



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE MISIÓN CRÍTICA CATEGORÍA TIER IV, ENFOCADO EN LA INFRAESTRUCTURA ELECTROMECAÁNICA REDÚNDANTE 2N BASADOS EN LOS ESTÁNDARES BICSI 02-2010 Y OPERACIÓN SUSTENTABLE DE UPTIME INSTITUTE**

**Milton Venancio Mejía Mesías**

Asesorado por el Ing. Víctor Manuel de León Contreras

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE MISIÓN CRÍTICA CATEGORÍA TIER IV, ENFOCADO EN LA INFRAESTRUCTURA ELECTROMECAÁNICA REDÚNDANTE 2N BASADOS EN LOS ESTÁNDARES BICSI 02-2010 Y OPERACIÓN SUSTENTABLE DE UPTIME INSTITUTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MILTON VENANCIO MEJÍA MESÍAS**

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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 PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE MISIÓN CRÍTICA CATEGORÍA TIER IV, ENFOCADO EN LA INFRAESTRUCTURA ELECTROMECAÁNICA REDÚNDANTE 2N BASADOS EN LOS ESTÁNDARES BICSI 02-2010 Y OPERACIÓN SUSTENTABLE DE UPTIME INSTITUTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 6 de junio de 2019.

  
**Milton Venancio Mejía Mesías**



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000Ext. 86226

AGS-MIMPP-008-2017

Guatemala, 26 de septiembre de 2017.

Director  
Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Milton Venancio Mejía Mesías** con carné número **200412500**, quien opto 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 de Ingeniería en Mantenimiento**.

Y si 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 Decimo, 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.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"

MSc. Ing. Victor Manuel De León Contreras  
Asesor (a)

VICTOR MANUEL DE LEON CONTRERAS  
INGENIERO ELECTRICISTA COL. 7739  
FORM. Y EVALUAC. DE PROYECTOS MSc.

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola  
Coordinadora de Área  
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA  
INGENIERA INDUSTRIAL  
COLEGIADA No. 4611

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la



REF. EIME 63.2019.  
3 DE OCTUBRE 2019.

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 y visto bueno del revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE MISIÓN CRÍTICA CATEGORÍA TIER IV, ENFOCADO EN LA INFRAESTRUCTURA ELECTROMECAÁNICA REDUNDANTE 2N BASADOS EN LOS ESTÁNDARES BICSI 02-2010 Y OPERACIÓN SUSTENTABLE DE UPTIME INSTITUTE**, presentado por el estudiante universitario; Milton Venancio Mejía Mesías, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE MISIÓN CRÍTICA CATEGORÍA TIER IV, ENFOCADO EN LA INFRAESTRUCTURA ELECTROMECAÁNICA REDÚNDANTE 2N BASADOS EN LOS ESTÁNDARES BICSI 02-2010 Y OPERACIÓN SUSTENTABLE DE UPTIME INSTITUTE**, presentado por el estudiante universitario: **Milton Venancio Mejía Mesías**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, Octubre de 2019

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi guía en todo momento.
<b>Mi familia</b>	Mi esposa y a mis hijos, por ser el apoyo incondicional en mi vida.
<b>Mis padres</b>	Por ser un ejemplo a seguir de lucha y esfuerzo incansable.
<b>Amigos</b>	Por acompañarme y ayudarme a ver el mundo de una manera mejor.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Donde orgullosamente culmino mis estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por todos los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Descripción.....	9
3.2. Delimitación.....	11
3.3. Pregunta general.....	11
3.4. Preguntas específicas .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. Objetivo general .....	15
5.2. Objetivos específicos.....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
6.1. Generalidades .....	17
6.2. Esquema de solución .....	17
6.3. Diagrama de flujo del esquema de solución .....	19

6.3.1.	Equipos bajo estudio.....	21
6.3.2.	Implementaciones a desarrollar .....	23
7.	MARCO TEÓRICO .....	27
7.1.	Generalidades.....	27
7.1.1.	Generalidades del mantenimiento.....	27
7.1.2.	Importancia del mantenimiento en un centro de procesamiento de datos .....	28
7.1.3.	Funciones del mantenimiento en un centro de procesamiento de datos .....	29
7.2.	Sistema de mantenimiento.....	31
7.2.1.	Actividades de control .....	31
7.2.2.	Inspección o Mantenimiento de Rutina .....	32
7.2.3.	Mantenimiento Periódico o Sistemático .....	33
7.2.4.	Operaciones y control del mantenimiento .....	33
7.2.5.	Costo del mantenimiento.....	34
7.2.6.	Datos de operación .....	36
7.2.7.	Clasificación y gestión del mantenimiento.....	36
7.2.8.	Prioridades de las actividades de mantenimiento y clasificación de equipos.....	37
7.2.9.	Tablas de codificación de equipos .....	38
7.2.10.	Inventario y catastro .....	39
7.2.11.	Mantenimiento correctivo .....	40
7.2.12.	Mantenimiento preventivo .....	41
7.2.13.	Mantenimiento predictivo.....	43
7.2.14.	Mantenimiento productivo total.....	44
7.3.	Herramientas para la optimización de la confiabilidad de los equipos .....	45
7.3.1.	Análisis de causa raíz .....	46

7.4.	Índices de confiabilidad de los equipos .....	48
7.4.1.	Métodos de medición de fallas en el mantenimiento .....	48
7.4.2.	Método cualitativo para análisis de fallas .....	48
7.4.3.	Método cuantitativo para el análisis de falla .....	49
7.4.4.	Índices para medir la eficiencia del departamento de mantenimiento. ....	52
7.5.	Tecnologías de diagnóstico .....	54
7.5.1.	Modelos de inspección .....	54
7.5.2.	El mantenimiento basado en las condiciones (MBC) .....	55
7.5.3.	Mantenimiento por contrato o tercerización .....	56
7.5.4.	Distorsiones de la tercerización .....	57
7.6.	Control estadístico de procesos en el mantenimiento .....	58
7.7.	Condiciones generales de centro de procesamiento de datos y sus estándares.....	58
7.7.1.	Propósito del estándar <i>uptime institute</i> .....	60
7.7.2.	Infraestructura de sitio según el estándar Tier .....	60
7.7.3.	Sistemas de energía y grupos electrógenos.....	68
7.7.4.	Sumario de requerimientos Tier.....	69
7.7.5.	Puntos de diseño de temperatura ambiente de la sala de equipo de cómputo.....	70
7.7.6.	Factores que afectan la eficiencia del sistema de aire acondicionado.....	73
7.7.7.	Paramétricas para determinar la eficiencia de un CPD.....	74
8.	PROPUESTA DE INDICE DE CONTENIDO DE INFORME .....	79

9.	METODOLOGÍA .....	83
9.1.	Diseño .....	83
9.2.	Tipo de estudio.....	83
9.3.	Alcance .....	83
9.4.	Variables e indicadores .....	84
9.5.	Plan de muestreo .....	84
9.6.	Instrumentos de recolección .....	84
9.7.	Fases de la metodología .....	85
9.7.1.	Fase I: levantamiento y adquisición de datos.....	85
9.7.2.	Fase II: análisis de datos y propuesta de plan de mantenimiento.....	85
9.8.	Resultados esperados.....	86
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	87
10.1.	Graficas de estadística descriptiva.....	87
10.1.1.	Lineamientos de estándares internacionales .....	88
11.	CRONOGRAMA .....	89
12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	91
12.1.	Recursos humanos .....	91
12.2.	Recursos físicos.....	91
12.3.	Recurso financiero .....	92
12.4.	Recurso tecnológico.....	92
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del esquema de solución.....	20
2.	Distribución del trabajo.....	53
3.	Diagrama Psicrométrico .....	72
4.	Mezcla de aire frío y caliente en sala de equipo de computación .....	74
5.	Esquema de medición de paramétrica PUE.....	75
6.	Cronograma de distribución de actividades .....	89

### TABLAS

I.	Requerimientos para las cuatro clasificaciones Tier .....	69
II.	Rangos de operación permisibles en centro de procesamiento de datos .....	71
III.	Especificaciones unidades de climatización de 125 kW.....	73
IV.	Equipos de TI de un centro de procesamiento de datos .....	76
V.	Equipos de la infraestructura electromecánica de un datacenter .....	77
VI.	Presupuesto necesario para realizar el estudio .....	93



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Quetzal



## GLOSARIO

<b>BICSI</b>	Building Industry Consulting Service International
<b>Criticidad</b>	Es el estado de una reacción en cadena cuando esta es autosostenible (cuando la reactividad es nula).
<b>CPD</b>	Centro de Procesamiento de Datos
<b>Free cooling</b>	Es la técnica que permite la entrada de aire del exterior dentro de un edificio. Esta técnica se realiza por medios mecánicos y controlados.
<b>Métrica de Power Usage Effectiveness (PUE)</b>	Es una métrica usada para medir la eficiencia de un centro de datos.
<b>Ofimática</b>	Es el conjunto de herramientas, aplicaciones y técnicas informáticas utilizadas en las funciones de una oficina, con el propósito de optimizar y mejorar tareas y procedimientos.
<b>Servicio de TI</b>	El servicio de tecnologías de la información es el conjunto de actividades que responden a la necesidad del cliente. Se realiza por medio del cambio de condición de los bienes informáticos.

**Sistema de climatización**

Conjunto de equipos que controlan variables como temperatura seca, humedad, grado de pureza del aire, velocidad del aire, entre otros.

## RESUMEN

En el presente trabajo se presentan conceptos utilizados tanto en lo que corresponde a la preservación industrial, gestión del mantenimiento y propios de la industria informática, siendo esta industria tecnológica una de las de mayor crecimiento y la cual cada día se tiene mayor dependencias de la utilización de las tecnologías de la información para eficientar procesos, tener una fácil adquisición de datos de operación que le permita tener indicadores claves de desempeño que ayuden a aplicar la mejora continua.

Se presentan la metodología a seguir para poder analizar la gestión del mantenimiento, los alcances y el costo tanto de operación como el de mantenimiento para toda la infraestructura electromecánica con que se cuenta en el centro de procesamiento de datos con certificación de diseño TIER IV del uptime institute, la cuantificación de la eficiencia de los sistemas de energía y climatización por medio del PUE.

Teniendo cuantificado el costo económico que representa operar a diferente nivel de eficiencia se evidencia el impacto directo al costo de operación que tiene a operarse a altos valores del PUE, mientras más bajo sea el valor del pue más cercano a 1, es el que representa el costo más bajo de operación y ayuda a minimizar el desgaste de los equipos y menor requerimiento de tareas de mantenimiento preventivo mejorado con el mantenimiento predictivo por el tipo de información que estos proveen.

Se presenta la metodología para poder realizar un análisis de criticidad y clasificación de activos, alcances e instructivos que debe de tener cada activo

del sistema de energía y climatización, poder determinar un programa de mantenimiento para un sistema electromecánico de un centro de procesamiento de datos.

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio, realizado en un centro de procesamiento de datos de misión crítica, con diseño categoría TIER IV respecto a la topología de su infraestructura electromecánica, redundancia 2N en equipos, operación activo-activo del estándar Uptime Institute. Este centro, ubicado en la ciudad de Guatemala, presta servicios de tecnologías de la información y *cloud computing*, a solidas entidades del sector industrial y banca de Guatemala, El Salvador, Honduras y Panamá.

Tiene como objetivo realizar un análisis de la gestión del mantenimiento que se cuenta de todos los equipos principales que conforman el sistema electromecánico. Y utilizar los datos de su sistema de monitoreo para la implementación de indicadores de desempeño que corresponden a la gestión del mantenimiento y la sistematización de todos sus procedimientos, basados en estándares internacionales para lograr una operación eficiente y sustentable.

Todo centro de procesamiento de datos está dotado de equipos eléctricos e informáticos, independientemente de su capacidad instalada, requieren de un mantenimiento integral que conste de actividades de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de su infraestructura electromecánica. Por lo que, una gestión sistematizada, donde debe contarse con un procedimiento que admita la adquisición y el almacenamiento de los datos recabados en cada actividad que permita utilizarlos posteriormente para su interpretación y análisis de resultados con el objeto de promover la mejora continua. Presentando resultados positivos respecto al aprovechamiento del uso de los recursos y

buenas prácticas, este análisis se puede replicar en las industrias nacionales que tienen bajos niveles de eficiencia energética en sus centros de procesamiento de datos por no contar con una topología adecuada de su infraestructura electromecánica y una adecuada gestión del mantenimiento.

Siendo el tiempo de inactividad de un centro de datos operativo el que mayores pérdidas económicas representa, es importante detectar prematuramente cualquier causa que podría resultar en una falla de un equipo crítico del sistema electromecánico que pueda provocar la indisponibilidad parcial o total del centro de datos. En la actual gestión se evidencia una falla de equipo que no ha afectado la disponibilidad de la operación, pero sí ha incrementado el costo de operación y mantenimiento. Al tener solamente un programa de mantenimiento preventivo, no se cuenta con indicadores de tiempos de fallas como los son el tiempo promedio entre fallas (MTBF), confiabilidad, probabilidad de falla entre otros.

El objetivo final de analizar la gestión de la infraestructura electromecánica es proponer un programa sistematizado basado en estándares internacionales, que busca mejorar la calidad de la gestión del mantenimiento y facilitar, sobre todo, la adquisición de parámetros de operación que puedan brindar indicadores de eficiencia, tanto para el sistema de energía como el de climatización.

Se propone un modelo de procedimientos con formularios de acceso en línea como lo es *Google Forms* para la adquisición de datos de todas las actividades de mantenimiento; y también, el modelo de elaboración y escaneo de código QR de diferentes colores para la elaboración de las distintas órdenes de trabajo e inspecciones por medio de un teléfono móvil. Este modelo brindará información exacta de la fecha y la hora al cual pueden aplicarse modelos

estadísticos para representar la disponibilidad, nivel de eficiencia, porcentaje de carga de cada equipo y de todo el sistema, tiempos de autonomía, entre otros. De esta manera automatizar la generación de reportes y gráficos generados por tablas dinámicas con los datos adquiridos.

Se contempla realizar un levantado de datos de todos los equipos y sus componentes principales, en conjunto con los procedimientos actuales de mantenimiento, para realizar un análisis de criticidad e identificar la técnica de monitoreo de condición que mejor información provea del estado de los componentes de las unidades de aire acondicionado de precisión, equipo eléctrico y electrónico. Con los datos documentados se realizará un análisis de Pareto acerca de las fallas registradas; y un diagrama de causa raíz sobre el mayor porcentaje de fallas para realizar un procedimiento de ejecución de mantenimiento que tenga los alcances de las técnicas de monitoreo de condición y ensayos no destructivos.

En el capítulo I se describirán los alcances de los niveles TIER del estándar de topología de la infraestructura electromecánica de centros de procesamiento de datos, el tiempo de inactividad permisibles para cada nivel del estándar y las rutinas recomendadas de mantenimiento del estándar BICSI 02-2010. Así mismo, los tipos de mantenimiento predictivo, preventivo y predictivo, detallando las técnicas de monitoreo de condición que pueden aplicarse a los equipos de la infraestructura de un centro de procesamiento de datos y los indicadores para la planificación y gestión del mantenimiento, incluyendo el análisis de causa raíz.

En el capítulo II se describirán las actividades que se requerirán para realizar un correcto levantamiento de datos para el estudio de campo; la presentación y discusión de los resultados con base en los datos obtenidos,

incluyendo las recomendaciones indicadas en el estándar Operación Sustentable del *Uptime Institute* BICSI 02-2010, para poder elaborar los alcances de un programa de mantenimiento predictivo que incluyan los puntos indicados en el estándar internacional. Toda gestión de mantenimiento debe evolucionar a fin de maximizar y evidenciar con procedimientos lógicamente estructurados el potencial de la infraestructura instalada, y que a su vez minimiza el tiempo de inactividad durante el tiempo total de operación del centro de procesamiento de datos.

## 2. ANTECEDENTES

Contar con un correcto programa de mantenimiento preventivo y predictivo se traducirá en mayor tiempo de disponibilidad en un determinado equipo, altos niveles de confiabilidad y eficiencia de un sistema, “Esto se traducirá en mejores beneficios económicos para la empresa, mayor valor agregado al proceso de producción y elevar la moral del personal, es indispensable tener procesos que defina la forma de ejecutar las actividades de mantenimiento” (Loarca, 2007, p.5). Además de tener un registro periódico de las actividades y fallas que se generan en los sistemas que están involucrados en una línea de producción, para la conservación y preservación de los equipos.

La constante evolución de los programas de mantenimiento llega a tener un alcance acorde a las necesidades y requerimientos reales de los equipos involucrados en un proceso mecánico de refrigeración. Teniendo en cuenta la demanda de energía requerida, es necesario tener el conocimiento y utilizar las técnicas de monitoreo de condición. Estas actividades son indispensables para poder prolongar el periodo entre los mantenimientos preventivos y con ello la reducción del costo y la disminución del desgaste por constante manipulación de los equipos. El monitoreo de condición se define como "La medición de las variables de los equipos que se consideran representativas de la condición de éstos, comparándolas con patrones establecidos se puede dar un diagnóstico de su estado" (Puertas, 2007, p.10).

En la operación continua de un centro de procesamiento de datos se toman las consideraciones técnicas que deben evaluarse en un sistema de climatización, el cual es el de mayor consumo energético y el costo que

representa tener una disponibilidad de la operación y mantenerla en niveles que sean comprobables con certificaciones internacionales. Para poder mantener las condiciones ambientales necesarias para la correcta operación de los equipos. Con técnicas de monitoreo como el estudio termográfico y de calidad de energía aportan importante información para poder determinar los puntos donde se tiene mezcla de aire frío con caliente dentro de los gabinetes de los equipos (Tripp-lite, 2015)

En el manual de operación y mantenimiento de unidades de aires acondicionado de precisión Liebert DA125 y Mini-Mate2 describe los requerimientos mínimos de operación de todos los componentes y propone un programa de mantenimiento con los alcances y periodicidad, la cual en el programa actual no se cumplen totalidad los puntos requeridos por el fabricante. También recomienda que solo personal debidamente entrenado pueda manipular las actividades de mantenimiento para evitar daños en los componentes vitales, sistema eléctrico y sistemas auxiliares que comprende las unidades de aire acondicionado de precisión. Emerson Network power (2010).

El tema del calentamiento global es un punto importante a tratarse en la operación de cualquier industria, es indispensable que se tengan sistemas sustentables y amigables con el medio ambiente, al tener un sistema electromecánico operando de forma ineficiente, se tendrá un impacto al medio ambiente ya que el centro de procesamiento de datos es de operación continua 24 horas al día, 365 días del año. Por tal motivo es necesario tener estudios periodos de la eficiencia energética para identificar las fuentes que generan tanto ineficiencia como la calidad de la energía en el sistema eléctrico para poder alcanzar la máxima eficiencia en la operación y disminución del costo de operación. (Uddin & Rahman, 2012).

Los profesionales que diseñan los centros de procesamiento de datos también tienen que enfocarse en la operación de data center para tener las condiciones energéticas y ambientales adecuadas y describen criterios que pueden utilizarse para poder medir la eficiencia energética en centro de procesamiento de datos, los cuales pueden implementarse para poder gestionarse métricas que pueden dar un panorama completo del desempeño de una instalación, indican los niveles de eficiencia energética que debe de tener un centro de procesamiento de datos dependiendo su categoría (TIER I a TIER IV), pudiendo tener desde baja eficiencia hasta una alta eficiencia, teniendo 5 niveles para poder categorizarlos (Uddin & Shah, 2013).

La necesidad de establecer la utilización de la métrica de PUE para determinar el nivel de eficiencia de un centro de procesamiento de datos el cual está relacionado directamente al consumo de los equipos de cómputo y los equipos que soportan la operación de los equipos de cómputo ya que es una industria dinámica con constante crecimiento alrededor de 15% anual, y esto conlleva a generar grandes cantidades de CO<sub>2</sub> lo cual es un peligro para la conservación del medio ambiente contribuyendo con el calentamiento global (Alsaqour et al., 2012)



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción**

A medida que el mundo digital crece, para toda industria un Centro de procesamiento de datos es fundamental para agilizar sus procesos administrativos y de producción haciendo uso de los sistemas de tecnologías de la información, siendo la disponibilidad el de mayor impacto en la operación y producción de cualquier compañía, por las transacciones y servicios en línea que se vean afectados al no estar disponibles los servidores y equipos de telecomunicaciones que realizan la transmisión y procesamiento de los datos, operaciones que dependen directamente de las condiciones óptimas de operación de los sistemas de energía y climatización por la dependencia directa de estos recursos que tienen todos los equipos electrónicos para su correcta operación, siendo el sistema de climatización el de mayor consumo energético dentro de un centro de procesamiento de datos.

Dentro del sistema electromecánico que opera 24 horas al día los 7 días de la semana se encuentra el sistema de energía que se encarga de mantener constantemente un suministro de energía eléctrica regulada a los equipos por medio de transformadores de potencia, generadores de emergencia y UPS. El sistema de climatización que se encarga de suministrar un flujo de aire libre de partículas a temperatura y humedad relativa constante hacia los equipos electrónicos de TI, el proceso de realizar la transferencia de calor generado por los servidores y equipos de telecomunicaciones por medio de las unidades de aires acondicionados de precisión.

Las unidades de aires acondicionados de precisión están complementados por subsistemas mecánicos que utilizan energía eléctrica para poder realizar el trabajo necesario dentro de los que se encuentran: Compresores herméticos de gas refrigerante, válvulas de expansión de control electrónico, ventiladores centrífugos y de conmutación electrónica (EC Fan's), bombas centrifugas de refrigerante, humidificadores por bulbos infrarrojos y de tipo botella, etc. Siendo críticos cada elemento que comprende cada subsistema ya sea eléctrico o de climatización, por la dependencia que tienen los equipos de TI tanto de energía eléctrica como de climatización para poder operar.

En el año 2016 al tener todos los equipos de energía y climatización 3 años de operación se tienen registros en bitácoras de mantenimientos correctivos recurrentes, fallas en varios compresores de distintas unidades, desajustes en los sensores de temperatura y humedad de los sistemas de control, baja eficiencia en el consumo de energía eléctrica con base a los parámetros del fabricante en las condiciones climáticas en las cuales se utilizan.

Todas las fallas se han presentado teniendo un plan de mantenimiento preventivo ejecutado por empresas de outsourcing el cual tiene un alto costo por el costo fijo de mantenimiento preventivo y el variable por los mantenimientos correctivos y a esto se le suma el costo de los mantenimientos correctivos ejecutados que no están dentro de un presupuesto y que son gastos imprevistos, poniendo en riesgo de tener inactividad del mismo lo que representa pérdidas millonarias por cada hora que esté inactivo, a su vez la pérdida de credibilidad hacia los usuarios de los servicios de TI.

Las fallas que ha presentado el sistema de climatización es resultado de tener deficiencia en las técnicas de ejecución y los alcances que contempla el programa de mantenimiento preventivo, la falta de competencias del personal

que ejecuta los mantenimientos y al no realizar un análisis de causa raíz de las fallas registradas. A falta de indicadores de desempeño de los equipos y la falta de implementación de nuevas técnicas de mantenimiento que contengan la utilización de equipos de medición adecuados, las fallas continuarán ocurriendo, se mantendrá la baja eficiencia del consumo de energía eléctrica que reflejara un alto costo de operación y mantenimiento.

### **3.2. Delimitación**

El presente estudio se delimitará a los equipos de infraestructura electromecánica del centro de procesamiento de datos con certificación nivel de diseño TIER IV, ubicado en la zona 4 de Mixco en la ciudad de Guatemala, teniendo acceso a los equipos, actividades e información relevante y necesaria para llevar a cabo el estudio que tendrá una duración de 8 meses.

A consecuencia de los problemas suscitados salen las siguientes preguntas:

### **3.3. Pregunta general**

¿Cuál es la gestión de mantenimiento adecuado para la infraestructura electromecánica del centro de procesamiento de datos de alta disponibilidad categoría TIER IV?

### **3.4. Preguntas específicas**

¿Qué técnicas de monitoreo de condición o estrategia puede implementarse para evitar la falla prematura y bajo rendimiento de los compresores de las unidades de aires acondicionados de precisión,

Generadores de emergencia, transformadores de potencia, UPS, del centro de procesamiento de datos?

¿Qué factores externos podrían afectar en la baja eficiencia de consumo energético de las unidades de aire acondicionado de precisión?

¿Cuáles son los alcances que deberá de tener el programa de mantenimiento que contemple la adquisición de datos para el uso del análisis de la causa raíz de las fallas?

¿Qué herramienta de ofimática on-line podrían utilizarse para agilizar las inspecciones de técnicas VOSO de rutinas diarias que provean datos que posteriormente puedan analizarse y realizar estadísticas y cálculo de KPI's con los datos de campo?

## **4. JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio se realiza teniendo como línea de investigación prioritaria la gestión del mantenimiento que corresponde al área administrativa de la ingeniería del mantenimiento para lograr una actualización en los procesos y adaptación de estándares internacionales acorde a las características del centro de procesamiento de datos de misión crítica, una gestión de mantenimiento con mejora continua es de vital importancia para lograr un buen desempeño tanto del personal de mantenimiento como la correcta preservación industrial de los equipos que conforman la infraestructura electromecánica.

Dado que en un centro de procesamiento de datos de misión crítica se requiere una alta disponibilidad y un alto nivel de eficiencia de operación y mantenimiento de los equipos, es fundamental la implementación de técnicas de monitoreo de condición, debido a que el alcance del mantenimiento preventivo no es suficiente para poder obtener los parámetros que son indispensables para mantener y prolongar la vida útil de los componentes principales de los equipos y mantenerlos en óptimas condiciones, para esto es necesario describir las técnicas de mantenimiento predictivo que aplican para los equipos eléctricos, electrónicos y electromecánicos que comprenden la infraestructura electromecánica, logrando extender la periodicidad entre cada mantenimiento preventivo y de esta manera poder predecir y corregir cualquier evento con efectos catastróficos que pudiera suscitarse.

El aplicar todas las técnicas de mantenimiento desde el correctivo, preventivo y predictivo se logra tener un plan de mantenimiento acorde a las necesidades de los equipos involucrados en mantener la operación de los servidores y equipos de telecomunicaciones involucrados en el procesamiento y transmisión de información, lo cual al tener fallas en equipos críticos que afectan la disponibilidad de un servicio se ve traducido en un alto costo por las reparaciones que se tengan que realizar, el costo por multas de incumplimiento de acuerdos de niveles de servicio y aunado a esto la duda sobre las características de diseño del centro de procesamiento de datos el cual impacta directamente con el crecimiento y preservación en la demanda de los servicios.

La elaboración del plan de mantenimiento sistematizado que establezca la forma de poder calcular e implementar indicadores claves de desempeño (KPI), aportará a toda compañía que tenga su centro de procesamiento de datos a tener una correcta gestión del mantenimiento que permita al profesional encargado de dichas tareas a tener los procedimientos para la adquisición, almacenamiento y análisis de datos para la representación cuantitativa y cualitativa de los mismos.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Analizar la gestión de mantenimiento en el centro de procesamiento de datos de misión crítica categoría TIER IV, enfocado en la infraestructura electromecánica redundante 2N basados en los estándares BICSI 02-2010 y Operación sustentable de Uptime Institute.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Identificar las técnicas de monitoreo de condición que pueden implementarse al programa de mantenimiento a la infraestructura del sistema eléctrico y de climatización del centro de procesamiento de datos categoría TIER IV en el municipio de Mixco de la ciudad de Guatemala.
- Describir los factores externos que afectan directamente a la eficiencia energética de las unidades de aire acondicionado de precisión del centro de procesamiento de datos y su impacto al indicador de eficiencia total.
- Establecer nuevos alcances del plan de mantenimiento definiendo los procedimientos de las actividades y periodicidad adecuadas para los distintos componentes de las unidades del sistema electromecánico utilizando como referencia el estándar BICSI 02-2010.
- Identificar una herramienta de ofimática on-line que agilizará las inspecciones y adquisición de datos de campo de inspecciones diarias

por su fácil uso y que permita la adquisición y almacenamiento de datos para su posterior análisis.

## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

### **6.1. Generalidades**

Para que un centro de procesamiento de datos pueda operar con alta disponibilidad bajo estándares internacionales de diseño Tier IV, debe de contar con una certificación de acreditación que valide la eficacia operativa y de administración que otorga el *uptime institute* a quienes cuentan con la certificación de diseño, la cual abarca un conjunto de parámetros de referencia y las mejores prácticas que apoyan las operaciones eficaces de los centros de datos, es necesario para ello la implementación de políticas y procedimientos sistemáticos que sean documentados, cumpliendo todos los requerimientos de dicho estándar se garantiza un nivel de disponibilidad de 99.999 por año del centro de procesamiento de datos.

### **6.2. Esquema de solución**

En relación a una correcta gestión del mantenimiento, el presente estudio aportará las bases técnicas, administrativas y estratégicas para poder realizar la documentación que abarque los instructivos de operación y mantenimiento de cada equipo como lo requiere el estándar operación sustentable del *uptime institute*, tomando en cuenta el factor humano respecto a la capacidad técnica y analítica del personal que ejecuta las actividades de operación y mantenimiento del sistema electromecánico para poder implementar mejoras y actividades de capacitación, evaluación de proveedores, programas de seguridad industrial y salud ocupacional.

Las actividades que se realizarán en el centro de procesamiento de datos inicia con la elaboración de un listado de activos que contenga información relevante como son los valores nominales de operación, tiempo de estar en operación, periodo de mantenimiento, las fallas y reparaciones que se hayan suscitado en los equipos de la infraestructura electromecánica, se realizará un estudio de calidad de energía del sistema eléctrico regulado para validar las condiciones de regulación del sistema ininterrumpido de potencia.

Teniendo el listado de equipos se realizará la clasificación de los componentes más críticos de los mismos realizando un análisis de criticidad de los equipos y sus subsistemas que los conforman para poder establecer las técnicas de monitoreo de condición que se propondrán para ser incluidos al plan de mantenimiento.

En el tema ambiental, se prevé realizar un análisis económico para poder implementar sistemas de climatización ambientales para disminuir la temperatura de succión de las unidades condensadoras para lograr condiciones de temperatura que maximicen la eficiencia en el consumo de energía eléctrica con la operación del sistema actual de *free cooling* indirecto. Con dichos datos se determinara el procedimiento para calcular la huella de carbono y el porcentaje de disminución de la huella de carbono que puede lograrse utilizando equipos de climatización que sean amigables con el medio ambiente para que se tenga una operación sustentable.

Para darle mayor utilidad a los datos adquiridos en las inspecciones VOSO que se realizan todos los días a los equipos de infraestructura en los dos turnos actuales, las cuales son registradas en *check list* llenados de forma manual en hojas de papel, no se realiza ningún análisis estadístico de los datos adquiridos, para ello es necesario que se digitalicen para su análisis posterior,

podría ser visualizado y llenado a través de una conexión a internet desde un *smartphone* y pueda brindar parámetros de la eficiencia de la operación del datacenter posterior a realizar cada inspección de turno.

Los datos que sean proveídos por el ingeniero encargado de realizar el *check list* se vinculará un archivo del tipo XLS que contendrá la base de datos que el cual se actualiza inmediatamente al terminar de llenar el formulario lo cual proporcionará una tendencia de los valores que pueden ayudar a establecer el comportamiento de la disponibilidad y la demanda, mantener parámetros de referencia para determinar un comportamiento anormal de los parámetros de operación de los equipos de energía y climatización.

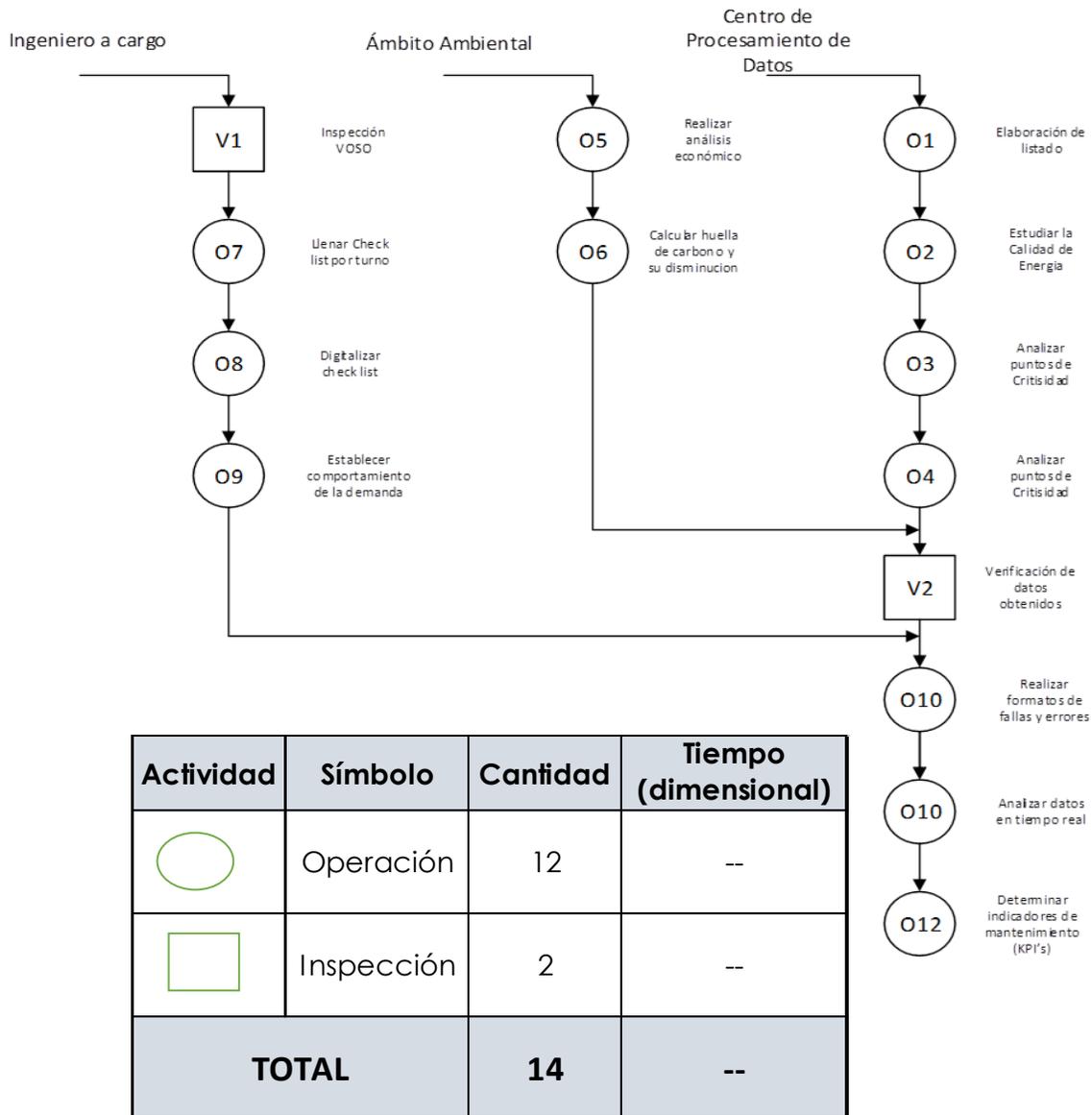
Realizar la complementación de los formatos de registro de fallas e incidentes para poder realizar un análisis de causa raíz que proporcionen datos de tiempos reales y el tipo de la falla para poder determinar indicadores de mantenimiento (KPI's); MTBF (tiempo medio entre falla), MTTR (Tiempo de reparación), disponibilidad, probabilidad de falla, entre otros. Con el monitoreo de condición podrá provisionarse un stock de repuestos, tiempos de ejecución y cumplimiento del plan de mantenimiento. Implementación de análisis de Pareto trimestral de incidentes y fallas que se generen en los sistemas de energía y clima del centro de procesamiento de datos y generar un diagrama de Ishikawa para el análisis de causa raíz.

### **6.3. Diagrama de flujo del esquema de solución**

El siguiente diagrama de flujo representa el proceso a seguir para obtener un agestión optima dentro del centro de procesamiento de datos, se consideran tres aspectos importantes dentro de la gestión de la operación y mantenimiento los cuales son: La infraestructura que estará en continua operación, las

condiciones ambientales de operación de los equipos y el personal de infraestructura quien será la encargada de recolectar toda la información de campo para su posterior análisis.

Figura 1. Diagrama de flujo del esquema de solución



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 6.3.1. Equipos bajo estudio.

El análisis se delimitará en estudiar los siguientes equipos que operan en un sistema eléctrico en los niveles de 13,200, 480 y 208/120 Voltios de corriente alterna a frecuencia nominal de 60 Hz.:

- 1 Celda de media tensión (*switchgear*) 13.8 kV. 630 Amps con transferencia manual para dos acometidas independientes.
- 2 transformadores de potencia tipo pedestal (*padmounted*) de 500 kVA 13,200/480 VAC.
- 2 Tableros principales con Interruptores termomagnéticos principales de 800 Amp para Bus eléctrico A y B.
- 2 generadores de emergencia de 450 kVA, 480 VAC, con sistema de trasiego de combustible automático.
- 2 Sistemas de transferencia automática de 800 Amp. 480 VAC.
- 2 UPS de 250 kVA. 480 VAC.
- 2 unidades inteligentes de distribución de energía (PDU) regulada de 300 kVA 480/208-120 VAC, con transformadores de factor K-20.
- 4 tableros inteligentes de distribución de energía regulada 120-208 VAC. 168 polos. 720 Amp, con medición de corriente de los 168 polos cada uno.

- 4 unidades de aire acondicionado de precisión de 40 TR (Toneladas de refrigeración) con control de microprocesador.

Cada uno con los siguientes componentes:

- Sistema de refrigeración compuesto por 2 compresores herméticos tipo scroll digital de capacidad variable y 2 compresores scroll de capacidad fija por cada unidad.
  - Sistema de ventilación compuesto por 3 ventiladores de conmutación electrónica (EC Fans).
  - Sistema de humidificación por lámparas ultravioleta.
  - Sistema de bombeo centrífugo de refrigerante de 8 unidades.
  - Sistema de 4 unidades condensadoras con 6 ventiladores de conmutación electrónica (EC Fans) cada uno.
- 6 unidades de aire acondicionado de precisión de 8 TR (Toneladas de refrigeración).

Cada uno con los siguientes componentes:

- Sistema de refrigeración compuesto por 2 compresores herméticos tipo scroll de capacidad fija por cada unidad de 3 y 5 TR respectivamente.
- Sistema de ventilación compuesto por 1 ventilador centrífugo
- Sistema de humidificación resistivo de tipo botella.

Teniendo en el sistema de climatización un total de 28 compresores que comprenden unidades críticas de climatización del centro de procesamiento de datos, 6 ventiladores centrífugos y 36 ventiladores de conmutación electrónica, siendo estos los que mayor problemas han presentado.

Es necesario realizar un análisis técnico para la implementación de las técnicas de monitoreo de condición porque se requiere realizar una inversión para la adquisición de equipo y capacitación para la utilización de los mismos, para la actualización de la gestión de mantenimiento se realizara en dos etapas, se tiene estimado que el estudio iniciara con la primera etapa realizando el análisis del sistema de gestión actual que tomara un periodo de 4 meses que corresponderá de Noviembre de 2,016 a Febrero de 2,017 para poder tener un registro de las actividades que se llevan a cabo por parte del personal técnico que ejecuta las actividades de mantenimiento, verificando el tiempo y el costo que representa el mantenimiento por activo.

La segunda etapa se tiene previsto realizar la propuesta acorde a los requerimientos del fabricante, recomendaciones del estándar BICSI 02-2010 para cada equipo y los alcances de documentación y digitalización de la información basado en el estándar operación sustentable del *uptime instute*, considerando el tiempo de operación de los mismos por lo que se iniciarían a ejecutar todas la documentación para presentar el plan propuesto en el mes de Junio de 2,017. Para completar el periodo de estudio que corresponderá en un periodo de 8 meses.

### **6.3.2. Implementaciones a desarrollar**

Los puntos que se analizarán y que del cual surgirán las propuestas que se adecúen a la gestión.

- Elaboración de lista y clasificación de activos por criticidad.
- Cuantificación de mantenimientos y categorización de los mismos.
- Elaboración de procedimientos de operación, mantenimiento y contingencia de equipos críticos.
- Realizar estudio de calidad de energía del sistema regulado.
- Elaboración de listado de KPI's que requieren implementarse, identificando los datos requeridos y elaborando el formato para cada uno.
- Implementar una metodología para tener registros de consumos energéticos para determinar la eficiencia máxima de los equipos.
- Implementar un sistema de medición con monitoreo remoto para tener el consumo de los servicios generales y de esta manera poder cuantificar tanto el consumo como el comportamiento de la demanda de los equipos de climatización e iluminación. Resaltando los beneficios económicos que conllevará la adquisición del mismo.
- Implementar mejoras en los alcances y metodología utilizada en la ejecución de mantenimiento y capacitar al personal técnico encargado de ejecutar los mantenimientos acerca de puntos de gestión del mantenimiento y técnicas de monitoreo de condición.
- Para evitar la mezcla de aire frío con aire caliente dentro de la sala de equipo de cómputo y mezcla de ambiente interior con el exterior, sellando las partes donde existe mezcla de aire.

- Realizar un estudio termográfico para detectar puntos donde se tiene fuga de aire frío y entradas de aire caliente tanto del exterior como de salas aledañas al centro de cómputo.
- En base a los resultados del estudio termográfico, elaborar el plan y presupuesto de las implementaciones que mitiguen el problema y ayuden a mejorar la eficiencia energética del sistema de climatización.
- Supervisar la correcta ejecución de mantenimientos implementando indicadores de desempeño de la gestión del mantenimiento de la infraestructura electromecánica.
- Capacitar al personal técnico en las áreas de electricidad y electrónica que comprenden los equipos.
- Capacitar al personal acerca de las técnicas de mantenimiento predictivo.
- No rotar al personal que ejecuta el mantenimiento preventivo durante la realización del estudio.
- Evaluar el tiempo adecuado entre cada rutina de mantenimiento de cada equipo tomando en cuenta el tiempo de operación y la condición de los componentes de cada equipo,
- Para todos los equipos a las recomendaciones tanto del fabricante, del estándar BICSI y que cumpla con los requerimientos de operación sustentable del estándar del *uptime institute*.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Generalidades**

En el siguiente capítulo se describirá de manera general los conceptos relacionados al mantenimiento y su evolución en la industria, los alcances que comprende cada tipo de mantenimiento, se describe el alcance y los objetivos de las clasificaciones TIER del diseño de la infraestructura para centros de procesamientos de datos que hoy en día son el elemento fundamental que impulsa el desarrollo tecnológico y social de un país.

#### **7.1.1. Generalidades del mantenimiento**

Al final de los años 90, las industrias de países occidentales tenían como principal objetivo obtener el máximo de rentabilidad para una inversión dada. Sin embargo, con la llegada de productos de origen oriental en su mercado, el consumidor pasó a ser considerado un elemento importante porque podía exigir calidad de los productos y servicios que adquiría, el factor “calidad” del producto o servicio se convierte en una necesidad en las compañías para mantenerse competitivas, especialmente en el mercado internacional.

En el año de 1975, la Organización de las Naciones Unidas definía como actividades de mantenimiento a toda aquella actividad final de cualquier entidad que este organizada y debe de considerarse que la producción abarca tanto la Operación como el mantenimiento. Tavares (2000, p.10)

En términos muy generales, puede afirmarse que las funciones básicas del mantenimiento se pueden resumir en el cumplimiento de todas las actividades necesarias para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso. La concreción de esta definición tan amplia dependerá de diversos factores entre los que puede mencionarse el tipo de industria así como su tamaño, la política de la empresa, las características de la producción, e incluso su

### **7.1.2. Importancia del mantenimiento en un centro de procesamiento de datos**

Su importancia en la industria radica en la función que desempeña al disminuir o minimizar el riesgo de que ocurra una falla, ruptura o quiebre buscando la conservación de los equipos, edificios y activos del negocio. En toda empresa que presta servicios de tecnologías de la información, *cloud computing*, data center virtuales y hospedaje u otro tipo de empresa la finalidad según Galván (2012, p. III a V) es crecer según y competir en un mercado globalizado, donde la alta disponibilidad y confiabilidad que puedan ofrecer es el elemento clave para obtener certificaciones internacionales que ayudan a cumplir su finalidad para la cual fueron concebidas como un proyecto financiero que se pronostica que para el año 2017 el mercado de los servicios en la nube tendrán una facturación de US\$ 250 mil millones según la consultora *Gartner* por el incremento en la demanda que genera los dispositivos móviles inteligentes y el desarrollo de nuevas aplicaciones para estos, donde el mantenimiento tiene un importante valor, tanto en mantener la alta disponibilidad como la eficiencia operativa de todo los sistemas involucrados en soportar la infraestructura que mantiene la operación continua.

En términos muy generales Monroy (2012, p.18 - 22) afirmar que las funciones básicas del mantenimiento se pueden resumir en el cumplimiento de todos los trabajos necesarios para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso. La concreción de esta definición tan amplia dependerá de diversos factores entre los que puede mencionarse el tipo de industria así como su tamaño, la política de la empresa, las características del producto, entre otros.

Debido al crecimiento y la necesidad de las tecnologías de la información para el manejo e interpretación de todos los datos que se adquieren en campo y analizan posteriormente respecto al mantenimiento siendo algunas: órdenes de trabajo, gestión y de todas las actividades tanto correctivas, preventivas y predictivas, gestión de repuestos y materiales, control de costes por departamento o equipo, etc. Con el uso de la tecnología se pueden interpretar estos datos y convertirlos en información útil para en torno a la toma de decisiones, según García (2012, p. 28 – 36)

### **7.1.3. Funciones del mantenimiento en un centro de procesamiento de datos**

Por su parte García (2012, p. 28 – 36) define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento. El objetivo fundamental del mantenimiento no es pues reparar urgentemente las averías que surjan, el departamento de mantenimiento de una industria tiene sus objetivos que marcan y dirigen su trabajo para cumplir determinados valores de disponibilidad y confiabilidad hablándose de una correcta conservación de los activos de una empresa.

Por su parte Monroy (2012, p.18 – 26) identifica el campo de acción de las actividades de un departamento de mantenimiento puede incluir las siguientes responsabilidades:

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Intervenir en los proyectos de modificación del diseño de equipos e instalaciones.
- Llevar a cabo aquellas tareas que implican la modificación o reparación de los equipos o instalaciones.
- Instalación de nuevo equipo.
- Asesorar a los mandos financieros y de operaciones.
- Velar por el correcto suministro y distribución de energía.
- Realizar el seguimiento de los costes de mantenimiento.
- Preservación de locales, incluyendo la protección contra incendios.
- Gestión de almacenes.
- Proveer el adecuado equipamiento al personal de la instalación
- Confiabilidad de los equipos.

Una de las manera para maximizar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional es a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento logrando optimización de cosas mediante diferentes herramientas, técnicas y filosofía del mantenimiento que

ayudan a identificar automáticamente que debe hacerse para garantizar que los activos fijos continúen haciendo lo que quiere el usuario en el contexto operacional actual. En términos generales permite distribuir en forma efectiva los recursos asignados a la gestión del mantenimiento tomando en cuenta la importancia de los activos en el contexto operacional y los posibles efectos y consecuencias de los modos de falla de estos activos sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones según Vera (2011, p.32)

## **7.2. Sistema de mantenimiento**

(Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363) define que el sistema de mantenimiento es un conjunto de componentes que trabajan hacia un objetivo común de forma ordenada. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción, las cuales la cuales tendrán las actividades de planeación, actividades de organización y actividades de control, es necesario que se cuente con un programa de administración orientada a la calidad y a la capacitación constante.

En el aspecto de organización de empresas, se puede definir un Sistema como un conjunto de procesos que interactúan y se relacionan para alcanzar objetivos definidos, formados por un conjunto de tareas ejecutadas de forma ordenada. Tavares (2000, p.11).

### **7.2.1. Actividades de control**

Galván (2012, p. 14) Como resultado aparecen efectos negativos relacionados con las variables que afectan directamente el desempeño de la empresa:

- La Eficiencia en el proceso de producción.
- Los Costos de Producción.
- La Calidad del producto y el Ritmo de Trabajo.
- La Confiabilidad de la empresa (cumplimiento de contratos).

Estas variables están relacionadas directamente con las actividades de operaciones. Por ello dentro de las operaciones y los objetivos principales del mantenimiento busca cumplir con:

- Optimizar la disponibilidad del equipo productivo y Recursos humanos.
- Disminuir los Costos de mantenimiento.
- Maximización de la Vida Útil de los activos.

Su estructura organizacional varía de acuerdo a las necesidades y factores de la empresa, como pueden ser: tamaño de la empresa (pequeña, mediana o grande), tipo de producción (bienes y/o servicios) y tipo de proceso productivo (alimentos, cárnicos, metalúrgica, etc.). Se pueden dividir en base a las habilidades y actividades a realizar dentro del área, las más comunes son

Un sistema eficaz de operación y control del mantenimiento es la columna vertebral de una sólida administración del mantenimiento. El control del mantenimiento significa coordinar la demanda de mantenimiento y los recursos disponibles para alcanzar un nivel deseado de eficacia y eficiencia (Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363).

### **7.2.2. Inspección o Mantenimiento de Rutina**

Servicio caracterizado por la alta frecuencia y corto tiempo de ejecución, para la mayoría de estas actividades suelen utilizarse únicamente los atributos

del personal de mantenimiento con los sentidos humanos y sin ocasionar ningún paro o modificación de un equipo. Tavares (2000, p.22)

### **7.2.3. Mantenimiento Periódico o Sistemático**

Se le llama a toda actividad donde el equipo a trabajar es puesto fuera de servicio, tras estar en operación, se realizan mediciones, ajustes y si amerita el cambio de piezas, en función de un programa con los alcances preestablecidos a partir ya sea de la experiencia operativa o recomendaciones de los fabricantes o referencias externas Tavares (2000, p.22)

### **7.2.4. Operaciones y control del mantenimiento**

Un sistema de órdenes de trabajo de mantenimiento es el primer paso para la planeación y el control de mantenimiento, las cuales deberán ser elaboradas a medida que abarquen todos los datos de operación de los componentes de los equipos. Y los cuales deben ser conservados sus registros tanto para la elaboración de reportes y para el análisis histórico de las condiciones de operación en un determinado tiempo, datos que ayudarán a optar por el tipo de mantenimiento requerido y los alcances que estos deberán tener. (Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363) Un buen control del mantenimiento ayudara a la reducción de costos del mantenimiento.

Tavares (2000, p.44) Una orden de trabajo es una fuente de datos relativos a las actividades desarrolladas por el personal de ejecución de mantenimiento, debe incluir el tipo de actividad, su prioridad, falla o el defecto encontrado y cómo fue reparado, duración, los recursos humanos y materiales utilizados, y otros datos que permitan evaluar la eficiencia de la actuación del mantenimiento y sus implicaciones con costos y programación. Las Órdenes de

trabajo suelen ser específicas referente al tipo de equipo y sistema utilizado en una industria, estas suelen ser en función de la actividad, el tipo de organización, la cantidad de equipos y mano de obra que posee.

### **7.2.5. Costo del mantenimiento**

Galván (2012, p. 19) Los costos de mantenimiento pueden componerse de la suma de todos los gastos que se requieren para la aplicación y su desempeño, durante un período de tiempo. Podemos clasificarlos en:

- Costos directos

Son aquellos que se producen como resultado directo de los trabajos de mantenimiento como son:

- Mano de obra utilizada.
- Repuestos, materiales especiales, refacciones o aditamentos específicos.
- Otros gastos generales: energía eléctrica, administración, etc.

Para los gastos de energía eléctrica y otros gastos administrativos al contabilizarse, se puede planificar en base a ello. El análisis de costos directos puede ampliarse y generalmente se dividen los gastos entre Costo del Mantenimiento Correctivo y Costos del Mantenimiento Preventivo, con la finalidad de establecer el efecto, gastos y efectividad de las actividades de cada una. Como se espera por regla, con una mayor intervención y mejor aplicación del mantenimiento preventivo, se observará un menor esfuerzo en mantenimiento correctivo.

- Costos indirectos
  - Los costos que se generan como consecuencia de fallas en los equipos:
  - Costos y/o multas por incumplimiento con los clientes y contratos.
  - Elevar el número de horas extra ordinarias para cumplir con el programa de producción y la entrega.

Formación de cuellos de botella en la línea de producción que provoca: una disminución de producción; la sub-utilización de la maquinaria y mano de obra; la acumulación de producto en proceso, congestión de áreas de trabajo, deterioro del producto, desperdicio y mayor inversión en capital de mano de obra y/o materia prima.

Mala calidad: la maquinaria sigue funcionando, produciendo artículos de mala calidad, con defectos que en algunos casos no pueden ser reparados.

- Costo de mantenimiento por el valor de reposición

Tavares (2000, p.57) El valor de reposición de un equipo resulta de la relación entre el costo acumulado referente a mantenimiento de un determinado equipo y el valor del equipo nuevo.

- Costo de Mantenimiento por Facturación

Tavares (2000, p.57) Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el periodo considerado.

- Costo relativo con personal propio

Se refiere a la relación entre el total de gastos del personal propio y el costo total del área de mantenimiento para un determinado intervalo de tiempo. Tavares (2000, p.68).

#### **7.2.6. Datos de operación**

Para permitir el procesamiento de información relativa a los informes de gestión de equipos y costos (facturación cesante), debe ser previsto el registro de los datos provenientes de operación, que deberán constar básicamente de: horas de funcionamiento de los equipos por período de control (horizonte), pérdida o reducción de la producción debido al mantenimiento, además de la referencia a cada intervención, normalmente hecha a través de la indicación del número de la orden de trabajo. Tavares (2000, p.50)

#### **7.2.7. Clasificación y gestión del mantenimiento**

Se llama Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo, al proceso de correlación de los códigos de los equipos con la periodicidad, cronogramas de ejecución de las actividades programadas, instrucciones de mantenimiento, datos de medición, centros de costos, códigos de material y cualquier otro dato, juzgado por el usuario como necesario para actuar preventivamente en los equipos, Tavares (2000, p.37).

Galván (2012, p.14 – p16) De acuerdo con la Comunidad Latinoamericana de Mantenimiento, identifica que las consecuencias por la falta de mantenimiento pueden clasificarse en cuatro grupos principales:

- Fallas Ocultas.
- De seguridad y Medio Ambiente.
- Operacionales.
- No operacionales.

Sin embargo la evolución de la organización y las actividades del departamento que realiza se pueden generalizar a través del Sistema de Gestión de Mantenimiento, el cual conforma toda la información de las intervenciones que se realizan antes, durante y después del proceso; integra los diferentes tipos de mantenimiento que se realizan y las herramientas que utiliza para su desarrollo.

#### **7.2.8. Prioridades de las actividades de mantenimiento y clasificación de equipos**

Tavares (2000, p.23 – p.24) En la propuesta de como categorizar en divisiones terminológicas de mantenimiento de la ONU, se categoriza el término de "mantenimiento de emergencia", generalizada en las industrias como sinónimo de mantenimiento correctivo, debido a el tiempo para atención del equipo de mantenimiento con la condición operativa del equipo. Es necesario tener asignada una prioridad a ser dada en la ejecución del mantenimiento para un equipo, también es asunto polémico en su subdivisión. la prioridad de todas las actividades es caracterizado como: "el periodo de tiempo que haya transcurrido entre el requerimiento y el inicio de una actividad. En los órganos de mantenimiento se establecen cuatro niveles subsecuentes para ese intervalo de tiempo:

- Prioridad nivel 1 actividades de emergencia: se refiere a la necesidad de la ejecución de un mantenimiento correctivo que debe ser realizado inmediatamente después de detectada su necesidad.
- Prioridad nivel 2 actividades de urgencia: cuando las actividades de mantenimiento deben ser realizado lo más pronto posible, sin superar las primeras 24 horas después de haber iniciado la necesidad.
- Prioridad nivel 3 requerimientos necesarios: se refiere a las actividades de mantenimiento que pueden ser ejecutado algunos días posteriores de haber detectado su necesidad pero que su ejecución no deberán superar una semana.
- Prioridad nivel 4 requerimientos deseables: se comprende como todas las actividades de mantenimiento que puede ser postergados por semanas (4 ó 5) pero no pueden dejar de hacerse.
- Para complementar la clasificación de prioridades, se categoriza un quinto nivel que identificará las actividades que serán ejecutados solo si se tiene disponibilidad del personal de mantenimiento.
- Prioridad nivel 5 prorrogable: mantenimiento que puede dejar de ser ejecutado.

### **7.2.9. Tablas de codificación de equipos**

Uno de los recursos más utilizados por los actuales sistemas de gestión es el establecimiento de procedimientos de codificación de los equipos, la utilización de tablas son útiles para lograr cumplir con los objetivos comunes de

las diferentes áreas. Desde la concepción de los primeros sistemas de gestión surgieron campos específicos para códigos, cada uno con una finalidad específica, como la identificación de los grupos de equipos con mismas características de construcción, el equipo en el proceso productivo, los documentos asociados a los equipos etc. Con la utilización de la computadora en el almacenamiento y tratamiento de la información, la codificación pasó a ser fundamental en dos aspectos: la búsqueda de mayor rapidez de procesamiento (rendimiento del sistema) y consecuentemente, la necesidad de condensar y correlacionar informaciones en un número reducido de símbolos y la estandarización de las formas de expresión, Tavares (2000, p.26).

#### **7.2.10. Inventario y catastro**

Para implementar un sistema de control del mantenimiento, el primer paso del proyecto es iniciar la recopilación de datos, el cual aportará información importante para la identificación y codificación de los elementos que componen un sistema industrial. Con esto se tendrá el inventario de equipos, datos que correlacionaran cada equipo y/o componente con su respectiva área de aplicación, la función que realiza, el centro de costos y la posición física o geográfica en el área de producción, información vital que ayuda al personal de la gerencia o encargada de la administración del mantenimiento. Tavares (2000, p.29 – p.30) La utilización de los equipos de operación y mantenimiento, cualificación requerida del personal, la definición de instrumentos, herramientas y máquinas. Por lo tanto, el Catastro reúne para cada equipo:

- Los datos técnicos del fabricante, manuales de operación y mantenimiento, catálogos y dimensiones,
- Datos de compra, comprende información del valor de adquisición de un bien, solicitudes, presupuesto, fechas y costos.

- Datos de origen del bien, datos del fabricante, proveedor local o importación, tipo y modelo.
- Datos de transporte y almacenamiento tanto las dimensiones físicas como las del peso.
- Datos de operación, se refiere a los parámetros normales y límites.
- Datos de mantenimiento, descripción de insumos necesarios para la preservación de un bien, como los son los lubricantes, repuestos de uso general, curvas características de vida útil, recomendaciones de los fabricantes.

#### **7.2.11. Mantenimiento correctivo**

Cuando se presenta algún tipo de falla durante el proceso o funcionamiento de alguna máquina, se moviliza el equipo de mantenimiento preparado y capacitado para solucionar el problema en el menor tiempo posible con el fin de que la producción continúe. Galván (2012, p.14 – p16) Generalmente no es posible trasladar la máquina o equipo al taller por lo que la reparación se realiza en el mismo lugar. Es utilizado como parámetro de medición en relación a la efectividad del departamento. Galván (2012, p.14 – p16) Es el indicador principal de la eficiencia del trabajo realizado, al reducirse el número de intervenciones por correctivos se refleja el resultado de aplicar los otros métodos de mantenimiento. Los requisitos mínimos necesarios para que se reduzcan los tiempos de intervención en los equipos, así como los paros de proceso a causa de este tipo de mantenimiento son:

- Personal de mantenimiento capacitado o especializado con la experiencia en el área.
- Contar con repuestos y materiales de uso más frecuente en el stock de almacén.

- Tener la herramienta necesaria y de la maquinaria crítica o poco común se vuelve un aspecto clave para obtener buenos resultados en cualquier reparación de maquinaria.

### **7.2.12. Mantenimiento preventivo**

(Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363).El mantenimiento preventivo es el enfoque preferido para la administración de los activos ya que ayuda en los siguientes factores:

Ayuda a prevenir a la aparición de una falla prematura, o bien poder reducir la frecuencia con que esta suceda.

Al detectar una posible falla ayuda a reducir la severidad de la falla y mitigar las consecuencias que conllevaría el suceso de la misma. Debe proporcionar un aviso de una falla inminente o incipiente lo cual hace posible realizar una reparación planeada, lo que beneficia en la reducción del costo global de todas las actividades de mantenimiento.

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de reducir los costos del mantenimiento correctivo y todo lo que éste representa. Galván (2012, p.14 – p17) Pretende disminuir los tiempos de reparación correctiva mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Fue creado durante la segunda guerra mundial en las aplicaciones militares, la evolución del mantenimiento preventivo se basó en la inspección de los aviones antes de cada vuelo y en el cambio de algunos componentes en función del número de horas y condiciones de operación. Lo más importante de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, programar la corrección en el momento oportuno.

- Ventajas
  - Confiabilidad en todos los equipos al operar en condiciones óptimas de seguridad y de funcionamiento.
  - Disminución del tiempo muerto de un determinado proceso.
  - Al tener una reducción de actividades de mantenimiento correctivo se reflejará en una disminución de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, para la adquisición de los insumos necesarios para llevar a cabo las actividades correctivas.
  
- Desventajas
  - Como todo buen proyecto requiere de una inversión inicial para la adquisición de infraestructura y mano de obra.
  - Las actividades dentro de los planes de mantenimiento se deben realizar por técnicos especializados para reducir las fallas por error humano.
  - Al no tener una correcta administración del mantenimiento se sobrecarga el costo total del mantenimiento sin lograr mejoras sustanciales en la disponibilidad y sustentabilidad de una compañía.
  - Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en tiempo ocasionan una falta de motivación en el personal.

### **7.2.13. Mantenimiento predictivo**

En los últimos años se han realizado estudios relativos referente a la confiabilidad de los equipos, lo que atrae la atención de especialistas en diversos ramos de empresas, que administran el área de mantenimiento, en general se puede clasificar que el mantenimiento predictivo es ejecutar el mantenimiento preventivo en equipos en el momento exacto, en que estos interfieren en la confiabilidad del sistema.

Se entiende por Control Predictivo de Mantenimiento, la determinación del punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, o sea, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle. Tavares (2000, p.84).

El mantenimiento predictivo se basa la inspección frecuente de las maquinas o equipos para predecir la falla antes de que ésta se produzca. Se utilizan herramientas para su verificación, análisis de vibraciones y ruidos, pero la habilidad del inspector en conjunto con el historial del equipo y la inspección, juegan el papel más importante para la predicción. Galván (2012, p.14 – p17)

- Ventajas
  - La intervención en el equipo o cambio de un elemento dentro del periodo final de vida útil.
  - Nos obliga a dominar el proceso y a contar con datos técnicos más profundos, comprometiéndose con la aplicación de un método científico de trabajo riguroso y objetivo.

- Desventajas
  - Es necesario personal con capacidades analíticas que tengan la capacidad de interpretar los datos que generan los equipos para llegar a la solución más eficiente.
  - Por el costo que tiene la implementación de este sistema, es bien justificado para instalaciones o máquina donde los paros imprevistos provocan pérdidas económicas y en el peor de los casos pérdidas humanas, las paradas innecesarias originan grandes costos.

#### **7.2.14. Mantenimiento productivo total**

Tiene su fundamento en "la reformulación y la mejora de la estructura empresarial a partir de la reestructuración y mejora de las personas y de los equipos", con el compromiso de todos los niveles jerárquicos. Tavares (2000, p.99)

Se origina en Japón en el *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las pérdidas en los equipos, con la finalidad de hacer más rentable la producción "Justin Time", la cual tiene como objetivos primordiales la eliminación gradual y sistemática de desperdicios. También agrega los conceptos antes desarrollados como el Mantenimiento: Preventivo, Planeado, Mejorable, Predictivo y mantenimiento Correctivo (éste último como un indicador). Pero el que ha resultado de gran importancia para el sistema agregado por los japoneses es el Mantenimiento Autónomo, el cual es ejecutado por los propios operarios de producción, buscando la participación activa de todos los empleados, desde los altos cargos hasta los operarios de planta.

Objetivos principales del TPM son:

- Reducción de averías en los equipos.
- Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.
- Utilización eficaz de los equipos existentes.
- Control de la precisión de las herramientas y equipos.
- Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.
- Formación y entrenamiento del personal.
- Los 5 puntos principales del TPM son:
- Conseguir el uso más eficaz del equipo (mejora la efectividad global).
- Establece un sistema de mantenimiento preventivo y reingeniería para cada equipo.
- Establecer un sistema de mantenimiento autónomo que se realice por los operarios.
- Establecer cursos de formación (capacitación) permanente a los trabajadores que aumenten su nivel técnico.
- Establecer un sistema para que el desarrollo de mantenimiento productivo y la gestión temprana del equipo.

### **7.3. Herramientas para la optimización de la confiabilidad de los equipos**

Las principales herramientas que se utilizan para la gestión de activos, las cuales contribuyen a la confiabilidad de los equipos son las siguientes:

- Análisis de Criticidad (CA): es una técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Vera (2011, p.32)

- El análisis y modos de efectos de falla (FMEA): es una metodología que permite determinar los modos de efectos de falla de los componentes de un sistema y la frecuencia con que se presentan. Vera (2011, p.33).
- El análisis de Causa Raíz (RCFA): el análisis de causa raíz es un proceso sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigarlos o eliminarlos. Vera (2011, p.34)

### **7.3.1. Análisis de causa raíz**

García (2005, p.1 – p.11) expresa que es una técnica basado en un funcionamiento sistemático que se utiliza con el propósito de determinar cuáles son las causas que originan las fallas, los impactos y la frecuencia que suceden, teniendo identificado las causas se puede tomar acciones que ayuden a mitigarlos o eliminarlos. Es una de las actividades de más importancia de la ingeniería de confiabilidad, dado a que las fallas nunca se planean, toman por sorpresa al personal de mantenimiento y producción, porque casi siempre originan producción perdida, hallar el problema subyacente o la raíz de la causa de las fallas provee a la empresa una solución al problema, y elimina el enigma del porque fallan los equipos, una vez que se han identificado las causas raíz, se puede ejecutar su plan correctivo.

La identificación de estas raíces y la generación de acciones para eliminarlas previenen la recurrencia de problemas o fallas; en beneficio se obtienen reducción de gastos y pérdidas de producción, asociada a fallas, mejoramiento de la eficiencia, rentabilidad y productividad de los procesos. Cáceres (2009, p.1 – p.17)

Vera (2011, p.33-41) Dentro de las técnicas de confiabilidad que combina los métodos de medición de falla cuantitativo basado en los análisis estadísticos, se convierte en una herramienta muy útil para la eliminación de causas de fallas de una manera rápida y eficaz. Al disminuir considerablemente las fallas se lograra mantener una mayor confiabilidad integral del proceso de producción por reducción en el número de averías, también se optimizara el volumen de trabajo al reducir las actividades reactivas.

Se describen tres niveles de categorización de análisis de causa raíz para solucionar de forma definitiva un problema.

- Causa raíz física: en esta categoría están todos los elementos de tienen un origen físico y que afectan directamente la continuidad en la operación de un equipo dentro de una planta. Dentro de las causas encontradas este nivel no se encuentra la verdadera causa que genera la falla, representara un punto principal de partida para poder localizar la raíz de la falla.
- Causa raíz Humana: todos los errores cometidos por el factor humano son considerados en esta categoría y que inciden de forma directa o indirecta en la ocurrencia de las fallas, en este nivel es posible que se encuentre la causa raíz de la falla.
- Causa raíz latente: abarca todos los problemas que nunca hayan ocurrido pero son factibles que pueda ocurrir, dentro de este nivel se puede dar entre por la falta de procedimiento para puesta en marcha o apagado de un equipo, el personal que ejecuta las actividades de mantenimiento sin capacitación adecuada, inapropiada operación, entre otros.

## **7.4. Índices de confiabilidad de los equipos**

El tener el conocimiento exacto de cómo está funcionando un equipo, independientemente de su aplicación es un aspecto crucial que influye directamente sobre la calidad, disponibilidad y seguridad de una línea de producción. según Galván (2012). Pueden surgir diversas preguntas cuando ocurren las siguientes situaciones:

- ¿Con que efectividad está trabajando un equipo dentro de un sistema?
- ¿Cuál es la eficiencia de operación de cada equipo o sistema?
- ¿Qué ocurre si se tiene indisponibilidad?

### **7.4.1. Métodos de medición de fallas en el mantenimiento**

Vera (2011, p.35-37) por su parte indica que los análisis que pueden realizarse tanto cualitativos y cuantitativos, deben de contar con procedimientos que permitan recolectar todos los datos en torno a una investigación, los datos recolectados deberán de ser registrados y almacenados de forma ordenada de tal manera que puedan interpretarse de forma correcta para poder comprender y determinar la causa de una falla o un determinado problema.

### **7.4.2. Método cualitativo para análisis de fallas**

Dentro de los métodos de análisis se encuentra el método cualitativo para el análisis de un problema o falla, es aplicado en la ingeniería de mantenimiento para determinar las causas que originan las fallas en un proceso, sistema o equipos mediante la utilización de técnicas tanto de observación como de verificación, entre ellas podemos mencionar las entrevistas no estructuradas, la formulación de lluvia de ideas, entre otras. Los métodos cualitativos deben ser

sistemáticos y lógicos, cada uno tiene un procedimiento claro a seguir, dentro de estos métodos resalta el Análisis de Causa raíz (ACR). Vera (2011, p.38).

### **7.4.3. Método cuantitativo para el análisis de falla**

Los métodos cuantitativos para el análisis de falla se basan en el estudio de la estadística e indicadores asociados al proceso evaluado, siendo usual el empleo de modelos matemáticos rigurosos y de gráficas para la presentación y análisis de los datos. Su fundamento está en encontrar la probabilidad de que ocurra una falla y pronosticar que puede suceder en el futuro para tomar decisiones, es decir, expresar en términos probabilísticos las fallas de los equipos, esto se puede realizar por medio de registros históricos de los procesos, sistemas y equipos. Vera (2011, p.35).

Dentro de los métodos cuantitativos que pueden aplicarse se describen a continuación:

- Análisis de Pareto

El método o análisis de Pareto que también es conocido como análisis ABC, es una herramienta de categoría avanzada genérica de mantenimiento que ayuda para identificar y categorizar datos, el fin primordial es mostrar que elementos comprenden un tema que se esté analizando. Este método permite mediante una representación gráfica o tabular mejor conocida como diagrama de Pareto, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor. Al aplicar este tipo de análisis se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia, mediante la aplicación del principio como la regla 80/20 que dice que hay muchos problemas sin importancia los cuales ascienden al 80% frente

solo a unos graves que representan únicamente el 20% del total de los problemas registrados. Al determinar cuáles son los factores vitales que representan las fallas graves, se puede enfocar todo el recursos en el análisis y con la ayuda del análisis de causa raíz se resuelve la mayoría de los problemas de mayor afectación, con ello se consigue la máxima eficacia y rendimiento de los recursos dedicados al mantenimiento. Vera (2011, p.36).

Como se ha mencionado el objetivo del análisis de Pareto es identificar los problemas crónicos que afectan directamente a la disponibilidad y productividad, la aplicación de este método solo está limitada por el ingenio del analista o encargado de la gestión del mantenimiento, herramienta que ayudan a los siguientes aspectos:

- Identifica las oportunidades de mejora para incrementar la productividad y disminuir el costo en mantenimiento correctivo.
  - Identifica aquellos elementos o equipos que fallan de forma recurrente y que afectan directamente en la disponibilidad y productividad de un sistema.
  - Clasifica de forma ordenada los distintos tipos de datos.
  - Encontrar las causas principales que dan origen a los problemas y con ello se puede establecer la prioridad de las soluciones.
- Tiempo medio hasta el fallo- *Mean Time To Failure* (MTTF.)

Cuanto más tiempo un equipo está en operación, es más alta la probabilidad de que falle debido al envejecimiento de sus componentes. Al tiempo que transcurre hasta la ocurrencia de una falla se le denomina el tiempo medio hasta la falla de un componente o equipo. Una previsión estadística para medir el tiempo promedio entre fallas, es decir, el lapso de tiempo en el que se

presenta la falla del componente, con el supuesto de que el sistema de modelado de errores no se repara. Cuanto mayor es el MTTF de un componente, menos probable es que falle. MTTF es el número total de horas de servicio de todos los dispositivos dividido por el número de dispositivos.

$$\text{MTTF (Mean time to failure)} = \frac{\text{Total de horas de servicio de todos los dispositivos}}{\text{Número de dispositivos}}$$

- Tiempo promedio entre fallo - *Mean Time Between Failures* (MTBF)

El tiempo medio entre falla nos indica el intervalo de tiempo más probable entre una operación normal y la aparición de una falla, es decir, es el tiempo transcurrido desde un estado operativo normal hasta la aparición de una falla que provoca la indisponibilidad del equipo y por ende la producción.

$$\text{MTBF (Mean Time Between Failures)} = \frac{\text{Numero total de detenciones}}{\text{Tiempo de carga}}$$

- Tiempo Promedio para Reparar - *Mean Time To Repair* (MTTR):

Cuando se da una falla en un equipo que lo deja fuera de servicio, inicia un proceso de reparación, la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema se le denomina MTTR, es un indicador de desempeño que mide la efectividad del departamento de mantenimiento para restituir la unidad de una falla a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado.

El cálculo de la tasa de falla puede calcularse de la siguiente manera:

$$\text{MTTR (Mean Time To Repair)} = \frac{\text{Tiempo total de detenciones}}{\text{Número de fallas}}$$

#### **7.4.4. Índices para medir la eficiencia del departamento de mantenimiento.**

En todo proceso se tienen distintos métodos de evaluación para determinar su eficiencia, en el caso del mantenimiento se utilizan distintos métodos de evaluación de las actividades del mantenimiento que permiten tomar decisiones y establecer metas, dichos métodos deben ser creados con informes concisos y específicos, formados por tablas de índices o indicadores, varios de ellos se representan por medio de gráficas, proyectados hacia una fácil interpretación en cada nivel de la gestión del mantenimiento. Tavares (2000, p.51)

(Dufuaa et al., 2000, p.29 - 363) expresa que el mantenimiento preventivo puede planearse y programarse con base en el tiempo, el uso o la condición del equipo, aspectos que los diferencian frente al mantenimiento correctivo en cuatro razones principales:

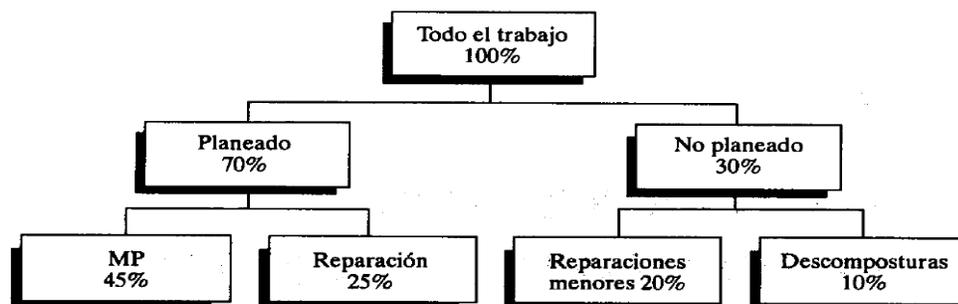
- La frecuencia de fallas prematuras puede reducirse mediante una lubricación adecuada, ajustes, limpieza e inspecciones promovidas por la medición del desempeño.
- Si la falla no puede prevenirse, la inspección y la medición periódicas pueden ayudar a reducir la severidad de la falla y el posible efecto dominó en otros componentes del sistema del equipo, mitigando de esta

forma las consecuencias negativas para la seguridad, el ambiente o la capacidad de producción.

- En donde podamos vigilar la degradación gradual de una función o un parámetro, como la calidad de un producto o la vibración de una máquina, puede detectarse el aviso de una falla inminente
- Finalmente, hay importantes diferencias en costos tanto directos (materiales) como indirectos (por ejemplo, pérdidas de producción) debido a una interrupción no planeada a menudo provoca un gran daño a los programas de producción y a la producción misma, y debido también a que el costo real de un mantenimiento de emergencia es mayor que uno planeado y a que la calidad de la reparación puede verse afectada de manera negativa bajo la presión de una emergencia.

Con el mantenimiento preventivo se tiene las distribuciones de la carga de trabajo mostradas en la figura 1

Figura 2. **Distribución del trabajo**



Fuente: Duffuaa, et al. (2000). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

Si el mecanismo dominante de falla se basa en el tiempo o se debe al desgaste, es decir, si la probabilidad de falla aumenta gradualmente con el

tiempo, la edad o el uso, entonces las tareas de mantenimiento tienen que basarse en el tiempo. Si, por otra parte, la probabilidad de una falla es constante independiente del tiempo, la edad o el uso, y existe una degradación gradual desde el principio de la falla, entonces las tareas de mantenimiento pueden basarse en las condiciones.

Las tareas basadas en las condiciones, justificadas cuando se desconoce el enfoque de prevención de fallas, se centran en la medición de un parámetro que indique un deterioro o una degradación en el rendimiento funcional de los equipos. Las mediciones y las inspecciones mismas pueden programarse regularmente, pero no las tareas de restauración o preventivas. Estas mediciones pueden realizarse directamente con la operación de la máquina, como la vibración, la temperatura durante el funcionamiento o el nivel de ruido, o pueden ser una medida sustitutiva de la operación de la máquina.

## **7.5. Tecnologías de diagnóstico**

El objetivo de la inspección es buscar una señal de falla inminente, de manera que la operación de corrección puede planearse, programarse y completarse para minimizar el tiempo en las operaciones y el costo total, Las tecnologías de diagnóstico se han extendido en todos los sectores, las que se aplican más comúnmente son el análisis de vibraciones, el análisis de aceites lubricantes, la termografía, el ultrasonido, el monitoreo de efectos eléctricos y los líquidos penetrantes. (Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363).

### **7.5.1. Modelos de inspección**

El principal propósito de las inspecciones es obtener información útil acerca del estado de una pieza de equipo o un sistema técnico más grande.

Los inspectores recopilan información sobre indicadores útiles como desgaste de rodamientos, lecturas de calibraciones, vibraciones, restos de aceite y la calidad del producto. La información sobre estos indicadores pueden utilizarse para predecir fallas del equipo y planear acciones adicionales de mantenimiento, dependiendo del estado del equipo (Duffuaa et al, 2000, p.29 - 363).

Lubricación - Adiciones, cambios, llenado, exámenes y análisis de los lubricantes - Mantenimiento preventivo por tiempo. Esta actividad puede ser ejecutada por el operador del equipo o por un "lubricador" y análogamente a la anterior, exige control simplificado donde deben ser indicados los puntos a ser lubricados o tipo de lubricante, la dosificación y la frecuencia de lubricación. En este caso es fundamental el seguimiento del proceso para evitar que su omisión o mala ejecución acarree serios daños a los equipos. Tavares (2000, p.20)

Las inspecciones son útiles y pueden conducir a lo siguiente:

- Reparaciones menos extensas de fallas potenciales si se detectan antes de que creen un daño complementario.
- Planeación y acciones correctivas apropiadas de manera que puedan realizarse en momentos en que ocasionen la menor alteración a las operaciones del sistema.

### **7.5.2. El mantenimiento basado en las condiciones (MBC)**

Este tipo de mantenimiento ha sido ampliamente aceptado en los últimos años, debido a que permite que las decisiones de mantenimiento se basen en el estado del equipo. Esto conduce a un mantenimiento más eficaz en costos

reduciendo reparaciones innecesarias, mantenimientos generales y reemplazos.

### **7.5.3. Mantenimiento por contrato o tercerización**

La subcontratación de las actividades de mantenimiento es común en todo el sector público y en el privado. La premisa es que ciertos aspectos del mantenimiento pueden hacerse tan eficazmente y a un menor costo de lo podrían realizarse con recursos internos. Una cuestión clave es si la contratación del mantenimiento aumenta o disminuye la ventaja competitiva de la organización. Es difícil ver como la subcontratación de los servicios de vigilancia, por ejemplo, dañaría la ventaja competitiva de un negocio, a menos de que alguna manera el personal interno pudiera hacerlo más eficazmente y a un costo considerablemente menor y con menos atención de la dirección que una empresa que se especializa en limpieza de instalaciones (Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363).

Tavares (2000, p.89 – p.92) expresa que en mantenimiento, es siempre recomendable que los servicios de terceros, sean aplicados adecuadamente y bien controlados. De esta práctica resultan economías favorables, rapidez de soluciones, alternativas para situaciones difíciles y garantía de atención a grandes volúmenes de trabajo.

Tienen influencia fundamentalmente en tres aspectos:

- Equipos de tecnología avanzada, que requieran personal muy especializado y/o herramientas y/o materiales específicos;
- Servicios de naturaleza no continua y/o con costo definido (jardinería, pintura de edificios e instalaciones, equipo de oficina entre otros);

- Servicios no relacionados con la actividad final de la empresa (seguridad, alimentación, limpieza entre otros).

Teóricamente la tercerización tiene como principales fundamentos:

- Liberación del cliente para cuidar su actividad fundamental;
- Obtención de especialización (tecnología);
- Mejora de la calidad de los servicios;
- Reducción de los costos operacionales.

En este sentido, la idoneidad de la prestadora de servicios puede ser investigada, tomando como referencia: su contrato social; su actividad objeto; su composición social; las responsabilidades de los socios; su capital social; su patrimonio; sus capitales asegurados y su situación frente a la justicia laboral.

Este tipo de mantenimiento obedece a dos factores que puede ser Estratégico, por permitir la transferencia, de las actividades que no agregan valor a los productos o servicios de la empresa, hacia terceros con la reducción de actividades y costos administrativos o puede ser Oportuno, por el hecho de que la alteración de los conceptos de la justicia laboral, que pasa a atribuir mayor prioridad a los intereses colectivos con relación a los intereses individuales.

#### **7.5.4. Distorsiones de la tercerización**

Tavares (2000, p.95- p.97) indica que la inexistencia de un sistema continuo de investigación y evaluación de talleres o empresas prestadoras de servicio externo, normalmente, no se puede afirmar que un mantenimiento tercerizado siempre ofrezca a sus empleados menores salarios que la empresa

contratante, no obstante en el cómputo de los beneficios, esta afirmación sea válida. Tal vez en este punto exista una real reducción de costos. Mientras, el principal factor que puede justificar menores gastos con personal en las contrataciones está en la obsolescencia de los procedimientos.

## **7.6. Control estadístico de procesos en el mantenimiento**

(Duffuaa et al., 2000, p.29 - 363). El control estadístico de procesos (CEP) consiste en el empleo de técnicas con base estadística para evaluar un proceso o sus productos para alcanzar o mantener un estado de control. Esta definición es lo suficientemente amplia para incluir todos los métodos con base estadística, desde la recopilación de datos e histogramas hasta técnicas complejas como el diseño de experimentos. Aun cuando no existe una lista única de estos métodos estadísticos.

Estos pueden ser:

- Lista de verificación
- Histograma
- Diagrama de causa y efecto (espina de pescado).
- Diagrama de Pareto (también conocido como análisis ABC)
- Graficas de control
- Diagrama de dispersión

## **7.7. Condiciones generales de centro de procesamiento de datos y sus estándares**

Como en todo proceso industrial ya sea de fabricación, operación y mantenimiento, existen entidades que se dedican a normalizar los procesos en

estándares nacionales e internacionales, para el caso de los centros de procesamiento de datos la entidad encargada de normalizar desde el diseño como el de operación y sustentabilidad las rige la entidad *Uptime Institute*, con sede en los estados unidos quien se encarga de llevar el control y normalización para los datacenter, dicha entidad tiene una clasificación para clasificar el nivel de disponibilidad de los mismos y están plasmados en el estándar de clasificación de topologías Tier (2,010), el estándar establece los criterios que permiten diferenciar cuatro categorías o clasificaciones de topologías de la topología de la infraestructura electromecánica del CPD los cuales van del Tier I al Tier IV, siendo este último el nivel más alto el cual se clasifica como un centro de procesamiento de datos tolerante a fallas y ofrece un nivel de disponibilidad de 99.999 para un periodo de un año.

Los niveles Tier, se basa en los crecientes niveles de confiabilidad de los componentes de capacidad redundante, desde las vías de distribución (Tier I, Tier II, Tier III, Tier IV) hasta las pruebas de comisionamiento donde se confirma el rendimiento que garantizará el cumplimiento de las definiciones del estándar, es de resaltar que la clasificación Tier describe la topología de la infraestructura electromecánica a nivel de sitio requerida para soportar las operaciones de centros de procesamiento de datos mas no las características individuales de sistemas o subsistemas dado a que cada fabricante utiliza sus propios criterios de diseño de sus equipos, el estándar se fundamente en el hecho de que los centros de datos dependen de las operaciones adecuadas e integradas de varios subsistemas de infraestructuras, por ejemplo, generación de energía, refrigeración, fuentes de energía continua, entre otros seleccionadas para mantener no solo la operación perse, también los sistemas deben de operar de forma eficiente y sustentable.

La conformidad con los requisitos de cada Tier se mide por pruebas de confirmación basadas en resultados e impactos operativos. Este método de medición difiere de un enfoque de diseño prescriptivo o una lista de comprobación del equipo necesario para ello se realizan pruebas de comisionamiento simulando condiciones normales y de contingencia.

#### **7.7.1. Propósito del estándar *uptime institute***

El propósito de la estándar del *Uptime institute* (2,010) tiene por objeto el dotar a los profesionales del diseño, a los operadores de centro de datos y a los administradores no técnicos de una forma objetiva y eficaz para identificar el rendimiento anticipado de las diferentes topologías de diseño de infraestructura de sitios de centros de datos.

#### **7.7.2. Infraestructura de sitio según el estándar Tier**

Dependiendo la necesidad del tipo de servicio a soportar en el centro de procesamiento de datos así será la infraestructura y gestión de operación y mantenimiento que deberá de proveerse, las necesidades se basan fundamentalmente al giro de negocio y la dependencia de las tecnologías de la información que tenga una compañía.

- Tier I: Infraestructura básica del sitio

Un CPD con la característica Tier I, *Uptime institute* (2,010) cuenta con una infraestructura que puede admitir interrupciones en la operación tanto planeada como no planeada. La infraestructura de este nivel indica que se deberá contar con sistemas de aire acondicionado y distribución de energía eléctrica, este tipo de infraestructura puede no tener piso técnico, UPS o

generador eléctrico. Aunque se cuente con estos equipos se pueden tener varios puntos únicos de falla. La carga máxima del sistema electromecánico en situaciones críticas es del 100 %. En esta categoría el CPD deberá estar fuera de servicio al menos una vez al año, como todo equipo requiere una intervención por razones de mantenimiento preventivo y/o mantenimiento correctivo (reparaciones). En esta categoría las interrupciones puede darse por errores de operación (error humano) o fallas en los componentes de su infraestructura lo que causarán la interrupción del CPD.

La tasa de disponibilidad máxima para este nivel según el *uptime institute* es 99.671 % del tiempo total anual, lo que representa un tiempo indisponibilidad de 28.8 horas al año.

- Los Impactos operativos en un CPD Tier I

Para este nivel el CPD es susceptible a interrupciones por actividades planificadas o no planificadas. Cualquier error de operación (errores humanos) o de los componentes de infraestructura del sitio causarán una interrupción en el centro de datos. Las situaciones de urgencia podrían necesitar de apagados más frecuentes. La falta de mantenimiento regular y de calidad incrementa significativamente el riesgo de interrupciones no planeadas, así como la gravedad de las fallas que puedan llegar a suceder.

- Tier II: Componentes de capacidad redundantes

Un CPD con nivel Tier II *uptime institute* (2,010), es aquel donde su infraestructura cuenta con componentes redundantes, lo cual los hace ligeramente menos susceptible a interrupciones, siendo estas planeadas o no planeadas. Un CPD de este nivel cuenta con piso técnico, UPS y generadores

eléctricos de emergencia, teniendo solo una conexión de línea de distribución eléctrica de suministro. Su diseño es N+1 de los sistemas principales de UPS, generadores y aires acondicionados, lo que significa que existe redundancia en los componentes de la infraestructura electromecánica. El mantenimiento preventivo en la línea de distribución eléctrica o en otros componentes de la infraestructura del sitio, pueden causar una interrupción del servicio y cuenta con una tasa de disponibilidad este nivel de 99,741 % del tiempo total anual de operación, representado en tiempo se traduce en un tiempo total de indisponibilidad de 22 horas al año.

- Los impactos operativos en un CPD Tier II

En este nivel el CPD es susceptible a interrupciones por actividades tanto planificadas como las causadas por actividades no planificadas. Los errores (humanos) de operación de los componentes de infraestructura del sitio podrían causar una interrupción en el centro de datos, de igual manera una falla imprevista de un componente de un equipo podría afectar a los equipos de computación.

La infraestructura del sitio debe ser completamente apagada de forma anual para ejecutar de forma segura trabajos de reparación y mantenimiento preventivo. La falta de mantenimiento regular incrementa significativamente el riesgo de interrupciones no planeadas así como la gravedad de las fallas consecuentes.

- Tier III: Infraestructura de sitio concurrentemente mantenible

Un CPD de esta categoría según el *uptime institute* (2,010), cuenta con la infraestructura electromecánica con la capacidad de realizar cualquier actividad

de mantenimiento planeado sobre cualquier componente de la infraestructura sin tener mayor riesgo de interrupciones en la operación. Dentro de las actividades planeadas se encuentran las relacionadas a mantenimiento preventivo o correctivo, agregar o eliminar componentes, realizar pruebas de sistemas o subsistemas, entre otros.

Para que se pueda llevar a cabo las actividades planeadas es necesario tener suficiente capacidad de los equipos redundantes y contar con doble línea de distribución de los sistemas eléctricos normal y regulado para que sea posible realizar cualquier tipo de mantenimiento o pruebas en una línea de distribución mientras la otra línea de distribución soporta toda la carga crítica.

En este nivel, tanto las actividades no planeadas como los errores de operación o fallas espontáneas en los equipos de la infraestructura pueden todavía causar una interrupción del CPD. La carga máxima que deberán soportar los sistemas en situaciones críticas es de 90%. En su mayoría los CPDs Tier III son diseñados para actualizarse a Tier IV, cuando los requerimientos del negocio justifiquen el costo de realizar este tipo de implementación. Un CPD con esta infraestructura alcanza a tener una tasa de disponibilidad máxima de 99,982 % del tiempo de operación anual, lo que representa tener un tiempo de indisponibilidad equivalente a 1.6 horas al año.

- Requisito fundamental para un CPD Tier III

Un CPD con infraestructura concurrentemente mantenible adicional de tener componentes de capacidad redundantes y dos vías de distribución que sirven a los equipos de cómputo y comunicaciones. Solamente una vía de distribución es requerida para mantener operativos a los equipos en cualquier momento.

El equipamiento de TI están energizados con doble suministro de energía eléctrica e instalados apropiadamente para ser compatible con la topología de la arquitectura del sitio. Dispositivos de transferencia, tales como los ATS (automatic transfer switch), se deben incorporar a los equipos de computación o telecomunicaciones que no cuenten con doble fuente de poder.

Es indispensable contar con almacenamiento de combustible que proporcione al menos doce horas de operación por interrupciones en el suministro de energía eléctrica y contar con un plan de abastecimiento en caso de contingencia.

- Las pruebas de confirmación de resultados

Al contarse con vías de distribución redundantes, pueden ser retirados uno de los elementos que afecta una vía de distribución sin afectar a los equipos de TI, existe capacidad suficiente permanente instalada para cumplir con las necesidades del sitio cuando componentes redundantes son retirados del servicio por cualquier motivo.

- Los impactos operativos

Los impactos operativos son similares a los niveles Tier I y II, dado a que la infraestructura cuenta con componentes redundantes, el sitio puede operar usando vías de distribución para continuar operando de manera segura, debe de considerarse que durante las actividades de mantenimiento, el riesgo de interrupción podría elevarse dado a que en esas condiciones no se contará con redundancia en el sistema o subsistema que se manipula.

- Tier IV: Infraestructura de sitio tolerable a fallas

Un CPD con infraestructura de esta categoría Uptime Institute (2,010) es la que tiene la capacidad para poder realizar cualquier actividad planeada en cualquier horario sin interrupciones en el servicio, adicional a esta bondad la funcionalidad tolerante a fallas le permite a la infraestructura continuar operando aun cuando se tenga un evento crítico no planeado como puede ser una falla que deje en total disponibilidad un equipo.

En este nivel es necesario contar con dos líneas de distribución de energía eléctrica activas en todo momento, una configuración sistema A + sistema B. Físicamente esto requiere de dos sistemas de UPS generación de emergencia independientes, cada sistema con un nivel de redundancia N+1 en capacidad. La carga máxima permitida de los sistemas en situaciones críticas es de 90%.

Como en todo sistema con interacción humana siempre existe un riesgo latente en cierto nivel de exposición a fallas por error humano como la falla de cualquier dispositivo, uno de las fallas por error más crítico es cuando una persona inicie un procedimiento de apagado de emergencia (EPO, *emergency power off*) por error, dichos sistemas de apagados de emergencia deben existir y estar en los procedimientos de operación para cumplir con los códigos de seguridad contra incendios o problemas relacionados con el sistema eléctrico. La tasa de disponibilidad máxima de un CPD con esta topología de su infraestructura es de 99.995% del tiempo total de operación en un año lo que equivale a 0.8 horas por año, *uptime institute* (2,010).

- Los requisitos fundamentales para un CPD Tier IV

Un CPD tolerante a fallas cuenta con sistemas múltiples, independientes y aislados físicamente, los cuales proveen componentes redundantes de capacidad y vías de diversas y activas que sirven simultáneamente a los equipos de computación y comunicaciones. Los componentes de capacidad redundantes y las vías de distribución diversas se configuran de tal modo que la capacidad “N” pueda proveer tanto de energía y como de climatización a los equipos de computación luego de presentarse cualquier falla en un equipo de la infraestructura que afecte la redundancia.

Al igual que en el nivel Tier III el equipamiento de TI debe de estar energizados con doble suministro de energía eléctrica e instalados apropiadamente para ser compatible con la topología de la arquitectura del sitio. Dispositivos de transferencia, tales como los ATS (automatic transfer switch), se deben incorporar a los equipos de computación o telecomunicaciones que no cuente con doble fuente de poder. Los sistemas y vías de distribución complementarios deben estar físicamente aislados uno del otro (compartimentalizados) para prevenir que un solo suceso afecte simultáneamente a ambos sistemas o vías de distribución

Es necesario un sistema de climatización continuo (continuous cooling) es obligatorio para poder mantener el ambiente adecuado para que el equipo de TI logre el mejor desempeño en todo momento. Es también indispensable contar con un almacenamiento y sistema de trasiego de combustible para garantizar por lo menos doce horas de operación para una capacidad “N”.

- Las pruebas de confirmación de resultados

Al presentarse una falla en el sistema de capacidad, ya sea en un componente o elemento de distribución no tendrá ningún impacto a los equipos de computación y telecomunicaciones. El sistema responde automáticamente (“se auto recupera”) ante una falla para prevenir mayores daños a la infraestructura del sitio.

Todos y cada uno de los componentes de capacidad que comprenden las vías de distribución pueden ser retirados del servicio sobre una base planeada sin afectar a ninguno de los equipos de TI. Se tiene capacidad suficiente para cumplir con las necesidades del sitio cuando una de las vías de distribución o componentes redundantes son retirados de servicio por cualquier motivo.

- Los impactos operativos

El sitio no es susceptible a interrupción debido a un solo suceso no planificado tampoco a actividades planificadas de mantenimiento. La infraestructura cuenta con equipamiento para poder realizar mantenimiento del sitio y este debe operar usando vías de distribución y componentes de capacidad redundantes, para continuar operando de manera segura.

Durante la ejecución de tareas de mantenimiento donde las vías de distribución o componentes de capacidad se apagan, los equipos de cómputo y telecomunicaciones están expuestos a un elevado riesgo de interrupción en caso de que falle la vía restante. Esta configuración de mantenimiento no invalida la evaluación Tier conseguida en operaciones normales. La operación de la alarma de incendio, la extinción de incendios o la función de apagado de

emergencia (*emergency power off*, EPO) podrían causar una interrupción en el centro de datos en estas condiciones.

### **7.7.3. Sistemas de energía y grupos electrógenos**

Los sistemas de grupos electrógenos de clasificación Tier III y IV del *uptime institute* (2,010), están considerados la fuente de alimentación primaria para los centros de datos. La compañía eléctrica local es una alternativa económica. Las interrupciones del servicio eléctrico local no son consideradas una falla, sino más bien una condición operativa para la cual el sitio debe estar preparado.

- Sitio de energía de grupos electrógenos

Un sistema de grupos electrógenos Tier III y IV, junto con sus vías de energía y otros elementos de soporte debe cumplir con las pruebas de confirmación de rendimiento concurrentemente mantenible y/o tolerable a fallas, mientras este encargado de la energía del grupo electrógeno del sitio.

- Limitaciones del tiempo de uso del fabricante

Los grupos electrógenos para los sitios Tier III y IV no deben tener una limitación en cuanto a horas de operación consecutivas cuando sean utilizados con una demanda "N". Los grupos electrógenos que posean un límite en cuanto a horas consecutivas de operación ante una demanda "N" son apropiados únicamente para Tier I y II.

- Limitaciones del tiempo de uso reglamentario

Los sistemas de grupos electrógenos con frecuencia tienen un límite reglamentario anual en cuando a las horas de operación debidas a emisiones. Estos límite-s ambientales no influirán en la restricción de horas consecutivas de operación establecidas en esta sección.

#### 7.7.4. Sumario de requerimientos Tier

A continuación se presenta la tabla I, donde se describen los cuatro distintivos niveles de la clasificación Tier uptime institute (2,010).

Tabla I. **Requerimientos para las cuatro clasificaciones Tier**

	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Componentes de capacidad activos para apoyo de la carga de TI	N	N+1	N+1	N Después de cualquier falla
Vías de distribución	1	1	1 activo y 1 alternativo	2 simultáneamente activos
Concurrently Maintainable	No	No	Sí	Sí
Fault Tolerance	No	No	No	Sí
Compartimentalización	No	No	No	Sí
Enfriamiento continuo	Dependientes de la densidad de carga	Dependientes de la densidad de carga	Dependientes de la densidad de carga	Clase A

Fuente: Tier Estándar Topology. (2010) *Uptime institute*.

### **7.7.5. Puntos de diseño de temperatura ambiente de la sala de equipo de cómputo**

*Uptime institute* (2,010) La capacidad efectiva del equipamiento de la infraestructura de las instalaciones de los centros de datos se determinará en condiciones de máxima demanda, basada en la región climatológica y el estado constante de operación de los puntos de ajuste para el centro de datos. Toda la capacidad de fábrica del equipamiento será ajustada para reflejar la temperatura y altitudes extremas en las cuales los equipos operarán para sostener el centro de datos, teniendo presente la eficiencia de los filtros de aire que deberán tener las indicadas por el fabricante para la operación requerida.

La capacidad de refrigeración de los equipos para la sala de equipos de computación será determinada por la temperatura del aire de retorno y la humedad relativa establecida por el dueño para los estados constante de operación del centro de datos.

La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE, 2,011), establece los lineamientos de los criterios que deberán de tomarse en cuenta para la climatización de un centro de procesamiento de datos ya que del sistema de climatización dependen los siguientes parámetros de operación de los equipos de computación (servidores, equipos de telecomunicaciones, almacenamiento de datos).

- Potencia consumida de los servidores
- Desempeño de los servidores.
- Costo de operación de los servidores.
- Corrosión de los componentes electrónicos y de ventilación de los equipos.

- Disponibilidad de los equipos de cómputo y telecomunicaciones.
- Ruido acústico del sistema de ventilación forzada de los equipos.

La buena gestión tanto del flujo de aire como temperatura y humedad relativa del ambiente que se suministren a los equipos de computación del centro de procesamiento de datos y se tengan las gráficas de tendencias, flujos y temperaturas inadecuadas impactará directamente en el nivel de eficiencia de los equipos y por ende en el total de la infraestructura por ser el sistema de climatización el sistema de mayor consumo energético y la disponibilidad de operación 24 horas los 7 días de la semana, por lo que deberá en todo momento monitorearse la mayoría de estos parámetros para mantenerlos dentro de los niveles recomendados donde el ASHRAE las clasifica en el nivel A1 y A2 un centro de procesamiento de datos, los rangos permitidos se muestran en la tabla II.

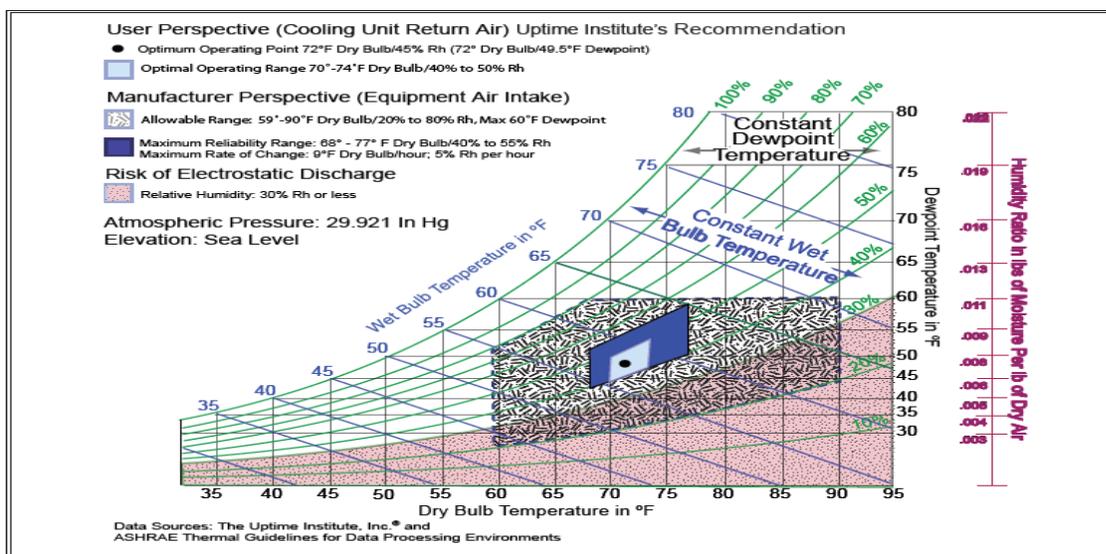
Tabla II. **Rangos de operación permisibles en centro de procesamiento de datos**

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
<b>Recommended</b> (Applies to all A classes; individual data centers can choose to expand this range based upon the analysis described in this document)								
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP						
<b>Allowable</b>								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Fuente: ASHRAE. (2011). *Thermal guidelines*.

Adicional el ASHRAE, establece los parámetros en la gráfica psicrométrica para la temperatura y humedad del ambiente de la sala de equipo de computación, enmarcando los límites óptimos y puntos permisibles de operación los cuales se muestran en la gráfica de la figura 3.

Figura 3. Diagrama Psicrométrico



Fuente: Uptime Institute. (2004). *Reducing bypass airflow white paper*.

Valores de operación y eficiencia del fabricante de aires acondicionado en estudio Emerson Network Power (2012).

Tabla III. **Especificaciones unidades de climatización de 125 kW**

System 1: [Scroll: On, Digital Loading: 100, SC: 0 °F, SH: 13 °F, satTrco: 120 °F]

System 2: [Scroll: On, Digital Loading: 100, SC: 0 °F, SH: 13 °F, satTrco: 115 °F]

Enter Dry Bulb (° F)	Enter Wet Bulb (° F)	Enter Rel Humid (%)	Unit Air Vol (ACFM)	Air Face Vel (ft/min)	Amb Temp (°F)	Total Cool Cap (kW)	Sens Cool Cap (kW)	Total Heat Rej (kW)	Leave Dry Bulb (° F)	Leave Wet Bulb (° F)	Total Comp Power (kW)	System Power Input (kW)	System SCOP (kW/kW)	Fan kW (kW)
85	62.8	31	18000	317	95	125.3	125.3	156.1	57.9	53.7	27.73	37.2	3.371	5.39

+



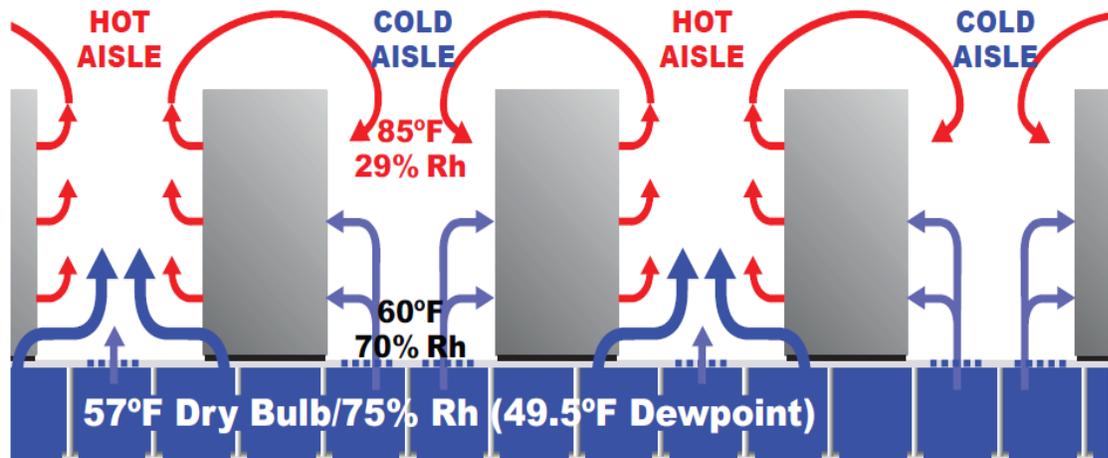
1. Capacity shown has been reduced by fan motor heat (net).
2. Unit Watt Input and SCOP include: Compressors, Blower Motor, Condenser.
3. Coil airflow is reduced by a bypass of 1% of total unit airflow.
4. Test method as defined by ASHRAE 127-2007
5. Capacity Tolerance is 5%

Fuente: Porcelli, J. (2007). *Especificaciones de operación del equipo de climatización de 125 kW.*

### 7.7.6. Factores que afectan la eficiencia del sistema de aire acondicionado

El Uptime Institute (2006) define según estudio realizado que se puede tener como dato mínimo un 10 % y hasta un 40 % de mezcla de aire frío con el caliente llamado bypass de flujo de aire, lo cual repercute en la temperatura y humedad de retorno a la unidad manejadora como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 4. Mezcla de aire frío y caliente en sala de equipo de computación



Fuente: Uptime Institute (2006). *Reducing bypass airflow white paper*.

#### 7.7.7. Paramétricas para determinar la eficiencia de un CPD

Las métricas que se utilizan para determinar la eficiencia de un CPD, están determinadas por la organización Green Greed (2012), que establecen el criterio de la métrica PUE (*power usage effectiveness*, por sus siglas en inglés), que determina la eficiencia en la utilización de la energía, dicha métrica dependerá en gran parte de las tecnologías de los equipos que comprenden la infraestructura del sistema electromecánico, ya que son los que tienen operación continua en un CPD y también se define el DCE, que es la eficiencia del CPD

Dicha paramétrica relaciona la energía consumida por los equipos de IT con la energía total consumida en un determinado periodo de tiempo como se muestra en la fórmula siguiente:

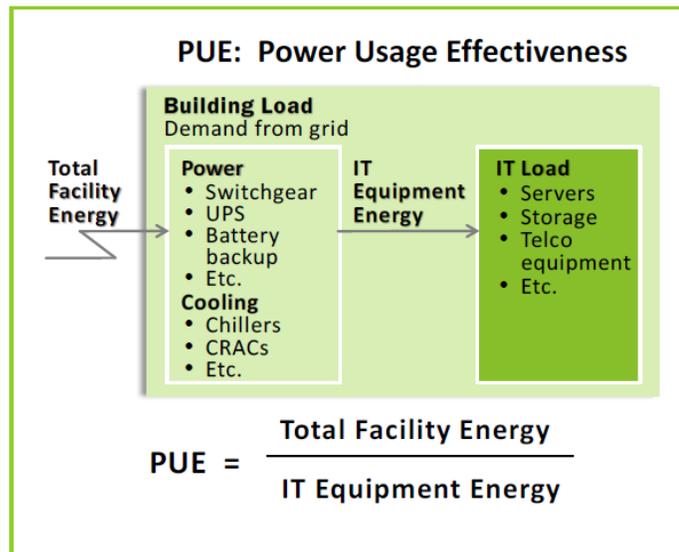
$$PUE = \frac{\text{Energía total consumida por el CPD}}{\text{Energía consumida por el equipo de IT}}$$

$$DCE = \frac{\text{Energía consumida por el equipo de IT}}{\text{Energía total consumida por el CPD}}$$

$$DCE = \frac{1}{PUE}$$

Representación gráfica la forma de medir el PUE.

Figura 5. Esquema de medición de paramétrica PUE



Fuente: The Green Greed. (2012). *PUE Metric*.

Para lograr una métrica precisa es necesario que se cuente con los dispositivos de medición en todos los niveles de distribución de energía normal y regulado posibles, siendo estos niveles: La acometida principal en media tensión (fuente normal o primaria), la salida de los PDU's (fuente regulada, en

baja tensión) y equipo de cómputo final (carga crítica), como lo muestran los medidores A, B y los medidores de los ramales de alimentación del equipo crítico en color verde, en la imagen donde se representan los puntos de medición mínimos requeridos para obtener un valor del PUE y donde también se puede identificar una infraestructura de clasificación TIER II Green Greed (2012).

Los equipos que comprenden a los llamados equipos de TI (*TI equipment*) se enlistan en la tabla No. 4 algunos de estos equipos.

Tabla IV. **Equipos de TI de un centro de procesamiento de datos**

<b>Compute Devices</b>
Servers
<b>Network Devices</b>
Switches
Routers
<b>IT Support Systems</b>
Printers
PCs/workstations
Remote management (KVM, consoles, etc.)
<b>Miscellaneous Devices</b>
Security encryption, appliances, etc.
<b>Storage</b>
Storage devices – switches, storage arrays, NAS systems
Backup devices – media, libraries, virtual media libraries
<b>Telecommunications</b>
All telco (telecommunications company) devices

Fuente: The Green Greed. (2012). *PUE Metric*.

Los equipos del subconjunto de los componentes del sistema electromecánico (*facility equipment*) son los siguientes:

Tabla V. **Equipos de la infraestructura electromecánica de un datacenter**

<b>Power</b>
Automatic transfer switches (ATS)
Switchgear
UPS
DC batteries/rectifiers (non UPS - telco nodes)
Generators
Transformers (step down)
Static transfer switches (STS)
Power distribution units (PDUs)
Rack distribution units (RDUs)
Breaker panels
Distribution wiring
Lighting
<b>Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC)</b>
Cooling towers

Fuente: The Green Greed. (2012). *PUE Metric*.



## **8. PROPUESTA DE INDICE DE CONTENIDO DE INFORME**

ÍNDICE DE INLUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE  
PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. Generalidades**

1.1.1. Generalidades del mantenimiento

1.1.2. Importancia del mantenimiento en un centro de  
procesamiento de datos

1.1.3. Funciones del mantenimiento en un centro de  
procesamiento de datos

#### **1.2. Sistema de mantenimiento**

1.2.1. Actividades de control

1.2.2. Inspección o mantenimiento de rutina

1.2.3. Mantenimiento periódico o sistemático

1.2.4. Operaciones y control del mantenimiento

1.2.5. Costo del mantenimiento

1.2.6. Datos de operación

- 1.2.7. Clasificación y gestión del mantenimiento
- 1.2.8. Prioridades de las actividades de mantenimiento de equipos
- 1.2.9. Tablas de codificación de equipos
- 1.2.10. Inventario y catastro
- 1.2.11. Mantenimiento correctivo
- 1.2.12. Mantenimiento preventivo
- 1.2.13. Mantenimiento predictivo
- 1.2.14. Mantenimiento productivo total
- 1.3. Herramientas para la optimización de la confiabilidad de los equipos
  - 1.3.1. Análisis de causa raíz
- 1.4. Índices de confiabilidad de los equipos
  - 1.4.1. Métodos de medición de fallas en el mantenimiento
  - 1.4.2. Método Cualitativo para análisis de fallas
  - 1.4.3. Método cuantitativo para el análisis de falla
  - 1.4.4. Índices para medir la eficiencia del departamento de mantenimiento
- 1.5. Tecnologías de diagnóstico
  - 1.5.1. Modelos de inspección
  - 1.5.2. El mantenimiento basado en las condiciones (MCB)
  - 1.5.3. Mantenimiento por contrato o tercerización
  - 1.5.4. Distorsiones de la tercerización
- 1.6. Control estadístico de procesos en el mantenimiento
- 1.7. Condiciones generales de centro de procesamiento de datos
  - 1.7.1. Propósito del estándar uptime institute
  - 1.7.2. Infraestructura de sitio según el estándar Tier
  - 1.7.3. Sistemas de energía y grupos electrógenos
  - 1.7.4. Sumario de requerimientos Tier

- 1.7.5. Puntos de diseño de temperatura ambiente de la sala de equipo
- 1.7.6. Factores que afectan la eficiencia del sistema de aire acondicionado
- 1.7.7. Paramétricas para determinar la eficiencia del CPD

- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO
- 3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 4. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

CONCLUSIONES.

PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Diseño**

El estudio consistirá es un estudio de sistematización de procedimientos no experimental de operación y mantenimiento, el cual se basará en realizar un levantamiento de datos de operación de los componentes de los sistemas de energía y climatización del centro de procesamiento de datos para poder generar indicadores claves de desempeño (KPI's) y la implementación de técnicas de monitoreo de condición al plan de mantenimiento, basándose a los requerimientos de los estándares Bicsi 02-2010 como del Uptime institute.

### **9.2. Tipo de estudio**

El tipo de estudio a utilizar es del tipo descriptivo de la gestión de mantenimiento actual del sistema de energía y clima del centro de procesamiento de datos, donde se podrán obtener datos cualitativos y cuantitativos de la gestión relacionados a la disponibilidad, tomando como referencia los estándares Bicsi 02-2010 y de operación sustentable del uptime institute.

### **9.3. Alcance**

La investigación tendrá alcance a los equipos que corresponden el sistema de energía y climatización del centro de procesamiento de datos incluido el sistema de monitoreo para la adquisición de datos para su análisis. Dentro de los cuales se encuentra la subestación eléctrica, interruptores y

transformadores de potencia, UPS, unidades de aire acondicionado de precisión entre otros.

#### **9.4. Variables e indicadores**

Las variables cuantitativas a estudiar están relacionadas con la disponibilidad, porcentaje de cumplimiento de mantenimientos, calidad de energía, temperatura y humedad de las salas de cómputo y telecomunicaciones, consumo energético y efectividad del uso de energía (PUE). Las variables cualitativas están relacionadas a los procedimientos de ejecución de las actividades de mantenimiento donde se tendrá un indicador de la calidad de los mismos.

#### **9.5. Plan de muestreo**

El muestreo de los equipos se iniciará con la clasificación de los equipos por sistema, función, ubicación a la intemperie o exterior, nivel de voltaje y criticidad, elaborando tablas y codificación de los mismos.

#### **9.6. Instrumentos de recolección**

Para la recolección de datos se utilizarán formatos digitales en hojas de cálculo que servirán para almacenar y clasificar los datos de los registros que se encuentran en bitácoras de las actividades, reparaciones y mantenimientos realizados a los equipos, con ello se realizará el análisis de todos los datos para realizar las proyecciones y propuesta del plan de mantenimiento.

## **9.7. Fases de la metodología**

El estudio se llevará a cabo en dos fases que tendrá un periodo de duración de 8 meses calendario.

### **9.7.1. Fase I: levantamiento y adquisición de datos**

Como primer paso se realizará el muestreo en el trabajo de campo con el levantamiento de datos de los activos para la elaboración del análisis de criticidad de los equipos, se hará una revisión documental de los alcances que cuenta el plan de mantenimiento y si estos se están ejecutando tanto con el personal como con la herramienta adecuada, se implementarán técnicas de monitoreo de condición para verificar el estatus de los equipos que comprenden la infraestructura electromecánica. Los instrumentos de adquisición de datos será con herramientas de ofimática y con formatos que serán llenados por el personal encargado de mantenimiento.

### **9.7.2. Fase II: análisis de datos y propuesta de plan de mantenimiento**

La segunda etapa comprende la elaboración de la propuesta del programa de mantenimiento, con los datos y recursos adquiridos en la primera etapa, para tener la conclusión final y realizar los procedimientos adecuados para la ejecución del mantenimiento según estándares Bicsi 02-2010 y operación sustentable del *uptime institute*.

## **9.8. Resultados esperados**

Los resultados esperados de esta investigación consiste en tener una gestión del mantenimiento del centro de procesamiento de datos de alta calidad basado en estándares internacionales, el cual ayudará a garantizar el cumplimiento del indicador de alta disponibilidad de la categoría TIER IV del uptime institute correspondiente al sistema de energía y climatización. Conteniendo en la gestión indicadores claves de desempeño que abarquen la planificación, ejecución y gestión del mantenimiento, datos que serán adquiridos utilizando herramientas tecnologías que faciliten tanto la adquisición como el análisis de los datos de campo.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Dentro de las técnicas que se utilizarán para el análisis de la información recolectada en campo, se utilizarán las que comprenden a la estadística descriptiva.

### 10.1. Graficas de estadística descriptiva

Para la representación esquemática de los resultados se utilizará las gráficas estadísticas para representar la información basada en los datos tabulados del tipo cuantitativo continuo en tablas de frecuencias, se utilizarán las gráficas de barras para representar el consumo de energía eléctrica a por sistema y la eficiencia de los sistemas redundantes, lineales para representar la demanda de energía, histogramas para las fallas registradas y diagramas de dispersión para representar la temperatura y humedad de las salas de equipo de cómputo y telecomunicaciones, lineales para representar los niveles de eficiencia, gráficos circulares para representar el indicador PUE, la disponibilidad y uso de energía por sistema y tipo de servicio.

Se utilizaran los diagramas de Pareto para las fallas registradas de los equipos en periodos trimestrales, Tablas de distribución de los indicadores claves de desempeño de la gestión, planificación y ejecución del plan de mantenimiento de los equipos. Para los indicadores de mantenimiento se utilizará una aplicación de hoja de cálculo de fácil acceso Microsoft Excel, del desarrollador de software Microsoft, para los datos de operación y disponibilidad se utilizaran tablas y gráficas que se generaran automáticamente por las hojas de cálculo vinculados a los datos adquiridos con formularios en línea de *Google*

*forms* que puede utilizarse en la mayoría de computadoras portátiles, *tablets* o *smartphones* con la aplicación navegador web.

#### **10.1.1. Lineamientos de estándares internacionales**

Para la elaboración de procedimientos de operación y mantenimiento se basará en los requerimientos de los estándares Bicsi 02-2010 para determinar la periodicidad y operación sustentable del uptime *insitute* para las directrices de la los procedimientos e indicadores a cumplir.

## 11. CRONOGRAMA

Figura 6. Cronograma de distribución de actividades

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1		<b>Protocolo Milton Mejía 200412500</b>	<b>155 días</b>	<b>lun 01/08/16</b>	<b>vie 07/04/17</b>	
2		Inicio del Estudio	0 días	lun 01/08/16	lun 01/08/16	
3		<b>PRIMERA ETAPA DEL ESTUDIO</b>	<b>77 días</b>	<b>lun 01/08/16</b>	<b>vie 02/12/16</b>	
4		Recopilación de Información de equipos	10 días	lun 01/08/16	mar 16/08/16	
5		Elaboración de tabla de criticidad de equipos	4 días	mar 16/08/16	lun 22/08/16	4
6		Recopilar información del histórico de operación de los equipos	5 días	mar 23/08/16	mar 30/08/16	5
7		Clasificar las fallas registradas	4 días	mar 30/08/16	lun 06/09/16	6
8		Realizar graficas de Pareto y análisis de causa raíz	4 días	mar 06/09/16	lun 12/09/16	7
9		Determinar el costo del mantenimiento por cada equipo del contrato de mantenimiento actual con empresa de outsourcing	3 días	lun 12/09/16	vie 16/09/16	8
10		Elaborar formatos con herramienta google forms para las inspecciones VOSO	10 días	vie 16/09/16	lun 03/10/16	9
11		Realizar el análisis de factibilidad de contratación de otros proveedores para la ejecución de	2 días	lun 03/10/16	mié 05/10/16	10
12		Realizar la tabla de criticidad de componentes de cada equipo para proponer la adquisición de repuestos que pueden ser incluidos en el contrato de mantenimiento.	5 días	jue 06/10/16	jue 13/10/16	11
13		Realizar el estudio de calidad de energía del datacenter y estudio de demanda y consumos energéticos de los sistemas auxiliares	5 días	jue 13/10/16	lun 24/10/16	12

Proyecto: Cronograma B actividad Fecha: jue 24/11/16	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Tarea</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%;">Resumen manual</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>División</td> <td></td> <td>solo el comienzo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hito</td> <td></td> <td>solo fin</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resumen</td> <td></td> <td>Tareas externas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resumen del proyecto</td> <td></td> <td>Hito externo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tarea inactiva</td> <td></td> <td>Fecha límite</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hito inactivo</td> <td></td> <td>Tareas críticas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resumen inactivo</td> <td></td> <td>División crítica</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tarea manual</td> <td></td> <td>Progreso</td> <td></td> </tr> <tr> <td>solo duración</td> <td></td> <td>Progreso manual</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Informe de resumen manual</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Tarea		Resumen manual		División		solo el comienzo		Hito		solo fin		Resumen		Tareas externas		Resumen del proyecto		Hito externo		Tarea inactiva		Fecha límite		Hito inactivo		Tareas críticas		Resumen inactivo		División crítica		Tarea manual		Progreso		solo duración		Progreso manual		Informe de resumen manual			
Tarea		Resumen manual																																											
División		solo el comienzo																																											
Hito		solo fin																																											
Resumen		Tareas externas																																											
Resumen del proyecto		Hito externo																																											
Tarea inactiva		Fecha límite																																											
Hito inactivo		Tareas críticas																																											
Resumen inactivo		División crítica																																											
Tarea manual		Progreso																																											
solo duración		Progreso manual																																											
Informe de resumen manual																																													

Continuación de la figura 6.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
14		Realizar la propuesta de implementación de sistemas de generación de energía renovable.	5 días	lun 24/10/16	mié 02/11/16	13
15		Recabar toda la información de los procesos utilizados por el personal técnico en la ejecución de los mantenimientos preventivos	10 días	mié 02/11/16	jue 17/11/16	14
16		Elaboración de documentación y gráficos con base a los datos adquiridos	10 días	jue 17/11/16	vie 02/12/16	15
17		<b>SEGUNDA ETAPA DEL ESTUDIO</b>	<b>78 días</b>	<b>lun 05/12/16</b>	<b>vie 07/04/17</b>	
18		Detallar los requerimientos para los equipos de energía según el estándar BICSI y realizar el procedimiento de mantenimiento	10 días	lun 05/12/16	mar 20/12/16	16
19		Detallar los requerimientos para los equipos de climatización según el estándar operación sustentable del uptime institute y realizar el procedimiento de mantenimiento para cada sistema	10 días	mar 20/12/16	mié 04/01/17	18
20		Capacitar al personal acerca de técnicas de monitoreo de co	10 días	mié 04/01/17	vie 20/01/17	19
21		Seguimiento a la contratación y comparativo de proveedores que presten los servicios de mantenimiento	3 días	vie 20/01/17	mié 25/01/17	20
22		Realizar estudio termografico para determinar puntos de mezcla de aire frio y caliente	5 días	mié 25/01/17	jue 02/02/17	21
23		Implementación de técnicas de monitoreo de condición a equipos de energía y clima	5 días	jue 02/02/17	vie 10/02/17	22

Proyecto: Cronograma B actividad Fecha: jue 24/11/16	Tarea		Resumen manual	
	División		solo el comienzo	
	Hito		solo fin	
	Resumen		Tareas externas	
	Resumen del proyecto		Hito externo	
	Tarea inactiva		Fecha límite	
	Hito inactivo		Tareas críticas	
	Resumen inactivo		División crítica	
	Tarea manual		Progreso	
	solo duración		Progreso manual	
Informe de resumen manual				

Fuente: elaboración propia.

## **12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

El estudio será posible al tener los recursos necesarios que serán provistos por la empresa durante el tiempo de estudio en aras de realizar mejoras al actual plan de mantenimiento y quienes realizarán las inversiones en recurso humano, capacitación y compra de equipo para la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo y permitir el acceso a la información y a los equipos de su infraestructura.

### **12.1. Recursos humanos**

Para el estudio será indispensable a la participación de todo el personal involucrado en las actividades concernientes al mantenimiento, ingenieros en cargados de la administración y supervisión, técnicos involucrados con la ejecución del mantenimiento quienes podrán retroalimentar detalles históricos del comportamiento de los equipos y quienes estarán involucrados en el periodo de la investigación.

### **12.2. Recursos físicos**

Se tendrá acceso en horarios hábiles a los equipos de la infraestructura electromecánica y a las bitácoras y reportes de mantenimientos realizados durante el último año donde se podrá cuantificar la cantidad de mantenimientos preventivos y correctivos realizados, acceso a los datos del sistema de monitoreo.

### **12.3. Recurso financiero**

Los costos del personal serán absorbidos por la empresa donde se realiza el estudio incluyendo el costo de inversión para la adquisición de los equipos de medición dentro de las cuales se planea realizar la adquisición de los equipos para la aplicación de técnicas de monitoreo de condición y el costo de capacitaciones al personal de mantenimiento.

### **12.4. Recurso tecnológico**

Dentro de los recursos tecnológicos que se tendrá a disposición para llevar acabo las mejoras están contemplados los siguientes equipos:

- Cámara termográfica (la empresa hará la inversión para la adquisición).
- Analizador de energía (se solicitará al proveedor de mantenimiento).
- Sensores de temperatura y humedad relativa ambiente(se solicitará la adquisición).
- Anemómetro (se solicitará la adquisición).
- Medidor de aislamiento. (lo proveerá el proveedor de mantenimientos).
- Maleta de prueba de interruptores. (lo proveerá el proveedor de mantenimientos).
- Equipo de cómputo para la digitalización de la información y elaboración de informes, tablas e instructivos entre otros.

Tabla VI. **Presupuesto necesario para realizar el estudio**

<b>Descripción</b>	<b>costo</b>
Cámara termográfica	Q 7,500.00
Anemómetro	Q 1,300.00
Sensor de temperatura y humedad	Q 1,200.00
Papelería y útiles de oficina	Q 175.00
Repuestos e implementaciones de mejoras en unidades de aire acondicionado	Q 16,000.00
<b>Total</b>	<b>Q 26,175.00</b>

Fuente: elaboración propia.



### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alsaquor R. et al. (2014). *Power Usage Effectiveness Metrics to Measure Efficiency and Performance of Data Centers*. Applied Mathematics & Information Sciences, 5, 2207-2216
2. ASHRAE. (2012). *Datacenter networking equipment*. Estados Unidos: Ashrae thermal guidelines.
3. Asociación de la Industria de Telecomunicaciones. (2005). *ANSI/TIA-942 Standard de infraestructura para telecomunicaciones de un Data Center*. Estados Unidos: Global Engineering documentation.
4. Cáceres, M. (2009). *Cómo Incrementar la Competitividad del Negocio mediante estrategias para gerenciar el Mantenimiento en soluciones integrales corporativas (19)*. Venezuela: Corporativo.
5. Christian Belady, Microsoft. (2010). *Carbon Usage Effectiveness (CUE): A Green Grid Data Center Sustainability Metric*. Estados Unidos: The Green Greed.
6. Duffua, S., Raouf, A. & Dixon, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. México, DF: Limusa Wiley.
7. Emerson Network Power. (2010). *Liebert DSE User manual 125 kW, 35 Tons. Downflow 60 Hz*. Precision Cooling, REV1, 64.

8. Galván, D. (2012). *Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM)*. (Tesis de maestría en Ingeniería de Optimización Financiera). Universidad Autónoma de México. México.
9. Garrido, S. (2012). *Ingeniería de mantenimiento*. España: Renovetec.
10. Loarca, R. (2007) *Actualización del programa de mantenimiento para la línea de tornos convencionales de la empresa maquinados precisos*. (Tesis de Maestría en Ingeniería de Mantenimiento). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
11. Monroy, L. (2012). *Diseño de un plan de mejora del mantenimiento correctivo y actualización del mantenimiento preventivo en multidimensionales, S. A.* (Tesis de Tecnología Industrial), Universidad distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
12. National Fire Protection Association. (2002). *National Fire Alarm Code. En NFPA 72 (228)*. Estados Unidos: NFPA.
13. Palencia, O. (2005). *Análisis Causa Raíz, Estrategia de confiabilidad operacional. Reability world (12)*. Colombia: Universidad Pedagógica.
14. Puertas, J. (2007) *Incremento de disponibilidad en equipos críticos de refrigeración de empacadora Toledo, S. A.* (Tesis de maestría en Ingeniería de Mantenimiento). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

15. Tavares, L. (2000). *Administración moderna del mantenimiento*. Brasil: Novo Polo.
16. The Green greed. (2012). *PUE. A comprehensive examination or the metric*.
17. The Uptime Institute. (2008). *Fault-Tolerant Power Compliance Specification*.
18. The Uptime Institute. (2014). *Continuous Cooling*. Estados Unidos: Corporativo.
19. The Uptime Institute. (2014). *Datacenter site infrastructure tier standar: Topology*. Estados Unidos: Corporativo
20. The Uptime Institute. (2014). *Operational Sustainability*. Estados Unidos: Corporativo
21. Tripp-Litte. (2015). *Aumente la eficiencia de enfriamiento en racks y resuelva problemas relacionados con el calor*. Boletín Técnico, 1, 20.
22. Uddin M., & Rahman A. (2012). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 16, 4078-4094.
23. Uddin M., A. Shah and J. Memon. (2014). *Energy efficiency and environmental considerations for green data centers*. Int. J. Green Economics, 8, 144-157.

24. Vera, H. (2011). *Aplicación de la metodología de causa raíz*. (Tesis de Ingeniería Mecánica), Universidad Industrial de Santander. Colombia.