



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

**PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE  
MANTENIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA NACIONAL  
INTERCONECTADO DE GUATEMALA**

**José Carlos Sánchez Villatoro**

Asesorado por el Ing. Cristian Alfonso López Morales

Guatemala, febrero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN  
DE MANTENIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA  
NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOSÉ CARLOS SÁNCHEZ VILLATORO**

ASESORADO POR EL ING. CRISTIAN ALFONSO LÓPEZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez a.i.

## **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:

### **PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 29 de abril del año 2016.

  
**José Carlos Sánchez Villatoro**

Guatemala, 24 de octubre de 2016

Ingeniero

Gustavo Benigno Orozco Godínez

Coordinador Área de Potencia

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ingeniero Orozco:

Atentamente informo a usted que he tenido a bien revisar el Trabajo de Graduación titulado **“PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA.”** desarrollado por el estudiante José Carlos Sánchez Villatoro; y habiéndolo encontrado satisfactorio en su contenido y resultados me permito dar aprobación al mismo en el entendido de que tanto el Autor como el Asesor, somos responsables del desarrollo y conclusiones del mismo.

Sin otro particular quedo de usted,

Atentamente,

  
Ing. Cristian Alfonso López Morales.

Colegiado 6383

Asesor.





FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 01 2017.  
Guatemala, 9 de NOVIEMBRE 2016.

Señor Director  
Ing. Francisco Javier González López  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA  
COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS DE LAS  
INSTALACIONES DEL SISTEMA NACIONAL  
INTERCONECTADO DE GUATEMALA, del estudiante José  
Carlos Sánchez Villatoro, que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez  
Coordinador Área Potencia



SRO



REF. EIME 01. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JOSÉ CARLOS SÁNCHEZ VILLATORO Titulado: PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA , procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López

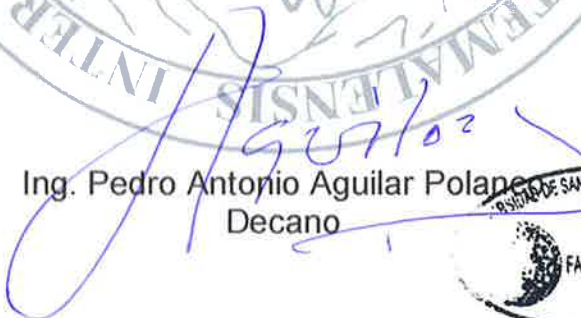


GUATEMALA, 12 DE ENERO 2017.



El Decano 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: **PROPUESTA DE DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Carlos Sánchez Villatoro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, febrero de 2017



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser el guía de mis pasos y permitirme llegar a este día tan esperado.
- Mis padres** Otto Rolando y Magda Isabel por ser un maravilloso ejemplo de trabajo y dedicación. Gracias por su sacrificio y confianza brindada, este triunfo también les pertenece a ustedes
- Mi hermano** Juan Fernando Sánchez por su cariño y apoyo incondicional.
- Mis abuelos** Elfego Sánchez, por mostrarme y compartirme sus conocimientos, proporcionando el rumbo de mi elección en mi carrera profesional y Esperanza Sigüenza por su cariño.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitirme realizar mis estudios de manera satisfactoria.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos y habilidades necesarias para el desarrollo de mi carrera profesional.
<b>Mi asesor</b>	Cristian López, por brindarme su ayuda, conocimientos y tiempo en la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Mis amigos</b>	Luis Vela y Brandon Mérida, por acompañarme a lo largo de mi carrera y brindarme su apoyo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL DE GUATEMALA .....	1
1.1. Marco legal.....	1
1.1.1. Ley General de Electricidad .....	2
1.1.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad y sus reformas .....	3
1.1.3. Reglamento del Administrador del Mercado mayorista y sus reformas.....	6
1.1.4. Normas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica .....	8
1.1.4.1. Normas de estudio de acceso al sistema de transporte (NEAST) .....	8
1.1.4.2. Normas técnicas de acceso y uso de la capacidad de transporte (NTAUCT).....	8
1.1.4.3. Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD) .....	9
1.1.4.4. Normas de seguridad de presas (NSP) .....	9

1.1.4.5.	Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDOID).....	9
1.1.4.6.	Normas técnicas de diseño y operación del sistema de transporte (NTDOST) .....	10
1.1.4.7.	Normas técnicas de calidad del servicio de transporte y sanciones (NTCSTS).....	10
1.1.4.8.	Normas técnicas para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable (NTGDR) y usuarios autoprodutores con excedentes de energía .....	10
1.1.4.9.	Norma técnica para la expansión del sistema de transmisión (NTT) .....	11
1.1.4.10.	Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. ....	11
1.1.4.11.	Norma técnica de conexión.....	11
1.1.5.	Normas de coordinación comercial y operativa del Administrador del Mercado Mayorista .....	12
1.1.5.1.	NCC-01, coordinación del despacho de carga.....	12
1.1.5.2.	NCC-02, oferta y demanda firme .....	12
1.1.5.3.	NCC-03, transacciones de desvíos de potencia.....	13
1.1.5.4.	NCC-04, precio de oportunidad de la energía .....	13

1.1.5.5.	NCC-05, sobrecostos de unidades generadoras forzadas .....	13
1.1.5.6.	NCC-06, tratamiento de las pérdidas del sistema de transmisión.....	14
1.1.5.7.	NCC-07, factores de pérdidas nodales .....	14
1.1.5.8.	NCC-08, cargo por servicios complementarios .....	14
1.1.5.9.	NCC-09 asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal, secundarios y cargos por uso del primer sistema de transmisión regional .....	15
1.1.5.10.	NCC-10, exportación e importación de energía .....	15
1.1.5.11.	NCC-11, informe de costos mayoristas .....	15
1.1.5.12.	NCC-12, procedimientos de liquidación y facturación .....	16
1.1.5.13.	NCC-13, mercado a término .....	16
1.1.5.14.	NCC-14, habilitación comercial para operar en el mercado mayorista y sistema de medición comercial .....	16
1.1.5.15.	NCC-15, desconexión del SNI, suspensión de operaciones y deshabilitación del MM.....	17
1.1.5.16.	NCO 01, base de datos.....	17
1.1.5.17.	NCO 02, coordinación de la operación en tiempo real.....	17

	1.1.5.18.	NCO 03, coordinación de servicios complementarios .....	18
	1.1.5.19.	NCO 04, determinación de criterios de calidad y niveles mínimos de servicio .....	18
	1.1.5.20.	NCO 05, auditorías.....	18
1.2.		Estructura del mercado eléctrico nacional.....	19
	1.2.1.	Ministerio de Energía y Minas, MEM.....	19
	1.2.2.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE .....	23
	1.2.3.	Administrador del Mercado mayorista .....	25
	1.2.3.1.	Agente generador.....	27
	1.2.3.2.	Agente transportista .....	27
	1.2.3.3.	Agente distribuidor .....	27
	1.2.3.4.	Agente comercializador.....	27
	1.2.3.5.	Gran usuario.....	28
1.3.		Elementos que conforman el sistema nacional interconectado .....	28
	1.3.1.	Centrales eléctricas .....	28
	1.3.1.1.	Centrales térmicas .....	29
	1.3.1.2.	Centrales hidráulicas.....	29
	1.3.1.3.	Centrales eólicas.....	30
	1.3.1.4.	Centrales geotérmicas .....	31
	1.3.1.5.	Centrales fotovoltaicas .....	32
	1.3.2.	Subestaciones .....	33
	1.3.3.	Líneas de transmisión eléctrica en un sistema de potencia .....	34
	1.3.4.	Seccionadores .....	34
	1.3.5.	Interruptores .....	35
	1.3.6.	Equipos de compensación reactiva.....	35

1.3.7.	Equipos de protección .....	36
1.3.8.	Equipos de medida .....	36
2.	MANTENIMIENTO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS .....	39
2.1.	Conceptos básicos.....	39
2.1.1.	Tipos de mantenimientos.....	41
2.1.1.1.	Mantenimiento preventivo .....	42
2.1.1.2.	Mantenimiento correctivo .....	42
2.1.1.3.	Mantenimiento predictivo .....	43
2.2.	Objetivo de los mantenimientos.....	43
2.3.	El mantenimiento y la disponibilidad.....	44
2.3.1.	Indicadores utilizados en la disponibilidad .....	45
2.3.1.1.	Tiempo promedio para fallar, TPPF .....	47
2.3.1.2.	Tiempo promedio para reparar, TPPR .....	48
2.4.	El mantenimiento y la economía.....	48
2.4.1.	Costos del proceso de mantenimiento .....	48
2.4.2.	Origen de los costos de mantenimiento .....	49
2.5.	Trabajo de mantenimiento .....	50
2.5.1.	Duración de los trabajos de mantenimiento .....	52
2.6.	Impacto de los avances de la tecnología en los procesos de mantenimiento.....	53
2.6.1.	Técnicas de vigilancia de la condición .....	53
2.6.1.1.	Vigilancia de las vibraciones .....	55
2.6.1.2.	Vigilancia de la tribología .....	56
2.6.1.3.	Análisis de las prestaciones.....	56
2.6.1.4.	Inspección visual .....	57
2.6.2.	Localización de averías con técnicas de ensayo no destructivo.....	57

	2.6.2.1.	Termografía .....	57
	2.6.2.2.	Radiografías .....	58
	2.6.2.3.	Examen por corrientes inducidas.....	58
3.	RECOPIACIÓN DE LOS CRITERIOS NECESARIOS EN EL SNI PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS .....		59
3.1.	Definiciones .....		59
3.2.	Criterios a seguir para la programación de los mantenimientos.....		61
3.3.	Información a suministrar por los participantes del mercado mayorista .....		63
	3.3.1.	Nombre de la empresa .....	64
	3.3.2.	Nombre y cargo del solicitante .....	64
	3.3.3.	Número telefónico.....	64
	3.3.4.	Localización e identificación del elemento o equipo .....	64
	3.3.5.	Potencia afectada .....	65
	3.3.6.	Fecha y hora.....	65
	3.3.7.	Localidades que serán afectadas por el mantenimiento .....	65
	3.3.8.	Descripción general del trabajo .....	65
	3.3.9.	Datos complementarios .....	66
	3.3.10.	Documentos.....	66
	3.3.11.	Maniobras .....	66
4.	NORMATIVAS INTERNACIONALES .....		67
4.1.	Norma venezolana COVENIN 3049-93.....		67
	4.1.1.	Fallas en un sistema de potencia .....	69
	4.1.1.1.	Por su alcance.....	69



	4.1.1.1.1.	Parcial .....	70
	4.1.1.1.2.	Total .....	70
	4.1.1.2.	Por su velocidad de aparición .....	70
	4.1.1.2.1.	Progresiva .....	70
	4.1.1.2.2.	Intermitente .....	70
	4.1.1.2.3.	Súbita .....	71
	4.1.1.3.	Por su impacto .....	71
	4.1.1.3.1.	Menor .....	71
	4.1.1.3.2.	Mayor .....	71
	4.1.1.3.3.	Crítica .....	71
4.2.		Norma oficial mexicana NOM-029-STPS-2011 .....	72
	4.2.1.	Definiciones .....	73
	4.2.2.	Plan de trabajo .....	74
	4.2.3.	Plan de atención a emergencias .....	75
4.3.		Guía técnica colombiana, (GTC) 62 .....	76
	4.3.1.	Definiciones generales .....	77
	4.3.2.	Definiciones acerca de planeación y ejecución .....	77
	4.3.3.	Definiciones de planeación y programación .....	79
	4.3.4.	Definiciones referentes a indicadores y medidas de mantenimiento .....	80
4.4.		Norma boliviana de programación y coordinación de mantenimientos RESOLUCIÓN AE N° 119/2012 .....	82
	4.4.1.	Disposiciones generales .....	82
	4.4.2.	Bases para la elaboración del programa coordinado de mantenimientos .....	83
	4.4.3.	Plan de mantenimientos para la programación de mediano plazo .....	83
	4.4.4.	Programación semanal de mantenimiento .....	84
	4.4.5.	Programación diaria de mantenimiento .....	85

4.4.6.	Información de la programación de mantenimientos .....	86
5.	PROPUESTA DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS .....	87
5.1.	Programa de mantenimientos mayores.....	87
5.2.	Programación de largo plazo .....	87
5.3.	Cumplimiento del programa de mantenimientos mayores .....	91
5.4.	Programa de mantenimientos semanal .....	93
5.5.	Programa de mantenimientos semanal en el despacho diario y la operación en tiempo real .....	94
5.6.	Mantenimientos en los sistemas de transporte .....	96
5.7.	Coordinación y validación de la información .....	98
5.8.	Diagrama de flujo del proceso de coordinación de mantenimientos.....	101
	CONCLUSIONES.....	105
	RECOMENDACIONES .....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama del Ministerio de Energía y Minas.....	22
2.	Esquema de central térmica .....	29
3.	Esquema de una central hidráulica.....	30
4.	Partes de un aerogenerador .....	31
5.	Esquema de una central geotérmica .....	32
6.	Esquema de una central fotovoltaica.....	33
7.	Diagrama de disponibilidad.....	47
8.	Trabajo de mantenimiento .....	51
9.	Diagrama de flujo del proceso de coordinación de mantenimientos.....	102

### TABLAS

I.	Consideración de sistemas con confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad .....	46
II.	Nivel jerárquico de una organización de mantenimiento.....	69



## **GLOSARIO**

<b>AMM</b>	Administrador del Mercado mayorista.
<b>Anuencia</b>	Consentimiento o permiso para la realización de algo.
<b>CDC</b>	Centro de Despacho de Carga.
<b>CNDC</b>	Comité Nacional de Despacho de Carga.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>ECS</b>	Esquemas de control suplementario.
<b>EPN</b>	Excedente de precios nodales.
<b>Góndola</b>	Carcasa que protege los componentes internos del aerogenerador.
<b>LGE</b>	Ley General de Electricidad.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>MM</b>	Mercado mayorista.
<b>NCC1</b>	Norma de coordinación comercial número 1.

<b>OS</b>	Operador del sistema.
<b>OTR</b>	Operación en tiempo real.
<b>POE</b>	Precio de oportunidad de la energía.
<b>RRa</b>	Reserva rápida.
<b>RTR</b>	Red de transmisión regional.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>SP</b>	Sistemas de potencia.
<b>STEE</b>	Servicio de transporte de energía eléctrica.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de graduación se desarrollaron criterios para la coordinación de mantenimientos con el objetivo de velar por la correcta operación y funcionamiento de las instalaciones del Sistema Nacional Interconectado y la correcta interacción entre las personas involucradas en su proceso de coordinación.

Se desarrollan los temas referentes al marco legal del sector eléctrico nacional de Guatemala, en el cual se detalla la estructura del mercado eléctrico nacional, las leyes y reglamentos que lo rigen, las normativas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y las normativas de coordinación comercial y operativa del Administrador del Mercado mayorista.

Luego de conocer el marco legal del sector eléctrico nacional se desarrollan los conceptos básicos referentes a los mantenimientos en sistemas eléctricos de potencia, sus objetivos, sus costos asociados y el impacto que provocan los avances de la tecnología al ser utilizados en la realización de mantenimientos.

Seguidamente se presentan las normativas internacionales relacionadas al tema, sus fundamentos teóricos y se detalla la información que deberá ser suministrada por los agentes del Mercado mayorista cuando sea solicitado un mantenimiento. Además, se elaboran los criterios para la correcta coordinación basados en las condiciones actuales del sector eléctrico de Guatemala.

Se realiza una propuesta de criterios para la coordinación de mantenimientos en el Sistema Nacional Interconectado en función de las normativas internacionales presentadas y el marco legal que rige el mercado eléctrico nacional con énfasis en los mantenimientos mayores.

Para finalizar, se determinaron los criterios para la coordinación de mantenimientos basado en la normativa existente y en función de las características operativas del sistema eléctrico nacional, con el fin de garantizar su correcta coordinación, interacción con los involucrados y ejecución en tiempo real, logrando una mejora en el proceso actual.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar criterios que permitan la correcta coordinación del mantenimiento de los elementos y equipos eléctricos que conforman el Sistema Nacional Interconectado.

### **Específicos**

1. Establecer un proceso de gestión de mantenimientos con base en los criterios desarrollados para la coordinación de mantenimientos, que favorezca la adecuada interacción entre los involucrados.
2. Desarrollar criterios para la coordinación de mantenimientos que velen por la correcta operación y funcionamiento de las instalaciones del Sistema Nacional Interconectado y sus elementos, garantizando la seguridad, continuidad y calidad del suministro eléctrico.



## INTRODUCCIÓN

Un sistema eléctrico de potencia está formado por elementos y equipos que tienen como fin generar, transformar, transportar y distribuir energía eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de consumo de energía.

El mantenimiento de los elementos y equipos eléctricos que conforman el Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Guatemala, son imprescindibles para su correcto funcionamiento y eficiencia, garantizando así la continuidad, confiabilidad y seguridad del suministro de energía eléctrica en el SNI.

Debido al crecimiento del SNI y de los involucrados que se encuentran relacionados en cada solicitud de mantenimiento, la complejidad en la coordinación de los mantenimientos se ha incrementado, dando paso a la existencia de nuevos criterios para que sean implementados en su proceso de coordinación.

Para poder desarrollar los criterios, se ha estructurado el siguiente trabajo teniendo en cuenta los conceptos generales de un sistema eléctrico de potencia, las definiciones acerca de mantenimientos en los sistemas eléctricos y la estructura actual del sector eléctrico nacional de Guatemala. Para finalizar, en el último capítulo, se redactan los criterios propuestos obtenidos en el proceso de coordinación de mantenimientos.



# **1. SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL DE GUATEMALA**

El sector eléctrico guatemalteco está basado en un modelo de mercado competitivo de costos, donde se permite el libre acceso a todos los interesados en participar en las actividades de generación, transmisión, comercialización, consumo y distribución de energía eléctrica; basados en lo establecido en la Ley General de Electricidad, sus reglamentos y la normativa que se derive de estos.

En el mercado eléctrico nacional participan los generadores siendo estos despachados económicamente, tomando en cuenta sus costos variables de generación y vendiendo sus excedentes de energía al mercado de oportunidad. El mercado eléctrico nacional también posee un mercado a término o de contratos donde compradores y vendedores pactan libremente las condiciones de los mismos utilizando las distintas modalidades de contratos establecidas en la normativa vigente.

Las actividades de transmisión y distribución son reguladas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

## **1.1. Marco legal**

El marco legal del sector eléctrico guatemalteco está basado en un modelo antimonopólico, ya que este no permite que una misma persona ya sea de forma individual o jurídica pueda poseer participación en todas las actividades del sector eléctrico guatemalteco, ya sea que estas estén relacionadas a la generación, distribución, transmisión y comercialización de energía eléctrica.

El marco legal está comprendido de la siguiente forma:

### **1.1.1. Ley General de Electricidad**

La Ley General de Electricidad fue emitida según el decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala e indica que el Gobierno de la República de Guatemala es el ente coordinador y subsidiario del desarrollo nacional; por lo que considerando las condiciones en las que se encontraba el sector eléctrico nacional, se declara de urgencia la electrificación del país; esta medida fue tomada debido a que el estado no contaba con los recursos económicos ni financieros para la realización de los trabajos necesarios por lo que se crean planes estatales con participación de la iniciativa privada.

En la Constitución Política de la República de Guatemala en el artículo 130 se indica la prohibición de la existencia de cualquier tipo de monopolio, debido a esto se logra la liberalización del sector eléctrico guatemalteco y en consecuencia se podrá desarrollar e invertir en la producción de generación de energía eléctrica, su transmisión y distribución con el fin de mejorar las condiciones del sector eléctrico guatemalteco y, por consiguiente, en las condiciones de vida de los guatemaltecos.

Todo lo mencionado anteriormente se sustenta en los principios de libertades y garantías detallados a continuación.

Libertad:

- La libertad de ingreso al mercado incluyendo la libertad de generación, transporte y distribución.
- Libertad de acceso a las redes de transporte y distribución.

- Libertad de precios competitivos y contratación con otros participantes de la potencia, energía o servicios que requieran.
- Libertad de inversión.

Garantías:

- Garantía de separación de actividades dentro del sector eléctrico
- Garantía de separación institucional
- Garantía de auto crecimiento de la red eléctrica
- Garantía de abastecimiento de energía eléctrica a nivel nacional

### **1.1.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad y sus reformas**

El reglamento de la Ley General de Electricidad es establecido según el acuerdo gubernativo número 256-97 dentro del marco de la Ley General de Electricidad; dicho reglamento abarca las actividades relacionadas a la generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica; además, incluye la importación y exportación de energía.

Dentro de dicho reglamento se contempla lo siguiente:

- Autorizaciones definitivas o temporales para plantas de generación hídrica, geotérmica, transporte y distribución, las cuales deberán ser resueltas en todos los casos, en un plazo no mayor de 60 días.
- Trámites para determinar los daños o perjuicios que pudieran ser ocasionados por actividades realizadas con autorizaciones temporales a los

dueños o poseedores de los bienes afectados y no se logre un acuerdo entre ellos.

- Autorizaciones para el transporte de energía eléctrica solamente cuando se use total o parcialmente bienes de dominio público o se deba imponer servidumbres a particulares.
- Negación del uso de capacidad disponible de transporte cuando el agente se niegue a permitir el uso de sus instalaciones a terceros.
- Reserva de capacidad de transporte cuando estas hayan sido comprometidas por contrato para inyectar o retirar energía.
- Rescisión del contrato de autorización cuando se exceda el límite de penalizaciones por el transportista.
- Desarrollo de la generación distribuida renovable en donde los distribuidores están obligados a permitir la conexión a sus instalaciones y realizar las modificaciones pertinentes si así lo autoriza la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y de esta forma permitir el funcionamiento del generador distribuido renovable.
- Servicio de distribución final el cual establece que deberá obtener una autorización para instalar y operar redes de distribución con carácter de servicio de distribución final y faculta al titular a usar bienes de dominio público en el área de autorización e imponer servidumbre a particulares.
- Los grandes usuarios no deberán solicitar autorización para contratar el suministro de energía eléctrica de un comercializador o generador.



- Terminación de las autorizaciones del servicio de distribución final debido a rescisión del contrato de autorización, vencimiento del plazo y renuncia del adjudicatario.
- A los agentes conectados al SNI utilizando instalaciones de un distribuidor no se cataloga al distribuidor como transportista.
- La modalidad para las ampliaciones a la capacidad de transporte serán por acuerdo entre partes, iniciativa propia y licitación pública.
- El órgano técnico especializado que elaborará el plan de expansión del sistema de transporte que deberá elaborarse cada 2 años y tener una visión de estudio de 10 años considerando los proyectos de generación que se estén construyendo.
- El sistema de peaje para el sistema de transporte de energía eléctrica.
- El régimen de calidad del servicio de transporte.
- La obligación de todo distribuidor autorizado a brindar el servicio en un lugar, adquiere la obligación de conectar sus redes a todos los consumidores que lo requieran.
- Las normas técnicas a elaborar por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
- Los precios máximos de distribución para cada nivel de tensión.
- Las estructuras tarifarias.

- Los costos de suministro para el cálculo de las tarifas base y por cada nivel de tensión y se basarán en la estructura de una empresa eficiente.
- Los precios de energía y potencia a la entrada de la red de distribución de media tensión.
- Los cargos por reconexión, para cada categoría de consumidor.
- El cumplimiento de la Ley General de Electricidad, su reglamento y resoluciones de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
- Las sanciones a participantes del mercado mayorista según causas establecidas en el reglamento.
- Sanciones a transportistas.
- Sanciones a distribuidores.
- Sanciones a usuarios.
- Los procedimientos para la imposición de sanciones.

### **1.1.3. Reglamento del Administrador del Mercado mayorista y sus reformas**

Según el acuerdo gubernativo 299-98, se establece el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, las normas necesarias para el abastecimiento constante y confiable del suministro de energía eléctrica facilitando el crecimiento del sector eléctrico y propiciando precios competitivos

de energía para el desarrollo del sector, beneficiando de esta manera a la población guatemalteca.

Este reglamento define los principios generales del mercado mayorista, su organización, sus funciones, obligaciones y mecanismos de financiamiento del Administrador del Mercado mayorista.

Dentro de dicho reglamento se contempla lo siguiente:

- Los derechos y obligaciones de los agentes y grandes usuarios.
- El alcance del reglamento.
- El suministro de la información requerida por el Administrador del Mercado Mayorista.
- Los mecanismos de verificación a través del acceso a la información y las acciones correspondientes para cumplir con las funciones contenidas en la Ley General de Electricidad, el reglamento de la ley y el reglamento del Administrador del Mercado Mayorista.
- Los objetivos y funciones del Administrador del Mercado Mayorista.
- El patrimonio y financiamiento del Administrador del Mercado Mayorista.
- El despacho económico y su cálculo de precios.
- La coordinación de la operación.

- La administración de las transacciones en el Mercado Mayorista.
- Los precios y los costos a trasladar a tarifas de distribución.
- Las disposiciones transitorias.

#### **1.1.4. Normas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica**

Las normas técnicas tienen por objeto garantizar el suministro de energía eléctrica, la calidad del suministro de energía eléctrica, poseer un sistema de transporte adecuado a las necesidades técnicas del país así como vigilar por el crecimiento seguro y adecuado del sistema nacional interconectado. Dichas normas deberán ser cumplidas por todos los participantes del mercado mayorista.

##### **1.1.4.1. Normas de estudio de acceso al sistema de transporte (NEAST)**

Establece el contenido de estudios eléctricos para sistemas de potencia para toda nueva instalación o ampliación de las mismas; deben ser presentados ante la CNEE los proyectos de generación, transmisión o distribución de energía eléctrica.

##### **1.1.4.2. Normas técnicas de acceso y uso de la capacidad de transporte (NTAUCT)**

Establece el tipo y contenido de estudios eléctricos necesarios que todo interesado en el acceso al sistema de transporte de energía eléctrica debe

presentar a la CNEE; además, define el procedimiento a seguir en la evaluación de las solicitudes de acceso y ampliación a la capacidad de transporte del sistema.

#### **1.1.4.3. Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD)**

Establece los derechos y obligaciones de los prestatarios y usuarios del servicio de distribución, los índices e indicadores de referencia para calificar la calidad del servicio de distribución, las tolerancias admitidas y las sanciones o multas.

#### **1.1.4.4. Normas de seguridad de presas (NSP)**

Define los requerimientos y perfiles de normas para las presas existentes con base en una evaluación consistente y adecuada para Guatemala; garantiza que las nuevas presas sean diseñadas y construidas para ser seguras, además de proveer los fundamentos para legislación y regulación en seguridad de presas.

#### **1.1.4.5. Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDROID)**

Establece las disposiciones, criterios y requerimientos mínimos para asegurar que las mejoras y expansiones de las instalaciones de distribución de energía eléctrica, se operen y diseñen garantizando la seguridad de las personas, bienes y la calidad del servicio.

#### **1.1.4.6. Normas técnicas de diseño y operación del sistema de transporte (NTDOST)**

Esta norma contiene los requisitos mínimos a cumplir para el diseño y construcción de las instalaciones que prestan el servicio de transporte de energía eléctrica; además, establece que las empresas de transporte tienen la responsabilidad de inspeccionar y garantizar la integridad y conveniente operación de líneas y equipos de transporte.

#### **1.1.4.7. Normas técnicas de calidad del servicio de transporte y sanciones (NTCSTS)**

Esta norma contiene la evaluación de la calidad del producto el cual será evaluado por medio del sistema de medición y control de la calidad del producto; indica, además, el índice de la regulación de tensión, sus tolerancias, el control para la regulación de tensión, distorsión armónica, flicker en la tensión, sanciones por indisponibilidad forzada, desconexiones automáticas, reducción de carga, indisponibilidad programada y déficit de reactivo.

#### **1.1.4.8. Normas técnicas para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable (NTGDR) y usuarios autoprodutores con excedentes de energía**

Establece las disposiciones que deben cumplir los generadores distribuidos renovables, los distribuidores y los usuarios autoprodutores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

#### **1.1.4.9. Norma técnica para la expansión del sistema de transmisión (NTT)**

Establece los procedimientos, metodologías y criterios para la elaboración del plan de expansión del sistema de transporte; los procedimientos a seguir para desarrollar las obras del plan de expansión del sistema de transporte, además de definir los requisitos y procedimientos que deberán cumplirse para obtener las autorizaciones correspondientes para el desarrollo de las obras.

#### **1.1.4.10. Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.**

Esta norma define y regula las características técnicas de las nuevas instalaciones que han de conectarse a la red de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.; además, de facilitar el trabajo de electricistas, ingenieros y constructores con el objeto de mejorar la calidad del servicio con el uso de materiales que estén contenidos en la normativa de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

#### **1.1.4.11. Norma técnica de conexión**

Establece las disposiciones, principios, procedimientos y lineamientos que se deben cumplir para permitir la conexión y el uso de las instalaciones pertenecientes al sistema de transmisión; además de garantizar que cualquiera que solicite la conexión tenga los mismos derechos y obligaciones garantizando los estudios técnicos que se deben realizar y el proceso que debe seguir cualquier interesado que desee conectarse al sistema.

### **1.1.5. Normas de coordinación comercial y operativa del Administrador del Mercado Mayorista**

Las normas de coordinación comercial y operativa son aquellas que se derivan de lo estipulado en la Ley General de Electricidad, el reglamento de dicha ley y el Reglamento del Mercado mayorista, las cuales son aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Tiene como objeto coordinar las actividades comerciales y operativas para asegurar la continuidad y calidad del servicio.

#### **1.1.5.1. NCC-01, coordinación del despacho de carga**

Esta norma se centra en satisfacer las demandas de potencia y energía eléctrica que sean proyectadas, la programación de salidas de instalaciones de transmisión y generación, identificación y solución de los problemas operativos y la optimización de la generación hidrotérmica.

#### **1.1.5.2. NCC-02, oferta y demanda firme**

Establece la metodología de cálculo para la obtención de la oferta firme con base en las diferentes tecnologías utilizadas para la generación de energía eléctrica, también determina el cálculo de la oferta firme eficiente en función de la demanda firme y las restricciones operativas. Dicha norma cuenta con los criterios para la realización de las pruebas de potencia máxima a unidades y centrales generadoras.



### **1.1.5.3. NCC-03, transacciones de desvíos de potencia**

En esta norma se establece como se gestiona los excedentes o faltantes de potencia comprometida en contratos entre los participantes del mercado mayorista. En la misma se establece la metodología de cálculo para la potencia total comprometida, los desvíos de potencia diarios de los productores, la oferta firme disponible total, los desvíos de potencia por los consumidores y las transacciones de los desvíos de potencia. También cuenta con los criterios de verificación de la potencia disponible.

### **1.1.5.4. NCC-04, precio de oportunidad de la energía**

Esta norma contiene la definición del precio de la oportunidad de la energía, la unidad generadora marginal, régimen de operaciones en el sistema de unidades generadoras, criterios para la obtención del POE y la metodología de cálculo del precio de nodo y la demanda.

### **1.1.5.5. NCC-05, sobrecostos de unidades generadoras forzadas**

Indica los criterios para el costo operativo de unidades hidrotérmicas y la definición y origen de la generación forzada y su forma de pago.

#### **1.1.5.6. NCC-06, tratamiento de las pérdidas del sistema de transmisión**

Establece la definición y metodología de cálculo para los cargos por pérdidas marginales de transmisión y el excedente de precios nodales. Además, indica el cálculo mensual y distribución de excedentes de precios nodales (EPN) entre los participantes consumidores.

#### **1.1.5.7. NCC-07, factores de pérdidas nodales**

Indica los fundamentos de la metodología de cálculo del factor de pérdidas nodales de energía.

#### **1.1.5.8. NCC-08, cargo por servicios complementarios**

Proporciona los procedimientos a utilizar por el AMM para la determinación del saldo entre cargos y compensaciones por servicios complementarios que corresponda a cada participante del MM. Estos servicios incluyen las reservas operativas para la regulación de frecuencia e Intercambio (reserva secundaria), el control de la potencia reactiva y tensión, el arranque en negro, reserva rápida y desconexión de carga.

**1.1.5.9. NCC-09 asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal, secundarios y cargos por uso del primer sistema de transmisión regional**

Establece la metodología para la asignación y liquidación de los cargos por peaje de los sistemas de transporte principal, secundario y los cargos del mercado eléctrico regional por uso de instalaciones de transmisión.

**1.1.5.10. NCC-10, exportación e importación de energía**

Indica todo lo relativo a las transacciones internacionales de energía eléctrica que se efectúen tanto en el mercado eléctrico regional de Centro América como con otros países a los que el sistema nacional de electricidad se encuentra interconectado a efecto de lograr la armonía y compatibilidad de las disposiciones del mercado nacional con dichos mercados o países.

**1.1.5.11. NCC-11, informe de costos mayoristas**

Esta norma indica la metodología para el traslado de costos y precios de energía y potencia a las tarifas de los usuarios regulados de los distribuidores según lo establecido en el artículo 86 de la ley. También cuenta con la metodología de cálculo para la energía comprada en el mercado de oportunidad, energía comprada por contratos, precio de compra de la energía y costo de compra de la potencia.

#### **1.1.5.12. NCC-12, procedimientos de liquidación y facturación**

Esta norma indica que la liquidación de las transacciones económicas será efectuada por el AMM basado en los registros obtenidos por el sistema de medición comercial, el sistema de control supervisorio y las cláusulas de los contratos a término. Todos los importes estarán expresados en dólares de los Estados Unidos americanos. Además, establece la metodología para la facturación, garantía y pago a los participantes del MM.

#### **1.1.5.13. NCC-13, mercado a término**

Cuenta con la definición de mercado a término, la participación en los contratos del mercado a término, la información y publicación de los contratos, sus modalidades de contratación, las características de los contratos y su cumplimiento en la programación semanal, diaria y en tiempo real.

#### **1.1.5.14. NCC-14, habilitación comercial para operar en el mercado mayorista y sistema de medición comercial**

Establece las características del sistema y equipos del sistema de medición comercial que serán utilizados para la liquidación de las transacciones comerciales en el mercado mayorista y el mercado eléctrico regional; además, establece los procedimientos y requisitos de carácter obligatorio para la realización de transacciones económicas.

#### **1.1.5.15. NCC-15, desconexión del SNI, suspensión de operaciones y deshabilitación del MM**

La norma determina las causas, procedimientos en general y órganos competentes para realizar la desconexión de instalaciones, además de la suspensión de la operación y la deshabilitación en el mercado mayorista con el objetivo de garantizar la seguridad, continuidad y liquidez del mercado mayorista.

#### **1.1.5.16. NCO 01, base de datos**

Esta norma reúne y utiliza la información más importante de las diferentes normas de coordinación operativa con el fin de la obtención de una única base de datos, la cual evaluará el cumplimiento de las normas técnicas y operativas para garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia operativa del sistema nacional interconectado. Además, tiene por objeto establecer y definir cuál es el sistema de comunicación entre el AMM y los participantes del mercado mayorista tomando en cuenta tanto las obligaciones de los participantes como las del operador del sistema.

#### **1.1.5.17. NCO 02, coordinación de la operación en tiempo real**

Esta norma contiene los criterios para la operación segura y confiable del sistema eléctrico nacional, considerando las responsabilidades de todos los participantes del mismo. Incluye, además, el procedimiento para las situaciones de emergencia, coordinación de la operación de las interconexiones internacionales, sistema de control supervisorio en tiempo real. Todos los participantes del MM responsables del envío de datos para el sistema de control

supervisorio en tiempo real tendrán la responsabilidad de instalar, operar y mantener el medio de comunicación correspondiente.

#### **1.1.5.18. NCO 03, coordinación de servicios complementarios**

Establece los criterios para la coordinación de los servicios complementarios que serán utilizados para la correcta operación y funcionamiento del sistema nacional interconectado; entre los cuales menciona las reservas operativas, la regulación de frecuencia y el control de potencia reactiva y tensión. También estipula las acciones para mantener o recuperar un estado de operación segura del sistema a través de los diferentes esquemas de control suplementario ECS y procedimientos para desconexión de carga.

#### **1.1.5.19. NCO 04, determinación de criterios de calidad y niveles mínimos de servicio**

Proporciona las definiciones y parámetros establecidos de calidad, seguridad y desempeño que se encuentran vigentes; define los diferentes tipos de reservas operativas que son necesarias para mantener la confiabilidad del sistema, márgenes de reserva, regulación de frecuencia, control de potencia reactiva y tensión; y los procedimientos para la recuperación del SNI de forma rápida y segura. Además, cuenta con los criterios generales para estudios de coordinación de esquemas de protección en el SNI.

#### **1.1.5.20. NCO 05, auditorías**

Establece los criterios para el acceso e inspección a las instalaciones que se encuentren conectadas al SIN; además, incluye los ensayos a los puntos de

conexión, unidades generadoras, equipos de transmisión y el control de unidades generadoras y equipos de transmisión por parte del AMM.

## **1.2. Estructura del mercado eléctrico nacional**

El sector eléctrico guatemalteco se encuentra estructurado en 3 entidades que poseen las funciones para fiscalizar, fomentar, regular y operar el mercado eléctrico nacional, basado en un sustento legal que garantiza su correcta operación.

La separación de las funciones brinda un equilibrio institucional ya que delimita las actividades atribuibles a cada una de ellas permitiendo un mejor control de sus funciones y evitando de esta manera un manejo unilateral del sector eléctrico guatemalteco como ocurrió antes de la promulgación de la Ley General de Electricidad.

El sector eléctrico guatemalteco se encuentra estructurado de la siguiente manera.

### **1.2.1. Ministerio de Energía y Minas, MEM**

Es la institución rectora encargada del sector eléctrico y minero del país. Según la Ley del Organismo Ejecutivo decreto 114-97 en el artículo 34 establece que le corresponde atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros.

La Ley General de Electricidad fue emitida según el decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala en su artículo número 3. Establece

que el MEM es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar la LGE y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones.

Las funciones del MEM están establecidas en el marco de la ley del organismo ejecutivo y son las siguientes.

- Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía; promover su aprovechamiento racional y estimular el desarrollo y aprovechamiento racional de energía en sus diferentes formas y tipos, procurando una política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país.
- Coordinar las acciones necesarias para mantener un adecuado y eficiente suministro de petróleo, productos petroleros y gas natural de acuerdo a la demanda del país, y conforme a la ley de la materia.
- Cumplir y hacer cumplir la legislación relacionada con el reconocimiento superficial, exploración, explotación, transporte y transformación de hidrocarburos, la compraventa o cualquier tipo de comercialización de petróleo crudo o reconstituido, gas natural y otros derivados, así como los derivados de los mismos.
- Formular la política, proponer la regulación respectiva y supervisar el sistema de exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos y minerales.
- Proponer y cumplir las normas ambientales en materia energética.

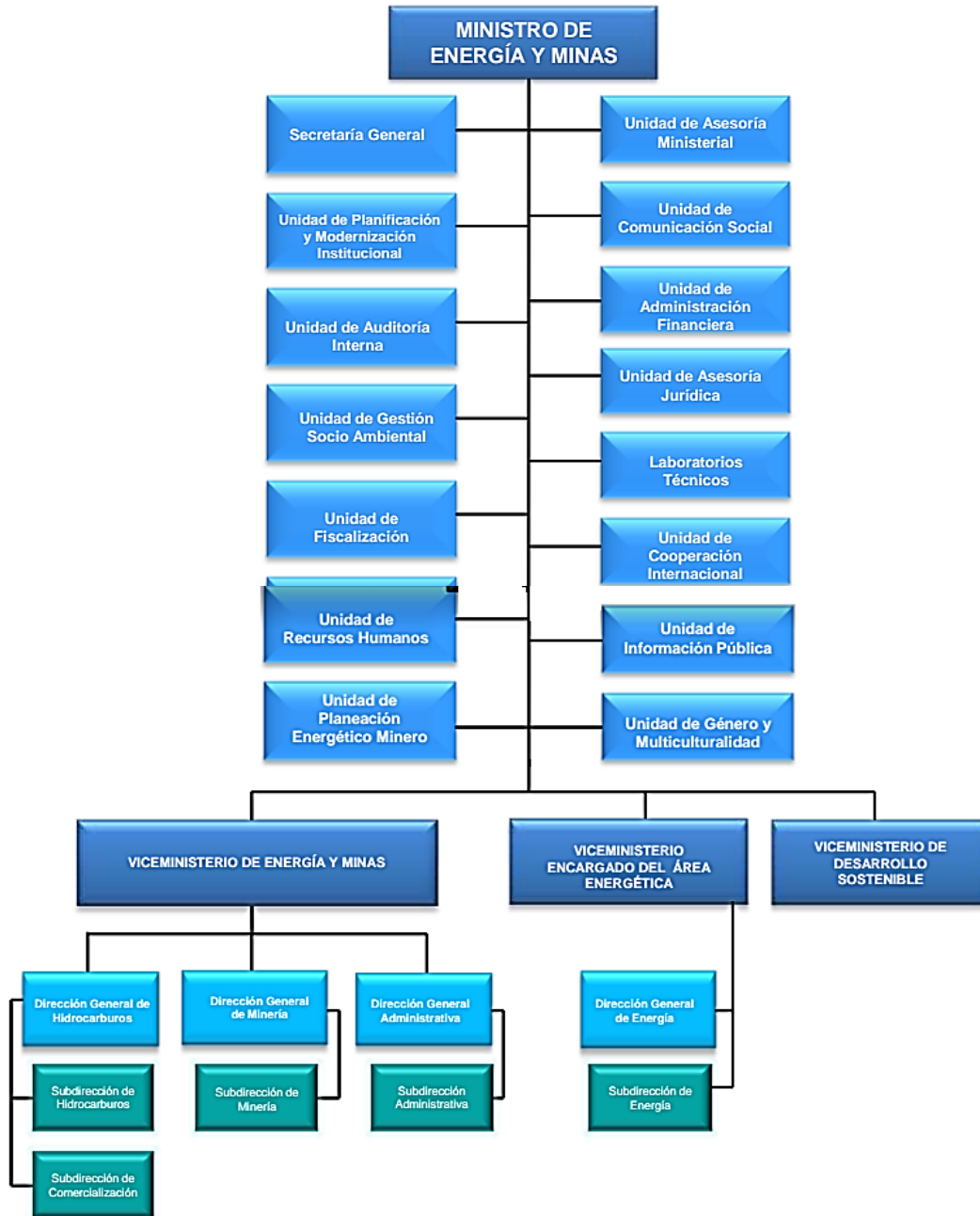


- Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- Ejercer las funciones normativas y de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.

Cabe mencionar que el Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Energía y Minas está contenido en el Acuerdo Gubernativo 382-2006 y su reforma 631-2007.

Según el acuerdo ministerial 284-2015 se aprueba el organigrama general del MEM mostrado a continuación en la figura 1.

Figura 1. Organigrama del Ministerio de Energía y Minas



Fuente: *Ministerio de Energía y Minas*. <http://www.mem.gob.gt/quienes-somos/estructura-organizacional/>. Consulta: 17 de mayo de 2016.

Se puede observar que existen diferentes unidades y viceministerios, pero específicamente se hablará de la Dirección General de Energía que tiene por objetivo estratégico el formular y proponer políticas, planes de estado y programas indicativos dirigidos al desarrollo sostenible del país.

Cabe mencionar que la función fundamental de la Dirección General de Energía es el estudio, fomento, control, supervisión, vigilancia técnica y fiscalización del uso técnico de la energía de conformidad con la Ley de Creación del Ministerio de Energía y Minas y sus reformas, la Ley General de Electricidad y la Ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes.

### **1.2.2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE**

La CNEE es el ente regulador del sector eléctrico guatemalteco. Los entes reguladores son entidades públicas a quienes se les concibe como un órgano técnico especializado preferiblemente autónomo para la independencia de sus funciones. La forma de actuar de estos entes es mediante la emisión de normas, la aplicación de las normas y resolución de conflictos que surjan en la aplicación de las mismas.

Además, las actividades en términos generales de un ente regulador están conformadas por un grupo de facultades establecidas como el control del régimen tarifario, planes de mejora y expansión de los servicios que regulan, protección al usuario y prevención de conductas monopólicas.

Conociendo la definición de ente regulador se puede comprender el objetivo y funcionamiento de la CNEE, ya que esta entidad vela por la creación de condiciones propicias y apegadas a la ley en las actividades de generación,

transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica para que puedan ser desarrolladas por toda persona ya sea individual o jurídica.

Las funciones de la CNEE están establecidas en el artículo número 4 de la Ley General de Electricidad:

- Cumplir y hacer cumplir la presente Ley General de Electricidad y sus reglamentos, en materia de su competencia, e imponer las sanciones a los infractores.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias.
- Definir las tarifas de transmisión y distribución, sujetas a regulación de acuerdo a la presente ley, así como la metodología para su cálculo.
- Resolver las controversias que surjan entre los agentes del subsector eléctrico, actuando como árbitro entre las partes cuando éstas no hayan llegado a un acuerdo.
- Emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas.
- Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución, de acuerdo a lo dispuesto en esta ley y su reglamento.

### **1.2.3. Administrador del Mercado mayorista**

El operador de un sistema eléctrico de potencia es aquel que está encargado de coordinar y operar las distintas instalaciones que lo conforman de forma segura y eficiente, tomando en cuenta la interacción entre los distintos agentes que lo conforman. El operador del mercado es aquel cuyo objetivo es la creación de mecanismos para la coordinación de las transacciones comerciales entre los distintos agentes que lo conforman incluyendo las transacciones internacionales con otros países al cual el sistema se encuentre interconectado.

Los operadores de sistemas y de mercados coordinan las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

El operador del mercado y operador de sistema en Guatemala es el Administrador del Mercado mayorista, una entidad privada sin fines de lucro que fue instituido en el artículo 44 de la Ley General de Electricidad.

Sus funciones serán las siguientes según lo establecido en el artículo 44 de la LGE.

1. La coordinación de la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transmisión al mínimo de costo, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre generadores, comercializadores, incluidos importadores y exportadores, grandes usuarios y distribuidores.
2. Establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores,

importadores y exportadores, cuando ellas no correspondan a contratos de largo plazo libremente pactados.

3. Garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica.

Además, el AMM también realiza diferentes actividades entre las cuales se pueden mencionar:

1. Garantizar la seguridad del sistema nacional interconectado (SNI) de energía eléctrica y el suministro.
2. Prever y programar eficientemente el funcionamiento del mercado mayorista y del SNI.
3. Realizar la valorización de las transacciones, pagos y cobros a los agentes de manera transparente.
4. Operar en el sistema nacional interconectado y administrar el mercado mayorista con objetividad y máxima transparencia dentro de las reglamentaciones del Mercado mayorista.
5. Velar por la obtención de la máxima eficiencia en el uso de los recursos.

El mercado mayorista está conformado por agentes, estos se encuentran definidos en el Acuerdo Ministerial número 195-2013; además, se incluyen los grandes usuarios de energía eléctrica. En general se le llaman participantes a todos los agentes y grandes usuarios. A continuación, se definirán los conceptos básicos de los participantes del MM.

### **1.2.3.1. Agente generador**

Lo establece el artículo número 6 de la Ley General de Electricidad el cual indica que un agente generador “es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad”.<sup>1</sup>

### **1.2.3.2. Agente transportista**

Lo establece el artículo número 6 de la Ley General de Electricidad el cual indica que un agente transportista “es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad”.<sup>2</sup>

### **1.2.3.3. Agente distribuidor**

Como lo establece el artículo número 6 de la Ley General de Electricidad el cual indica que un agente distribuidor “es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica”.<sup>3</sup>

### **1.2.3.4. Agente comercializador**

Como lo dice el artículo número 6 de la Ley General de Electricidad un agente comercializador “es la persona, individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica asociados a una oferta firme eficiente o demanda firme de al menos 5 MW con carácter de

---

<sup>1</sup> Congreso de la Republica. Ley General de Electricidad. p. 4

<sup>2</sup> *Ibíd.*

<sup>3</sup> *Ibíd.*

intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo”.<sup>4</sup>

#### **1.2.3.5. Gran usuario**

El artículo número 6 de la Ley General de Electricidad indica que es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de la Ley General de Electricidad, dicho límite es de al menos 100kW.

### **1.3. Elementos que conforman el sistema nacional interconectado**

El sistema eléctrico nacional está constituido por elementos que tienen como función la generación, transformación, transmisión, distribución y el consumo de energía eléctrica bajo ciertas condiciones y requerimientos establecidos.

A continuación, se conocerán los conceptos de los elementos más importantes que en su conjunto forman un sistema eléctrico de potencia (SEP).

#### **1.3.1. Centrales eléctricas**

La generación de electricidad es el proceso de conversión de una energía primaria en energía eléctrica. Las centrales eléctricas reciben su nombre derivado del tipo de energía primaria que utilizan; en Guatemala las centrales eléctricas existentes son las siguientes.

---

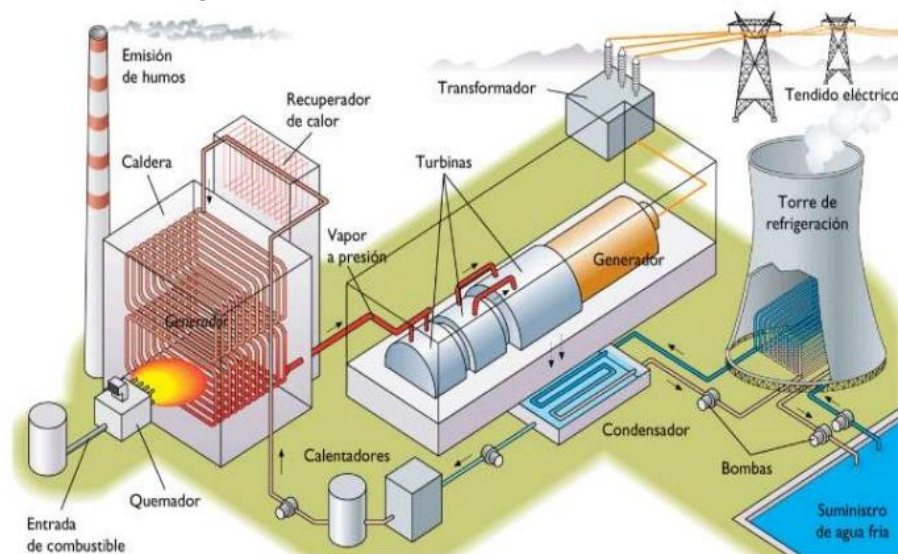
<sup>4</sup> Congreso de la República. Ley General de Electricidad. p. 5



### 1.3.1.1. Centrales térmicas

Estos tipos de centrales utilizan combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, dichas centrales utilizan el calor producido de la quema de los combustibles para calentar el agua ubicada en las calderas que a su vez se convertirá en vapor. El vapor generado entra a alta presión a las turbinas produciendo el movimiento de rotación necesario para la producción de energía eléctrica.

Figura 2. Esquema de central térmica



Fuente: *Centrales Térmicas* <http://www.educando.edu.do/portal/centrales-termicas/>. Consulta: 17 de julio de 2016.

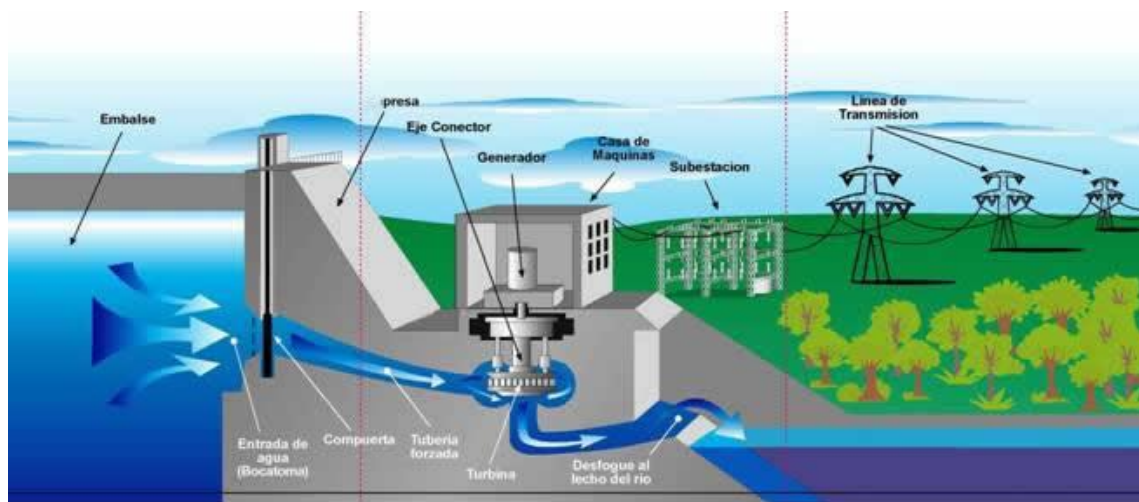
### 1.3.1.2. Centrales hidráulicas

Las centrales hidráulicas o hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua que se obtiene de corrientes naturales o artificiales almacenadas

mediante embalses, que posteriormente se transformará en energía cinética; esta energía es necesaria para mover el rotor de un generador y seguidamente transformarse en energía eléctrica.

En la Figura 3 se puede observar el esquema de funcionamiento de una central hidráulica.

Figura 3. **Esquema de una central hidráulica**



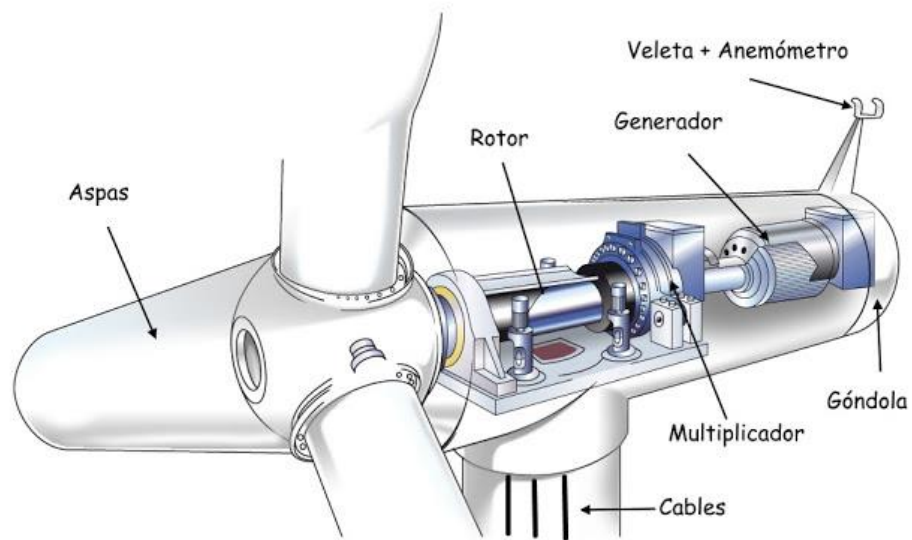
Fuente: *Energía Hidráulica* <http://tecnolowikia.wikispaces.com/Energ%C3%ADa+Hidr%C3%A1ulica>. Consulta: 17 de julio de 2016.

### 1.3.1.3. **Centrales eólicas**

En este tipo de centrales la energía cinética del viento es utilizada para mover las hélices ubicadas en la parte superior de la torre, las cuales van a generar la energía mecánica necesaria para el movimiento del aerogenerador.

En la Figura 4 se observa las partes más comunes de un aerogenerador.

Figura 4. **Partes de un aerogenerador**



Fuente: *Energía Eólica* <http://eolicaybiomasamaribelytere1.blogspot.com/2016/02/como-se-obtiene.html>. Consulta: 17 de julio de 2016.

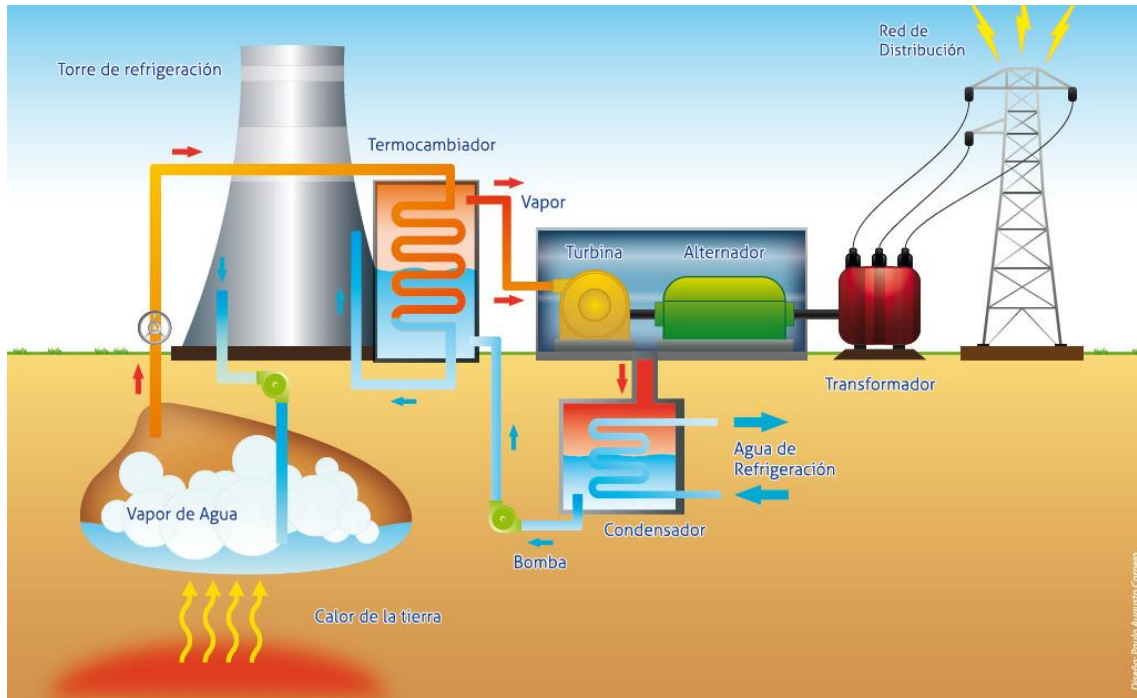
#### 1.3.1.4. **Centrales geotérmicas**

Una central geotérmica es una instalación que aprovecha la energía calorífica del interior de la tierra.

El funcionamiento de las centrales geotérmicas es similar a la de las centrales térmicas; solamente que en lugar de utilizar una caldera se reemplaza por una perforación sobre la corteza terrestre con el objetivo de obtener vapor de los reservorios del subsuelo, que es agua calentada por el calor de la tierra, el cual será procesado y utilizado para mover las turbinas del generador.

A continuación en la Figura 5 se presenta el esquema de una central geotérmica.

Figura 5. Esquema de una central geotérmica

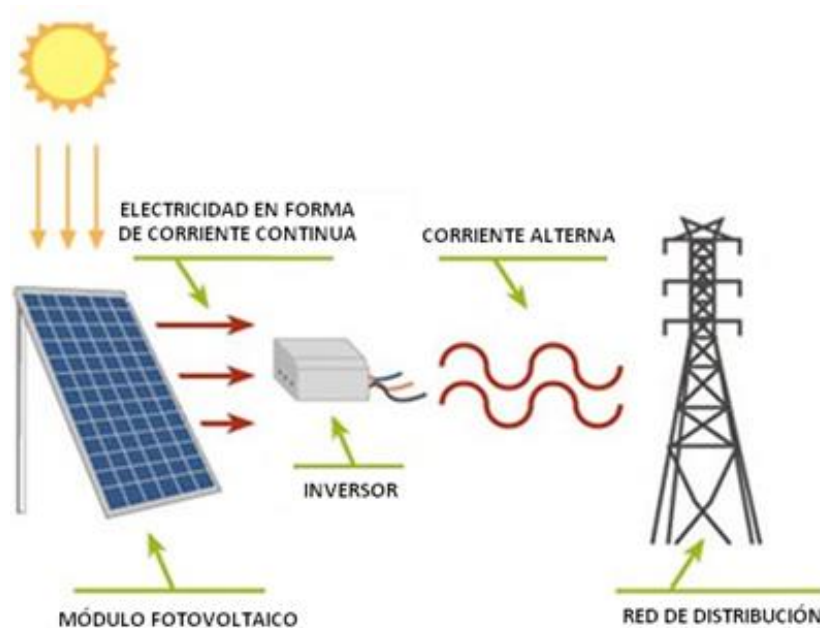


Fuente: ¿Qué es la energía geotérmica? <http://lasenergiasrenovables.weebly.com/e-geoteacutermica.html>. Consulta: 17 de julio de 2016.

### 1.3.1.5. Centrales fotovoltaicas

Una central fotovoltaica es aquella instalación en la que se aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica mediante la utilización de una superficie de cristal semiconductor, llamada célula solar, que producirá en forma directa una corriente eléctrica por efecto fotovoltaico.

Figura 6. **Esquema de una central fotovoltaica**



Fuente: *Instalaciones Fotovoltaicas* [http://www.teresa.cat/es/instalaciones-fotovoltaicas\\_1615](http://www.teresa.cat/es/instalaciones-fotovoltaicas_1615).

Consulta: 17 de julio de 2016.

### 1.3.2. Subestaciones

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos y equipos que tienen como función modificar los parámetros de tensión y corriente, además de proveer al sistema de un medio de despacho e interconexión entre las diferentes líneas del sistema.

Existen diferentes tipos de subestaciones según su función las cuales pueden ser:

- De maniobra
- De transformación (reductoras o elevadoras)
- De transformación y maniobra

### **1.3.3. Líneas de transmisión eléctrica en un sistema de potencia**

Las líneas de transmisión eléctrica son el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo o distribución. Además, las líneas de transmisión son aquellas estructuras que transportan grandes bloques de energía dentro de todos los puntos de la red que constituye el sistema eléctrico de potencia, físicamente son los elementos más simples, pero los más extensos en todo el sistema.

Entre los elementos que conforman una línea de transmisión se pueden mencionar los siguientes.

- Aisladores
- Herrajes
- Puesta a tierra
- Pararrayos de línea
- Estructuras
- Conductores

### **1.3.4. Seccionadores**

El seccionador es un aparato mecánico de conexión capaz de abrir y de cerrar partes de una instalación eléctrica para efectuar maniobras de operación

y mantenimiento. Es un dispositivo de ruptura lenta ya que depende de la manipulación de un operario; además, nunca deberá abrirse un seccionador bajo condiciones de carga ya que no están diseñados para dicha tarea.

### **1.3.5. Interruptores**

El interruptor es un dispositivo que tiene como función el cierre y apertura del circuito eléctrico bajo condiciones de carga, donde su función principal es insertar o retirar de cualquier circuito que se encuentre energizado como máquinas, dispositivos, líneas, etc. El interruptor debe ser capaz de interrumpir la corriente eléctrica de intensidades y factores de potencia diferentes.

### **1.3.6. Equipos de compensación reactiva**

Los equipos de compensación reactiva son utilizados con frecuencia para regular el voltaje, control del factor de potencia o estabilidad ya que disminuye el efecto capacitivo en las líneas de transmisión de gran longitud y pueden ser construidos tanto en unidades monofásicas como en unidades trifásicas teniendo una apariencia física muy parecida a los transformadores de potencia.

Su capacidad está determinada en mega volts-amperes reactivos. La aplicación de los reactores cuando son conectados en serie es limitar la corriente de corto circuito para poder disminuir la capacidad de interrupción de los interruptores de potencia y en paralelo o derivación para absorber potencia reactiva en las líneas de transmisión.

Los reactores, según su capacidad, pueden ser de tipo seco para potencias reactivas pequeñas, o del tipo sumergido en aceite para potencias

elevadas, en cuyo caso tienen núcleo y necesitan estar encerrados en un tanque.

### **1.3.7. Equipos de protección**

Los equipos de protección son aquellos que detectan las fallas o condiciones anormales de operación y realizan una acción para evitar la destrucción de equipos o instalaciones. Si no existieran los equipos de protección, una falla podría iniciarse de una manera sencilla y extenderse sin control por todo el sistema eléctrico. La función principal de los equipos de protección es aislar la zona perturbada, limitar el daño al equipo fallado y el peligro a las personas.

A continuación, se mencionan algunos ejemplos de equipos de protección utilizados en un sistema eléctrico de potencia.

- Apartarrayos
- Interruptores de potencia
- Seccionadores
- Relé de sobre intensidad
- Relé de distancia
- Relé diferencial de transformador
- Relé de sincronismo

### **1.3.8. Equipos de medida**

Los equipos de medida son los encargados de tomar muestras de las señales de interés, y convertirlas a señales analógicas o digitales de baja



tensión y baja corriente para lograr un funcionamiento seguro y factiblemente operable para los instrumentos de medición.

Entre los equipos de medida se pueden encontrar:

- Transformadores de potencial (PT)
- Transformadores de corriente (CT)
- *Remote terminal unit* (RTU)
- Analizadores de señales
- Voltímetros
- Amperímetros
- Vatímetros
- Contadores



## **2. MANTENIMIENTO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS**

En las actividades de mantenimiento se tiene como primera actividad la planeación, ya que da las directrices de lo que se quiere lograr y cuál es la mejor manera de hacerlo.

Además, se debe saber que el mantenimiento se define como un conjunto de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta, para que esta proporcione un mejor rendimiento en el mayor tiempo posible.

El mantenimiento a lo largo de los años ha sufrido transformaciones con el desarrollo tecnológico, ya que en los inicios era visto como una actividad correctiva para la solución de fallas. Las actividades de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las maquinas. Con el paso del tiempo se crean los departamentos de mantenimiento, no solo con el fin de solucionar fallas sino de prevenirlas, con el resultado de garantizar la eficiencia y evitar los costos por averías.

En el presente capítulo, se presentan los conceptos fundamentales que clasifican cada uno de los mantenimientos existentes aplicados a los sistemas eléctricos de potencia y el impacto que ha ocasionado los avances de la tecnología en los procesos de mantenimiento.

### **2.1. Conceptos básicos**

La necesidad del mantenimiento se encuentra presente en cualquier lugar, principalmente en donde existe un movimiento, tal es el caso de las máquinas

rotativas que se encuentran sometidas a un movimiento, por lo que es un ejemplo claro de esta necesidad.

Todo movimiento por pequeño que sea, provoca desgaste entre los elementos actuantes y esta es la causa principal que hace que los componentes de las maquinas sufran un desgaste y en consecuencia ocasionen una falla, ya sea esta mínima o una falla total en nuestro sistema.

En las redes de transmisión existen también desgastes por el uso, ya que los componentes con partes mecánicas que tienden a desgastarse y son afectadas por las condiciones climáticas, ocasionando salidas por disparos por actuación de las protecciones, esto se debe a las condiciones físicas de los componentes y pérdidas en las capacidades de aislamiento. Además de todo esto pueden sufrir esfuerzos electromecánicos que conllevan a desgastar partes de las estructuras, por lo que implica la realización de mantenimientos para evitar fallas de los mismos, como puntos calientes o fractura de los conductores entre otros.

También pueden existir factores ajenos debido a:

- Mala calidad de los componentes.
- Mal dimensionamiento en sus capacidades técnicas y operativas de los mismos lo que conlleva a un desgaste prematuro de los componentes.
- Malas operaciones del sistema que pongan en juego la capacidad técnica de las líneas de transmisión.
- Fuentes externas como ramas, o movimientos telúricos que puedan provocar deterioro de los conductores.

Entre los conceptos que se deben conocer están:

- Disponibilidad: es el tiempo que un equipo se encuentra en operación respecto al total de horas deseado de funcionamiento.
- Planificar: crear un plan con las actividades a realizar en un periodo de tiempo.
- Confiabilidad: grado de confianza que proporciona un equipo o instalación para seguir operando.
- Prevención: preparación que es realizada con anticipación ante una posible contingencia en una maquina o equipo.
- Diagnóstico: suministrar la información necesaria ante una falla en un equipo y evaluar su situación y desempeño.
- Reparación: solucionar una falla o avería para que el equipo quede en estado operativo nuevamente.
- Seguridad: ausencia de peligro o riesgo para el personal y equipo para asegurar que ningún accidente acontecido pueda terminar en una tragedia.
- Mejorar: pasar de un estado a otro de mayor desempeño.

### **2.1.1. Tipos de mantenimientos**

El mantenimiento consiste en el análisis del comportamiento de los equipos o estructuras para determinar sus niveles de funcionamiento en condiciones normales de operación y detectar posibles fallas, por lo que es importante conocer y determinar entre los diferentes tipos de mantenimiento existentes cual es el más indicado según las condiciones de los componentes. A continuación se hablará de los tres tipos de mantenimiento más utilizados.

### **2.1.1.1. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo, también llamado de sustitución preventiva, es aplicado para la prevención de fallas y lograr prolongar la vida útil del equipo. Este mantenimiento se realiza por medio de inspecciones programadas y cambios periódicos de partes. Este tipo de mantenimiento puede ocasionalmente originar problemas, así como gastos fuera de tiempo por cambio prematuro y sacrificio de horas de vida útil de partes reemplazadas que aún podrían estar en operación, pero comprometiendo el equipo a un fallo repentino.

El objetivo primordial que se persigue con la aplicación de este mantenimiento es el de reducir el tiempo de parada del equipo, lo que conlleva a prolongar el tiempo de operación, reduciendo la frecuencia de falla y eficiencia del equipo como resultado de ellas.

### **2.1.1.2. Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo se lleva a cabo con el fin de corregir las fallas que se han presentado en el equipo y estos se llegan a clasificar en los siguientes tipos.

- No programada: es el mantenimiento que se realiza debido a que ocurrió un suceso de forma inesperada. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición del sistema que hay que satisfacer.
- Programada: se sabe con anticipación que es lo que se debe de realizar y de este modo cuando se programe la salida de servicio del equipo se pueda

realizar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

### **2.1.1.3. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo consiste en estudiar la evolución de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para determinar en qué periodo de tiempo el fallo va a tomar una relevancia importante, y de esta forma poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Una de las características más importantes de este tipo de mantenimiento es que no debe alterar el funcionamiento normal de la planta mientras se está aplicando.

Este tipo de mantenimiento se considera como de pruebas no destructivas, y generalmente la inspección de los parámetros se pueden realizar de forma periódica o de forma continua, dependiendo de diversos factores: el tipo de planta y los tipos de fallos a diagnosticar.

## **2.2. Objetivo de los mantenimientos**

El objetivo principal de un mantenimiento es dirigir los esfuerzos necesarios para lograr el máximo desempeño de los equipos o instalaciones eléctricas y evitar de esta manera salidas innecesarias que se traducen en pérdidas económicas y posibles daños permanentes que conlleven a una indisponibilidad forzada o una inestabilidad del sistema eléctrico al cual pertenecen. Además de esto busca la seguridad de los dispositivos eléctricos para su correcto funcionamiento, operación y eficiencia.

Actualmente el mantenimiento busca aumentar la confiabilidad y eficiencia de los equipos con la misión de implementar y mejorar de una manera continua, logrando asegurar el máximo beneficio de las instalaciones o equipos mediante prácticas seguras, innovadoras y económicas.

Los objetivos que se buscan pueden ser los siguientes:

- La seguridad del personal que labora en las instalaciones.
- Disminución de imprevistos.
- Aumento de confiabilidad.
- Mejora en el rendimiento de la máquina.
- Satisfacer los requisitos de calidad del sistema.
- Evitar salidas innecesarias del equipo.
- Evitar daños permanentes a los equipos.
- Mantener la seguridad del sistema nacional interconectado.
- Reducir costos ocasionadas por la deficiencia en el mantenimiento de equipos.
- Maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.
- Reducir factores de deterioro y alcanzar una mayor vida útil de las instalaciones.

### **2.3. El mantenimiento y la disponibilidad**

La disponibilidad se puede resumir como la confianza que se tiene de un elemento o sistema que desempeña una función determinada, en un periodo de tiempo establecido y en condiciones normales de operación. Además se debe conocer que en la actualidad la palabra disponibilidad forma parte de la cotidianidad del mantenimiento ya que la mayoría de los usuarios afirman que



se deben tener tanto confiabilidad como seguridad, porque no se puede permitir que un equipo o sistema se encuentre fuera de servicio.

### **2.3.1. Indicadores utilizados en la disponibilidad**

Se debe conocer que en la práctica la disponibilidad se puede expresar como el porcentaje de tiempo en el que un sistema o equipo se encuentra operativo respecto a la duración total esperada de funcionamiento, esto aplica solamente en sistemas con operación continua, ya que los equipos aunque no se encuentren en operación en un tiempo determinado, estos pueden llegar a ser requeridos de un momento a otro, debiendo estar preparados para iniciar su operación sin ningún tipo de problema ya sea mecánico o eléctrico, según sea su caso.

En la tabla a continuación presentada, se encontrarán algunos ejemplos de sistemas que deben de tener alta confiabilidad, mientras otros deben de poseer alta disponibilidad y alta mantenibilidad dependiendo de las funciones que cada uno realiza.

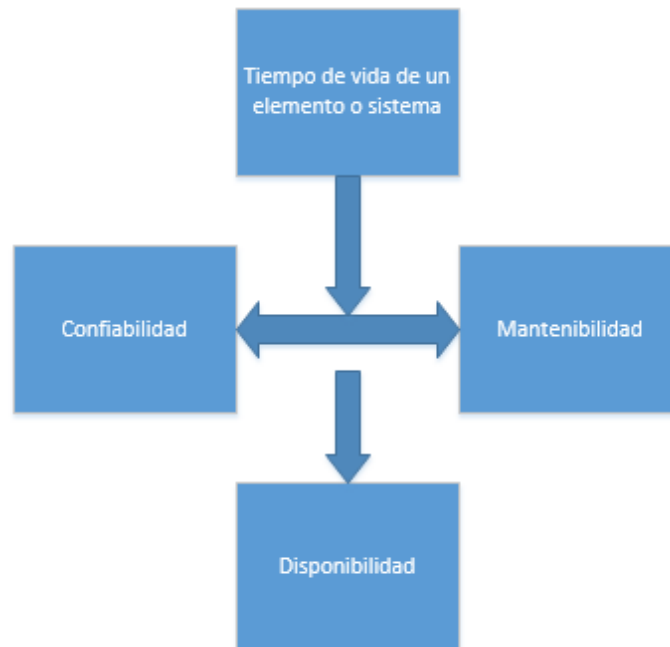
Tabla I. **Consideración de sistemas con confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad**

	Requisitos	Ejemplo
1	Alta confiabilidad	Sistemas de medición de energía. Generadores eléctricos.
2	Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo. Motores de combustión interna.
3	Alta mantenibilidad	Sistema de captación de agua de lluvias. Sistemas de distribución de energía eléctrica.
4	Alta confiabilidad y mantenibilidad	Sistemas automatizados con controladores lógicos programables (PLC).
5	Alta disponibilidad y confiabilidad	Sistemas contra incendios. Suministro de agua potable.
6	Alta disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad	Sistemas eléctricos nacionales.

Fuente: elaboración propia.

Conociendo que un equipo o sistema en función de sus tareas tendrá diferentes prioridades, se debe establecer los criterios a la hora de su diseño, buscando un equilibrio en los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad a manera de disminuir el costo total de la vida útil.

Figura 7. **Diagrama de disponibilidad**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 7, en la disponibilidad influyen el tiempo promedio para fallar (confiabilidad) y el tiempo promedio para reparar (mantenibilidad), y mediante el uso de estos datos se puede obtener el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

#### **2.3.1.1. Tiempo promedio para fallar, TPPF**

Este indicador proporciona el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad nominal sin interrupciones dentro del periodo establecido, lo que proporciona un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema.

### **2.3.1.2. Tiempo promedio para reparar, TPPR**

Este indicador proporciona la efectividad en restablecer la unidad o sistema a condiciones óptimas de operación luego que este presentara una contingencia y saliera de servicio. El tiempo promedio para reparar es un indicador asociado a la mantenibilidad.

## **2.4. El mantenimiento y la economía**

La realización de cualquier mantenimiento está asociada con un costo, tanto en términos de recursos humanos y económicos, como también de consecuencias por no tener el sistema disponible para la operación ya que significa una pérdida monetaria.

Está claro el papel e importancia de los mantenimientos, que esto representa uno de los determinantes principales en la búsqueda de los objetivos de los usuarios respecto a la disponibilidad, confiabilidad, y eficiencia de los equipos.

### **2.4.1. Costos del proceso de mantenimiento**

Toda labor de mantenimiento tiene un costo asociado ya que involucra la reparación o sustitución de elementos en mal estado, todos estos costos pueden clasificarse en varias categorías. A continuación se presentan las más comunes.

- Costos fijos y variables: los costos fijos son aquellos que se mantienen constantes sin importar el número de veces que se requiera realizar un mantenimiento, un ejemplo son los salarios de los trabajadores del

departamento de mantenimiento, que a pesar de realizar múltiples tareas siempre se mantiene constante su ganancia. Por el contrario los costos variables son aquellos que dependen del número de mantenimientos realizados, ya que estos normalmente están asociados a los materiales necesarios para la realización de dicho mantenimiento.

- Costos directos e indirectos: los costos directos son aquellos atribuibles a cada tarea asignada y como ejemplo de esto se tiene los costos de material y de mano de obra utilizada. En cambio los costos indirectos son aquellos que son difíciles de asignar a actividades particulares ya que en la realización de un mantenimiento pueden surgir imprevistos que afecten el costo directo proyectado para su realización.
- Costo inicial de mantenimiento: es aquel costo total necesario para establecer un sistema de mantenimiento capacitado para la realización del mismo, estos costos no suelen ser recurrentes a lo largo de la vida útil del equipo o instalación. Como ejemplo se puede mencionar los costos de la capacitación del personal de mantenimiento y el aporte de herramientas necesarios para la realización de sus actividades.

#### **2.4.2. Origen de los costos de mantenimiento**

Todo costo de mantenimiento debe poseer un origen por el cual se está realizando dicha tarea, a continuación se enumerarán algunos de los orígenes que provocan dichos costos.

- Realización de intervención a equipos: estos suelen aparecer cuando el equipo o instalación presenta alguna falla, ya que es necesario la determinación del elemento dañado y su pronta sustitución para dar inicio

nuevamente a la correcta operación del equipo o instalación; como ejemplo se tienen esfuerzos superiores en piezas debido a cambios en las condiciones de operación, el desgaste de piezas y esfuerzos repetitivos de fatiga.

- Defectos en la elaboración del mantenimiento: el realizar un mantenimiento posee un costo asociado al mismo, pero una mala realización en la elaboración del mantenimiento dará como resultado un elevado costo; esto se debe a que nuevamente se deberá realizar un segundo mantenimiento al equipo o instalación para garantizar su correcta operación, como ejemplo de esto se puede mencionar un mantenimiento correctivo mal ejecutado.
- Costo de almacenamiento: todo mantenimiento necesita de la sustitución de los elementos necesarios para el funcionamiento del equipo, esto da como resultado la necesidad de poseer los repuestos que serán necesitados para la realización de dichos mantenimientos, pero esto posee una consecuencia ya que se necesita de un espacio físico para guardar dichos elementos, como ejemplo de esto se puede mencionar el poseer piezas en stock y los medios necesarios para su gestión y almacenamiento.

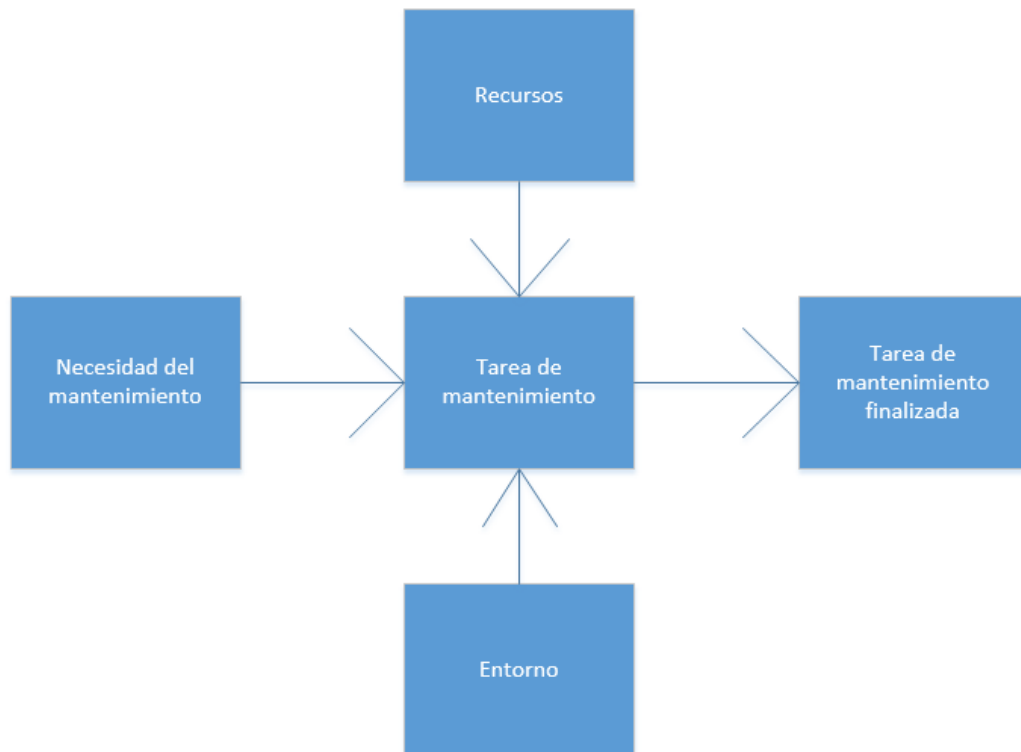
## **2.5. Trabajo de mantenimiento**

Se le denomina trabajo de mantenimiento al conjunto de actividades realizadas por el usuario para mantener la funcionalidad del elemento o sistema; con base en esto se puede determinar que la entrada para el proceso de mantenimiento está ligada a la necesidad de su realización, y a la salida del proceso se encontrará la propia realización de la tarea de mantenimiento.

Se debe mencionar que para cada actividad específica de los trabajos de mantenimiento requerirá diferentes recursos para su finalización en función del entorno en el que será requerida dicha tarea. Como ejemplos se puede mencionar si es a la intemperie, en las alturas, bajo condiciones climáticas no favorables, entre otros, lo va a conllevar a introducir un impacto significativo en la seguridad, precisión y facilidad para la finalización de la tarea de mantenimiento.

A continuación se representan las 4 variables involucradas para realizar el proceso de un trabajo de mantenimiento.

Figura 8. **Trabajo de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

### **2.5.1. Duración de los trabajos de mantenimiento**

La duración de un trabajo de mantenimiento está determinada por 3 grupos de razones que son aceptadas normalmente para tareas realizadas bajo similares condiciones y que podrían decirse que son idénticas a una tarea que fue realizada con anterioridad.

Los 3 grupos se mostrarán a continuación:

- Factores personales: dentro de este grupo se pueden mencionar la influencia de la habilidad de la persona para la realización del mantenimiento, su motivación, experiencia, responsabilidad, estado de ánimo y en general las características relacionadas al personal involucrado para realizar dicho mantenimiento. Como ejemplo de esto se tiene una persona con muchos años de experiencia en reparación de motores eléctricos contra una persona que acaba de empezar en dicha área, como ya se supone la primera persona terminará el mantenimiento mucho antes que la segunda persona aun cuando se realice el mismo tipo de mantenimiento a un motor de iguales características, esto debido a la experiencia obtenida a través de los años y por consiguiente su habilidad para su realización.
- Factores condicionales: estos representan la influencia del entorno operativo y las consecuencias ocasionadas por el fallo tanto en su condición física, forma y características propias del elemento o sistema sometido al mantenimiento. Como ejemplo de estos factores condicionales se puede mencionar la gravedad del elemento o sistema dañado.



- Factores del entorno: estos reflejan la influencia de aspectos tales como la humedad, temperatura, ruido, entre otros aspectos, causando variabilidad en el tiempo necesario para la realización de la tarea de mantenimiento al elemento o sistema. Un claro ejemplo de esto es la correcta iluminación, ya que esto va a permitir observar de una mejor manera, y por consiguiente, poder operar los equipos y herramientas necesarias para la realización del mantenimiento.

## **2.6. Impacto de los avances de la tecnología en los procesos de mantenimiento**

Con el paso de los años las tareas de mantenimiento han ido progresando conforme el avance de las tecnologías disponibles, ya que estas permiten la obtención de mayor y mejor información acerca del dispositivo o sistema analizado, dando un mejor panorama de la situación para poder tomar las medidas necesarias para su prevención o reparación.

En este capítulo se enfocará en las técnicas a continuación presentadas.

### **2.6.1. Técnicas de vigilancia de la condición**

Este tipo de técnica se basa en vigilar, detectar y diagnosticar a través de dispositivos especializados, las condiciones del elemento o sistema considerado, por lo que suministrará la información necesaria referente a la condición real y los cambios que se producen en esta.

Se debe conocer el comportamiento del elemento cuando se encuentre en una contingencia ya que se debe determinar cuál es la técnica más efectiva en las condiciones propias en las que se producirá.

Debido a que esta técnica se volvió muy popular se desarrollaron muchos dispositivos relacionados al tema de la vigilancia de la condición; ejemplo de esto se tienen los sensores, instrumentos y dispositivos de grabación y análisis de datos que han ido mejorando considerablemente con el paso de los años, que ha permitido obtener información más confiable en la condición en la que se encuentra el sistema, obteniendo como resultado grandes cantidades de información para analizar.

Debido al incremento de los datos obtenidos de las técnicas de vigilancia se ha visto en la necesidad del desarrollo de herramientas que diagnostiquen la condición del sistema y que permita la predicción del fallo, por lo que la inteligencia artificial ha llegado a cubrir los campos antes mencionados, suministrando técnicas más potentes de análisis, manejando las grandes cantidades de datos proporcionados, una tarea que el hombre ya no puede realizar por sí mismo.

Los sistemas informáticos poseen las ventajas enumeradas a continuación.

- Pueden procesar la información recopilada mucho más rápido y en consecuencia reducir el tiempo de diagnóstico de mantenimiento.
- Pueden analizar situaciones con objetividad y sin omitir ningún hecho relevante por lo que disminuye la probabilidad de realizar un diagnóstico erróneo.
- Pueden detectar fallos incipientes mediante la vigilancia en directo de los parámetros de la condición del sistema.

En general, las técnicas de vigilancia de la condición pueden dividirse en diferentes categorías según distintos criterios, a continuación se analizan brevemente algunas de las técnicas usadas con más frecuencia.

#### **2.6.1.1. Vigilancia de las vibraciones**

Dicha vigilancia se basa en que las máquinas giratorias producen vibraciones a medida que las máquinas se deterioran, por lo que si alguno de los sistemas empieza a fallar, sus niveles de vibraciones también cambian. Por lo general solo se miden las vibraciones para determinar el estado general del sistema.

Las vibraciones pueden caracterizarse por poseer 3 parámetros que son el desplazamiento, velocidad y aceleración por lo que existen básicamente 3 transductores de medida de la vibración los cuales son:

- Transductores de desplazamiento
- Transductores de velocidad
- Acelerómetro

La importancia de la vigilancia de la condición de las máquinas giratorias por el análisis de vibraciones crece continuamente y es probablemente una de las técnicas mejor desarrolladas en el campo del mantenimiento basado en la condición de la máquina.

Los problemas más importantes cuando se mide la vibración son la gran cantidad de información a procesar y el pequeño número de personas expertas en el análisis de unos datos particulares de vibración, que puedan deducir la condición de la máquina, por lo que estas limitaciones se están venciendo

mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial para automatizar la interpretación de los datos de vibración.

### **2.6.1.2. Vigilancia de la tribología**

Las muestras de aceite se analizan en el laboratorio usando diferentes métodos, dando información útil para determinar si una máquina, por ejemplo un motor, está sufriendo un desgaste anormal o si el lubricante está degradado. Algunas técnicas de la vigilancia de la tribología se presentan a continuación.

- **Análisis del aceite:** en este tipo de análisis se estudian las muestras para determinar si todavía cumplen con los requisitos y los resultados del análisis pueden servir como base para cambiar el tipo de aceite a fin de mejorar las prestaciones, no se puede utilizar el análisis de aceite como una herramienta para determinar la condición operativa del sistema, pero si como una ayuda importante para un mantenimiento basado en la condición actual del elemento analizado.
- **Análisis de partículas:** esta técnica se utiliza para indicar acerca del cambio en la condición del sistema y ayudar en la determinación de la causa del fallo, además de detectar una degradación de la condición operativa, en casi todos los sistemas lubricados por aceite, ya que las partículas contenidas dan una información detallada e importante de la condición de la máquina.

### **2.6.1.3. Análisis de las prestaciones**

Es un método que observa principalmente el modo en el que los elementos o sistemas realizan una función determinada; como ejemplo se tiene la velocidad, temperatura, presión y caudal. En general este tipo de análisis se

basa en estudio de tendencia en función del tiempo, ya que cuando se exceden ciertos valores límites de operación, indican una tendencia de condiciones de fallo. La información obtenida se recoge de 2 formas: manualmente o sistemas basados en microprocesadores. La ventaja del tipo de sistemas de diagnóstico inteligente es que ayuda a interpretar la gran cantidad de datos de parámetros y suministran gráficos, listados y órdenes de trabajo para el personal de mantenimiento.

#### **2.6.1.4. Inspección visual**

A pesar de los métodos mencionados anteriormente, aún es necesaria la inspección visual ya que un inspector puede detectar muchos defectos como fugas, grietas superficiales, daño en conductores, entre otros. La inspección visual es usada ampliamente como una forma sencilla, rápida y barata de vigilar los elementos o sistemas.

#### **2.6.2. Localización de averías con técnicas de ensayo no destructivo**

Estas técnicas miden directamente la condición del elemento o sistema y observan el deterioro en las condiciones. A continuación se presentan algunas de estas técnicas de ensayo no destructivo.

##### **2.6.2.1. Termografía**

Se basa en recoger imágenes de radiación térmica que son emitidos por los elementos en la región infrarroja, lo que quiere decir que se observa el calor emitido por el elemento. La cantidad de calor emitido es variable según las condiciones de operación del sistema. Su principal uso se da en la detección de

fallos eléctricos, por ejemplo, la detección de puntos calientes debido a conexiones eléctricas defectuosas.

### **2.6.2.2. Radiografías**

Con esta técnica se pueden fotografiar las discontinuidades superficiales como grietas e imperfecciones causadas por fatiga o corrosión. Este tipo de técnica utiliza rayos X o rayos Gamma, pero el inconveniente que presenta esta técnica es que exige el acceso a dos lados opuestos de un objeto, y que tiende a ser una técnica cara, comparada con otros métodos no destructivos.

### **2.6.2.3. Examen por corrientes inducidas**

Este método está basado en el principio del electromagnetismo ya que cuando un material magnético está presente en un campo electromagnético y existe un movimiento entre los elementos se inducirá una corriente eléctrica, por lo que la presencia de discontinuidades en el material nos indicara la magnitud de la corriente inducida. La técnica de las corrientes inducidas es utilizada para detectar defectos superficiales o sub-superficiales en un elemento, y también para medir el espesor de capas conductoras o no conductoras.

### **3. RECOPIACIÓN DE LOS CRITERIOS NECESARIOS EN EL SNI PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS**

La base normativa que se utiliza hasta el momento, para realizar la coordinación de mantenimientos en el SNI de Guatemala entró en vigencia en el año 2000. Debido al crecimiento que ha tenido el SNI e incremento de los afectados e involucrados en los mismos, es necesario definir y ampliar nuevos criterios para la correcta administración y realización del proceso de coordinación de los mantenimientos.

En el presente capítulo se darán las definiciones necesarias para comprender en capítulos posteriores, los conceptos utilizados, además se proporcionarán los criterios a seguir para la programación de los mantenimientos y la información requerida para su coordinación.

#### **3.1. Definiciones**

A lo largo de los años, los términos que hacen referencia a actividades en lo que se refiere a mantenimientos, han ido aumentando conforme a las estructuras de organización y la complejidad de los mismos, por lo que a continuación se presentarán las definiciones a utilizar en los siguientes capítulos.

- **Mantenimiento mayor:** mantenimiento con una duración mayor de tres días (72 horas) el cual debe informarse para la realización de la programación anual. Dentro de estos también se incluyen los mantenimientos que requieran salir por más de dos horas diarias durante más de tres días consecutivos, como los mantenimientos de generación que dejen indisponible una potencia mayor o igual a la RRa del año estacional.

- Mantenimiento menor: mantenimiento con una duración menor de tres días (72 horas). Estos mantenimientos deberán comunicarse junto con la información correspondiente a la programación semanal.
- Número de programación: aprobación para la realización de los mantenimientos preventivos o correctivos solicitados por el agente del mercado mayorista.
- Mantenimiento programado: es la indisponibilidad programada de una unidad generadora o de un equipo del sistema de transporte, bajo condiciones previstas e informado con la anticipación debida dentro de la programación correspondiente, que permite tomar las acciones necesarias para minimizar o neutralizar su impacto en el despacho.
- Disponibilidad: condición en la cual un equipo puede ser utilizado sin ningún tipo de restricción en la realización de una función específica, tanto si este se encuentra en funcionamiento o a la espera de ser requerido para realizar dicho trabajo.
- Indisponibilidad: condición en la cual un equipo no puede ser utilizado sin restricciones para cumplir determinada función, esto debido a causas propias del dispositivo o elemento, o a causas externas relacionadas a equipos de protección o maniobra.
- Indisponibilidad forzada: es toda aquella salida de servicio que no ha sido informada dentro de los plazos correspondientes a su periodo de programación, ya sea la programación anual o programación semanal y que debido a ésta u otra razón no se ha podido minimizar o neutralizar el impacto que producirá dentro del despacho de energía.



- **Mantenimiento de emergencia:** corresponde al mantenimiento que debe realizarse, y este no se encontraba previsto en las programaciones anuales o semanales, pero que es necesario para el buen funcionamiento del equipo y en consecuencia se requiere su salida del sistema. Los trabajos serán considerados como indisponibilidad forzada y será solicitado en operación en tiempo real.
- **Mantenimiento cancelado:** corresponde al mantenimiento que el propio agente solicitante o el operador del sistema (OS) suspende los trabajos que se tenían previstos o programados, por una causa justificada.

### **3.2. Criterios a seguir para la programación de los mantenimientos**

Para mantener el SNI y su correcto funcionamiento es necesario realizar las acciones correspondientes para garantizar las condiciones operativas y de calidad del SNI. Esto se lleva a cabo mediante las solicitudes de mantenimiento para los elementos o equipos que lo conforman, este proceso inicia al momento que los agentes del MM proporcionan la información correspondiente al operador del sistema, el cual con base en estudios realizados y criterios adecuados determinaran el proceso correspondiente para su programación.

Los criterios generales al momento de realizar la programación de mantenimientos serán los siguientes:

- Como objetivo principal se debe satisfacer la demanda de potencia y energía del SNI. Los mantenimientos se programarán de tal manera que se minimice el impacto que puedan ocasionar y a menos que no exista otra alternativa serán programados cuando las condiciones del sistema se vean

afectados lo menos posible. El programa de mantenimiento siempre buscará evitar cualquier interrupción del suministro de energía eléctrica.

- Se debe minimizar el costo total de operación del SNI. Los mantenimientos se programarán buscando minimizar el costo total de operación, esta medida se logrará a través de la ejecución de los mantenimientos tomando en consideración la estacionalidad, así como los horarios de ejecución de los mantenimientos.
- En la programación de mantenimientos asociados a las centrales hidroeléctricas, se debe tomar en consideración evitar o disminuir el riesgo de vertimiento.
- Se debe satisfacer los criterios de calidad y confiabilidad del SNI manteniendo los márgenes de reserva. La programación de mantenimientos tomará en cuenta que se deben mantener las condiciones mínimas de desempeño; por lo tanto, la programación deberá incluir las acciones que deban tomarse con esta finalidad.
- Cuando en el transcurso de la ejecución de los trabajos de mantenimientos existan diferencias con respecto a lo previsto en la programación anual estacional debido a la indisponibilidad de unidades generadoras o líneas de transmisión, los mantenimientos deberán reprogramarse en función de las horas de operación de los elementos o equipos solicitados respetando los períodos de mantenimiento de los demás agentes del MM; además, se deben de considerar todos los criterios enumerados con anterioridad para mantener las condiciones estables del SNI.

- Cuando sean solicitados dos o más mantenimientos simultáneamente y estos sea incompatibles entre sí, se deberá de solicitar un acuerdo entre los agentes involucrados para la modificación de su programación y de no existir un acuerdo entre los agentes, se procederá a la programación de mantenimiento dándole prioridad a los mantenimientos, cuando se trate de unidades generadoras, a la unidad con mayor número de horas de operación, desde el último mantenimiento mayor dentro de su ciclo normal de mantenimiento. Cuando se trate de un mantenimiento en redes de transporte, se dará prioridad al que según la información solicitada y proporcionada por el agente, prevenga los mayores riesgos para el SNI, tanto de los equipos, como del suministro de energía eléctrica. Cuando las propuestas de mantenimiento de los transportistas impliquen desconexión de carga, previo a presentar su solicitud de mantenimiento, el transportista involucrado deberá notificar a la parte afectada para buscar un acuerdo previo o en todo caso para que el consumidor afectado lo tome en consideración.

### **3.3. Información a suministrar por los participantes del mercado mayorista**

Para la coordinación de mantenimientos es esencial que los agentes del MM proporcionen la información necesaria para las solicitudes de los trabajos correspondientes, con el objetivo de obtener una mejor comprensión de los términos, requerimientos y actividades que se realizarán, logrando determinar de esta manera el impacto que podría ocasionar al SNI.

Las solicitudes de mantenimiento deberán incluir los siguientes datos:

### **3.3.1. Nombre de la empresa**

Este dato proporcionará el nombre de la entidad solicitante del mantenimiento con el fin de conocer quién es el responsable de la unidad o equipo.

### **3.3.2. Nombre y cargo del solicitante**

Este dato suministrará el nombre de la persona solicitante del mantenimiento con el objetivo de conocer quién es la persona encargada de la coordinación del mantenimiento.

### **3.3.3. Número telefónico**

Es importante conocer el número telefónico directo del encargado del mantenimiento, por cualquier eventualidad que pueda ocurrir en el SNI y esta eventualidad pueda llegar a la cancelación de la realización del mantenimiento, además de poder tener una vía de comunicación para conocer el avance del mantenimiento ejecutado.

### **3.3.4. Localización e identificación del elemento o equipo**

Se debe presentar de forma clara y precisa los elementos o equipos que estarán involucrados en la realización del mantenimiento con el objetivo de que la entidad encargada de la operación del sistema, pueda tomar las acciones pertinentes con antelación en la minimización del impacto que pudiera existir en el SNI. Como ejemplo se pueden mencionar las unidades generadoras, equipo de subestación o elementos de transmisión.

### **3.3.5. Potencia afectada**

Esta información es útil para determinar cuánta potencia estará indisponible para el despacho de energía de los días correspondientes al mantenimiento solicitado, y poder realizar en función de la magnitud de potencia faltante para el sistema y sus condiciones, una evaluación de los peligros operativos que resultaran de este.

### **3.3.6. Fecha y hora**

Se deberá proporcionar la fecha y hora para el inicio y finalización del mantenimiento para establecer cuánto tiempo estarán fuera los elementos o equipos y poder coordinar con otros mantenimientos el programa respectivo a los mantenimientos solicitados.

### **3.3.7. Localidades que serán afectadas por el mantenimiento**

En el caso de que el mantenimiento afecte a determinadas zonas geográficas, es necesario informarlo para tomar las acciones pertinentes y evitar posibles contingencias en el SNI por la desconexión de carga en el lugar.

### **3.3.8. Descripción general del trabajo**

Descripción general del trabajo que se efectuará, para coordinar posibles mantenimientos compatibles entre sí y de esta forma aprovechar el mantenimiento a otros elementos o equipos solicitados.

### **3.3.9. Datos complementarios**

Tales como, si el mantenimiento afecta a otro equipo, porcentaje en que disminuye la capacidad de la central, línea o subestación y cambio de topología resultante.

### **3.3.10. Documentos**

Documentos de aprobación por parte de los participantes consumidores afectados, y en el caso de mantenimientos en el sistema de transporte, que implique desconexión de carga debido a la imposibilidad de abastecimiento desde otro punto. Para el efecto y previo a la solicitud de autorización, el agente responsable del mantenimiento deberá llegar a un acuerdo con los respectivos agentes del MM y presentarlo por escrito.

### **3.3.11. Maniobras**

Se debe proporcionar la indicación clara y precisa de las maniobras que deberán ejecutarse para la realización de los trabajos, al inicio, y la posterior normalización del equipo o elemento. Se debe indicar el responsable de la comunicación para que estas se lleven a cabo. En caso de necesitar maniobras que involucren a otros agentes del MM, deberán indicarse los elementos o equipos que se requieran.

Los mantenimientos de elementos que pertenecen a la RTR o que generen restricciones operativas, deberán ser solicitados por los agentes, con 15 días hábiles de anticipación a la fecha propuesta de los trabajos, con la finalidad de mitigar el impacto que puedan tener éstos en el SNI, y realizar los ajustes necesarios en los programas semanales y diarios.

## **4.    NORMATIVAS INTERNACIONALES**

Las normativas internacionales ayudan al entendimiento de las definiciones y criterios establecidos en los procesos de gestión y coordinación de mantenimientos aplicables a los sistemas eléctricos, dando una perspectiva de los procesos utilizados en los diferentes países de Latino américa.

### **4.1. Norma venezolana COVENIN 3049-93**

La norma venezolana establece el marco conceptual de la función de mantenimiento en la búsqueda del objetivo de la unificación de criterios y principios básicos para su atención en mantenimientos. Su aplicación está dirigida a aquellos sistemas en operación que estén sujetos a acciones de mantenimiento.

Además establece las siguientes definiciones dentro de las cuales las más importantes se presentan a continuación.

- **Gestión de mantenimiento:** es la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos de mantenimiento.
- **Políticas de mantenimiento:** son los lineamientos para lograr los objetivos de mantenimiento.
- **Recursos de mantenimiento:** son todos los insumos necesarios para realizar la gestión de mantenimiento.

- Trabajos de mantenimiento: son las actividades a ejecutar para cumplir con los objetivos de mantenimiento de la organización.

Luego de observar esta pequeña introducción a las definiciones sobre mantenimiento la norma establece los diferentes tipos de mantenimiento existentes, los cuales solamente serán nombrados en este capítulo.

Dentro de los mantenimientos existentes en la norma se pueden mencionar.

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento programado
- Mantenimiento por avería o reparación
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento circunstancial
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

Solamente serán considerados los mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos según el enfoque dado para el presente estudio de coordinación de mantenimientos.

Existen 2 maneras al momento de realizar un mantenimiento; una administración directa a través de personal perteneciente a la empresa o como un servicio contratado mediante un ente externo a la empresa en condiciones de tiempo y precio ya establecidas entre ambas partes.

Todo lo mencionado anteriormente conduce hacia niveles jerárquicos de una organización de mantenimiento mostrado en la Tabla II.



Tabla II. **Nivel jerárquico de una organización de mantenimiento**

Nivel	Actividad
1	Dirección y gerencia.
2	Supervisión y apoyo.
2.1	Supervisión y control de ejecución de acciones de mantenimiento.
2.2	Apoyo logístico a la función mantenimiento: planificación, diseño, programación, almacén, automatización, entre otros.
2.3	Mantenimiento de taller.
3	Supervisión y ejecución de acciones de mantenimiento para cada área específica.
4	Ejecución propiamente dicha de acciones de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

La norma venezolana indica los tipos de fallas que existen en un sistema de potencia (SP) los cuales serán abordados a continuación.

#### **4.1.1. Fallas en un sistema de potencia**

Una falla es un evento no previsible e inherente a todos los sistemas de potencia que impide el cumplimiento de sus funciones bajo condiciones establecidas.

Dentro del tipo fallas en un SP se pueden mencionar las siguientes:

##### **4.1.1.1. Por su alcance**

Dentro de esta categoría se pueden encontrar las fallas denominadas parciales o totales que son explicadas a continuación.

#### **4.1.1.1.1. Parcial**

Es toda aquella falla que origina una disminución en las características y capacidades de funcionamiento de un SP, pero no la imposibilita totalmente en el cumplimiento de sus funciones.

#### **4.1.1.1.2. Total**

Es aquella falla que interrumpe totalmente las características de funcionamiento de un SP de tal magnitud que produce la incapacidad para el cumplimiento de sus funciones.

#### **4.1.1.2. Por su velocidad de aparición**

La velocidad en la que ocurre una falla en un SP se puede clasificar en 3 tipos:

##### **4.1.1.2.1. Progresiva**

Es aquella falla en la que se observa la degradación gradual del funcionamiento del sistema o equipo y esta puede ser determinada por un examen comparativo con las características de funcionamiento de semanas anteriores.

##### **4.1.1.2.2. Intermitente**

Es aquella falla que se presenta por lapsos limitados de tiempo y persiste durante la operación del SP.

#### **4.1.1.2.3. Súbita**

Es aquella falla que ocurre instantáneamente y no puede ser prevista por ningún tipo de análisis ya que en la mayoría de las veces no presenta irregularidades en el SP o estos ocurren minutos antes de la falla.

#### **4.1.1.3. Por su impacto**

Las fallas en función de la severidad de la contingencia que ocasionarán a un SP pueden ser clasificadas de la siguiente manera.

##### **4.1.1.3.1. Menor**

Es aquella falla que no afectará en gran medida el funcionamiento del servicio prestado por el equipo o sistema debido a la magnitud del evento ocurrido.

##### **4.1.1.3.2. Mayor**

Es aquella falla que afectará parcialmente el funcionamiento del servicio prestado por el equipo o sistema.

##### **4.1.1.3.3. Crítica**

Es aquella falla que afectará de forma total el funcionamiento del servicio prestado por el equipo o sistema debido a contingencias severas ocurridas en el SP.

La norma COVENIN 3049-93 presenta la definición acerca de los tiempos para mantenibilidad la cual es el tiempo en el que un elemento o equipo se encuentra fuera de servicio (TFS), este también es llamado tiempo para reparar (TPR) y se puede describir como el intervalo de tiempo desde que el SP es desconectado hasta el tiempo en que es entregado listo para el cumplimiento de sus funciones.

Es importante conocer acerca de las reparaciones generales, las cuales consisten en acciones como el desmontaje, verificación de estado de los componentes, las sustituciones de piezas requeridas, entre otros con el fin de entregarlo con las condiciones normales de operación.

Finalizando la norma COVENIN 3049-93 deja claro que un sistema de mantenimiento es el conjunto coherente de políticas y procedimientos, a través de las cuales se logra la realización de la gestión de mantenimiento con el objetivo de lograr la disponibilidad requerida de los SP al mínimo costo.

#### **4.2. Norma oficial mexicana NOM-029-STPS-2011**

La norma establece las condiciones de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas con el fin de poder evitar accidentes al personal encargado de la realización de las mismas. Esta norma fue seleccionada debido a que incorporaba definiciones y criterios para el entendimiento de un plan de trabajo de mantenimiento.

#### **4.2.1. Definiciones**

Se hablará acerca de las definiciones establecidas para efectos de la norma en relación a mantenimientos las cuales serán presentadas a continuación.

- **Autorización:** el acto mediante el cual una persona responsable del mantenimiento de la instalación eléctrica designada, aprueba por escrito que los trabajadores capacitados realicen dichos trabajos.
- **Instalación eléctrica:** se le llama instalación eléctrica al conjunto de dispositivos tales como, conductores, transformadores, protecciones y demás accesorios destinados a generar, transmitir o distribuir la energía eléctrica.
- **Jefe de trabajo:** es la persona que dirige un trabajo de mantenimiento de la instalación eléctrica designada y será el responsable del mismo.
- **Mantenimiento de instalaciones eléctricas:** es toda aquella actividad que se encuentra relacionada con la revisión, manipulación y servicios a proporcionar a las instalaciones eléctricas con el fin de la conservación de sus características operativas y de diseño en forma segura y confiable.
- **Procedimiento de seguridad:** esta es expresada en documentos que contienen el objeto, el campo de aplicación de la actividad, la forma en que deberá realizarse, la identificación de peligros, el equipo de protección a utilizar y las funciones y/o responsabilidades de los trabajadores.

- Puesta a tierra eficaz: el contacto físico intencional al terreno realizada a través de una conexión o conexiones de conductores de impedancia suficientemente baja y de una capacidad adecuada de conducción de corriente eléctrica, con el fin de eliminar la formación de sobretensiones eléctricas y conducir a tierra las corrientes de falla para evitar daños a las personas o a los equipos.

#### **4.2.2. Plan de trabajo**

Dentro de cada actividad de mantenimiento se debe tener un plan de trabajo para poder coordinar de manera efectiva el personal involucrado, las instalaciones y el equipo necesario para la realización del mismo.

Dentro de cada plan de mantenimiento de una instalación eléctrica según lo establecido en la normativa, se deberá contar por lo menos con lo siguiente:

- La descripción de la actividad por desarrollar para determinación de involucrados.
- El nombre del jefe encargado del trabajo para el conocimiento del personal
- El tiempo estimado para realizar la actividad de mantenimiento.
- El lugar donde se desarrollará la actividad del mantenimiento para el conocimiento en general.

La autorización del trabajo de mantenimiento debe poseer por lo menos lo siguiente:

- El nombre del trabajador autorizado para la realización del mantenimiento.
- El nombre y firma de la persona que esté designada para otorgar la autorización de la realización del trabajo.

- El tipo de trabajo por desarrollar para conocer los involucrados.
- El área o lugar donde se desarrollará la actividad.
- La fecha y hora de inicio de las actividades para coordinar salidas de equipos o sistemas.
- El tiempo estimado de terminación para coordinación de posibles mantenimientos simultáneos.

Las condiciones de seguridad en el mantenimiento de las instalaciones eléctricas, según normativa mexicana, en el equipo eléctrico son:

- Los interruptores se encuentren aislados e imposibiliten el contacto accidental de personas u objetos.
- Se realice la apertura y cierre de cuchillas, seccionadores y otros dispositivos similares por el personal autorizado para dicha actividad y utilizando el equipo de protección personal y de seguridad adecuado.

#### **4.2.3. Plan de atención a emergencias**

Cada actividad de mantenimiento involucra cierto riesgo asociado, por lo cual es necesario un plan de atención de emergencias en caso de ocurrir un accidente, y lograr de manera efectiva, las acciones correspondientes e inmediatas para su solución.

Este plan de emergencias deberá contener por lo menos lo siguiente:

- El responsable de implementar el plan de emergencias
- Los equipos o aparatos necesarios para la ejecución de dicho plan

Además deberá contener como mínimo los procedimientos para:

- La comunicación inmediata de la emergencia a las entidades pertinentes.
- La suspensión de las actividades, incluyendo las acciones adecuadas e inmediatas, para la desconexión de la fuente del suministro de energía si es el caso.
- La eliminación de los riesgos durante y después de la emergencia ocurrida.
- El uso de los sistemas y equipo de rescate involucrados.

Además se requerirá la atención y el traslado de las víctimas a lugares de atención médica, para lo cual se debe indicar lo siguiente:

- Las instrucciones específicas en un lugar que sea visible con el procedimiento de qué hacer en caso de un accidente.
- Las instrucciones para retirar al lesionado del peligro inmediato, la colocación de la víctima en un lugar seguro, la aplicación de los primeros auxilios inmediatos y lo correspondiente para llamar a los servicios de emergencia.
- La capacitación y adiestramiento de los trabajadores involucrados en el mantenimiento, en relación con el contenido del plan de atención a emergencias elaborado.

#### **4.3. Guía técnica colombiana, (GTC) 62**

Esta guía está enfocada en establecer las definiciones que se utilizan en el área de mantenimiento, por lo que es importante conocer dichas definiciones



para ayudar al aprendizaje y comprensión acerca del tema de mantenimientos y su coordinación.

#### **4.3.1. Definiciones generales**

- Calidad de servicio: efecto causado por las características de un servicio que establece el grado de satisfacción de un usuario al que se le presta el servicio.
- Ciclo de vida: tiempo durante el cual un equipo conserva su capacidad de utilización y este abarca desde la puesta en marcha hasta que es sustituido, restaurado o reparado.
- Elemento reparado: elemento que es reparado tras una falla, en sus características normales de operación.
- Elemento no reparado: elemento que no es reparado tras una falla, en sus características normales de operación.
- Logística de mantenimiento: capacidad de una organización tal que en condiciones dadas pueda proporcionar, bajo demanda, los medios necesarios para mantener un elemento en base a una política de mantenimiento.

#### **4.3.2. Definiciones acerca de planeación y ejecución**

- Mantenimiento no programado: mantenimiento efectuado no con base en un cronograma establecido, sino como consecuencia de una indicación al estado del elemento.

- Mantenimiento planificado: aquel mantenimiento organizado y efectuado con previsión y control.
- Mantenimiento programado: aquel mantenimiento que se efectúa a intervalos predeterminados de tiempo en base a su número de operaciones, tiempo de operación entre otros.
- Acción de mantenimiento: secuencia de acciones elementales de mantenimiento que son efectuadas para un fin proporcionado.
- Mejora de confiabilidad: acción destinada a incrementar la confiabilidad.
- Reparación: arreglo a condición admisible de utilización mediante la reposición de las partes dañadas, desgastadas o consumidas.
- Reparación general: es aquella revisión minuciosa y extensa de una parte importante del elemento para que recupere su condición correcta de operación.
- Restablecimiento: recuperación de la capacidad de un elemento para realizar una función después de una avería.
- Restauración: son las acciones efectuadas para restablecer los beneficios de un elemento, incorporando la oportunidad de mejora y modernización.
- Comprobación de funcionamiento: es el conjunto de acciones que son efectuadas después de una corrección, para poder verificar que un elemento ha recuperado las características necesarias para la función requerida.

### **4.3.3. Definiciones de planeación y programación**

A continuación se involucran los términos que son de ayuda en el estudio y desarrollo para la ejecución de un trabajo de mantenimiento. Estos son similares en el ordenamiento de los pasos a seguir en el desarrollo de un proyecto, siendo estos enmarcados dentro de un límite de tiempo y teniendo en cuenta sus condiciones.

- Fecha: registro de tiempo determinado por el día, mes o año en el que ocurrirá algo.
- Fecha de inicio: es el punto en el que se representa la primera actividad y al que corresponderá la fecha de partida de las actividades.
- Fecha de terminación: es el punto en el que se representa la última actividad y al que corresponde la fecha de culminación de las actividades.
- Finalización retrasada: es aquella determinada por el recorrido más largo de tiempo desde la actividad inicial hasta la actividad final.
- Finalización temprana: es aquella determinada por el recorrido más corto de tiempo desde la actividad inicial hasta la actividad final.
- Planeación de mantenimiento: es la relación detallada de las acciones de mantenimiento que requiere un elemento o equipo y los intervalos con que deben efectuarse.

- Planificación del mantenimiento: análisis y decisión previa de las acciones, métodos de trabajo, materiales, herramientas, y tiempo necesario para la reparación de un conjunto de máquinas o sistemas.
- Programación del mantenimiento: conjunto de especificaciones necesarias para la ejecución de acciones de mantenimiento, contiene con total detalle los recursos y suministros a utilizar.
- Tiempo de mantenimiento: intervalo de tiempo durante el cual se efectúa una acción de mantenimiento sobre un elemento, incluyendo los retrasos técnicos y logísticos.

#### **4.3.4. Definiciones referentes a indicadores y medidas de mantenimiento**

Las siguientes definiciones están enfocadas a indicadores y medidas en unidades de tiempo necesarias en la realización de un mantenimiento, desde el inicio de la ejecución del mantenimiento hasta el tiempo de verificación del funcionamiento del elemento o equipo al que se le realizó el trabajo. A continuación las definiciones correspondientes:

- Retardo administrativo: es el conjunto de intervalos de tiempo en los que no se puede realizar un mantenimiento por razones administrativas.
- Tiempo de corrección de una avería: tiempo de mantenimiento que abarca desde el inicio de la corrección de la avería hasta la puesta en operación del elemento o equipo.

- Tiempo de diagnóstico de una avería: tiempo durante el cual se efectúa el análisis correspondiente para determinar la causa de la avería.
- Tiempo de ejecución: período de tiempo en el que una o más personas están realizando trabajos de mantenimiento.
- Tiempo de funcionamiento: tiempo durante el cual un elemento está en estado de actividad.
- Tiempo de inactividad de mantenimiento: tiempo en el que el mantenimiento no se realiza a causa de razones ajenas al propio mantenimiento.
- Tiempo de localización de una avería: tiempo de mantenimiento durante el cual se efectúa la localización de una avería.
- Tiempo de mantenimiento activo: tiempo durante el cual se efectúa una acción de mantenimiento pero no incluye los tiempos por retrasos logísticos.
- Tiempo de no detección de una avería: tiempo entre una falla y la detección de la avería resultante.
- Tiempo de no funcionamiento: intervalo de tiempo durante el que un elemento está en estado de no funcionamiento.
- Tiempo de parada: es aquel tiempo en el que un elemento o equipo no se encuentra en operación.
- Tiempo de parada para mantenimiento: tiempo en el que se realiza el mantenimiento mientras el elemento o equipo se encuentra fuera de

servicio. Este se compone del tiempo de ejecución y del tiempo de preparación y espera.

- Tiempo de preparación y espera: tiempo en el cual no se realiza el mantenimiento de un elemento o equipo que está fuera de servicio a causa de un desperfecto por razones que son atribuibles al propio mantenimiento.
- Tiempo de verificación de funcionamiento: tiempo durante el que se efectúa la verificación del funcionamiento de un elemento o equipo.

#### **4.4. Norma boliviana de programación y coordinación de mantenimientos RESOLUCIÓN AE N° 119/2012**

La norma boliviana tiene por objetivo la programación y coordinación para la realización de mantenimientos de las diferentes instalaciones, ya sean estas de generación o transmisión del sistema interconectado nacional boliviano.

La norma toma en consideración las disposiciones generales para la elaboración del programa de mantenimiento, las bases necesarias, el plan para mediano plazo, programación semanal y diaria de mantenimientos y finalizando con la información de la programación de mantenimientos.

##### **4.4.1. Disposiciones generales**

Las disposiciones acerca de la programación y coordinación de mantenimientos tiene por objetivo la minimización de los efectos de las indisponibilidades resultantes de la programación de los trabajos de mantenimiento.

Todos los agentes ya sean generadores, transmisores, distribuidores y consumidores no regulados, son los responsables de elaborar los programas de mantenimiento para sus instalaciones e informarlos al Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC).

#### **4.4.2. Bases para la elaboración del programa coordinado de mantenimientos**

Indica las bases a tomar en consideración para la elaboración de mantenimientos, las cuales establecen que en periodos inferiores a un día, los mantenimientos deben programarse fuera del bloque de demanda máxima y de preferencia en el bloque de baja demanda.

Los mantenimientos con duración de uno o más días deben ser programados de preferencia los fines de semana o feriados, de no ser el caso podrán realizarse entre semana siempre y cuando no afecten las condiciones de desempeño mínimo en la operación del sistema.

Los mantenimientos de centrales hidroeléctricas con duración de cuatro días o más, serán preferentemente programados en el periodo de época lluviosa, esto con el fin de minimizar el efecto de la indisponibilidad de la generación en el sistema.

#### **4.4.3. Plan de mantenimientos para la programación de mediano plazo**

Los agentes deberán informar el plan de mantenimiento de sus instalaciones que corresponderán a 4 años. Además los mantenimientos programados para los primeros 12 meses en el plan de 4 años (programación

anual), constituirán la base para la programación mensual durante ese año y tendrán prioridad en los casos que sea necesario.

El CNDC elaborará el programa de mantenimientos de mediano plazo, de acuerdo al procedimiento brevemente explicado a continuación:

- El CNDC calculará la potencia total que se encontrara indisponible en el SNI y verificará que ésta no sea superior a la diferencia entre la potencia efectiva en el mes en cuestión y la demanda máxima. Si no se cumpliera dicha condición, el CNDC enviará a los agentes involucrados una propuesta para modificar el plan de mantenimientos que fue propuesto por el Agente.
- Si existieran objeciones a la propuesta dada por CNDC debido a restricciones operativas, se debe realizar una reunión conjunta, en la cual el CNDC, el ente regulador y los agentes involucrados establecerán en consenso el programa de mantenimientos para la programación de mediano plazo.
- Si después de la reunión conjunta no existiera un acuerdo para modificar la fecha de realización de los mantenimientos por la restricciones operativas, el CNDC establecerá la fecha definitiva, con base en criterios que consideren la urgencia de los trabajos a realizar, sus tiempos de mantenimiento y otros aspectos que evite o reduzca el impacto negativo previsto en el sistema.

#### **4.4.4. Programación semanal de mantenimiento**

La programación semanal realizada en Bolivia contempla hasta las 10:00 horas del penúltimo día hábil de la semana precedente al de la programación, en la cual los agentes deberán confirmar por escrito al CNDC, la realización de



sus trabajos de mantenimiento. Asimismo los mantenimientos que no hayan sido considerados en la programación mensual podrán ser incorporados en la programación semanal.

La solicitud para el mantenimiento mensual a ser realizado en la programación semanal, deberá incluir la justificación del trabajo de mantenimiento y las razones por las que no fue incluido en la programación mensual. Los mantenimientos no confirmados en el horario antes mencionado no serán considerados en el programa semanal, aunque estos mantenimientos si fueran informados en la programación mensual.

Con base en lo solicitado por los agentes, el CNDC evaluará el efecto de la indisponibilidad en el SNI que será originada por el mantenimiento solicitado y se incluirá en la programación semanal siempre y cuando no afecte al suministro, de acuerdo a los criterios señalados con anterioridad.

#### **4.4.5. Programación diaria de mantenimiento**

Diariamente hasta las 10:00 horas, los agentes deben ratificar al CNDC los mantenimientos programados para el siguiente día, que fueron considerados en la programación semanal. El día viernes deberán incluir la información para los días sábado, domingo y lunes siguientes.

En el caso de días feriados, el día hábil previo deberán informar de los mantenimientos para los días feriados y el primer día hábil siguiente. Los mantenimientos no confirmados diariamente, no serán considerados en el programa diario, aunque ellos hayan sido informados en la programación semanal.

#### **4.4.6. Información de la programación de mantenimientos**

Los agentes del mercado eléctrico mayorista de Bolivia deberán enviar todos sus programas de mantenimiento de mediano plazo, mensual, semanal y diario en los formatos establecidos para el caso y el CNDC informará a los agentes del mercado eléctrico mayorista de Bolivia, el programa de mantenimientos que deberá ejecutarse.

## **5. PROPUESTA DE CRITERIOS PARA LA COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTOS**

La propuesta de criterios para la coordinación de mantenimientos proporciona la base para desarrollar el proceso de gestión de mantenimientos, cuyo fin principal será velar por el correcto funcionamiento y operación de las instalaciones del SNI y sus elementos.

El operador de sistema y de mercado en Guatemala es el Administrador del Mercado mayorista, de aquí en adelante AMM.

### **5.1. Programa de mantenimientos mayores**

El AMM tendrá como una de sus funciones la coordinación de la programación de los mantenimientos mayores de las centrales generadoras, elementos de transporte y subestaciones, con el fin de garantizar el abastecimiento de energía eléctrica y preservar la seguridad del SNI, logrando minimizar el costo anual de operación y evitar que se generen fallas o contingencias producidas por centrales generadoras o elementos en mal estado.

### **5.2. Programación de largo plazo**

En Guatemala, para la programación de largo plazo se establece un periodo de tiempo denominado año estacional, el cual según la normativa vigente a la fecha está comprendida desde el 1 de mayo del año en curso hasta el 30 de abril del siguiente año. El AMM será el encargado de efectuar la programación indicativa de la operación correspondiente al año estacional.

Los agentes sujetos a la coordinación del AMM, deberán de proporcionar la información correspondiente a su programación de mantenimientos mayores la cual incluirá la siguiente información.

- Período de mantenimiento mayor de unidades generadoras, líneas de transporte y subestaciones propuesto por los agentes para el año estacional siguiente.
- Calificación del mantenimiento mayor como aplazable o inaplazable, entendiéndose por inaplazable, todo aquel mantenimiento que no puede ser desplazado fuera de sus fechas establecidas y aplazables que pueda ser desplazado fuera de sus fechas ya determinadas.
- Períodos alternativos para el mantenimiento propuesto en caso de que no se pueda ejecutar el mantenimiento en la fecha determinada.
- Información adicional necesaria para evaluar diferentes escenarios y obtener las ventajas o desventajas de realizar el mantenimiento en diferentes fechas.
- Programa general de pruebas a realizar durante el periodo de mantenimiento mayor.
- Indicar si la solicitud corresponde a un nuevo trabajo de mantenimiento mayor o si actualiza alguno existente.
- En caso de solicitar modificaciones a trabajos de mantenimientos mayores ya planificados, deberán indicarse las razones que justifican dicha modificación.

Además de lo mencionado anteriormente el AMM deberá comprobar que se cumpla lo siguiente.

- Determinación de restricciones permanentes en el sistema de transporte.
- Asignación de márgenes adecuados de reservas operativas según los criterios establecidos.
- La programación de la operación del sistema a manera de obtener el mínimo costo de operación para satisfacer la demanda prevista, tomando en cuenta las restricciones operativas del SNI y criterios de calidad del servicio.

Las empresas que estén sujetas a la coordinación de mantenimientos que requieran solicitar modificaciones al programa de mantenimiento mayor, siendo estos para agregar nuevos períodos de mantenimiento o modificando los ya existentes en el programa, deberán solicitarlo por escrito con una anticipación mínima de treinta (30) días antes del inicio del periodo del año estacional o veinte (20) días calendario siguientes a la recepción de la programación provisoria.

En cada solicitud de modificación se adjuntará la información antes mencionada y las razones que dieron lugar a la solicitud, y el AMM podrá autorizarlas o negarlas en función de la seguridad operativa del sistema.

En caso de negar la modificación al mantenimiento mayor debido a restricciones operativas, calidad del servicio de energía eléctrica o criterios correspondientes al AMM, este se reprogramará para alguna fecha alternativa de común acuerdo con el interesado.

En el caso que las solicitudes sean aprobadas por el AMM, estas se deberán actualizar en el programa de mantenimiento mayor considerando las solicitudes antes realizadas y los ajustes que estime pertinentes, indicando claramente la fecha y duración del nuevo período de mantenimiento o la modificación respectiva solicitada.

Si la solicitud realizada requiere la modificación de cierto período de mantenimiento de otro agente, se requerirá que el agente afectado de su anuencia a la modificación de su mantenimiento mayor. En caso que el agente no de su anuencia se procederá a realizar un común acuerdo entre los involucrados y de no llegar a un acuerdo el AMM decidirá las acciones a ejecutar.

Posteriormente a los estudios y análisis realizados por el AMM al programa de mantenimientos mayores, se hará del conocimiento de los agentes del MM la estructura de la programación de mantenimientos provisoria, a los cuales se les podrán presentar nuevas propuestas para la coordinación y ejecución de sus mantenimientos.

En caso que un agente del MM insista en la fecha programada para su mantenimiento y luego de haber sido aplicados los criterios señalados anteriormente, el AMM permitirá dicha fecha, pero durante el periodo de mantenimiento las centrales generadoras serán declaradas en indisponibilidad forzada.

El AMM elaborará el programa de mantenimiento mayor definitivo basado en la programación provisoria y las nuevas propuestas realizadas por los agentes del MM. El programa de mantenimiento mayor definitivo será remitido a los agentes del MM para el año estacional siguiente.

### **5.3. Cumplimiento del programa de mantenimientos mayores**

Los agentes del MM deberán efectuar el mantenimiento programado cumpliendo estrictamente lo establecido en el programa de mantenimientos mayores definitivo publicado por el AMM. De ser necesario realizar modificaciones a las fechas para la realización de los mantenimientos debido a causas externas y si dichas modificaciones se encuentran fuera de los plazos de programación, deberán de presentar la información correspondiente para su modificación y solicitarse al AMM con al menos un mes de anticipación, para que puedan ser coordinados en fechas que no afecten a otros agentes y el impacto que puedan ocasionar sea el menor posible al despacho de energía. Dichas solicitudes deberán ser acompañadas por la justificación técnica que provoque el cambio de fecha con respecto a la programación original.

Todos los mantenimientos que se encuentren contemplados en la programación de largo plazo correspondiente al año estacional en curso, deben ser confirmados por agentes del MM en los plazos de la programación semanal.

El AMM evaluará los sustentos técnicos presentados por los agentes en la relación de mantenimientos fuera del plazo establecido y tendrá en cuenta como mínimo los criterios de análisis siguientes:

Para los mantenimientos mayores programados no realizados:

- Que para la programación de mantenimientos mayores que no fueron realizados se haya cumplido con el procedimiento de reprogramación correspondiente.

- Que la solicitud de reprogramación y/o cancelación se haya efectuado dentro de plazos establecidos para la programación de largo plazo, su respectiva reprogramación y el programa semanal correspondiente.
- Que el motivo reportado de la reprogramación y/o cancelación se deba a razones técnicas que sean previamente aprobadas por el AMM.

Para los mantenimientos efectuados no programados:

- Que el motivo por el cual la actividad de mantenimiento se efectuó no estando programada, se debió a una causa de fuerza mayor.
- En el caso que las actividades efectuadas no programadas superen los tres días continuos y esto no se deba a una falla reportada, se presumirá a menos que presente alguna prueba que demuestre lo contrario, que esta actividad debió estar incluida en el programa de largo plazo.

Las solicitudes de mantenimientos no programados por parte de los agentes del MM, necesariamente deben ser registradas.

Los trabajos que deban realizarse en las centrales generadoras, elementos de transporte y subestaciones que superen el tiempo declarado para su mantenimiento, o estos tenga una duración de tres o más días consecutivos y no fueron solicitados como mantenimientos mayores en los plazos establecidos para la programación de largo plazo y su respectiva reprogramación, serán declarados como indisponibilidad forzada.



#### **5.4. Programa de mantenimientos semanal**

Cada semana el AMM coordinará y validará la programación de los mantenimientos mayores y su respectiva reprogramación y/o cancelación; además, incluirá la programación de los mantenimientos menores y los mantenimientos no programados. Los agentes del mercado mayorista deberán presentar sus solicitudes de mantenimientos menores con base en los criterios expresados en el capítulo número 3 incisos 3.2 y 3.3, con la salvedad que el tiempo para la declaración de este tipo de mantenimientos será hasta el miércoles a las 14:00 horas de la semana anterior a la fecha de ejecución del mantenimiento.

Para llevar a cabo esta coordinación el AMM deberá aplicar los criterios para la programación de los mantenimientos descritos con anterioridad.

El programa de mantenimientos estará incluido dentro del programa de despacho semanal el cual será publicado para el conocimiento de todos los agentes; además, esta programación semanal solo contendrá los mantenimientos programados que cuentan con las anuencias respectivas para llevarse a cabo en la semana correspondiente.

En el caso que se detectara que un agente del MM ha proporcionado información falsa con el objetivo de favorecer y forzar la ejecución de un mantenimiento a pesar de las restricciones de seguridad operativa del SNI determinadas por el AMM e informadas al agente en el tiempo adecuado, el AMM informará acerca del suceso la Comisión Nacional de Energía Eléctrica para que proceda de acuerdo a las acciones de verificación y sanción que le correspondan.

Si el AMM detectara problemas en la realización de algún mantenimiento que afecte la seguridad operativa, este informará a los participantes del MM afectados y buscará acordar ajustes a los mantenimientos programados con el objetivo de cumplir con los requerimientos de márgenes para regulación de frecuencia y servicios complementarios.

### **5.5. Programa de mantenimientos semanal en el despacho diario y la operación en tiempo real**

En la programación de despacho diario de energía el AMM tendrá en cuenta la programación de mantenimientos semanal vigente para la fecha de realización del programa de despacho, el cual incluirá los respectivos mantenimientos asociados y los informes proporcionados por los agentes del MM en relación a las indisponibilidades forzadas.

Los números de programación solo se otorgan a aquellos mantenimientos que han sido coordinados y aprobados para la realización de los trabajos solicitados por el agente del MM y son exclusivamente para realizar los trabajos solicitados en los equipos indicados. En el caso necesario de realizar otros trabajos, estos deberán ser solicitados como trabajos distintos y en ningún caso los agentes del MM podrán realizar trabajos en equipos diferentes a los que se les otorgó número de programación. En caso que ocurriera dicha situación, estos trabajos serán considerados como una indisponibilidad forzada.

El AMM, a través del centro de despacho de carga (CDC), coordinará las operaciones de las maniobras solicitadas por el agente en tiempo real, para que los elementos o equipos que se encuentren en la ejecución de su trabajo de mantenimiento puedan salir o entrar en operación cuando esto así sea requerido.

El CDC tiene como uno de sus objetivos el velar por la seguridad operativa del SNI, por lo que si las condiciones del sistema varían, dando como resultado que un mantenimiento programado no puede llevarse a cabo; el CDC tiene la autoridad para poder cancelar dicho mantenimiento debiendo comunicar esta decisión al solicitante tan pronto como le sea posible, informándole la causa de la cancelación.

En la operación en tiempo real, las salidas de servicio no programadas, tanto de unidades generadoras como de elementos del sistema de transporte o distribución, serán atendidas de acuerdo a lo establecido a continuación.

- Cuando un generador requiera sacar de servicio o reducir la potencia de una unidad por problemas técnicos que no correspondan a una situación de emergencia deberá de informarlo inmediatamente al AMM para que dicha situación sea tomada en cuenta en el despacho o redespacho.
- El AMM evaluará las consecuencias del inciso anterior en la seguridad del SNI, la calidad de servicio y el despacho económico, pudiendo solicitar al generador una modificación en la hora prevista para salir de servicio. El generador evaluará los potenciales riesgos de daños a la unidad generadora y responderá en consecuencia al AMM aceptando o rechazando la solicitud propuesta.

Si se llegan a producir retrasos en el inicio y/o conclusión de los trabajos de mantenimiento, los agentes del MM correspondientes deberán de informar éste hecho de inmediato al CDC con el fin de minimizar los posibles efectos del mismo en la operación en tiempo real del SNI. El tiempo de demora en el inicio del trabajo de mantenimiento no será recuperable, salvo ausencia de todos los involucrados.

Si un generador, elemento o equipo que conforma el SNI se encuentran como disponibles pero fuera de servicio o desenergizado como resultado de la programación semanal, este no tiene derecho a ejecutar trabajos de ninguna clase sin la programación correspondiente. En ese tipo de situaciones y en todo trabajo que se realice fuera del programa de mantenimientos serán considerados como indisponibilidad forzada sin objeción alguna.

## **5.6. Mantenimientos en los sistemas de transporte**

Los mantenimientos de los sistemas de transporte, serán coordinados con el OS dentro de los plazos correspondientes para la programación anual y las programaciones semanales.

Todos los transportistas deberán evaluar la factibilidad de ejecución de los mantenimientos, tomando en consideración las posibles restricciones del sistema originado de la ejecución de los mantenimientos solicitados y, de ser posible, se deberá evitar la formación de islas, restricciones de generación y existencia de riesgo en el control de voltajes del área afectada con el fin de mantener la seguridad operativa del sistema el día de la ejecución del mantenimiento.

Para los mantenimientos del sistema de transporte, el agente transportista que requiera efectuar el mantenimiento, deberá acordar la realización de los trabajos con los agentes del MM que resultan afectados con la indisponibilidad de las instalaciones. De contar con dicho acuerdo, el transportista deberá confirmar los mantenimientos por escrito al AMM.

De no existir un acuerdo entre el transportista y los agentes del MM que se encuentren afectados por la indisponibilidad del sistema, el AMM deberá de

definir el programa de mantenimientos tomando en cuenta las necesidades del sistema en todo su conjunto y las objeciones informadas del transportista como de los agentes del MM que se encuentren afectados.

Las empresas que prestan el servicio de transporte por medio de instalaciones en el SNI tendrán dentro de sus obligaciones y responsabilidades lo siguiente.

- Presentar al AMM sus necesidades de mantenimiento, además de participar de las reuniones de coordinación de mantenimiento que este organismo convoque y cumplir los programas de mantenimientos que el AMM establezca.
- Disponer de los equipos de control y protección necesarios para aislar los efectos de sus respectivas instalaciones y de fallas producidas en equipamientos pertenecientes a otros usuarios.
- Mantener condiciones adecuadas de seguridad en todas sus instalaciones de acuerdo a lo establecido en las NTDOID, NTDOST y NTCSTS.
- El agente que preste el servicio de transporte de energía eléctrica (STEE) durante un mantenimiento, podrá percibir una remuneración por el uso de sus instalaciones, establecido de acuerdo al marco legal del sector eléctrico y su reglamento.

Además, los usuarios del sistema de transmisión tendrán los derechos y obligaciones, en relación con las empresas que prestan el servicio de transmisión por medio de instalaciones en el SNI, siguientes:

- Ser informados de los programas de mantenimiento del Sistema de Transmisión que utilizan, y presentar observaciones, requiriendo modificaciones cuando dichos mantenimientos afecten la seguridad de abastecimiento de servicios públicos de alto riesgo, como hospitales o centros penitenciarios, con el fin de que el usuario pueda tomar las medidas cautelares correspondientes.
- Mantener todas las condiciones adecuadas de seguridad de las instalaciones y las condiciones técnicas que habilitan su conexión, siguiendo lo establecido en las normativas correspondientes.
- Cumplir en la operación y en el diseño de equipamiento y conexión en tiempo y forma con todas las normas y técnicas vigentes.

### **5.7. Coordinación y validación de la información**

Para la coordinación y validación de la información que corresponda a mantenimientos el AMM considerará la información siguiente:

El AMM posee la función de verificar que las solicitudes de mantenimientos presentadas por los agentes, no sobrepasen los márgenes mínimos de reservas operativas requeridos, tomando en cuenta las proyecciones de demanda, con el menor costo posible para el SNI. El AMM puede solicitar modificaciones a las solicitudes de mantenimientos de los agentes que afecten los márgenes de reserva anteriores y/o incrementen innecesariamente los costos de operación del SNI.

El AMM podrá solicitar la anuencia respectiva a los agentes que puedan resultar involucrados en los planes de mantenimiento de otros agentes del MM

y de no recibir comentarios o respuesta a la solicitud enviada dentro de los plazos establecidos, se asumirá como anuencia a lo informado y los trabajos quedarán programados sin objeción alguna.

De no obtener acuerdo entre las partes involucradas para la realización de un mantenimiento, el AMM podrá elaborar el programa de mantenimiento considerando los criterios definidos en el capítulo número 3 y luego serán presentados a los participantes involucrados, quienes deberán respetar el mismo.

Para poder asignar número de programación a una solicitud de mantenimiento de una central generadora, equipos de subestación, o elementos de transporte estas deberán estar operando o encontrarse como disponibles para la operación del SNI. No se pueden programar mantenimientos consecutivos sin demostrar disponibilidad de las centrales generadoras, equipos de subestación o elementos de transporte.

Los mantenimientos que involucren o afecten a grandes usuarios o de empresas eléctricas municipales, deberán ser solicitados agregando la anuencia previa de los antes mencionados mediante una nota formal.

Los mantenimientos programados podrán ser cancelados por el AMM, con el fin de preservar la seguridad y estabilidad del sistema nacional interconectado en la OTR.

Los mantenimientos que sean considerados de emergencia, el agente del MM deberá de informarlos al AMM por cualquier medio de comunicación lo antes posible al CDC y posteriormente debe de notificarlo de forma escrita y con el detalle correspondiente del motivo que origino su suspensión.

La declaración de emergencia de un trabajo será hecha bajo la total responsabilidad del solicitante, sin que esto repercuta al AMM, en razón de la eventualidad de la emergencia.

El AMM podrá revisar la información declarada por los participantes del MM y deberá efectuar procesos de validación de la información antes de su utilización en la programación de mantenimientos con el objetivo de conocer posibles manipulaciones en la información y de esta forma beneficiar la ejecución de un mantenimiento y encubrir o minimizar el impacto real que podrá ocasionar en el SNI.

En el proceso de validación se debe tomar como mínimo los siguientes criterios.

- Verificación que los planes de mantenimiento presentados logren satisfacer los márgenes de reservas operativas requeridos, tomando en cuenta las proyecciones de demanda y el menor costo para el SNI.
- Realizar una solicitud para la realización de modificaciones a los planes de mantenimiento que afecten los márgenes de reserva y/o incrementen innecesariamente los costos de operación del SNI.
- Realizar reuniones con todos los participantes del MM cuyos planes de mantenimientos involucren pérdidas de carga.
- De no obtenerse un acuerdo entre los participantes del MM el AMM elaborará el programa de mantenimiento mayor que satisfaga las restricciones mencionadas, el cual deberá ser respetado por todos los participantes sin objeción alguna.

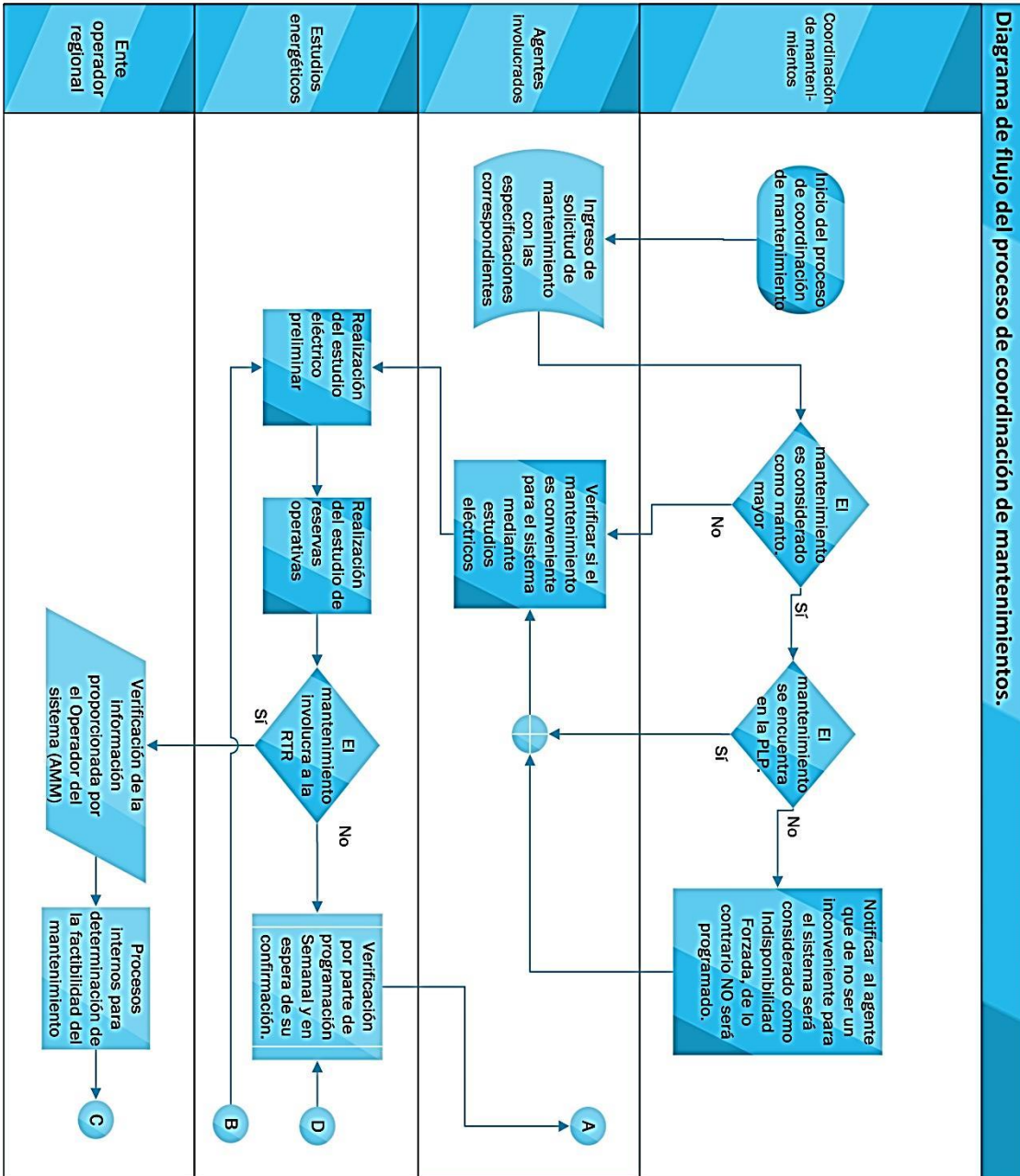


## **5.8. Diagrama de flujo del proceso de coordinación de mantenimientos**

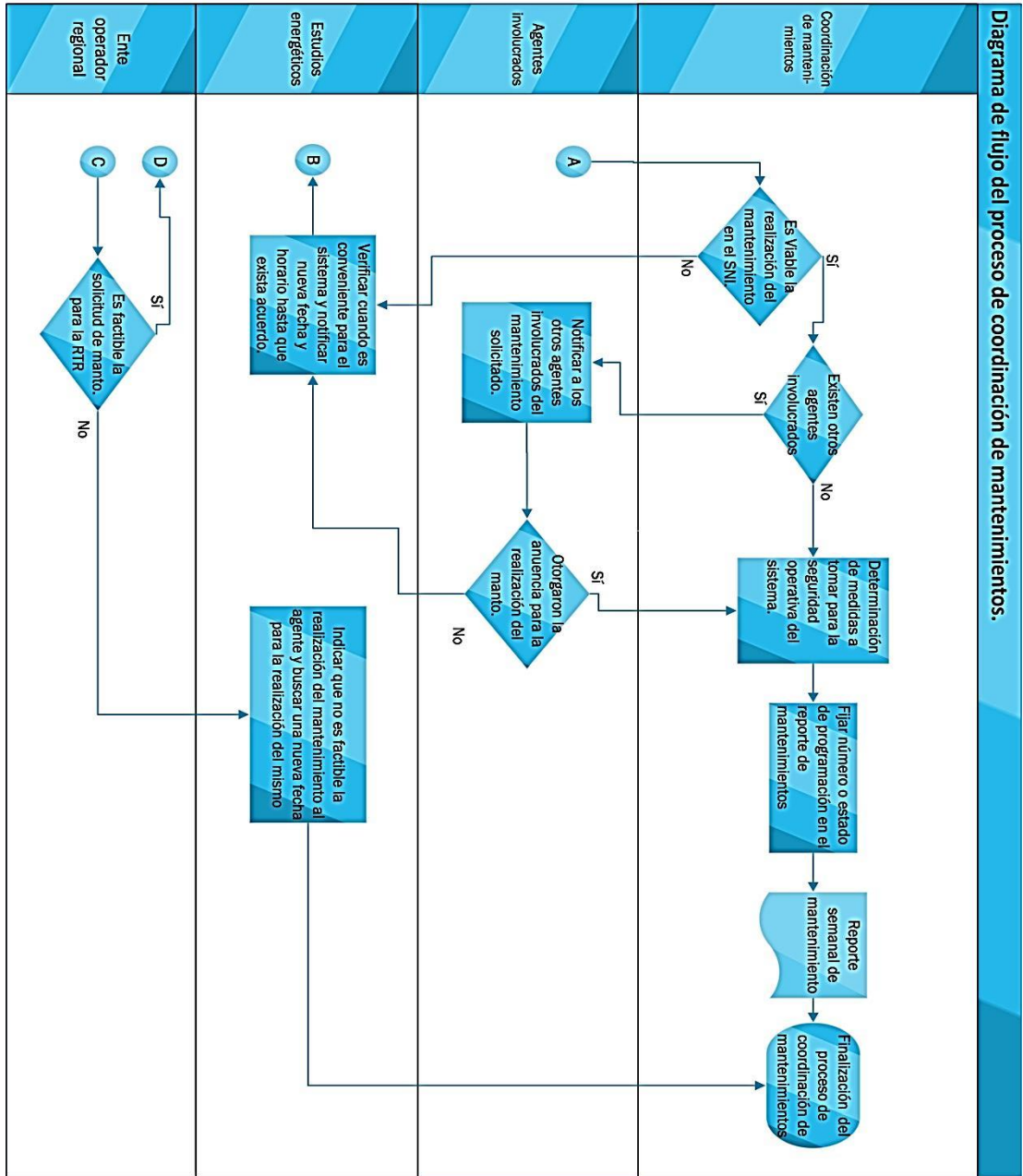
Debido a la complejidad de un proceso de coordinación de mantenimientos es conveniente una herramienta visual como el diagrama de flujo, que ayuda a indicar la secuencia de pasos a seguir para la coordinación de los mismos con el fin de mantener la equidad en los métodos utilizados.

En la Figura 9 se puede observar un diagrama indicativo de la gestión de mantenimientos, tomando como base los criterios establecidos en el presente trabajo.

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de coordinación de mantenimientos



Continuación de la figura 9



Fuente: elaboración propia.



## **CONCLUSIONES**

1. De los estudios realizados con respecto a las normativas internacionales incluidas en este trabajo se observa que es necesario complementar o actualizar las normas nacionales vigentes.
2. Con el crecimiento del sistema nacional interconectado se ha observado una mayor cantidad de terceros involucrados en la realización de la coordinación de los mantenimientos.
3. De los estudios realizados sobre la normativa nacional vigente se observa que esta debe de ser complementada con nuevos criterios basados a las condiciones que imperan en la actualidad.
4. La correcta administración de la coordinación de mantenimientos es necesaria para una adecuada operación y funcionamiento de las instalaciones del sistema nacional interconectado.



## RECOMENDACIONES

1. Debido al crecimiento del sistema nacional interconectado en los últimos años, es necesaria la creación de una normativa específica que permita administrar y realizar la coordinación de mantenimientos del sistema nacional interconectado tomando en cuenta los criterios desarrollados en este trabajo para una mejor administración del proceso de coordinación de los mismos, con el fin de velar por la correcta operación y funcionamiento de los elementos o equipos que lo conforman.
2. Debido al incremento de los terceros involucrados en los procesos de coordinación de mantenimientos del sistema nacional interconectado se recomienda elaborar o complementar la normativa actual nacional para una mejor interacción de los involucrados en el proceso de coordinación de mantenimientos.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Administrador del Mercado mayorista. *Normas de coordinación comercial*. NCC1-NCC14. Guatemala: Administrador del Mercado Mayorista, 2007. 500p
2. \_\_\_\_\_ *Normas de coordinación operativa*. NCO1-NCO5. Guatemala: Administrador del Mercado Mayorista, 2007. 150p.
3. Comité Nacional de Despacho de Carga. *Resolución AE N° 119/2012. Norma operativa No. 5 Programación y coordinación de mantenimientos*. La Paz: Comité Nacional de Despacho de Carga, 2012. 22p.
4. Comité Técnico de Normalización. *Normas venezolana de mantenimiento, definiciones*. COVENIN 3049-93. Venezuela: Comité Técnico de Normalización, 1993. 20p.
5. Congreso de la República de Guatemala. *Tratado marco del mercado eléctrico de América Central, Decreto 25-98*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala, 2010. 56p.
6. Congreso de la República. Decreto 93-96. *Ley General de Electricidad*. Guatemala: Congreso de la República, 1996. 27p.
7. HIGGINS, Lindley. MOBLEY, Keith. WIKOFF, Darrin. *Maintenance engineering handbook*, Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008, 1244p.

8. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Guía técnica colombiana GTC-62. Seguridad de funcionamiento y calidad del servicio, mantenimiento y terminología*. Santafé: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1999. 37p.
9. MOBLEY, R. Keith. *Maintenance fundamentals*. Estados Unidos: ElsevierButterworth-Heinemann, 2011. 425p.
10. PALMER, Richard D. *Maintenance planning and scheduling*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2006. 861p.
11. Presidencia de la República. *Acuerdo Gubernativo 299-98. Reglamento del administrador del mercado mayorista*. Guatemala: Presidencia de la República, 1998. 36p.
12. Secretaria de Trabajo y Prevención Social. *Norma oficial mexicana NOM-029-STPS-2011. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad*. México: Secretaria de Trabajo y Prevención Social, 2011. 48p.