

Los panelboards, switchboards y switchgears son utilizados en centros de datos para la distribución eléctrica de los circuitos ramales, que se utilizan de acuerdo a su potencia y voltaje. Para centros de datos de baja tensión y pequeña potencia se utilizan los panelboards. Para centros de datos de baja tensión y gran potencia se utilizan los switchboards y para los centros de datos de media tensión y gran potencia se utilizan los switchgears (EATON, 2010).

7.2.2.8. Cableado eléctrico

El dimensionamiento de los conductores eléctricos es de los puntos más esenciales en el estudio de instalaciones eléctricas, ya que los mismos se encargan de la alimentación eléctrica de una fuente a una carga, en este caso un centro de datos. De la precisión del dimensionamiento de los mismos depende en gran medida la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación eléctrica, asegurando la inversión inicial del proyecto y posteriormente los gastos de operación y mantenimiento del mismo.

Para el dimensionamiento de los mismos, es necesario definir la sección transversal de los conductores, determinando los calibres AWG (American Wire Gage) o MCM (miles de circular mils) que cumplan con la capacidad necesaria

para soportar la carga eléctrica demandada, para lo cual el primer paso es definir la corriente eléctrica nominal que circulará por cada uno de los conductores en las condiciones de plena carga. Hay un segundo criterio para definir la sección del conductor, lo que se llama criterio por caída de tensión, el cual consiste en estimar la distancia equivalente desde la fuente hacia la carga, y estimar si el conductor establecido por el criterio de corriente tiene la sección adecuada para soportar la el porcentaje de caída de tensión permitido.

El cableado eléctrico en baja tensión puede ser de cobre o de aluminio. El conductor de aluminio económicamente resulta más atractivo, sin embargo conduce una menor corriente que el conductor de cobre con la misma sección del conductor. El cableado de aluminio es recomendado para instalaciones donde existe mayor salinidad y riesgo de corrosión, como en el caso de zonas cercanas al mar, pero por lo general se utiliza cableado de cobre por su mayor capacidad de conducción (Bratu, 1995).

7.2.2.9. Canalización eléctrica

La canalización eléctrica es un punto valioso, debido a que hay que considerar diversos factores para garantizar la correcta conducción eléctrica y térmica de la instalación. Desde un punto de vista térmico, la ventilación requerida es que los conductores estén colocados de tal forma que el aire circule libremente, pero debido a la protección mecánica requerida para los conductores, estos normalmente van alojados en tubos de plástico, acero o hierro, ductos cuadrados, charolas especiales, entre otros. Es importante que la instalación de los soportes y tuberías se realicen con materiales que, con la suficiente rigidez y fuerza, para que se tengan la garantía de que al momento de realizar el proceso de cableado, la instalación soporte los esfuerzos mecánicos que conlleva esta tarea y no existan caídas o daños en la instalación (Bratu, 1995).

7.2.2.10. Protecciones eléctricas

Un sistema de protecciones eléctricas bien diseñado y correctamente dimensionado es vital para que una instalación eléctrica opere de manera correcta, y todos los parámetros estén dentro de los rangos aceptables. Esto no solo implica la protección de la instalación eléctrica, sino también implica la seguridad de las personas que es un punto más importante aún, con el objetivo minimizar el riesgo de accidente eléctrico por una acción fallida interna o externa del sistema eléctrico, realizando una detección y aislamiento de la falla de manera pronta.

Las protecciones eléctricas también permiten proteger la inversión económica en equipos e instalaciones que formen parte del sistema eléctrico. A continuación, se desglosan las principales funciones de un sistema de protección eléctrica:

- Aislar fallas permanentes.
- Minimizar el número de fallas permanentes.
- Minimizar el tiempo de detección de fallas.
- Prevenir daños a instalaciones y equipos.
- Reducir el riesgo de rotura de los conductores.
- Minimizar el riesgo de las personas (Castaño, 2015).

7.2.2.11. Sistema de puesta a tierra

Por sistema de puesta a tierra se conoce a la conexión eléctrica a la masa general de tierra, siendo este último un volumen de suelo o roca que tiene como característica que su tamaño es bastante más grande comparado con las dimensiones del sistema eléctrico.

La definición de IEEE para tierra es:

Una conexión conductora, que permite que un circuito eléctrico o equipo se conecte a la masa de tierra o en su equivalente a algún conductor con dimensiones más grandes comparadas con las de la instalación eléctrica, que cumplan con la misma función que la masa tierra. (PROCOBRE, 2015, p. 5)

La necesidad de un sistema de tierras en toda instalación eléctrica, incluyendo la de los centros de datos, se resume a los siguientes enunciados:

- Seguridad y protección de las personas y seres vivos
- Seguridad y protección de los equipos
- Seguridad y protección de las instalaciones

Una concepción errada que se tiene del sistema de tierras, es que solamente opera en condiciones de falla, sin embargo durante la operación cumple con roles muy importantes como eliminación de armónicos, superficie equipotencial en la instalación, eliminación de distorsiones en red eléctrica y reducción de campos magnéticos adyacentes a equipos de telecomunicaciones (PROCOBRE, 2015).

7.3. Diseño eficiente de centro de datos

Se entiende como todas aquellas consideraciones que se deben seguir para que el funcionamiento del centro de datos sea altamente eficiente.

7.3.1. Eficiencia energética

La eficiencia energética se define como el cociente entre la energía requerida para realizar una función o proceso, y la energía primaria de entrada usada para dicha actividad. La eficiencia energética ha tomado un gran auge en los últimos años, ya que representa una alternativa para solucionar los problemas del alto consumo energético y la generación de gases de efecto invernadero. Es por ello que la eficiencia energética se considera como una parte sumamente importante en la energía sostenible del futuro, ya que genera diversas oportunidades de mejoramiento como la reducción de la contaminación ambiental, disminución de gastos por consumo eléctrico, creación de nuevas fuentes de empleo y diversificación de los mismos (Sánchez, 2014).

La eficiencia energética en los centros de datos cobra gran relevancia debido al alto consumo de los mismos. Gran parte del consumo se debe a la demanda de equipos IT que se requieren para el procesamiento de los datos. De igual manera un enorme porcentaje en el consumo energético corresponde al sistema de refrigeración, lo que ha generada la constante búsqueda de hacer más eficientes estos sistemas. Algunos de los problemas que reducen en gran medida la eficiencia energética en el centro de datos son:

- Unidades de distribución de energía y transformadores funcionan a valores de consumo eléctrico muy por debajo a su potencia nominal a plena carga.

- El sistema de refrigeración funciona a bajas temperaturas de operación.
- Aires acondicionados calentando en la misma sala donde otros equipos enfrían.
- Aires acondicionados que consumen alta potencia para poder dirigir el aire contra altas presiones en grandes distancias.

La breve lista anterior permite que el centro de datos llegue a consumir el doble de energía necesaria, lo cual se puede evitar al realizar un correcto diseño.

De igual manera existen otros probables problemas que reducen en gran medida la eficiencia energética en los centros de datos, como por ejemplo en un documento publicado en 2005 por Electric Power Research Institute de Estados Unidos demostró que las pérdidas energéticas de distintos SAI funcionando alrededor del 30 % de carga, variaban de entre un 4 al 22 %, lo que reduce en gran medida la eficiencia del sistema.

Todos estos casos reducen en gran medida la eficiencia energética de los centros de datos, provocando pérdidas de energía eléctrica y como consecuencia pérdidas económicas por el pago de ese servicio. Debido a ello se han realizado numerosos estudios y análisis para establecer estrategias que permitan mejorar la eficiencia energética en los centros de datos, que abarcan desde la virtualización de servidores, mejora en las instalaciones eléctricas involucradas, hasta considerar el cambio de los sistemas de refrigeración para tener un ahorro energético en los mismos (Rasmussen, 2015). Algunas de estas estrategias las podemos observar en la siguiente tabla de resumen.

Tabla II. Estrategias para aumentar el ahorro y eficiencia energética en centros de datos

	Ahorro	Guía	Limitaciones
DCPI correctamente dimensionada	10 – 30%	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de una arquitectura de alimentación y refrigeración modular y escalable El ahorro es mayor para sistemas redundantes 	<ul style="list-style-type: none"> Para nuevos diseños y algunas ampliaciones
Virtualización de servidores	10 – 40%	<ul style="list-style-type: none"> Técnicamente no es una solución para infraestructuras físicas pero tiene gran repercusión Implica la consolidación de aplicaciones en menos servidores, normalmente de tipo Blade También libera capacidad de potencia y refrigeración para ampliaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Exige importantes cambios de proceso de TI Para conseguir ahorros en una instalación existente, es preciso apagar algunos dispositivos de alimentación y refrigeración
Arquitectura más eficiente en refrigeración	7 – 15%	<ul style="list-style-type: none"> La refrigeración por filas ofrece mayor eficiencia para la alta densidad (Documento técnico 130) Las vías de circulación de aire más cortas requieren menos potencia de los ventiladores Las temperaturas de suministro y retorno de la unidad de aire acondicionado (CRAC) son mayores, lo que aumenta la eficiencia y la capacidad, y evita la deshumidificación, con la consiguiente reducción de los costes de humidificación 	<ul style="list-style-type: none"> Para diseños nuevos Las ventajas para los diseños de alta densidad son limitadas
Modo economizador en refrigeración	4 – 15%	<ul style="list-style-type: none"> Muchos sistemas de refrigeración incluyen economizadores Esto puede conseguir un importante ahorro de energía, dependiendo de la situación geográfica Algunos centros de datos tienen sistemas de refrigeración con economizador pero su funcionamiento está desactivado 	<ul style="list-style-type: none"> Para diseños nuevos Dificultad de adaptación
Disposición más eficiente del suelo	5 – 12%	<ul style="list-style-type: none"> La disposición del suelo tiene un gran efecto sobre la eficiencia del sistema de refrigeración Implica una disposición que aleje pasillos calientes y fríos con sistemas de refrigeración situados adecuadamente (Documento técnico 122) 	<ul style="list-style-type: none"> Para diseños nuevos Dificultad de adaptación
Equipo eléctrico más eficiente	4 – 10%	<ul style="list-style-type: none"> Los nuevos sistemas SAI óptimos tienen un 70 % menos de pérdidas que los SAI tradicionales sometidos a las cargas típicas La eficiencia a carga baja es el parámetro clave, NO la eficiencia a plena carga No olvide que las pérdidas de SAI deben enfriarse, lo que duplica sus costes 	<ul style="list-style-type: none"> Para nuevos diseños o adaptaciones
Coordinación de los equipos de refrigeración	0 – 10%	<ul style="list-style-type: none"> Muchos centros de datos tienen varios sistemas de refrigeración que, en realidad, luchan entre sí Uno puede estar calentando mientras otro enfría Uno puede estar deshumidificando mientras otro humidifica El resultado es el desperdicio Puede que sea necesaria una evaluación profesional para diagnosticar el problema 	<ul style="list-style-type: none"> Para cualquier centro de datos con varios sistemas de aire acondicionado
Correcta colocación de rejillas de ventilación	1 – 6%	<ul style="list-style-type: none"> En muchos centros de datos, las rejillas con ventilación están mal colocadas o el número de unidades utilizadas es incorrecto La ubicación adecuada de las mismas NO es intuitivamente obvia Una evaluación profesional puede garantizar óptimos resultados Beneficio colateral: reducción de puntos calientes 	<ul style="list-style-type: none"> Solo para centros de datos con falso suelo Es fácil pero requiere el asesoramiento de un experto para conseguir los mejores resultados
Instalación de alumbrado de bajo consumo	1 – 3%	<ul style="list-style-type: none"> Apague algunas o todas las luces en función de la hora del día o del movimiento Utilice una tecnología de iluminación más eficiente No olvide que la potencia de iluminación también debe refrigerarse, lo que duplica el coste La ventaja es mayor en centros de datos de baja densidad o parcialmente ocupados 	<ul style="list-style-type: none"> Casi todos los centros de datos pueden beneficiarse
Instalación de paneles ciegos	1 – 2%	<ul style="list-style-type: none"> Disminuyen la temperatura de entrada del servidor También ahorran energía aumentando la temperatura del aire de retorno de la unidad de refrigeración Solución simple y asequible con los nuevos paneles ciegos ajustables como los de Schneider Electric 	<ul style="list-style-type: none"> Para cualquier centro de datos, antiguo o nuevo

Fuente: Rasmussen (2015). *Implementación de la eficiencia energética en los centros de datos.*

7.3.2. Ahorro energético

A diferencia de la eficiencia energética que busca mejorar el uso de la energía en una instalación o equipo aprovechando al máximo la energía eléctrica de entrada, el ahorro energético determina todos aquellos equipos que son necesarios para el funcionamiento de una empresa o entidad, y elimina todos aquellos que no son necesarios o indispensables para el funcionamiento, disminuyendo el consumo eléctrico (Comunidad de Madrid, 2006).

7.3.3. Normativas y estándares de eficiencia energética

Comprende las normativas o estándares que buscan que toda instalación eléctrica sea eficiente energéticamente.

7.3.3.1. Norma ISO 50001

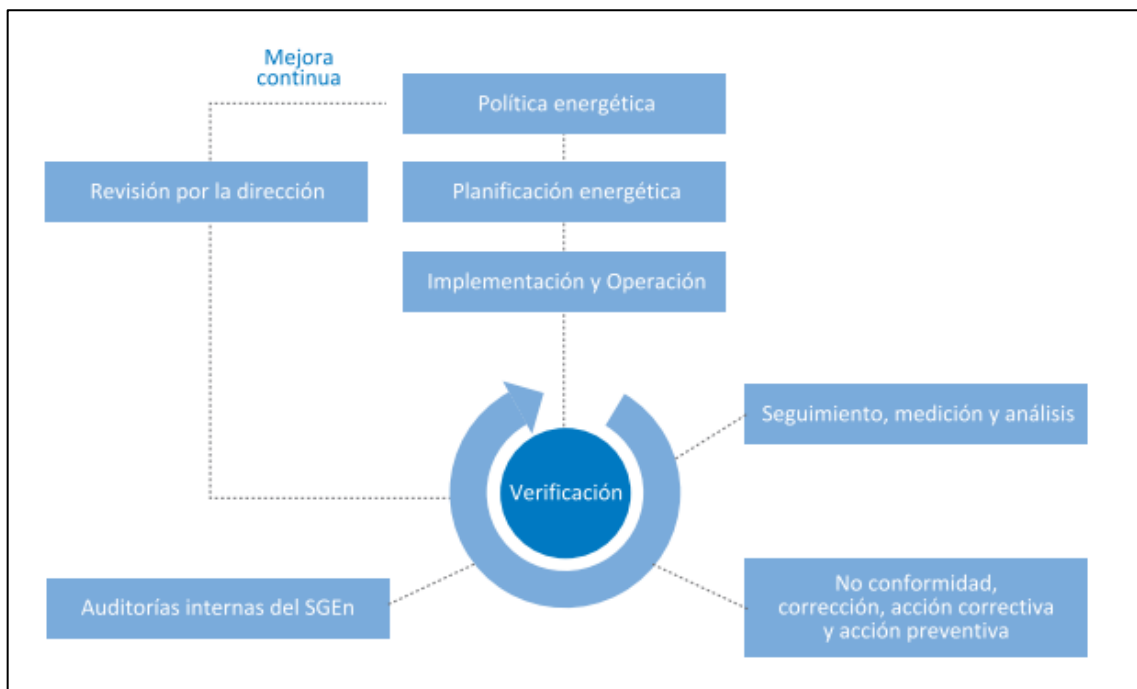
La norma ISO 50001 tiene una estructura de mejora continua, que ya ha sido utilizado en diversas normas de gestión energética, el cual es el conocido modelo Deming o PDCA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar):

- Planear: es la parte que se encarga de conocer la estructura organizacional para establecer controles y objetivos que mejoren la eficiencia energética.
- Hacer: se encarga de implementar procedimientos y procesos para controlar y mejorar la eficiencia energética.

- Verificar: en esta área se busca monitorear y medir procesos en base a políticas estratégicas, objetivos y características, para luego reportar los resultados.
- Actuar. Es el proceso mediante el cual se mejora continuamente la eficiencia energética en base a los resultados obtenidos (ISO Tools, 2013).

El modelo de gestión de la norma ISO 50001 se puede resumir en el siguiente diagrama, en el cual se basa en la mejora continua y el modelo Deming:

Figura 1. **Modelo de Gestión de la Norma ISO 5001**



Fuente: ISO Tools, (2013). *La Norma ISO 50001:2011 y la Gestión de la Energía*.

7.3.3.2. Estándar ASHRAE 90.1

Este estándar proporciona los lineamientos para diseñar instalaciones eléctricas y mecánicas en edificios, con alta eficiencia energética. Es la base para certificaciones Leed y Well. Las guías para diseños arquitectónicos e ingenieriles están orientadas al ahorro energético de las siguientes instalaciones:

- Entorno construido
- Iluminación
- Potencia
- Mecánica y de enfriamiento (ASHRAE, 2019)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Centros de Datos

2.1.1. Normativas y estándares en centros de datos

2.1.1.1. Norma ANSI/TIA

2.1.1.2. Nivel TIER de un centro de datos

2.1.2. Características de un centro de datos

2.1.2.1. Redundancia

2.1.2.2. Confiabilidad

2.1.2.3. Disponibilidad

2.1.3. Componentes de un centro de datos

2.1.3.1. Sistema Eléctrico

2.1.3.2. Sistema de enfriamiento

- 2.1.3.3. Sistema de gestión y monitoreo energético
- 2.1.3.4. Infraestructura de red
- 2.1.3.5. Sistema contra incendios
- 2.1.3.6. Sistema de seguridad y control de acceso
- 2.2. Distribución eléctrica en centro de datos
 - 2.2.1. Normativas o códigos eléctricos
 - 2.2.1.1. Código Nacional Eléctrico (NEC)
 - 2.2.2. Equipos eléctricos en centros de datos
 - 2.2.2.1. Sistema de alimentación
 - 2.2.2.2. Planta de respaldo
 - 2.2.2.3. Sistema de alimentación ininterrumpida
 - 2.2.2.4. Transformadores
 - 2.2.2.5. Unidades de distribución de energía (PDU)
 - 2.2.2.6. Transferencias Automáticas (ATS)
 - 2.2.2.7. Panelboard, Switchboard, Switchgear
 - 2.2.2.8. Cableado eléctrico
 - 2.2.2.9. Canalización eléctrica
 - 2.2.2.10. Protecciones eléctricas
 - 2.2.2.11. Sistema de Puesta a Tierra
- 2.3. Diseño eficiente de centros de datos
 - 2.3.1. Eficiencia energética
 - 2.3.2. Ahorro energético
 - 2.3.3. Normativos y estándares de eficiencia energética

- 2.3.3.1. Norma ISO 50001
- 2.3.3.2. Estándar ASHRAE 90.1

3. EVALUACIÓN DEL MODELO ESTÁNDAR DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE UN CENTRO DE DATOS UTILIZADO EN LA ACTUALIDAD
4. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMECAÑICOS
5. ELABORACIÓN DEL MODELO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE UN CENTRO DE DATOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA
6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN Y MONITOREO ENERGÉTICO DE UN CENTRO DE DATOS A TRAVÉS DE SOFTWARE DCIM
7. ELABORACIÓN DE PLAN DE MEJORA CONTINUA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN CENTRO DE DATOS BASADO EN EL ESTÁNDAR ISO 50001
8. ESTIMACIÓN DE AHORRO ENERGÉTICO Y FINANCIERO
9. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo. En este se hará una propuesta para la elaboración de un modelo de la instalación eléctrica para un centro de datos de alta eficiencia energética, basado en normas y estándares eléctricos y energéticos como los citados en el marco teórico (ANSI TIA, NEC, ASHRAE, ISO 5001).

9.2. Fases del estudio

A continuación, se describen las fases de estudio que se desarrollaran en la presente investigación:

9.2.1. Fase 1: exploración bibliográfica

En esta primera fase se revisará toda la bibliografía pertinente para explicación del tema de estudio y todos sus componentes. Con esta información se establecerán las bases para el diseño de la instalación eléctrica de un centro de datos de alta eficiencia energética, se evaluarán los parámetros esenciales del diseño y de los equipos eléctricos y electromecánicos a considerar en el modelo. También permitirá evaluar los sistemas de gestión y monitoreo energético ideal para el modelo.

9.2.2. Fase 2: evaluación del modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos utilizado en la actualidad

En esta etapa se procederá a realizar visitas técnicas a centros de datos de entidades financieras o industriales, para poder evaluar el modelo de instalación eléctrica utilizado, las consideraciones de eficiencia energética utilizadas en la instalación y el nivel de redundancia implementado en el centro de datos. En la Tabla III se pueden encontrar los criterios de evaluación del centro de datos visitado.

Tabla III. Evaluación de modelo de centro de datos visitado

Descripción	V1	V2	V3
Tipos de UPS´s instalados			
Tipos de Aires Acondicionados instalados			
Nivel de Redundancia en UPS			
Nivel de redundancia en aires acondicionados			
Nivel de redundancia en instalaciones eléctricas			
Tiempo de respaldo (min)			
Dimensiones físicas (mts)			

Fuente: elaboración propia.

Se realizará la medición de parámetros eléctricos, a través de un analizador de calidad de energía en el tablero de distribución principal y secundaria, y en los sistemas de alimentación ininterrumpida, con lo cual se obtendrán los consumos eléctricos del centro de datos. Estas mediciones se realizarán por medio de un analizador de calidad de energía de la marca Fluke como se muestra en la figura 2.

Figura 2. **Analizador de calidad de energía Fluke**



Fuente: Fluke Corporation (1995). *Prueba de Fluke y herramientas de medición.*

En la tabla IV se detallan las mediciones que es posible obtener con este instrumento, con lo cual es posible realizar un análisis de la calidad de energía que se tiene el centro de datos.

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.

9.2.3. Fase 3: evaluación de los equipos eléctricos y electromecánicos

En esta fase se analizarán los equipos eléctricos y electromecánicos considerados en el modelo de la instalación eléctrica de un centro de datos. Se evaluará la tecnología de operación que garantice la mayor eficiencia energética para la situación planteada y que garantice la alta disponibilidad requerida del centro de datos. Estas evaluaciones se realizarán con especificaciones técnicas de los equipos de distintos fabricantes y modelos, y se plantearán las razones de la selección de los equipos.

En la tabla V se enlistan las variables a considerar en la evaluación de los sistemas ininterrumpidos de energía (UPS) que formarán parte del modelo del centro de datos de alta eficiencia energética. Debido a que los centros de datos evaluados tienen cargas distribuidas en corriente alterna, no se evalúan por separado bancos de baterías y rectificadores, debido a que este proceso lo realizan los UPS analizados.

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.

En la tabla VI se enlistan las variables a considerar en la evaluación de las unidades de aire acondicionado que formarán parte del modelo del centro de datos de alta eficiencia energética. Al tratarse de centros de datos, los aires acondicionados analizados se limitan a los de precisión.

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 (mtrs)			
Eficiencia energética			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII se enlistan las variables a considerar en la evaluación de la planta de respaldo que formarán parte del modelo del centro de datos de alta eficiencia energética:

Tabla VII. **Características 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.

En la Tabla VIII se enlistan las variables a considerar en la evaluación de los sistemas de distribución de energía (PDU) que formarán parte del modelo del centro de datos de alta eficiencia energética.

Tabla VIII. **Características del Sistema de Distribución de energía (PDU)**

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			

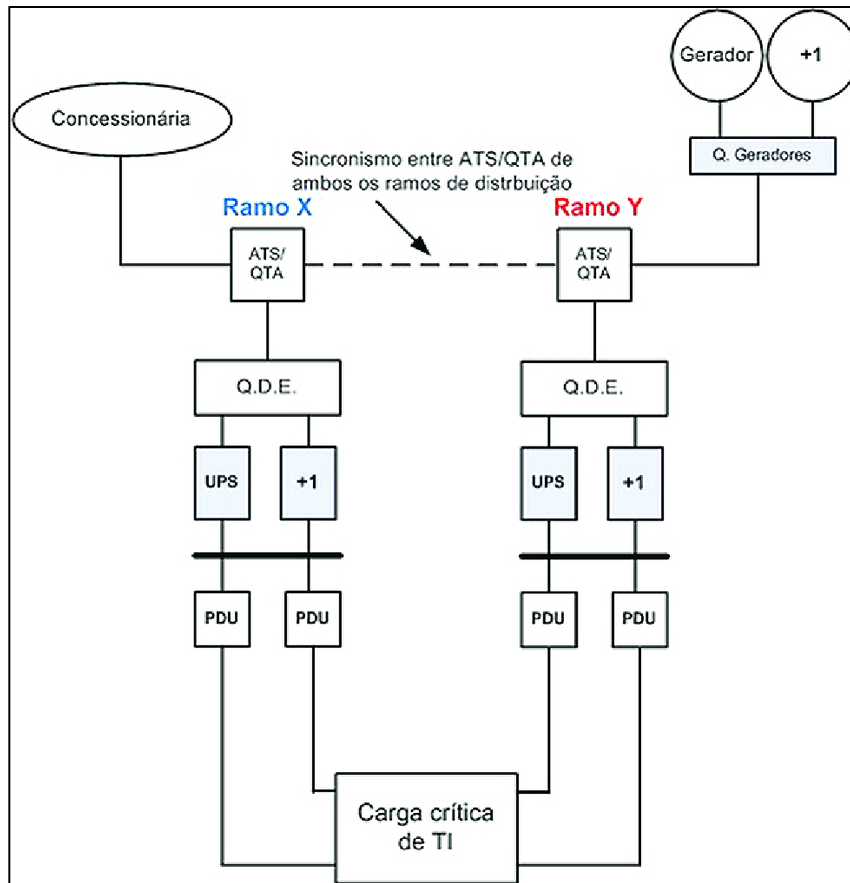
Fuente: elaboración propia.

9.2.4. Fase 4: elaboración del modelo de instalación eléctrica de un centro de datos de alta eficiencia energética

En esta etapa se realizará el modelo de la instalación eléctrica de un centro de datos de alta eficiencia energética en base a las consideraciones previas del diseño y con la aplicación de las normas y estándares eléctricos y de eficiencia energética establecidos en el marco teórico. El modelo por realizar se basa en el estándar ANSI TIA, específicamente el Nivel TIER III de redundancia y disponibilidad, el cual se muestra en la figura 4 y 5. En este nivel se consideran para el diseño eléctrico algunas consideraciones especiales como lo son:

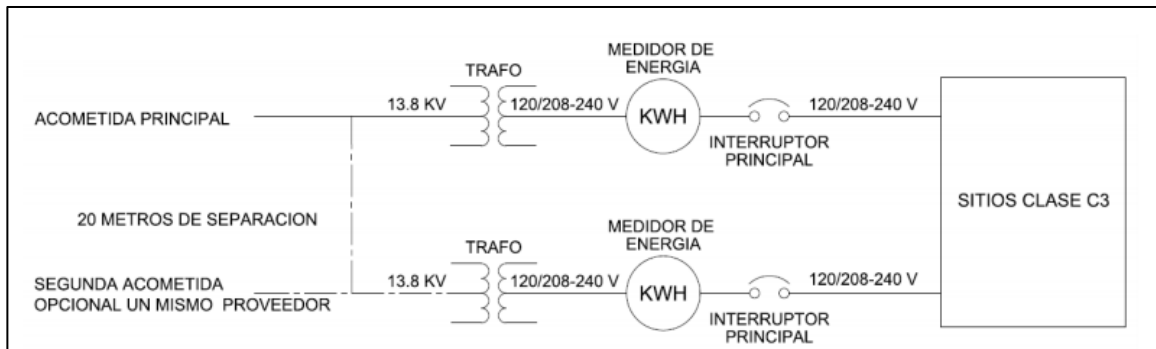
- Grupo Electrónico con capacidad N+1
- Sistema Ininterrumpido de potencia con capacidad N+1
- Múltiples rutas de distribución eléctrica
- Equipo de enfriamiento N+1
- Equipos de TI energizados por dos fuentes de alimentación

Figura 3. Diagrama general de instalación eléctrica TIER III de un centro de datos



Fuente: Fazion (2016). *Conceitos e infraestrutura de datacenters*.

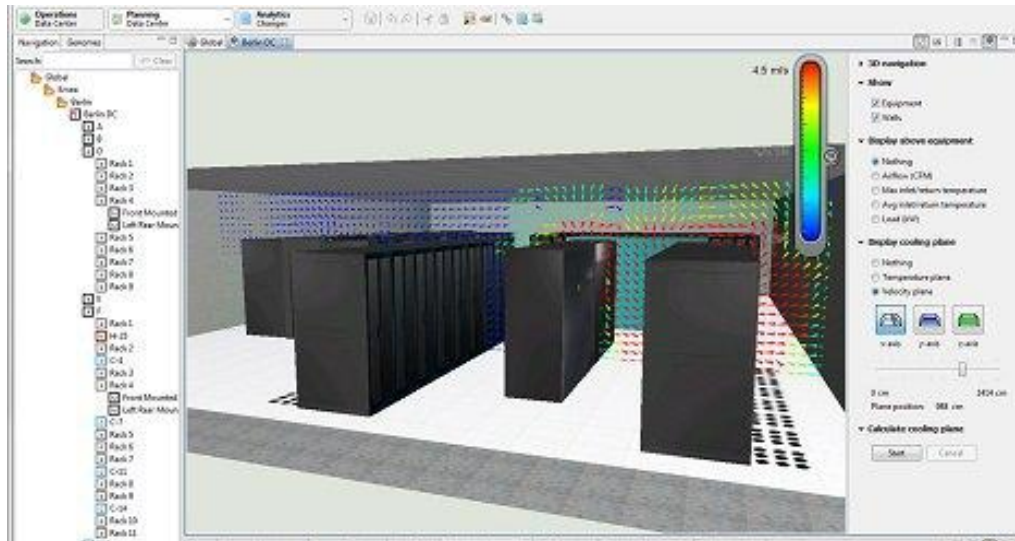
Figura 4. **Diagrama unifilar resumido de fuentes de alimentación eléctrica TIER III**



Fuente: elaboración propia.

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.

Figura 5. **Diseño de centro de datos 3D**

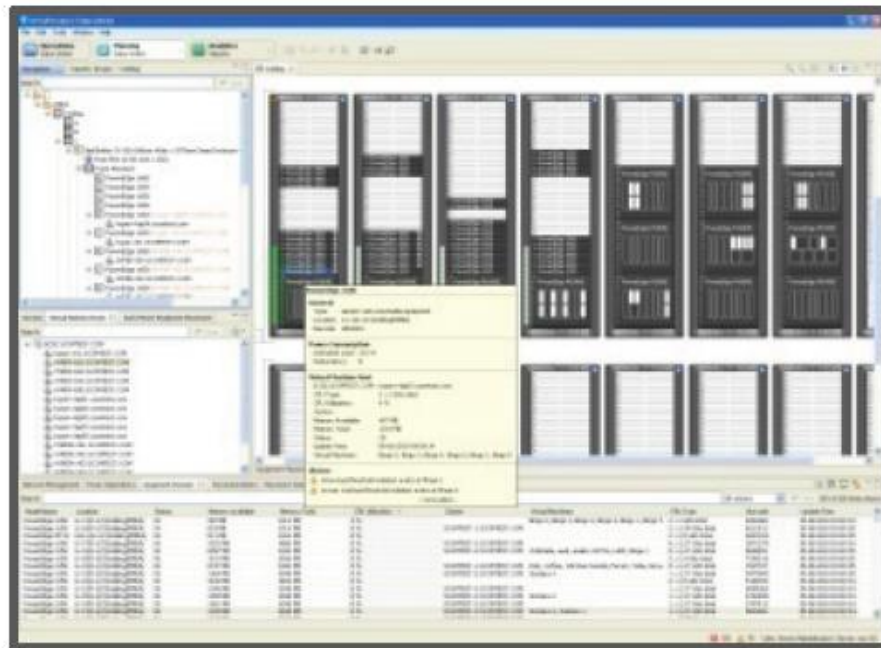


Fuente: Schneider Electric (s.f.). *StruxureWare™ Data Center Operation*. Recuperado de <https://www.se.com/ww/en/product-range/61867-data-center-operation/>

9.2.5. Fase 5: evaluación del sistema de gestión y monitoreo energético de un centro de datos a través de software DCIM

Se evaluará el sistema de gestión y monitoreo energético a utilizar llamado Data Center Infrastructure Management (DCIM), el cual es un sistema capaz de comunicarse con el centro de datos, el edificio y el control con el objetivo de optimizar la administración energética y con ello mejorar la eficiencia energética del centro de datos y reducir costos. Además, permite realizar planificaciones a corto, mediano y largo plazo para la mejor administración energética del sistema.

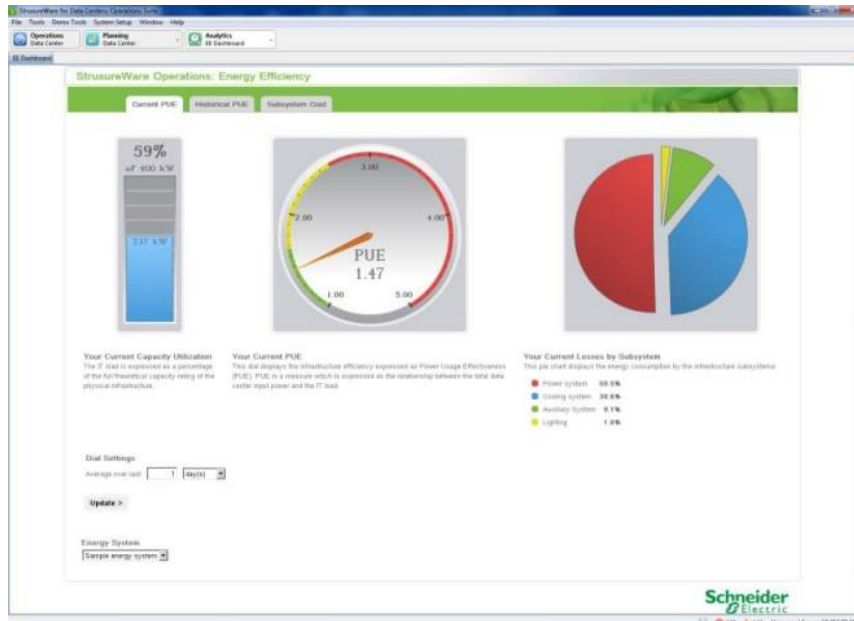
Figura 6. **Sistema de monitoreo y gestión energética en centros de datos DCIM**



Fuente: Schneider Electric (s.f.). *StruxureWare™ Data Center Operation*. Recuperado de <https://www.se.com/ww/en/product-range/61867-data-center-operation/>

El sistema DCIM también permite monitorear en tiempo real cada uno de los equipos que conforma el centro de datos, con lo cual es posible detectar fallas y alarmas tempranas.

Figura 7. Informes de consumos energéticos DCIM



Fuente: Schneider Electric (s.f.). *StruxureWare™ Data Center Operation*. Recuperado de <https://www.se.com/ww/en/product-range/61867-data-center-operation/>

Por medio del sistema DCIM es posible obtener informes diarios, semanales, mensuales y anuales de los consumos energéticos de todo el centro de datos, con lo cual es posible realizar evaluaciones de eficiencia energética en los equipos e instalaciones. También es posible realizar simulaciones para evaluar la viabilidad de futuros cambios de equipos e inversiones financieras.

Como parte del análisis de la eficiencia energética de diferentes centros de datos, se realizará la toma de datos de los consumos energéticos y parámetros eléctricos de tres centros de datos que son administrados por sistemas de gestión y monitoreo energético, los cuales se pueden visualizar en la tabla IX.

Tabla IX. **Parámetros eléctricos en centro de datos monitoreado**

Descripción	M1	M2	M3
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 (%)			
Pérdidas eléctricas (KW)			
Consumo eléctrico (KWh)			

Fuente: elaboración propia.

9.2.6. Fase 6: elaboración de plan de mejora continua de eficiencia energética de un centro de datos basado en el estándar ISO 50001

Se presentará una guía para la mejora continua de la eficiencia energética de un centro de datos basado en el estándar ISO 50001. Este estándar Internacional tiene por objeto apoyar a las organizaciones con el fin de lograr una mejora continua en el rendimiento energético, y de esta manera promover el uso racional y eficiente de la energía para reducir los costes asociados así como las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales relacionados.

El plan de mejora continua de eficiencia energética se basa en los ejes definidos en la tabla X, los cuales se dividen en la documentación necesaria para iniciar el plan, la gestión energética, la operación y la evaluación y revisión final.

Tabla X. Ejes de acción de un plan de gestión energética

DOCUMENTACION
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Alcance <input checked="" type="checkbox"/> Línea de base Energética <input checked="" type="checkbox"/> Indicadores del desempeño Energético KPI <input type="checkbox"/> Política Energética <input checked="" type="checkbox"/> Metas y Objetivos desempeño Energético <input type="checkbox"/> Documento (manual) del sistema de Gestión de la Energía <input type="checkbox"/> Control de la Documentación <input type="checkbox"/> Control de los Registros
GESTIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Representante de la dirección <input type="checkbox"/> Equipo de gestión de energía <input checked="" type="checkbox"/> Perfil Energético <input type="checkbox"/> Requisitos legales y otros <input type="checkbox"/> Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía
OPERACION
<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Compras de energía <input type="checkbox"/> Diseño <input type="checkbox"/> Control de Procesos <input type="checkbox"/> Implementación del Proyecto <input type="checkbox"/> Comunicaciones, capacitación, sensibilización
EVALUACIÓN Y REVISIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Seguimiento, medición y análisis <input type="checkbox"/> Auditorías internas <input type="checkbox"/> Acciones correctivas y preventivas <input type="checkbox"/> Revisión por la dirección

Fuente: ISO 50001 (2018). *Energy management systems standard*.

9.2.7. Fase 7: estimación de ahorro energético y financiero

Se realizará la evaluación del ahorro energético y financiero que podría tener un centro de datos en 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 XI. **Análisis de ahorro energético**

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

Fuente: elaboración propia.

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 vida útil de los componentes electromecánicos del centro de datos.

Tabla XII. **Análisis financiero**

Descripción	Datos
Inversión inicial (Qtz)	
Ahorro económico (Qtz)	
Valor Presente Neto (Qtz)	
Tasa Interna de Retorno (%)	

Fuente: elaboración propia.

9.2.8. Fase 8: presentación y discusión de resultados

En esta fase se presentará los resultados obtenidos de forma resumida y se expondrá una conclusión sobre la viabilidad que tendría el proyecto, tanto en el aspecto financiero como energético.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La recolección de los datos eléctricos a analizar en el centro de datos se realizará en base a dos metodologías. La primera es a través de un analizador de calidad de energía marca Fluke, el cual medirá en el tablero principal del centro de datos durante un día, todos los parámetros eléctricos de voltaje, corriente, potencia, consumo y distorsiones existentes. Posteriormente a través del software propio del equipo se analizarán las gráficas de las mediciones obtenidas.

La segunda metodología es a través de una herramienta de gestión y monitoreo energético 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, 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 y equipos eléctricos.
- 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.
- Gráfica de perturbaciones eléctricas 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 las todas 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 y financiero

11. CRONOGRAMA

Para darle un seguimiento detallado al desarrollo de la metodología, se establecieron tiempos para el cumplimiento de cada una de las fases.

Figura 8. Cronograma de actividades

Actividad	2021																								
	Enero		Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio						
Fase 1: Exploración bibliográfica	■	■																							
Fase 2: Evaluación del modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos utilizado en la actualidad.			■	■	■	■																			
Fase 3: Evaluación de los equipos eléctricos y electromecánicos					■	■																			
Fase 4: Elaboración del modelo de instalación eléctrica de un centro de datos de alta eficiencia energética.							■	■	■	■	■	■	■	■											
Fase 5: Evaluación del sistema de gestión y monitoreo energético de un centro de datos a través de software DCIM.															■	■									
Fase 6: Elaboración de plan de mejora continua de eficiencia energética de un centro de datos basado en el estándar ISO 50001																■	■								
Fase 7: Estimación de ahorro energético y financiero.																		■	■						
Fase 8: Presentación y Discusión de resultados.																						■	■	■	■

Fuente: elaboración propia .

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

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

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

Recurso	Costo
Transporte	Q 750.00
Alimentación en Campo	Q 600.00
Costo de Software	Q 1,500.00
Fotocopias /Impresiones	Q 150.00
Gastos Imprevistos	Q 600.00
Asesor	Q 2,500.00
Total	Q 6,100.00

Fuente: elaboración propia.

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

13. REFERENCIAS

1. Archundia, F. (6 de abril de 2010). *Diseño de protección contra incendio en una planta envasadora de gas licuado de petróleo*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13516/1/Dise%C3%B1o%20de%20un%20Sistema%20de%20Protecci%C3%B3n%20Contra%20Incendio%20en%20un%20Planta%20Envasadora%20de%20Gas%20Licuado%20de%20Petr%C3%B3leo.pdf>
2. ASHRAE. (8 de septiembre de 2019). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
3. Bratu, N. (1995). *Instalaciones eléctricas*. Mexico, México: Alfaomega.
4. Briones, R. (12 de junio de 2009). *Diseño de un centro de procesamiento de datos desarrollando la comparación entre la norma TIER del Uptime institute vs la norma internacional ICREA STD-131*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31139/DISE%c3%91O%20DE%20UN%20CENTRO%20DE%20PROCESAMIENTO%20DE%20DATOS%20DESARROLLANDO%20LA%20COMPARACI%c3%93N%20ENTRE%20LA%20NORMA%20TIER%20DEL%20UPTIME%20INSTITUTE%20VS%20LA%20NORMA%20INTERNA CIONAL%20ICREA%20STD-131.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

5. Castaño, S. (2015). *Protección de sistemas eléctricos*. Bogotá, Colombia: Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación.
6. Cebrián, C. (2014). *Gestión de riesgos operacional en el sector energético*. Madrid, España: Management Solutions.
7. Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas*. México, México: McGrawHil.
8. Circutor. (8 de agosto de 2014). Cómo mejorar la eficiencia en los centros de datos. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://circutor.es/es/documentacion-es/articulos/1248-como-mejorar-la-eficiencia-en-los-centros-de-procesamiento-de-datos-cpds>
9. Comunidad de Madrid. (2006). *Guías de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos*. Madrid, España. MÓSTOLES.
10. Contreras, E. (2011). *Manual básico de aire acondicionado y extracción de aire de uso común en arquitectura*. Cuscatlan, El Salvador: Editorial Francisco Gavidia.
11. Cosentino, L. (noviembre de 2011). Control de accesos conceptos, historia y esquema básico. *RNDS*, vol 172(3), pp. 176-179.
12. Miyuru, D., Yonggang, W., Senior, M. y Rui, F. (septiembre de 2015). Data center energy consumption modeling: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. *IEEE*, vol 18(1), pp. 732-794.
13. Donovan, B. A. (3 de mayo de 2016). Selección de un sistema de gestión de edificios BMS para ubicaciones con Data Center o Sala IT.

[Mensaje de blog]. Recuperado de <https://documentos.Computerworld.es/whitepapers/seleccion-de-un-sistema-de-gestion-de-edificios-bms-para-ubicaciones-con-data-center-o-sala-it>

14. EATON. (2 de marzo de 2010). *Panelboards y Switchboards*. [Mensaje de blog]. Recupeerado de <https://www.eaton.com/us/en-us/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/switchboards.html>
15. Fazion, M. (2016). *Conceitos e infraestrutura de datacenters*. (Tesis de maestría). UnisulVirtual Brasil Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Mauro_Fazion_Filho/publication/319913948_Conceitos_e_infraestrutura_de_datacenters/links/59c165b9a6fdcc69b92bc1ef/Conceitos-e-infraestrutura-de-datacenters.pdf?origin=publication_detail
16. Garrido, E. (2015). *Diseño de infraestructura física del data center*. (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica del Norte, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4330/2/04%20RED%20047%20ART%20C3%8DCULO%20T%20C3%89CNICO.pdf>
17. Grados, R. M. (27 de agosto de 2014). *Seguridad de la información*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.escuelaeuropeaexcelencia.com/2019/08/clasificacion-de-la-informacion-segun-iso-27001/>
18. Guanipa, G. (mayo de 2010). Sistema de Refrigeración. *Universidad Nacional Experimental, vol 1*, pp. 1-22.

19. ISO 50001. (2018). *Energy management systems standard*. USA: UKAS, Management Systems. Recuperado de <https://www.bsigroup.com/globalassets/documents/iso-50001/resources/iso-50001-implementation-guide-web.pdf>
20. ISO Tools. (17 de febrero de 2013). *La Norma ISO 50001:2011 y la Gestión de la Energía*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.isotools.org/pdfs/monografico-ISO-50001.pdf>
21. Landínez, G. A. (2012). *Estudio de sistemas de respaldo de energía eléctrica para cuarto de telecomunicaciones en La Finca Limoncito*. (Tesis de licenciatura). Universidad Católica de Santiago Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8547/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-215.pdf>
22. Lozada, J. O. (2019). *Planteamiento de escenarios de estudio para mejorar la eficiencia energética de centros de datos nivel TIER III tipo contenedor en Colombia*. (Tesis de licenciatura). Universidad de LA Salle. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1270&context=ing_electrica
23. NFPA. (11 de octubre de 2020). *Código Nacional Eléctrico*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.infoteknico.com/nfpa-70-codigo-electrico-nacional-edicion-2020/>
24. Paucar, D. (24 de julio de 2015). Diseño del sistema de suministro eléctrico del Data Center de la UNL, bajo la Norma Tier III. [Mensaje de blog].

Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11401>

25. PROCOBRE. (3 de septiembre de 2015). *Sistemas de puesta a tierra*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/efranco/sistemas-de-puesta-a-tierra-icaprocobre-sep-2015>
26. Rasmussen, N. (2015). *Implementación de la eficiencia energética en los centros de datos*. Schneider Electric. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_NRAN-6LXSHX_ES
27. Ricaurte, D. y Segura, J. (2017). Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas de enfriamiento Freecooling de eficiencia energética para Datacenter. Bogotá, Colombia: Especialización en Gestión de proyectos de Ingeniería.
28. Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C. y Hu, C. (mayo de 2016.). Optimizing energy consumption for data centers. *Renewable and Sustainable Energy*, vol 58, pp. 674-691.
29. Ryttoft, C. (2013). Centros de Datos. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://library.e.abb.com/public/a53d14ca3eea7516c1257c4000329fe8/Revista%20ABB%204-2013_72dpi.pdf
30. Sánchez, C. (2014). *Eficiencia energética*. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA

31. Schneider Electric. (s.f.). *StruxureWare™ Data Center Operation*. [Mensaje se blog]. Recuperado de <https://www.se.com/ww/en/product-range/61867-data-center-operation/>

32. Taltique, A. L. (2006). *Transferencia y sincronización automática de generadores de emergencia en instalaciones industriales*. Guatemala.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema	Objetivos	Variables	Metodología	Plan de acción
<p>Pregunta principal: ¿Cómo diseñar el modelo de la instalación eléctrica de un Data Center de alta eficiencia energética?</p>	<p>Objetivo general: Diseñar el modelo de la instalación eléctrica de un Data Center de alta eficiencia energética basado en los estándares y normativas ANSI/TIA, ASHRAE y NEC.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia eléctrica de Entrada • Potencia eléctrica de Salida. • Eficiencia energética. • Nivel TIER de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propuesta de diseño de la distribución eléctrica de un centro de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica • Modelado
<p>Preguntas auxiliares:</p> <p>1. ¿Cuál es el modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos, utilizado en la actualidad?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Analizar el modelo estándar de la instalación eléctrica de un centro de datos, utilizado en la actualidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia eléctrica de entrada. • Potencia eléctrica de salida. • Eficiencia energética • Consumo eléctrico • Nivel TIER de centro de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de diseños de distintos centros de datos de entidades financieras e industrias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas técnicas. • Análisis técnico.
<p>2. ¿Qué sistema permite gestionar y monitorear el Data Center?</p>	<p>2. Evaluar el sistema de gestión y monitoreo energético de un centro de datos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia • Consumo eléctrico. • Corriente eléctrica. • Tiempo de respaldo. • Nivel de combustible de planta de respaldo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exploración bibliográfica. • Análisis técnico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos de parámetros.

Continuación del apéndice 2.

<p>3. ¿Qué equipos eléctricos y electromecánicos, que garantizan la mayor eficiencia energética en el centro de datos?</p>	<p>3. Evaluar los equipos eléctricos y electromecánicos, que garantizan la mayor eficiencia energética en el centro de datos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo eléctrico • Tecnología de operación. • Eficiencia Energética. • Voltaje y corriente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exploración bibliográfica. • Análisis comparativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de tablas comparativas.
<p>4. ¿Cuál es el ahorro energético y económico que podría tener un centro de datos al aplicar el modelo de instalación eléctrica de alta eficiencia?</p>	<p>4. Estimar el ahorro energético y económico que podría tener un centro de datos al aplicar el modelo de instalación eléctrica de alta eficiencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consumos eléctricos. • Pérdidas de potencia. • Ahorros de energía. • Caídas de tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de la eficiencia energética de centros de datos con diseños basados en normas eléctricas. • Análisis Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas técnicas. • Mediciones eléctricas

Fuente: elaboración propia.

