



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
UNIDAD ZACATENCO**

**“ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN  
SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EN**

**INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**PRESENTA:**

**ING. JOSÉ MANUEL SERRANO DURÁN**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. JAIME REYNALDO SANTOS REYES**

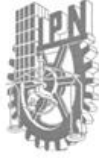


**MÉXICO D.F. 2011**

---

# ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

# ACTA DE REVISIÓN DE TESIS



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 20 del mes de Junio del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E.-ZAC. para examinar la tesis de titulada:

**"ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN"**

Presentada por el alumno:

**SERRANO**  
Apellido paterno

**DURÁN**  
Apellido materno

**JOSÉ MANUEL**  
Nombre(s)

Con registro: 

A	0	9	0	4	5	7
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

  
Director de tesis  
\_\_\_\_\_  
DR. JAIME REYNALDO SANTOS REYES

Presidente  
  
\_\_\_\_\_  
DRA. ELVIRA ÁVALOS VILLARREAL  
Tercer Vocal

Segundo Vocal  
  
\_\_\_\_\_  
DRA. CLAUDIA HERNÁNDEZ AGUILAR

M. EN C. JORGE ARTURO REYES BONILLA

Secretario

\_\_\_\_\_  
DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ SIMÓN

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
\_\_\_\_\_  
DR. JAIME ROBLES GARCÍA



---

# **CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



### **CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México D.F., el día 13 de Junio del mes del año 2011, el que suscribe José Manuel Serrano Durán alumno del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas con número de registro A090457, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Jaime Reynaldo Santos Reyes y cede los derechos del trabajo intitulado “Análisis y Gestión de Riesgos en el Mantenimiento de un Sistema Eléctrico, Caso de: una Subestación de Alta Tensión”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben de reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [manuel\\_esimez2811@yahoo.com.mx](mailto:manuel_esimez2811@yahoo.com.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. José Manuel Serrano Durán  
Nombre y Firma

---

# RESUMEN

---

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se presenta un Análisis HAZOP en el Mantenimiento de una Subestación Eléctrica de Alta Tensión, de manera particular en una subestación eléctrica de potencia para rectificación del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México, debido a que un sistema de este tipo por la gran extensión de la red con la que cuenta, en el se tiene una gran cantidad de subestaciones eléctricas, lo cual lo hace susceptible a fallos que se pueden derivar en afectaciones económicas, políticas, sociales y ambientales.

En este trabajo de tesis se utilizará la Metodología HAZOP para la identificación de riesgos asociados con el mantenimiento de una subestación eléctrica.

En nuestro análisis se estudian, analizan y evalúan todas las posibles fallas derivadas de los sistemas técnicos, procedimientos operativos y las imprudencias que se pudieran presentar y originar sucesos no deseados que afectarían de manera sustentable al sistema bajo estudio.

Como se menciona nuestro análisis se realiza en un escenario en donde se está llevando a cabo un mantenimiento a una Subestación Eléctrica de Alta Tensión, por lo cual se realizan diferentes análisis involucrando las posibles variables en diferentes escenarios.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis, se realizarán las acciones y recomendaciones para la mitigación de los riesgos detectados, con lo cual llegaremos a una decisión y conclusión final, para establecer que es lo más viable para considerar nuestro sistema bajo estudio como confiable en caso de ocurrir un siniestro no deseable.

---

# **ABSTRACT**



---

# ABSTRACT

This thesis presents a HAZOP Analysis in Maintenance of High Voltage Power Substation, in particular on electric power substation for rectification Metro Public Transport System of the City of Mexico, because a system such by the large size of the network that counts, it takes a lot of electrical substations, which makes it susceptible to failures that can lead to economic effects, political, social and environmental issues.

This thesis will use the HAZOP methodology for identifying risks associated with the maintenance of an electrical substation.

Our analysis study, analyze and evaluate all possible failure resulting from technical systems, operational procedures and recklessness that may arise and cause unwanted events in a sustainable way affect the system under study.

As mentioned our analysis is performed on a stage where it is carrying out maintenance to a high voltage electrical substation, so that different tests are performed involving the possible variables in different scenarios.

According to the results obtained in the analysis, implementation of the actions and recommendations for mitigating identified risks, which will reach a final conclusion and decision to establish which is the most viable to consider our system under study as a reliable in the event of an accident is desirable.

---

# AGRADECIMIENTOS

---

## AGRADECIMIENTOS

---

# DEDICATORIAS

---

## DEDICATORIAS

---

# ÍNDICE

---

# ÍNDICE

	<b>PÁGINA</b>
<b>ACTA DE REVISIÓN DE TESIS</b> .....	I
<b>CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS</b> .....	III
<b>RESUMEN</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VII
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	IX
<b>DEDICATORIAS</b> .....	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XVII
<b>OBJETIVOS</b> .....	XIX
<b>ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRAFICAS</b> .....	XXI
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES</b> .....	XXIV
<b>CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	2
1.2.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2.2 GENERACIÓN.....	5
1.2.3 TRANSMISIÓN.....	7
1.2.4 DISTRIBUCIÓN.....	9
1.2.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	10
1.3 ESTADÍSTICAS DE INCIDENTES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	12
1.4 ESTADÍSTICAS DE INCIDENTES EN EL CONTEXTO NACIONAL.....	17
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.....	19
1.6 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO.....	19
<b>CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO</b> .....	20
2.1 INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS (TGS).....	22
2.3 CONCEPTOS GENERALES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	24
2.3.1 EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	24
2.3.2 ANÁLISIS DE RIESGOS.....	26
2.3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.....	26
2.3.2.2 ESTIMACIÓN DEL RIESGO.....	27
2.3.2.3 PROBABILIDAD DE QUE OCURRA EL DAÑO.....	28
2.3.3 PREPARAR UN PLAN DE CONTROL DE RIESGOS.....	28
2.3.4 REVISAR EL PLAN.....	29
2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE LÍNEAS DE ALTA Y BAJA TENSIÓN.....	29
2.5 TEORÍA BÁSICA DE LA FUNCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN.....	33
2.6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.....	36
2.6.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	37
2.6.2 PREPARACIÓN.....	37
2.6.3 ANÁLISIS.....	38
2.6.4 DOCUMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO.....	40
2.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	40

	<b>PÁGINA</b>
<b>CAPÍTULO III.- DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....</b>	41
3.1 INTRODUCCIÓN.....	42
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN.....	42
3.3 LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL.....	50
3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y TÉCNICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	54
3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	54
3.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	55
3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	56
<b>CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS DE RIESGOS DEL CASO DE ESTUDIO.....</b>	57
4.1 INTRODUCCIÓN.....	58
4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE HAZOP.....	58
4.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	58
4.2.2 PREPARACIÓN.....	59
4.2.3 ANÁLISIS.....	60
4.2.4 DOCUMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO.....	71
4.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	72
<b>CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO.....</b>	73
5.1 INTRODUCCIÓN.....	74
5.2 CONCLUSIONES.....	74
5.2.1 CONCLUSIONES ACERCA DE LOS CASOS DE ESTUDIO.....	74
5.2.2 CONCLUSIONES ACERCA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ANÁLISIS.....	75
5.2.3 RECOMENDACIONES DERIVADAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	75
5.3 FUTURO TRABAJO.....	75
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y WEBGRAFÍA.....</b>	77
<b>ANEXO-A.- EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU CONTEXTO.....</b>	XXIX
A1 INTRODUCCIÓN.....	XXX
A.2 EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU CONTEXTO.....	XXX
A.2.1 HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD.....	XXX
A.2.2 ANTECEDENTES DE LA ELECTRICIDAD EN MÉXICO.....	XXXIII
<b>ANEXO-B.-FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	XXXV
B1 GEOTERMOELÉCTRICA.....	XXXVI
B1.1 LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	XXXVII
B1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA.....	XXXVIII
B1.3 ESQUEMA DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA.....	XXXVIII
B2 TERMOELÉCTRICA.....	XXXIX
B2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR.....	XL
B2.2 CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR.....	XLI
B3 TURBOGAS.....	XLII
B3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PLANTAS DE TURBOGAS.....	XLII
B4 CARBOELÉCTRICAS.....	XLIII
B4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CARBOELÉCTRICAS.....	XLIII
B5 CICLO COMBINADO.....	XLIV
B5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN INSTALACIONES DE CICLO COMBINADO.....	XLIV
B6 COMBUSTIÓN INTERNA.....	XLV
B6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN LAS PLANTAS DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	XLV
B7 NUCLEOELÉCTRICAS.....	XLVI
B7.1 LA ÚNICA CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA DEL PAÍS.....	XLVI
B7.2 LA ENERGÍA NUCLEAR.....	XLVI
B7.2.1 EL ÁTOMO.....	XLVI
B7.2.2 URANIO NATURAL.....	XLVIII



---

	<b>PÁGINA</b>
B7.3 REACTORES NUCLEARES.....	XLIX
B8 HIDROELÉCTRICAS.....	L
B8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	L
B9 EOLOELÉCTRICA.....	LI
B9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES EÓLICAS.....	LI
B9.2 DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO.....	LI
B9.2.1 CENTRAL EÓLICA DE LA VENTA, OAXACA.....	LII
B9.2.2 CENTRAL EÓLICA DE GUERRERO NEGRO, BAJA CALIFORNIA SUR.....	LII

---

# INTRODUCCIÓN

---

## INTRODUCCIÓN

Una subestación eléctrica de constituye de equipos y elementos que sirven para controlar y distribuir la energía eléctrica, que está a su vez forma parte de un sistema eléctrico de potencia. Durante la operación en dicha subestación existen factores de riesgo, originados por ejemplo, de un mal mantenimiento, un equipo dañado o por una inadecuada coordinación entre el personal técnico que se encuentra físicamente en la subestación y el personal encargado de realizar las maniobras a distancia desde un puesto de operación, lo cual se puede derivar en accidentes que afectan a los equipos, el suministro de energía eléctrica o peor aun daños físicos al personal que interviene en la subestación eléctrica.

Por otro lado, debido al incremento (dato de seguridad industrial) de lesiones por descargas eléctricas sufridas por el personal técnico durante la realización de algún mantenimiento en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de potencia, se pretende desarrollar una metodología con la cual se pueda identificar los peligros asociados en el mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia así como en línea de transmisión.

Por tal motivo la elección de este tema de tesis surge como una necesidad dada la gran cantidad de accidentes que ocurren en el ramo eléctrico es alarmante y el incremento de lesiones por descargas eléctricas sufridas por el personal técnico durante la realización de algún mantenimiento en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de potencia; en la mayoría de los casos no se lleva a cabo una investigación o seguimiento adecuado para identificar el riesgo que los origina. Dado lo anterior, me es de gran interés desarrollar una metodología con la cual se pueda identificar los peligros asociados en el mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia así como en línea de transmisión. Lo anterior puede ayudar a reducir los riesgos de accidentes en dichos procesos.

---

# OBJETIVOS

---

## OBJETIVO GENERAL

- Llevar a cabo un estudio de análisis HAZOP en el mantenimiento de una subestación eléctrica de alta tensión.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Llevar a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de toda la información relacionada con: {a} teoría de análisis de riesgos; y {b} teoría básica de subestaciones eléctricas.
- Recopilar la información relacionada con: {a} subestaciones eléctricas y sus características; {b} líneas de transmisión de baja y alta tensión; y {c} estadísticas de incidentes en el mantenimiento de las subestaciones eléctricas de alta tensión.
- Llevar a cabo el análisis de riesgos.
- Documentar los resultados de la investigación.

---

# **ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRAFICAS**

---

# ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRAFICAS

<b>FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
FIGURA 1.1.- GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL MUNDIAL.....	3
FIGURA 1.2.- PROCEDIMIENTO DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	6
FIGURA 1.3.- REPRESENTACIÓN ESQUEMATIZADA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	8
FIGURA 1.4.- REPRESENTACIÓN DE UN CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	10
FIGURA 1.5.- REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	11
FIGURA 1.6.- GRAFICA REPRESENTATIVA DE LESIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	12
FIGURA 1.7.- GRAFICA REPRESENTATIVA DE LESIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	13
FIGURA 1.8.- GRAFICA REPRESENTATIVA DE LESIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	14
FIGURA 1.9.- GRAFICA REPRESENTATIVA DE LESIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	14
FIGURA 2.1.- REPRESENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO.....	21
FIGURA 2.2.- LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.....	30
FIGURA 2.3.- LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON TORRES DE AMARRE.....	31
FIGURA 2.4.- LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON TORRES DE SUSPENSIÓN.....	31
FIGURA 2.5.- REPRESENTACIÓN ESQUEMATIZADA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	32
FIGURA 2.6.- INSTALACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	33
FIGURA 2.7.- TRANSFORMADOR ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	34
FIGURA 2.8.- METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO SUBESTACIONES ELÉCTRICA.....	37
FIGURA 2.9.- SECUENCIA LÓGICA DE ANÁLISIS HAZOP.....	39
FIGURA 3.1.- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	42
FIGURA 3.2.- TRANSFORMADOR ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	44
FIGURA 3.3.- EQUIPOS ELÉCTRICOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	45
FIGURA 3.4.- INTERRUPTORES DE POTENCIA EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	45
FIGURA 3.5.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO TP'S Y TC'S.....	46
FIGURA 3.6.- SECCIONADORES INSTALADOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	46
FIGURA 3.7.- BUSES INSTALADOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	47
FIGURA 3.8.- CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA INSTALADAS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	47
FIGURA 3.9.- APARTARRAYOS INSTALADAS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	48
FIGURA 3.10.- ESTRUCTURA DE SOPORTE EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA.....	48
FIGURA 3.11.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA DE LÍNEA "A" DEL STC METRO.....	50
FIGURA 3.12.- FORMA FÍSICA DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA PARA RECTIFICACIÓN.....	55
FIGURA 4.1.- ANÁLISIS-DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	58
FIGURA 4.2.- ANÁLISIS- PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	59
FIGURA 4.3.- ANÁLISIS HAZOP.....	60
FIGURA 4.4.- REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO.....	62
FIGURA 4.5.- ANÁLISIS-DOCUMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO.....	71

<b>TABLAS</b>	<b>PÁGINA</b>
TABLA 1.1.- INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LESIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	16
TABLA 1.2.- HISTÓRICO DE ACCIDENTES POR CONTACTO ELÉCTRICO POR AÉREAS.....	17
TABLA 2.1.- EJEMPLO DE PALABRAS GUÍA.....	38
TABLA 2.2.- EJEMPLO DE UN MODELO DE FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	40
TABLA 3.1.- NIVELES DE TENSIÓN EMPLEADOS EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE POTENCIA DEL STC METRO.....	53
TABLA 4.1.- ANÁLISIS DEL ÁREA ADMINISTRATIVA.....	64
TABLA 4.2.- ANÁLISIS DEL ÁREA TÉCNICA.....	65
TABLA 4.3.- CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL ÁREA TÉCNICA.....	66
TABLA 4.4.- CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL ÁREA TÉCNICA.....	67
TABLA 4.5.- ANÁLISIS DEL ÁREA DEL CONTROL DE LA ENERGÍA.....	68
TABLA 4.6.- CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL ÁREA DEL CONTROL DE LA ENERGÍA.....	69
TABLA 4.7.- CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL ÁREA DEL CONTROL DE LA ENERGÍA.....	70
<b>GRÁFICAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Gráfica 1.1.- HISTÓRICO DE ACCIDENTES POR CONTACTO ELÉCTRICO POR AÉREAS.....	18
<b>FIGURAS ANEXOS</b>	<b>PÁGINA</b>
FIGURA B1.- ORIGEN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	XXXVII
FIGURA B2.- ESQUEMA DE UNA PLANTA GENERADORA GEOTÉRMICA.....	XXXVIII
FIGURA B3.- SECUENCIA DE TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA.....	XL
FIGURA B4.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.....	XLI
FIGURA B5.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE TURBOGAS.....	XLII
FIGURA B6.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL CARBOELÉCTRICA.....	XLIII
FIGURA B7.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO.....	XLIV
FIGURA B8.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	XLV
FIGURA B9.- DESCRIPCIÓN DEL ÁTOMO.....	XLVII
FIGURA B10.- DESCRIPCIÓN DE LA REACCIÓN EN CADENA.....	XLVII
FIGURA B.11.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA.....	XLIX
FIGURA B.12.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	L
FIGURA B13.- ESQUEMA DE UNA CENTRAL EOLOELÉCTRICA.....	LI
FIGURA B14.- DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	LII



---

# **GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

---

# GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

## **Análisis**

Un análisis en sentido amplio es la descomposición de un todo en partes para poder estudiar su estructura, sistemas operativos o funciones.

## **Adaptabilidad**

Capacidad o habilidad de un grupo social de ajustarse a cambios ambientales con fines de supervivencia y sostenibilidad.

## **Amenaza (Hazard)**

Peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un período de tiempo y en un territorio particular de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópogenico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente. Es un factor de riesgo externo de un elemento o grupo de elementos expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y en dentro de un periodo de tiempo definido.

## **Análisis de riesgo**

En su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

## **Daño**

Efecto adverso o grado de destrucción causado por un fenómeno sobre las personas, los bienes, sistemas de prestación de servicios y sistemas naturales o sociales.

## **Desastre**

Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad; representadas de forma diversa y diferenciada por, entre otras cosas, la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender los afectados y restablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida.

## **Elementos en riesgo (expuestos)**

Es el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno físico.

---

## **Emergencia**

Estado caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y que exige la atención o preocupación de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general.

## **Evaluación de la amenaza**

Es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

## **Evaluación de la vulnerabilidad**

Proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular.

## **Evento (perturbación)**

Suceso o fenómeno natural, tecnológico o provocado por el hombre que se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. Es el registro en el tiempo y el espacio de un fenómeno que caracteriza una amenaza. Es importante diferenciar entre un evento potencial y el evento mismo, una vez éste se presenta.

## **Gestión de riesgos**

Proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción de riesgos a través de actividades de prevención, mitigación, preparación para, y atención de emergencias y recuperación post impacto.

## **Mitigación (reducción)**

Planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo. La mitigación es el resultado de la aceptación de que no es posible controlar el riesgo totalmente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias y sólo es posible atenuarlas.

## **Plan de gestión de riesgos:**

Conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción de riesgos, los preparativos para la atención de emergencias y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población.

## **Preparación (preparativos)**

Medidas cuyo objetivo es organizar y facilitar los operativos para el efectivo y oportuno aviso, salvamento y rehabilitación de la población en caso de desastre. La preparación se lleva a cabo mediante la organización y planificación de las acciones de alerta, evacuación, búsqueda, rescate, socorro y asistencia que deben realizarse en caso de emergencia.

---

**Prevención**

Medidas y acciones dispuestas con anticipación con el fin de evitar o impedir que se presente un fenómeno peligroso o para evitar o reducir su incidencia sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente.

**Reducción de riesgos**

Medidas compensatorias dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existentes. Son medidas de prevención-mitigación y preparación que se adoptan con anterioridad de manera alternativa, prescriptiva o restrictiva, con el fin de evitar que se presente un fenómeno peligroso, o para que no generen daños, o para disminuir sus efectos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente.

**Riesgo**

Es la probabilidad que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período de tiempo definido. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

**Riesgo aceptable**

Posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción. Es el nivel de probabilidad de una consecuencia dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación ante posibles

**Sistema de gestión de riesgos**

Organización abierta, dinámica y funcional de instituciones y su conjunto de orientaciones, normas, recursos, programas y actividades de carácter técnico científico, de planificación, de preparación para emergencias y de participación de la comunidad cuyo objetivo es la incorporación de la gestión de riesgos en la cultura y en el desarrollo económico y social de las comunidades.

**Vulnerabilidad**

Factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado, de ser susceptible a sufrir un daño, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente. Corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso de origen natural o causado por el hombre se manifieste. Las diferencias de vulnerabilidad del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos.

**S.E**

Subestación Eléctrica.

**kV**

Unidad de medida del nivel de tensión en miles de volts.

**kVA**

Unidad de medida de la potencia eléctrica aparente en miles de volts-ampere.

---

**kW**

Unidad de medida de la potencia activa o útil en miles de watts. Los kW hacen referencia a la potencia activa del sistema, es decir, la forma de transformar la energía eléctrica para su aprovechamiento.

**HAZOP**

Riesgos y Operatividad por sus siglas en ingles (Hazard and Operability).

**Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)**

Conjunto de elementos que se encargan de generar, transformar, transmitir y distribuir la energía eléctrica, a través de un sistema complejo.

**Generación de energía eléctrica**

Es el proceso de transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica.

**Subestación Eléctrica de Potencia**

Se encarga de dirigir y transformar el flujo de la Energía Eléctrica. De ella entran y salen líneas de igual o diferente tensión. Se clasifican en Subestaciones de centrales eléctricas, Subestaciones receptoras primarias y Subestaciones receptoras secundarias, y forma parte de una red eléctrica.

**Línea de Transmisión**

Una línea de transmisión de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias.

**Transformador eléctrico de potencia**

Es el encargado de modificar los niveles de tensión de la energía eléctrica para su transmisión o distribución, puede actuar como elevador o reductor dependiendo en el tipo de subestación eléctrica en que se encuentre.

---

# **CAPÍTULO I.-**

# **ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

---

# CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los antecedentes y justificación del presente proyecto de tesis. El capítulo comienza con una breve descripción de las diferentes etapas del proceso de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica y esto se presenta en la sección 1.2. Las secciones 1.3 y 1.4 presentan algunas estadísticas de accidentes ocurridos en la industria eléctrica en el contexto mundial y nacional respectivamente. La justificación del proyecto de tesis se describe en la sección 1.5. Finalmente, las conclusiones del capítulo se presentan en la sección 1.6.

## 1.2 GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

### 1.2.1 ANTECEDENTES

#### **Energía y sociedad**

En la civilización moderna, la disponibilidad de energía está fuertemente ligada al nivel de bienestar, a la salud y a la duración de vida del ser humano. En realidad vivimos en una sociedad que se podía denominar como "**energívora**". En esta sociedad, los países más pobres muestran los consumos más bajos de energía, mientras que los países más ricos utilizan grandes cantidades de la misma. Sin embargo este escenario está cambiando de forma drástica, cambio que se acentuará en los próximos años, donde serán precisamente los países en vías de desarrollo quienes experimenten con mayor rapidez un aumento en su consumo de energía debido al incremento que tendrán tanto en sus poblaciones como en sus economías.

---

## Generación Eléctrica

La demanda de electricidad, de acuerdo con las últimas previsiones realizadas en 2007, crecerá fuertemente entre 2004 y 2030. La producción a escala mundial crecerá un 2,4% anual en este periodo, de los 16.424 billones de KWH a los 30.364 billones. La mayor parte de este crecimiento, como en el caso del carbón, se debe a las necesidades de las economías emergentes fuera de la OCDE. De hecho, para el año 2030 se prevé que las economías en desarrollo ya generen más electricidad que los países OCDE, mientras que la demanda crecerá a una tasa tres veces mayor en las primeras que en los segundos. Estas diferencias se establecen teniendo en cuenta la mayor madurez de las infraestructuras eléctricas en los países OCDE, así como las previsiones de un nulo -o incluso negativo- crecimiento demográfico en los mismos durante los próximos 25 años. Por otro lado, las progresivas mejoras en la condiciones de vida en muchos países en desarrollo conllevarán mayores demandas de electricidad.

En cuanto a las fuentes de producción de electricidad, se espera que el carbón siga siendo la principal materia prima utilizada, incluso en 2030, a pesar del crecimiento del gas natural. La generación de electricidad a partir del petróleo crecerá a un ritmo menor en los países de la OCDE debido al incremento de precios del crudo, mientras que en las economías menos desarrolladas llegará incluso a descender a un ritmo del 0,3% anual. Tan solo en Oriente Medio, donde las reservas son muy abundantes, se continuará usando el petróleo como fuente fundamental de provisión de electricidad. (SITUACION DE LA ENERGIA EN EL MUNDO).

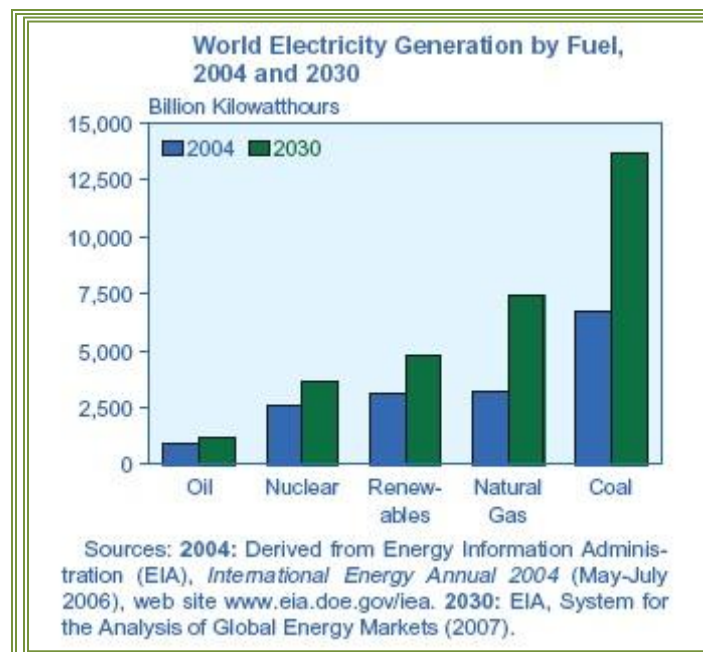


Figura 1.1.- Generación de Energía Eléctrica a Nivel Mundial.

Fuente. (SITUACION DE LA ENERGIA EN EL MUNDO).



---

## **La energía eléctrica en México**

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 34.2 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos. La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 178 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 52,945 megawatts (MW).

El 22.5% de la capacidad instalada corresponde a 22 centrales construidas con capital privado por los Productores Independientes de Energía (PIE). En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoeléctrica. Para conducir la electricidad desde las centrales de generación hasta el domicilio de cada uno de sus clientes, la CFE tiene más de 748 mil kilómetros de líneas de transmisión y de distribución. El suministro de energía eléctrica llega a cerca de 188 mil localidades (184,538 rurales y 3,400 urbanas) y el 97.8% de la población utiliza la electricidad.

En los últimos diez años se han instalado 42 mil módulos solares en pequeñas comunidades muy alejadas de los grandes centros de población. Esta será la tecnología de mayor aplicación en el futuro para aquellas comunidades que aún no cuentan con electricidad. En cuanto al volumen de ventas totales, 99% lo constituyen las ventas directas al público y el 1.0% restante se exporta. Si bien el sector doméstico agrupa 88.4% de los clientes, sus ventas representan 26.1% del total de ventas al público. Una situación inversa ocurre en el sector industrial, donde menos de 1% de los clientes representa más de la mitad de las ventas.

La CFE es también la entidad del gobierno federal encargada de la planeación del sistema eléctrico nacional, la cual es plasmada en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), que describe la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda en los próximos diez años, y se actualiza anualmente. El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo. CFE es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

El Anexo-A presenta una descripción del sistema de energía eléctrica y su contexto.

---

## 1.2.2 GENERACIÓN

### La Generación de energía eléctrica

En general, la **generación de energía eléctrica** consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Desde que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o del Primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado Tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos. En general los sistemas de generación se diferencian por el periodo del ciclo en el que está planificado que sean utilizados; se consideran de base la nuclear y la eólica, de valle la termoeléctrica de combustibles fósiles, y de pico la hidroeléctrica principalmente (los combustibles fósiles y la hidroeléctrica también pueden usarse como base si es necesario).

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y

---

solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

Por otro lado, un 64% de los directivos de las principales empresas eléctricas consideran que en el horizonte de 2018 existirán tecnologías limpias, asequibles y renovables de generación local, lo que obligará a las grandes corporaciones del sector a un cambio de mentalidad. (www.wikipedia.com).

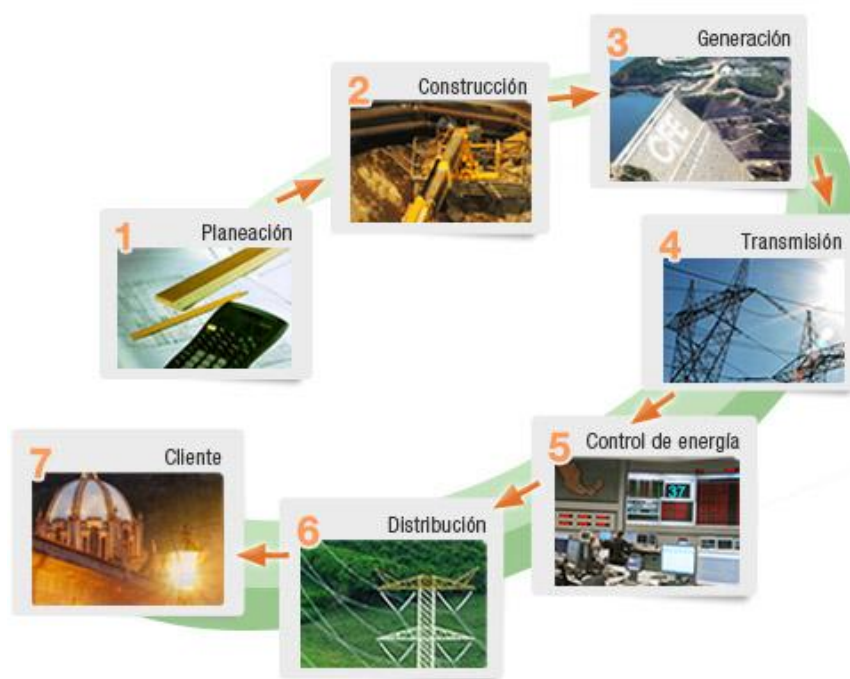


Figura 1.2.- Procedimiento de la Generación de la Energía Eléctrica.

Fuente. (www.cfe.gob.mx).

CFE cuenta con una planeación para el logro de sus objetivos y metas de corto, mediano y largo plazos, en correspondencia con las oportunidades y amenazas que ofrece el entorno, aprovechando las mejores opciones de inversión y producción de energía que permitan satisfacer la demanda presente y futura de electricidad a costo global mínimo y con un nivel adecuado de confiabilidad y calidad. Para contar con la energía eléctrica necesaria para el crecimiento y desarrollo del país, la Comisión Federal de Electricidad construye centrales generadoras, líneas y subestaciones que producen, transmiten, transforman y distribuyen la energía eléctrica a lo largo del país.

---

La generación de energía eléctrica requerida por la población, la industria, la agricultura, y los servicios, se realiza con diferentes tipos de centrales, dependiendo de la generación de que se trate, ya sea termoeléctrica, hidroeléctrica, turbogas, geotérmica, nuclear, carboeléctrica y eololéctrica. Para conducir la electricidad desde las plantas de generación hasta los consumidores finales, CFE cuenta con redes eléctricas de transmisión y de distribución de alta, media y baja tensión.

A través del Centro Nacional de Control de Energía se optimiza la infraestructura física, equilibrando la demanda que requieren los consumidores finales en condiciones de cantidad, calidad y precio. Para que la luz llegue a los hogares y sectores de la economía, CFE cuenta con una red de líneas y subestaciones de distribución lo que, aunado a diferentes medios de atención electrónica altamente eficientes, permite ofrecer una atención orientada a la satisfacción del cliente, con criterios de competitividad y sustentabilidad. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

El Anexo-B presenta una descripción de las principales forma de generación de energía eléctrica.

### **1.2.3 TRANSMISIÓN**

Después de que la electricidad es creada en las plantas generadoras el siguiente paso es transmitirla y así pueda llegar a todos los centros de consumo, casas, fábricas, escuelas, hospitales, entre otros. Para lo anterior se necesita la Red Eléctrica Integral a lo largo y ancho de todo México. Esta red está formada por Torres, Líneas de Transmisión y Subestaciones, apoyados por equipos de Protección, Comunicaciones y Control. Las líneas de transmisión son los caminos que usan los electrones que forman la electricidad y están constituidas por acero y aluminio. Las torres que sostienen las líneas de transmisión, por medio de unos botones de porcelana o silicón que evitan que la electricidad brinque a las torres, están construidas de acero puro para aguantar la temperatura ambiente así como las diferentes condiciones meteorológicas que se presentan.

En las Subestaciones de Transformación, es donde la electricidad que está formada por electrones se aumenta o se reduce, dependiendo de la necesidad. Si aumenta se define como alta tensión la cual pueden viajar largas distancias sin existir pérdidas. A la inversa si se reduce se define como baja tensión y se utiliza para entregar a los centros de consumo. En la parte más alta de las torres se ubica un cable que se llama hilo de guarda el cual a su vez tiene en su interior varias fibras de vidrio llamadas en su conjunto fibra óptica y a través de ellas viajan

---

señales luminosas que se transforman en voz, datos e imágenes. Este hilo de guarda protege a las líneas de Transmisión de descargas atmosféricas.

Si tenemos una falla o algo está mal en alguna parte de toda nuestra red eléctrica contamos con el apoyo de equipos electrónicos que nos informan si algo está bien o está mal y así entregar la energía eléctrica con calidad. (www.cfe.com.mx). Existen una gran variedad de torres de transmisión como son conocidas, entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de amarre, la cual debe ser mucho más fuertes para soportar las grandes tracciones generadas por los elementos antes mencionados, usadas generalmente cuando es necesario dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta, que no se encuentren cruces de líneas u obstáculos. (www.wikipedia.com). La red de transporte es la encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí con estructura de forma mallada, de manera que puedan transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles. (www.wikipedia.com).

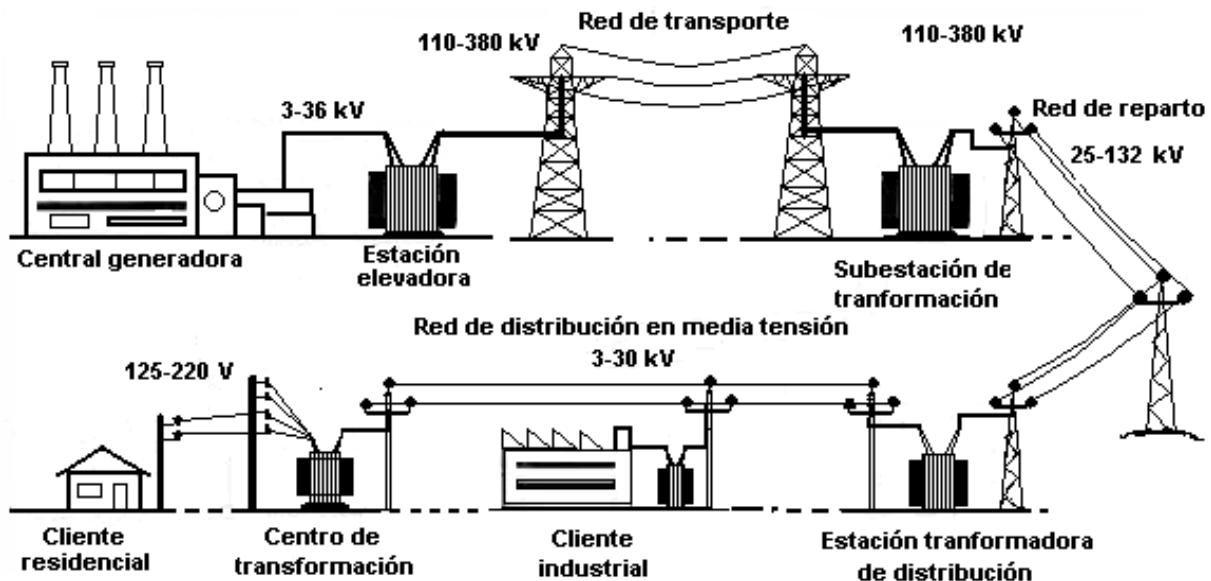


Figura 1.3.- Representación esquematizada de un Sistema Eléctrico de Potencia y Distribución de la Energía Eléctrica.

Fuente. (www.cfe.gob.mx).

---

## 1.2.4 DISTRIBUCIÓN

La **Red de Distribución de la Energía Eléctrica** o **Sistema de Distribución de Energía Eléctrica** es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor del cliente). **Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:** Subestación de Distribución de casitas: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas. La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas: La primera está constituida por la red de reparto, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 6 y 115 kV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 6 a 30 kV y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (127/220 ó 440/220 V).

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red. La localización de averías se hace por el método de "prueba y error", dividiendo la red que tiene la avería en dos mitades y energizando una de ellas; a medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de la red. Esto ocasiona que en el transcurso de localización se pueden producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red.

### Topologías típicas de redes de distribución

La topología de una red de distribución se refiere al esquema o arreglo de la distribución, esto es la forma en que se distribuye la energía por medio de la disposición de los segmentos de los circuitos de distribución. En este sentido se enfoca a la forma como se distribuye la energía a

---

partir de la fuente de suministro. (www.wikipedia.com). Desde las subestaciones ubicadas cerca de las áreas de consumo, el servicio eléctrico es responsabilidad de la compañía suministradora (distribuidora) que ha de construir y mantener las líneas necesarias para llegar a los clientes. Estas líneas, realizadas a distintas tensiones, y las instalaciones en que se reduce la tensión hasta los valores utilizables por los usuarios, constituyen la red de distribución. Las líneas de la Red de Distribución pueden ser aéreas o subterráneas. (www.wikipedia.com).



Figura 1.4.- Representación de un centro de transformación.  
Fuente.(www.cfe.gob.mx).

### 1.2.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Un **Sistema Eléctrico de Potencia** es un Sistema de suministro eléctrico cuyos niveles de tensión son iguales o superiores a los 85 kV, (Este valor depende de cada país). Estos sistemas eléctricos se los denomina también de alta tensión o extra alta tensión, o sistemas eléctricos de transmisión o Red eléctrica de transporte. Estos sistemas, por la gran extensión geográfica que ocupan; por los niveles de tensión en que funcionan, y por la gran cantidad de energía eléctrica que transporta, requieren de la supervisión y del comando a distancia, lo cual se realiza en los Centros de Operación y Control a través de los Sistemas SCADA.

Debido a que el funcionamiento de los sistemas eléctricos de corriente alterna tienen un comportamiento dinámico, las condiciones de funcionamiento deben ser establecidas aplicando criterios de funcionamiento muy estrictos para evitar los problemas de estabilidad dinámica, que pueden llevar al sistema al estado de colapso. En estos estados de emergencia se producen *apagones* que dejan a gran cantidad de consumidores sin el suministro de energía eléctrica, necesaria para el normal funcionamiento de la vida moderna, y el sistema requiere la Restauración de cargas. Otros estados de emergencia menos críticos pueden llevar al sistema al colapso de tensión. En este fenómeno partes del sistema eléctrico sufren caídas de tensión que afectan el funcionamiento de los artefactos eléctricos conectados a la red, lo que significa que la calidad del suministro eléctrico es deficiente.

Los ingenieros eléctrico o electricistas son los profesionales encargados del funcionamiento de los Sistemas eléctricos de potencia, realizando tareas de planificación y operación, en los cuales no sólo se tienen en cuenta aspectos técnicos y funcionales, sino también aspectos económicos, tratando en todo momento de minimizar los costos de operación de estos sistemas, y logrando que el crecimiento de la demanda de energía sea satisfecha convenientemente. (es.wikipedi.org).

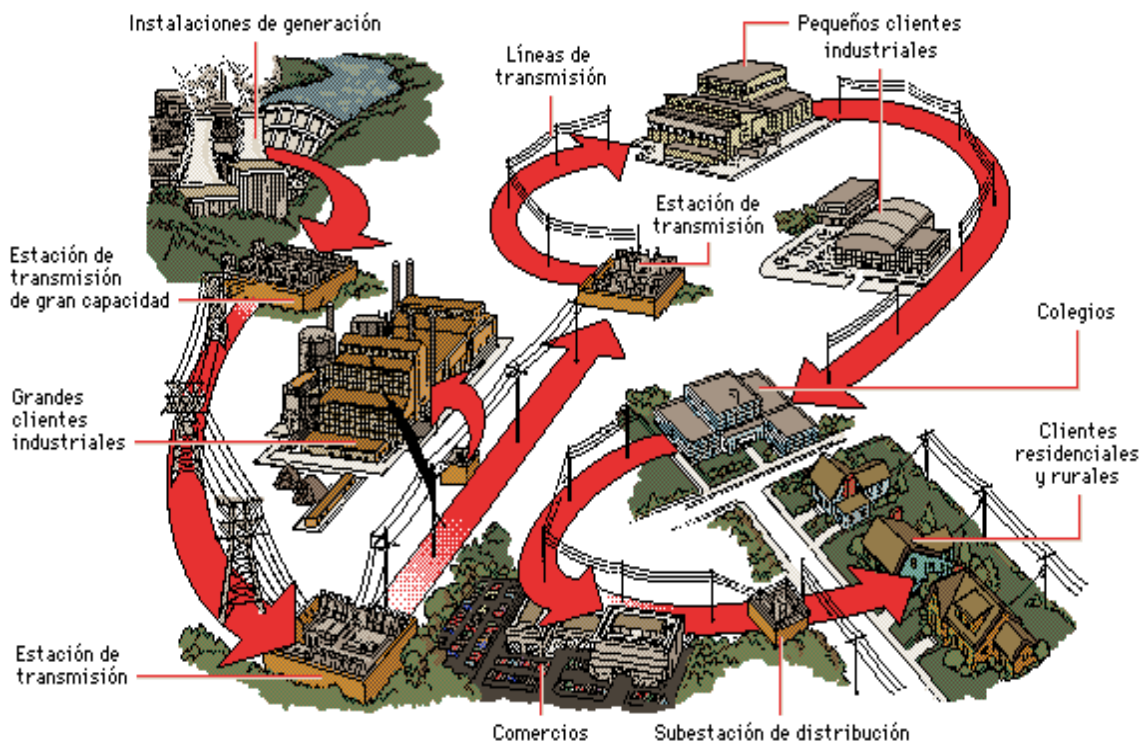


Figura 1.5.- Representación de un Sistema Eléctrico de Potencia.

Fuente. (www.monografias.com).



---

### 1.3 ESTADÍSTICAS DE INCIDENTES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

En muchas zonas del mundo las instalaciones eléctricas locales o nacionales están conectadas formando una red. Esta red de conexiones permite que la electricidad generada en un área se comparta con otras zonas. Cada empresa aumenta su capacidad de reserva y comparte el riesgo de apagones. Estas redes son enormes y complejos sistemas compuestos y operados por grupos diversos. Representan una ventaja económica pero aumentan el riesgo de un apagón generalizado, ya que si un pequeño cortocircuito se produce en una zona, por sobrecarga en las zonas cercanas se puede transmitir en cadena a todo el país. Muchos hospitales, edificios públicos, centros comerciales y otras instalaciones que dependen de la energía eléctrica tienen sus propios generadores para eliminar el riesgo de apagones. (www.monografias.com).

Así mismo y por consecuencia estas instalaciones están sujetas a mantenimientos constantes lo cual significa que estarán intervenidas constantemente por el personal encargado. A continuación se muestran algunas estadísticas en el contexto Internacional sobre los accidentes eléctricos. Se presentan algunas estadísticas de los accidentes mortales de los trabajadores en la temporada 2005/06 y en años recientes para Gran Bretaña y otros estados miembros de la Unión Europea. La figura 1.20 presenta las lesiones fatales a los empleados de la industria de extracción y suministro de servicios públicos.



Figura 1.6.- Grafica Representativa de Lesiones en el Contexto Internacional.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

---

La extracción y la utilidad de la industria de suministros incluye: las minas de carbón, la minería a cielo abierto, la explotación de canteras, extracción de petróleo y gas, y **el suministro de electricidad**, gas y agua. La estadísticas sólo cubren a los empleados porque existen trabajadores por cuenta propia y son relativamente pocos en estas industrias. El número de lesiones mortales en empleados fluctúa cada año, pero aumentó de 2 en 2004/05 a 6 en la temporada 2005/06, hubo 9 en 2003/04.

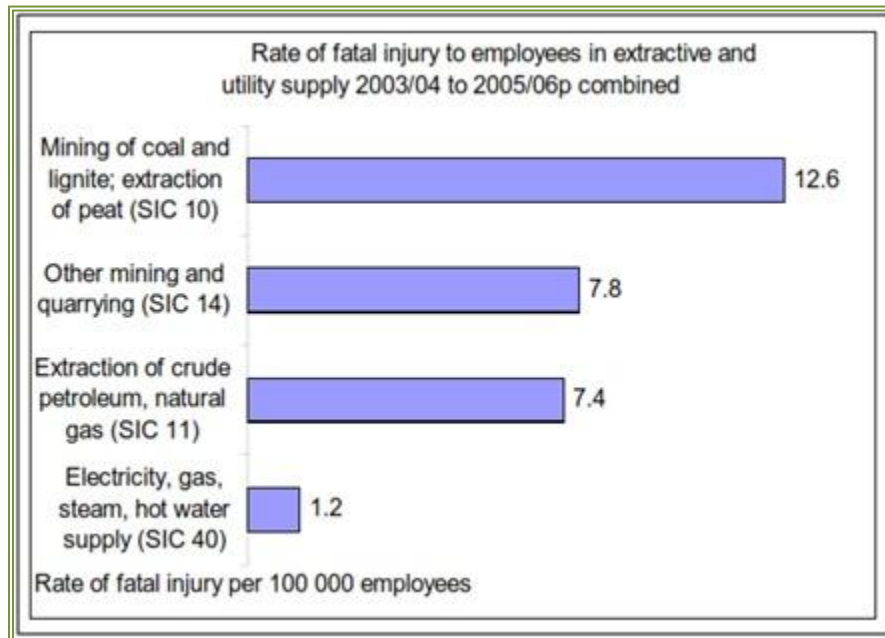


Figura 1.7.- Grafica Representativa de Lesiones en el Contexto Internacional.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

La tasa de lesiones fatales a los trabajadores en la industria de extracción y suministro servicios públicos pueden ser susceptibles a las fluctuaciones como resultado de un número relativamente pequeño de muertes. Sin embargo, la tasa de lesiones fatales en este sector es superior que el promedio nacional.

Para los tres años combinados (2003/04 a 2005/06), para las industrias con más alto tasa de lesiones mortales, el número de víctimas mortales registrados fueron: - la explotación minera de carbón y lignito y la extracción de turba (3), la minería y otros canteras (5), la extracción de petróleo crudo, gas natural (6), y el suministro de electricidad, gas, vapor y agua caliente (3).

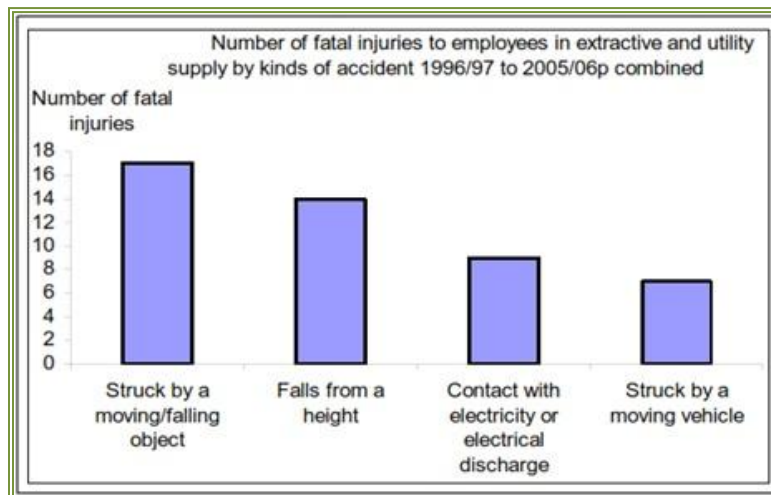


Figura 1.8.- Grafica Representativa de Lesiones en el Contexto Internacional.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

Han ocurrido 84 accidentes mortales a los empleados en los diez años desde 1996/97 a 2005/06 en las industrias extractivas y suministro de servicios públicos. De los 84 accidentes mortales, 17 están relacionados por ser golpeados por movimiento / caída de objetos, 14 resultaron de caídas desde una altura considerable, **9 implicados en contacto con la electricidad** y otros 7 fueron por ser golpeado por un vehículo en marcha.

## LAS LESIONES FATALES EN GRAN BRETAÑA Y LOS ESTADOS MIEMBROS DE LA UNIÓN EUROPEA

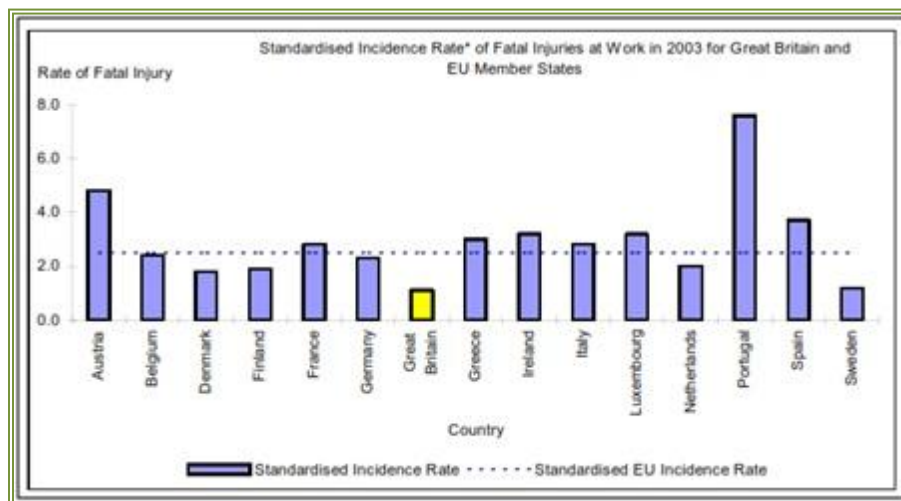


Figura 1.9.- Grafica Representativa de Lesiones en el Contexto Internacional.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

---

Los diferentes estados miembros de la Unión Europea tienen diferentes métodos para recopilar la información relativa a la fatal lesiones en el trabajo. Por ejemplo, algunos países incluyen los accidentes de tráfico y los accidentes de trayecto (es decir, accidentes que ocurren durante los viajes hacia y desde un lugar de trabajo) en sus estadísticas. Las estadísticas se muestran por encima de excluir estos casos, sin embargo, todavía habrá alguna variación en los criterios utilizados por los diferentes países. Cobertura de accidentes en ciertos Estados miembros no es completa por una serie de sectores, especialmente en relación con el sector público, la industria pesquera y las industrias extractivas y de trabajadores por cuenta propia los empleadores, y los trabajadores familiares. Por esta razón, los datos recogidos sólo cubren las nueve ramas de actividad que son comunes a todos los Estados miembros. Las nueve ramas son: la agricultura, la manufactura, servicios públicos, construcción, venta al por menor y al por mayor distribución, hoteles y restaurantes, transporte, servicios financieros, actividades de negocio de bienes raíces. Los datos correspondientes a Portugal se refieren al año 2002.

En 2003, el año más reciente para el cual los datos se publican en toda la Unión Europea, hubo 4153 muertes relacionadas con el trabajo, de los cuales 1 675 fueron de tráfico y accidentes de transporte (RTTA). Excluyendo el transporte accidentes, la tasa media de accidentes mortales de trabajo en la Unión Europea fue de 2,5 muertes por cada cien mil los trabajadores. La tasa equivalente para Gran Bretaña fue de 1,1, que es la más baja entre los Estados miembros. Puesto que cada Estado miembro puede también recoger información sobre otros sectores, las cifras individuales de cada cita Los Estados miembros podrán diferir de los publicados a nivel nacional. ([www.hse.gov.uk/statistics](http://www.hse.gov.uk/statistics)).

## Tabla complementaria

Lesiones fatales a los trabajadores por industria y tipo de accidente 2005/06p como se informa a todas la autoridades en su cumplimiento.

Tabla 1.1.- Información complementaria de Lesiones en el Contexto Internacional.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

Kind of accident	Agriculture, hunting, forestry & fishing	Extractive & utility supply industries	Manufacturing industries	Construction	Service industries	All industries
Contact with moving machinery	6	1	10	2	4	23
Struck by moving, including flying/falling, object	2	3	13	7	8	33
Struck by moving vehicle	8	-	5	8	14	35
Strike against something fixed or stationary	2	-	1	3	1	7
Injured while handling, lifting or carrying	-	-	1	-	-	1
Slips, trips or falls on same level	1	-	1	1	4	7
Falls from a height of which:	6	1	6	24	9	46
- up to and including 2 metres	1	-	-	4	3	8
- over 2 metres	5	1	4	13	3	26
- height not stated	-	-	2	7	3	12
Trapped by something collapsing/overturning	2	-	2	4	3	11
Drowning or asphyxiation	-	-	-	1	-	1
Exposure to, or contact with, a harmful substance	1	-	1	1	4	7
Exposure to fire	-	-	2	-	2	4
Exposure to an explosion	-	-	2	1	1	4
Contact with electricity or electrical discharge	-	-	1	3	7	11
Injured by an animal	2	-	-	-	-	2
Acts of violence	-	-	-	-	2	2
Other kind of accident	-	1	-	3	9	13
Injuries not classified by kind	3	-	-	1	1	5
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>6</b>	<b>45</b>	<b>59</b>	<b>69</b>	<b>212</b>

p provisional

Fuentes del Sector Eléctrico estiman que en países como **Estados Unidos de Norte América**, se producen **de 5 a 10 accidentes diarios por arcos eléctricos**. Según la **agencia de estadística Estados Unidos de Norte América**, en al año 2010 aproximadamente **1000 electricistas sufrieron descargas y quemaduras**. **El 50% de los accidentes fueron pro arcos eléctricos**. (FLUKE, 2010).

Es importante mencionar que aquí se citan algunas entidades internacionales debido a que no todos los países hacen publica su información en cuanto a seguridad laboral se refiere, ello depende a otros factores ajenos a este contexto.

## 1.4 ESTADÍSTICAS DE INCIDENTES EN EL CONTEXTO NACIONAL

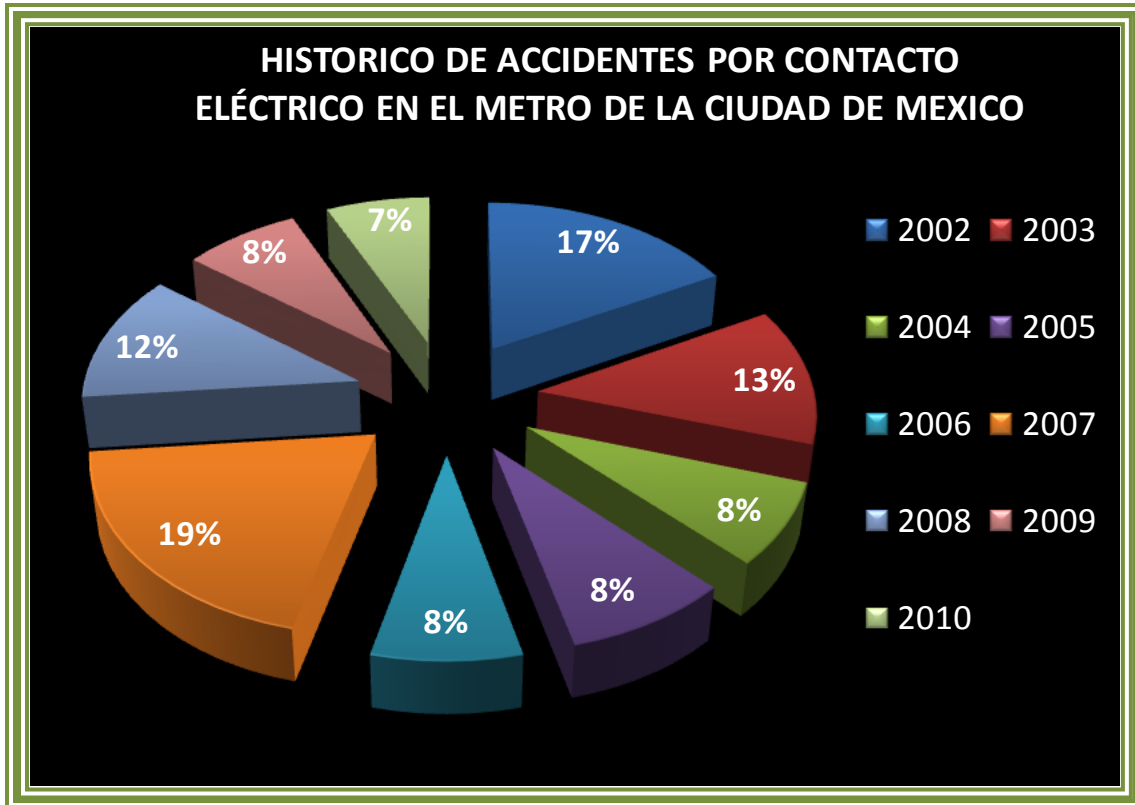
Al igual que en el contexto Internacional las instalaciones eléctricas locales o nacionales (en México) están conectadas formando una red. Esta red de conexiones permite que la electricidad generada en un área se comparta con otras zonas. Pero también representa un riesgo de un apagón generalizado a gran escala y graves consecuencias.

Tabla 1.2.- Histórico de Accidentes por Contacto Eléctrico por aéreas.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

Elaboración Propia

HISTORICO DE ACCIDENTES POR CONTACTO ELECTRICO POR ÁREAS	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
DIRECCION DE MANTENIMIENTO DE MATERIAL RODANTE	11	10	4	5	6	12	5	5
DIRECCION DE RECURSOS MATERIALES Y SERVICIOS GENERALES				1				
DIRECCION DE TRANSPORTACION					1	4		
GERENCIA DE INGENIERIA	1						1	
GERENCIA DE INGENIERIA Y NUEVOS PROYECTOS						1		
<b>GERENCIA DE INSTALACIONES FIJAS</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
GERENCIA DE LINEAS 1, 3 Y 4			1	1			1	
GERENCIA DE LINEAS 2, 5, 6 Y B			1					1
GERENCIA DE LINEAS 7, 8, 9 Y A						2		
GERENCIA DE SEGURIDAD INSTITUCIONAL	1		1				1	
<b>Total general</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>9</b>



Grafica 1.1.- Histórico de Accidentes por Contacto Eléctrico por aéreas.

Fuente. (Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE, 2011).

Elaboración Propia

Es importante señalar que los datos recopilados en el contexto nacional como internacional son breves debido a que no todas las instituciones tanto privadas como gubernamentales hacen explícito su situación en cuanto a seguridad laboral se refiere, y más aun cuando se involucran incidentes que causan daños severos al medio ambiente, pérdidas económicas, conflictos políticos y lo que es más delicado pérdidas en cuestión de vidas humanas.

---

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS**

Desde que el ser humano ha tenido la necesidad de hacer uso de la energía eléctrica en su vida cotidiana y conforme ha evolucionado esta dualidad a través del tiempo, lo han hecho junto con el factor de riesgo que esto implica, entre más complejo es un sistema más complicado es su estudio y por ende mas aumenta el factor de riesgo de sufrir un accidente.

Por tal motivo la elección de este tema de tesis, surge como una necesidad dada la gran cantidad de accidentes que ocurren en el ramo eléctrico es alarmante y el incremento de lesiones por descargas eléctricas sufridas por el personal técnico durante la realización de algún mantenimiento en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de potencia; en la mayoría de los casos no se lleva acabo una investigación o seguimiento adecuado para identificar el riesgo que los origino. Dado lo anterior, me es de gran interés desarrollar una metodología con la cual se pueda identificar los peligros asociados en el mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia así como en líneas de transmisión. Lo anterior puede ayudar a reducir los riesgos de accidentes en dichos procesos.

## **1.6 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO**

El capítulo ha presentado los antecedentes del proyecto de tesis; los procesos básicos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica han sido descritos brevemente en el Capítulo. También se presentaron evidencias de accidentes ocurridos en la industria eléctrica, lo cual ha motivado el presente trabajo de tesis. El marco teórico y metodológico que servirá de base para desarrollo del proyecto de tesis se presenta en el siguiente Capítulo.



---

# **CAPÍTULO II.-**

# **MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO**

---

## CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El Capítulo presenta el marco teórico y metodológico del proyecto de tesis. La figura 2.1 intenta resumir una visión abstracta del marco teórico. El Capítulo comienza con una presentación de los conceptos básicos de la teoría general de sistemas y esto se presenta en la sección 2.2. La sección 2.3 presenta algunos conceptos relevantes al análisis de riesgos. Los conceptos básicos de líneas de alta y baja tensión así como la teoría básica del funcionamiento de una subestación eléctrica se describen brevemente en las secciones 2.4 y 2.5 respectivamente. La metodología adoptada para el desarrollo del presente proyecto se presenta en la sección 2.6. Las conclusiones del capítulo se presentan en la sección 2.7.

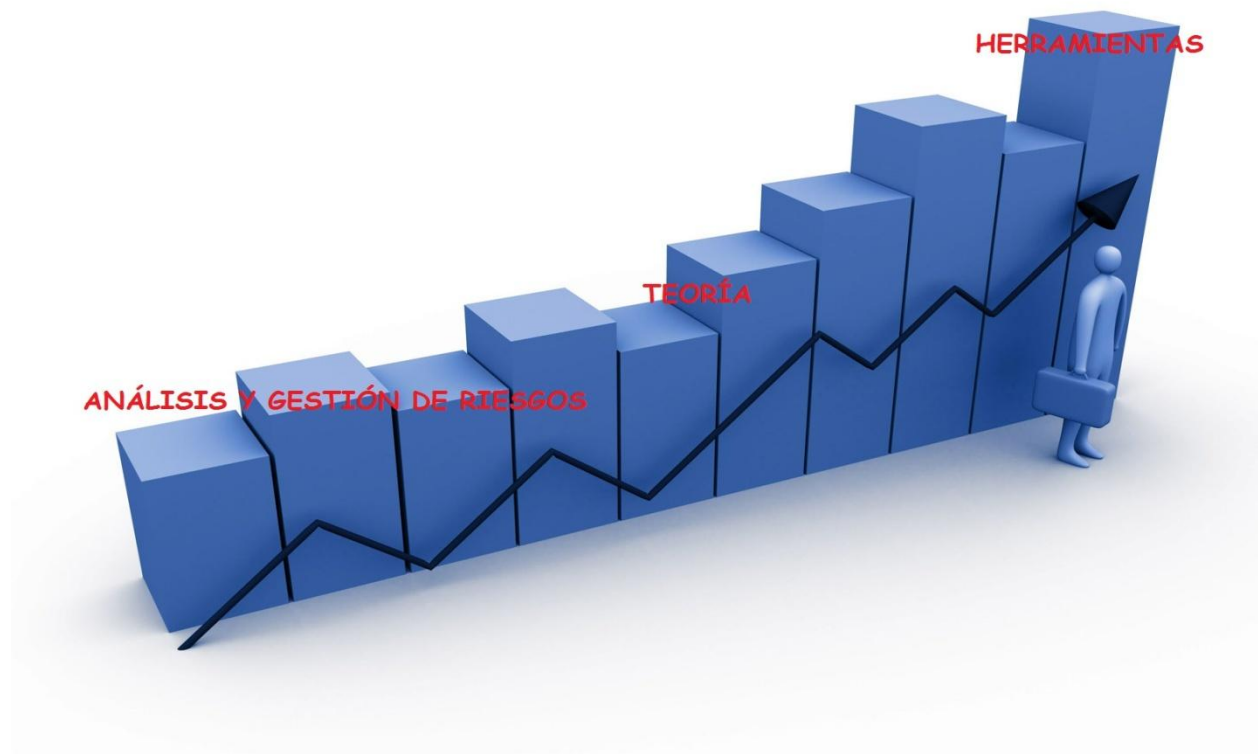


Figura 2.1.- Representación del Marco Teórico. (Fuente: Elaboración Propia).

---

## 2.2 LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS (TGS)

En la Ingeniería de Sistemas se tiene un enfoque con diferentes visiones que permite estudiar y comprender la realidad, con el propósito de optimizar sistemas complejos.

La ingeniería de sistemas integra otras disciplinas y grupos de especialidad en un esfuerzo común de equipo, formando un proceso de desarrollo estructurado y sistémico.

Una de las principales diferencias de la ingeniería de sistemas respecto a otras disciplinas de ingeniería tradicionales, consiste en que la ingeniería de sistemas no construye productos tangibles. Mientras que los ingenieros civiles podrían diseñar edificios o puentes, los ingenieros electrónicos podrían diseñar circuitos, los ingenieros de sistemas tratan con *sistemas abstractos* con ayuda de las metodologías de la ciencia de sistemas, y confían además en otras disciplinas para diseñar y entregar los productos tangibles que son el producto de esos sistemas. (Teoría General de Sistemas, 2007).

Para llevar a cabo el desarrollo del trabajo de tesis es necesario considerar algunos conceptos básicos para poder tener un conocimiento mejor de sistema en estudio, que en este caso es el Análisis y Gestión de Riesgos en el Mantenimiento de un Sistema Eléctrico, Caso de: Una Subestación Eléctrica de Alta Tensión. Por lo que a continuación se mencionan algunos de ellos.

**Sistema.** Un sistema es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben (*entrada*) datos, energía o materia del ambiente y proveen (*salida*) información, energía o materia. (Arnold, 1989).

**Subsistema.** Se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las mismas propiedades que los sistemas y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos. (Johannsen, 1975).

**Entorno.** Es aquella parte del universo que está en comunicación con el sistema, pero que no es parte de sistema.

**Frontera.** Límite artificiales que se fijan entre el sistema y su ambiente tomando en cuenta criterios, objetivos y recursos del usuario de la herramienta sistémica. . (Johannsen, 1975).

---

**Ambiente.** Sistemas externos a la frontera seleccionada del sistema a intervenir. Sobre los sistemas externos o entorno no se puede ejercer control. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Cosmovisión.** Es la forma en la cual se puede ver la totalidad del problema en estudio.

**Retroalimentación (feedback).** La retroalimentación se produce cuando las salidas del sistema o la influencia de las salidas del sistema en el contexto, vuelven a ingresar al sistema como recursos o información. La retroalimentación permite el control de un sistema y que el mismo tome medidas de corrección en base a la información retroalimentada. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Holos.** Unidad funcional de una jerarquía tal que es totalidad con relación a sus partes, y es parte en relación a totalidades de niveles elevados. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Holístico.** Visión integral o sistémica. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema Abierto.** Es aquel que se relaciona de forma dinámica con otros sistemas de su entorno con los cuales intercambia materia y energía y/o información. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema Abstracto.** Es aquel en que todos sus elementos son conceptos. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema Autopoiético.** Es autorenovador donde el producto es el mismo sistema. Es aquel que a pesar de los cambios externos es capaz de mantener un equilibrio homeostático. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema cerrado.** Es aquel que para fines prácticos se considera como si no tuviera medio y a través del cual ningún sistema externo será considerado puesto que para los fines que está diseñado los efectos externos son poco significativos. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema consiente.** Aquel que puede saber que sabe. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema concreto.** Es aquel en el que sus elementos son objetos o sujetos, o ambos. Compuesto por elementos naturales y/o hechos por el hombre. (Teoría General de Sistemas, 2007).

**Sistema socio técnico abierto.** Es aquel en el que hombre-máquina se interrelacionan con su entorno. (Teoría General de Sistemas, 2007).

---

## 2.3 CONCEPTOS GENERALES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Existen legislaciones destinadas al control de los riesgos de accidentes graves (CORAG), cuyo fin es la prevención de accidentes graves tal como incendios, explosiones, emisiones resultantes de fallos en el control de una actividad industrial y que puedan entrañar graves consecuencias para personas internas y externas a la planta industrial. Algunas de estas legislaciones exigen utilizar métodos específicos de análisis de riesgos, tanto cualitativos como cuantitativos, tales como el método HAZOP, el árbol de fallos y errores, etc. Varios de esos métodos, en especial los análisis probabilísticos de riesgos, se utilizan también para el análisis de los sistemas de seguridad en máquinas y distintos procesos industriales. (UK, 2004).

### 2.3.1 EVALUACIÓN DE RIESGOS

#### Etapas del proceso general de evaluación

Un proceso general de evaluación de riesgos se compone de las siguientes etapas:

- 1) Clasificación de las actividades de trabajo
- 2) Análisis de riesgos
- 3) Valoración de riesgos: Decidir si los riesgos son tolerables
- 4) Preparar un plan de control de riesgos
- 5) Revisar el plan
- 6) Modelo de formato para la evaluación general de riesgos

#### Clasificación de las actividades de trabajo

Un paso preliminar a la evaluación de riesgos es preparar una lista de actividades de trabajo, agrupándolas en forma racional y manejable. Una posible forma de clasificar las actividades de trabajo es la siguiente:

- Áreas externas a las instalaciones de la empresa.
- Etapas en el proceso de producción o en el suministro de un servicio.
- Trabajos planificados y de mantenimiento.
- Tareas definidas, por ejemplo: conductores de carretillas elevadoras.

---

Para **cada actividad de trabajo** puede ser preciso obtener información, entre otros, sobre los siguientes aspectos:

- Tareas a realizar. Su duración y frecuencia.
- Lugares donde se realiza el trabajo.
- Quien realiza el trabajo, tanto permanente como ocasional.
- Otras personas que puedan ser afectadas por las actividades de trabajo (por ejemplo: visitantes, subcontratistas, público).
- Formación que han recibido los trabajadores sobre la ejecución de sus tareas.
- Procedimientos escritos de trabajo, y/o permisos de trabajo.
- Instalaciones, maquinaria y equipos utilizados.
- Herramientas manuales movidas a motor utilizados.
- Instrucciones de fabricantes y suministradores para el funcionamiento y mantenimiento de planta, maquinaria y equipos.
- Tamaño, forma, carácter de la superficie y peso de los materiales a manejar.
- Distancia y altura a las que han de moverse de forma manual los materiales.
- Energías utilizadas (por ejemplo: aire comprimido).
- Sustancias y productos utilizados y generados en el trabajo.
- Estado físico de las sustancias utilizadas (humos, gases, vapores, líquidos, polvo, sólidos).
- Contenido y recomendaciones del etiquetado de las sustancias utilizadas.
- Requisitos de la legislación vigente sobre la forma de hacer el trabajo, instalaciones, maquinaria y sustancias utilizadas.
- Medidas de control existentes.
- Datos reactivos de actuación en prevención de riesgos laborales: incidentes, accidentes, enfermedades laborales derivadas de la actividad que se desarrolla, de los equipos y de las sustancias utilizadas. Debe buscarse información dentro y fuera de la organización.
- Datos de evaluaciones de riesgos existentes, relativos a la actividad desarrollada.
- Organización del trabajo.

---

## 2.3.2.- ANÁLISIS DE RIESGOS

### 2.3.2.1.- IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Para llevar a cabo la identificación de peligros hay que preguntarse tres cosas:

- ¿Existe una fuente de daño?
- ¿Quién (o qué) puede ser dañado?
- ¿Cómo puede ocurrir el daño?

Con el fin de ayudar en el proceso de identificación de peligros, es útil categorizarlos en distintas formas, por ejemplo, por temas: mecánicos, **eléctricos**, radiaciones, sustancias, incendios, explosiones, etc.

Complementariamente se puede desarrollar una lista de preguntas, tales como: durante las actividades de trabajo, ¿existen los siguientes peligros?

- Golpes y cortes.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de herramientas, materiales, etc., desde altura.
- Espacio inadecuado.
- Peligros asociados con manejo manual de cargas.
- Peligros en las instalaciones y en las máquinas asociados con el montaje, la consignación, la operación, el mantenimiento, la modificación, la reparación y el desmontaje.
- Peligros de los vehículos, tanto en el transporte interno como el transporte por carretera.
- Incendios y explosiones.
- Sustancias que pueden inhalarse.
- Sustancias o agentes que pueden dañar los ojos.
- Sustancias que pueden causar daño por el contacto o la absorción por la piel.
- Sustancias que pueden causar daños al ser ingeridas.
- **Energías peligrosas** (por ejemplo: **electricidad**, radiaciones, ruido y vibraciones).
- Trastornos músculo-esqueléticos derivados de movimientos repetitivos.
- Ambiente térmico inadecuado.
- Condiciones de iluminación inadecuadas.

- 
- Barandillas inadecuadas en escaleras.

La lista anterior no es exhaustiva. En cada caso habrá que desarrollar una lista propia, teniendo en cuenta el carácter de sus actividades de trabajo y los lugares en los que se desarrollan.

### **2.3.2.2.- ESTIMACIÓN DEL RIESGO**

Para cada peligro detectado debe estimarse el riesgo, determinando la potencial severidad del daño (consecuencias) y la probabilidad de que ocurra el hecho.

#### **Severidad del daño**

Para determinar la potencial severidad del daño, debe considerarse:

- Partes del cuerpo que se verán afectadas.
- Naturaleza del daño, graduándolo desde ligeramente dañino a extremadamente dañino.

Ejemplos de ligeramente dañino:

- Daños superficiales: cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo.
- Molestias e irritación, por ejemplo: dolor de cabeza, disconfort.

Ejemplos de dañino:

- Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores.
- Sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos, enfermedad que conduce a una incapacidad menor.

Ejemplos de extremadamente dañino:

- Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales.
- Cáncer y otras enfermedades crónicas que acorten severamente la vida.



---

### 2.3.2.3.- PROBABILIDAD DE QUE OCURRA EL DAÑO

La probabilidad de que ocurra el daño se puede graduar, desde baja hasta alta, con el siguiente criterio:

- Probabilidad alta: El daño ocurrirá siempre o casi siempre.
- Probabilidad media: El daño ocurrirá en algunas ocasiones.
- Probabilidad baja: El daño ocurrirá raras veces.

A la hora de establecer la probabilidad de daño, se debe considerar si las medidas de control ya implantadas son adecuadas. Los requisitos legales y los códigos de buena práctica para medidas específicas de control, también juegan un papel importante. Además de la información sobre las actividades de trabajo, se debe considerar lo siguiente:

- Trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos (características personales o estado biológico).
- Frecuencia de exposición al peligro.
- Fallas en el servicio. Por ejemplo: electricidad y agua.
- Fallas en los componentes de las instalaciones y de las máquinas, así como en los dispositivos de protección.
- Exposición a los elementos.
- Protección suministrada por los EPI y tiempo de utilización de estos equipos.
- **Actos inseguros de las personas (errores no intencionados y violaciones intencionadas de los procedimientos).**

### 2.3.3.- PREPARAR UN PLAN DE CONTROL DE RIESGOS

El resultado de una evaluación de riesgos debe servir para hacer un inventario de acciones, con el fin de diseñar, mantener o mejorar los controles de riesgos. Es necesario contar con un buen procedimiento para planificar la implantación de las medidas de control que sean precisas después de la evaluación de riesgos.

Los métodos de control deben escogerse teniendo en cuenta los siguientes principios:

- Combatir los riesgos en su origen.

- 
- Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
  - Tener en cuenta la evolución de la técnica.
  - Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
  - Adoptar las medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
  - Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

### **2.3.4.- REVISAR EL PLAN**

El plan de actuación debe revisarse antes de su implantación, considerando lo siguiente:

- Si los nuevos sistemas de control de riesgos conducirán a niveles de riesgo aceptables.
- Si los nuevos sistemas de control han generado nuevos peligros.
- La opinión de los trabajadores afectados sobre la necesidad y la operatividad de las nuevas medidas de control.

La evaluación de riesgos debe ser, en general, un proceso continuo. Por lo tanto la adecuación de las medidas de control debe estar sujeta a una revisión continua y modificarse si es preciso. De igual forma, si cambian las condiciones de trabajo, y con ello varían los peligros y los riesgos, habrá de revisarse la evaluación de riesgos.

## **2.4 CONCEPTOS BASICOS DE LÍNEAS DE ALTA Y BAJA TENSION**

¿Qué son las Líneas de transmisión?

Una línea de transmisión de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de acero, cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión. Generalmente se dice que los conductores "tienen vida propia" debido a que están sujetos a tracciones causadas por la

---

combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del viento, etc. (Enríquez Harper) .



Figura 2.2.- Líneas de Transmisión sobre estructura metálica.

Fuente. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

Cabe mencionar que dependiendo el nivel de energía que estas transporten serán llamadas de Alta ó Baja Tensión, en México los niveles existentes para Líneas de Mediana Tensión son de 13.8, 23 y 34.5 kV, en Líneas de Alta y Extra Alta Tensión son de 69, 85, 115, 230 y 400 kV.

Existen una gran variedad de torres de transmisión, entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de amarre, la cual debe ser mucho más fuertes para soportar las grandes tracciones generadas por los elementos antes mencionados, usadas generalmente cuando es necesario dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.



Figura 2.3.- Líneas de Transmisión con Torres de amarre.

Fuente. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).



Figura 2.4.- Líneas de Transmisión con Torres de Suspensión.

Fuente. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

La capacidad de la línea de transmisión afecta el tamaño de estas estructuras principales. Por ejemplo, la estructura de la torre varía directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea. Las torres pueden ser postes simples de madera para las líneas de transmisión pequeñas hasta 13.8 kilovoltios kV, Se emplean estructuras de postes de madera en forma de H, para las líneas de 85 a 230 kV, Se utilizan estructuras de acero independientes, de circuito simple, para las líneas de 115 kV o más. Es posible tener líneas de transmisión de hasta 1.000

---

kV. Al estar estas formadas por estructuras hechas de perfiles de acero, como medio de sustentación del conductor se emplean aisladores de disco y herrajes para soportarlos.

La red de transporte de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas. Para ello, los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión. Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar la tensión se reduce la corriente que circulará, reduciéndose las pérdidas por Efecto Joule. Con este fin se emplazan subestaciones elevadoras en las cuales dicha transformación se efectúa empleando transformadores, o bien autotransformadores. De esta manera, una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 220 kV y superiores, denominados alta tensión, de 400 o de 500 kV. (Enríquez Harper) .

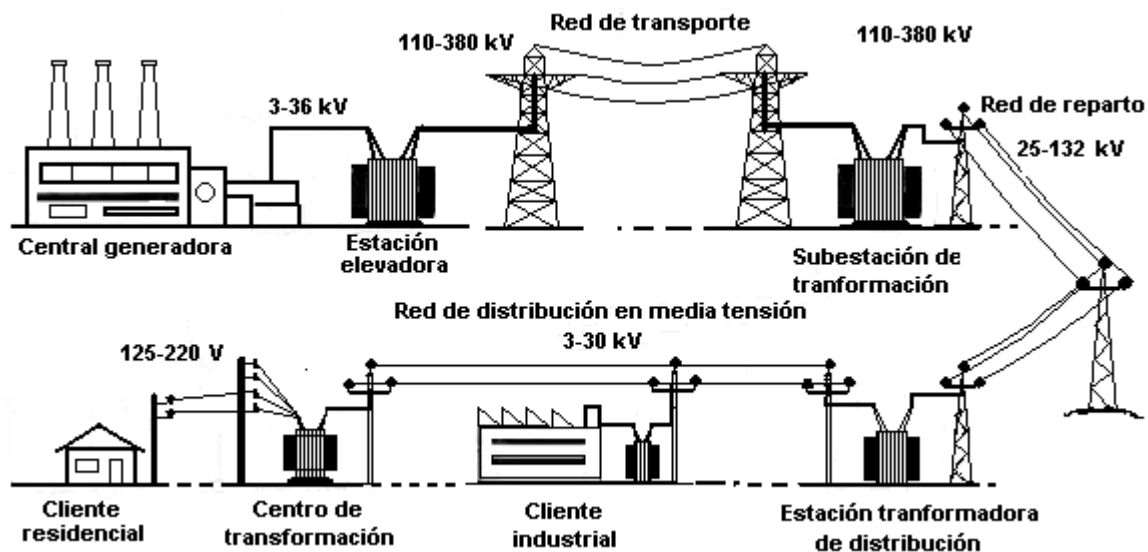


Figura 2.5.- Representación esquematizada de un Sistema Eléctrico de Potencia y Distribución de la Energía Eléctrica.  
Fuente.(www.cfe.gob.mx).

---

## 2.5 TEORÍA BÁSICA DE LA FUNCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN

Una subestación forma parte de una red eléctrica encargada de dirigir y transformar el flujo de la Energía Eléctrica. De ella entran y salen líneas de igual o diferente tensión. Está compuesta por una serie de equipos eléctricos que sirven para la explotación y protección de la subestación. Siendo el Transformador de Potencia el equipo eléctrico más importante y costoso en una Subestación Eléctrica de Potencia en Alta Tensión. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 2.6.- Instalación de una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

El transformador de potencia es el encargado de modificar los niveles de tensión de la energía eléctrica para su transmisión o distribución, puede actuar como elevador o reductor dependiendo en el tipo de subestación eléctrica en que se encuentre. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 2.7.- Transformador Eléctrico de Potencia.  
Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

**Las funciones de la subestación son:**

- Explotación: La subestación tiene como meta el dirigir el flujo de energía de una manera óptima, tanto desde el punto de vista de pérdidas energéticas, como de la fiabilidad y seguridad en el servicio.
- Interconexión: Se encarga de la interconexión de las diferentes líneas que forman una red eléctrica, de igual o diferente tensión, así como también de la conexión de un generador a la red.
- Seguridad: Brindan seguridad al Sistema Eléctrico de Potencia, en caso de falta. (Enríquez Harper, 1994).

Una subestación, queda formada básicamente por varios circuitos eléctricos o posiciones, conectadas a través de un sistema de barras conductoras (buses). Cada circuito eléctrico está compuesto a su vez por interruptores, transformadores de instrumento y seccionadores.

El interruptor es el equipo eléctrico de desconexión que puede asegurar la “puesta en servicio” o “puesta fuera de servicio” de un circuito eléctrico y que, simultáneamente, está capacitado para garantizar la protección de la instalación en que han sido montados contra los efectos de las corrientes de cortocircuito. Dichos aparatos deben ser capaces de cortar la intensidad

---

máxima de corriente de cortocircuito. Su elección depende principalmente de la potencia de cortocircuito. Puede operar con o sin carga.

Los transformadores de instrumento, de intensidad (TC) y tensión (TP), dan la información necesaria al circuito de medición, para poder detectar la falla y actuar sobre ella. Los equipos de protección necesitan de estos datos para poder actuar eficazmente.

Por último, los seccionadores son equipos capaces de aislar eléctricamente los diferentes elementos, componentes o tramos de una instalación o circuito, con el fin de realizar labores de mantenimiento con la seguridad adecuada. También son utilizados como selectores de barras o como “by-pass” para aislar a algún equipo fuera de servicio. Los seccionadores sólo pueden ser utilizados sin carga.

Paralelamente a estos equipos, existen también las autoválvulas, equipos de protección que se disponen previamente a otros aparatos con el fin de protegerlos en caso de falla en la red.

Los Buses o Barras Colectoras son el conjunto de cables o tubos conductores de la energía eléctrica al que se conectan todos los circuitos, sirviendo de pasillo de unión entre todos ellos. La configuración de estas barras puede ser de diferentes maneras, dependiendo del nivel de tensión, la finalidad de la subestación, la fiabilidad necesaria o incluso las costumbres en ciertos países. Las configuraciones más típicas son: simple barra, doble barra, triple barra, interruptor y medio y anillo. (Enríquez Harper, 1994).

**Las subestaciones se pueden clasificar según la función que desempeñan en la red eléctrica como:**

- Subestaciones de generación, cuyo cometido es conectar e incorporar a la red la energía producida por los diferentes centros de generación de un país (térmicos, hidráulicos, eólicos, etc.) Estas subestaciones suelen tener que elevar el nivel de tensión de la energía eléctrica, desde los valores de generación a los valores de transmisión.
- Subestaciones de transmisión y subtransmisión de la energía eléctrica, desde su punto de generación hasta las áreas de consumo. Actúan de interconexión entre un número variable de líneas de la red.
- Subestaciones de distribución, que conectan las líneas de transmisión y subtransmisión con las ramas de distribución de la energía eléctrica, a menor nivel de tensión, para su transmisión local y distribución. (Enríquez Harper, 1994).



---

**Atendiendo a las soluciones constructivas de la subestación, se pueden dividir en:**

- Subestaciones de intemperie, donde equipo eléctrico y los buses están situados a la intemperie, enclavados sobre el terreno a través de estructuras metálicas o de hormigón y sus cimentaciones.
- Subestaciones de interior, donde el conjunto de la subestación se ubica en edificaciones, utilizándose sistemas de construcción convencionales o prefabricados. Estos sistemas obedecen a criterios ambientales o de emplazamiento. (Enríquez Harper, 1994).

**Dependiendo del tipo de equipo utilizado, se puede realizar otra clasificación:**

- Subestación convencional aislada en aire, que monta los componentes discretos convencionales conectados entre sí mediante conexiones que utilizan como medio aislante el aire. Pueden realizarse en intemperie o interior.
- Subestaciones blindadas aislada en gas SF<sub>6</sub>, que utilizan los componentes integrados y montados en fábrica, protegidos mediante pantallas metálicas y aisladas generalmente mediante gas (SF<sub>6</sub>). Pueden realizarse en intemperie o interior. (Enríquez Harper, 1994).

## **2.6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

El análisis de peligros y operabilidad (HAZard and OPerability Analysis, HAZOP), conocido también como análisis de riesgo y operabilidad o análisis funcional de operabilidad (AFO) o análisis operativo (AO). El análisis HAZOP es una técnica deductiva para la identificación, evaluación cualitativa y prevención del riesgo potencial y de los problemas de operación derivados del funcionamiento incorrecto de un sistema técnico.

La técnica se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. La identificación de estas desviaciones se realiza mediante una metodología rigurosa y sistemática. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias.

En este proyecto de tesis la metodología empleada para el análisis HAZOP para la identificación de peligros asociados con el mantenimiento de una subestación eléctrica se muestra en la figura 2.8.

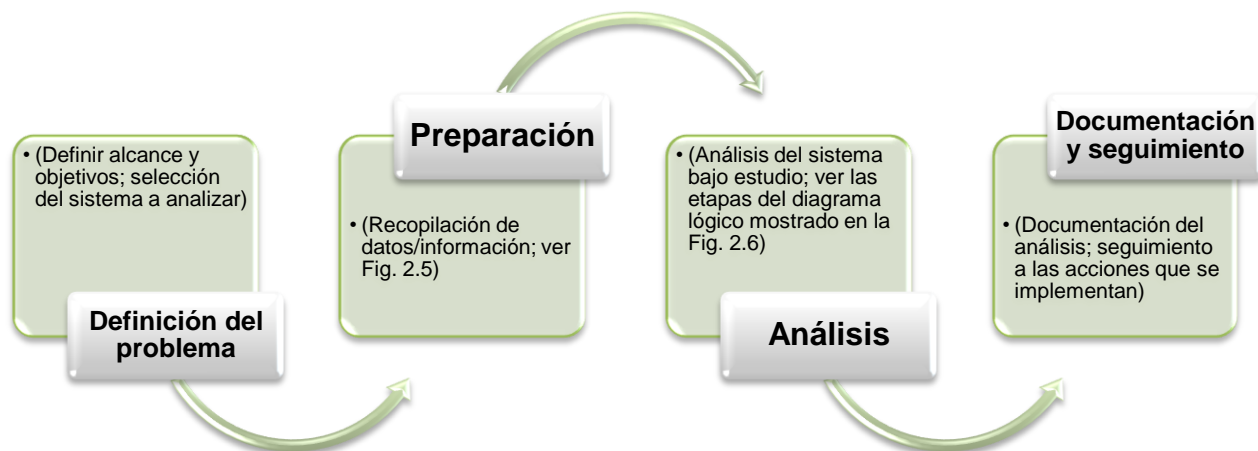


Figura 2.8.- Metodología para el análisis de riesgos en el mantenimiento de subestaciones eléctricas.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.6.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En esta etapa se definen los objetivos y el alcance del estudio, y deben ser desarrollados conjuntamente. Ambos deben estar claramente indicados, para garantizar que:

- los límites del sistema y sus interfaces con otros sistemas y el 'medio ambiente' sean claramente definidos;
- el equipo de trabajo está centrado, y no se adentran en zonas irrelevantes para el objetivo.

Por otro lado, el alcance del estudio dependerá de una serie de factores, incluyendo:

- los límites físicos del sistema;
- el número y nivel de detalle de las representaciones de diseño disponibles; y
- los requisitos reglamentarios que son aplicables al sistema.

### 2.6.2 PREPARACIÓN

En esta etapa de la metodología es muy importante tener la siguiente información:

- a) la obtención de la información;
- b) la conversión de la información en un formato adecuado;
- c) la planificación de la secuencia de las reuniones del personal que llevará a cabo el estudio;

---

Algunos ejemplos del tipo de datos/información que se deben de tener son los siguientes:

a) para todos los sistemas:

- requisitos de diseño y descripciones, diagramas de flujo, diagramas de bloque funcional, diagramas de control, diagramas de circuitos electrónicos, hojas de datos de ingeniería, dibujos de acuerdo, especificaciones de los servicios públicos, requerimientos de operación y mantenimiento;

b) para los sistemas de flujo del proceso:

- diagramas de instrumentación y tuberías, especificaciones de materiales y normas de los equipos, tuberías y el diseño del sistema;

Además, la siguiente información se deberá de proporcionar:

- los límites del objeto de estudio y las interfaces en las fronteras;
- condiciones ambientales en que el sistema funcionará;
- títulos del personal de operación y mantenimiento, habilidades y experiencia;
- procedimientos y / o instrucciones de uso;
- experiencia operativa y en mantenimiento y riesgos conocidos con sistemas similares.

Finalmente, se tienen que contar con palabras guía; la tabla 2.1 muestra algunos ejemplos.

Tabla 2.1.- Ejemplo de palabras guía.

Fuente: (CIA, 1992).

Palabra Guía	Significado
NO O NO	Negación completa del intento de diseño
MÁS	Aumento cuantitativo
MENOS	Disminución cuantitativa
ASI COMO	Modificación/aumento cualitativo
PARTE DE	Modificación/disminución cualitativo
REVERTIR	Lógica opuesta del intento de diseño
DISTINTOS DE	Sustitución completa
TEMPRANO	En relación con la hora del reloj
TARDE	En relación con la hora del reloj
ANTES	Relacionadas con el orden o secuencia
DESPUÉS	Relacionadas con el orden o secuencia

### 2.6.3 ANÁLISIS

En esta etapa del análisis, se debe seguir el flujo o secuencia relacionados con el tema del análisis, seguimiento recursos y resultados en una secuencia lógica. Las técnicas de identificación de riesgos tales como el HAZOP derivan su poder de etapa por etapa disciplinada en el proceso de análisis. Hay dos secuencias posibles, por ejemplo: "primer elemento" y "Primera Palabra Guía", como se muestra en Las figura 2.9.

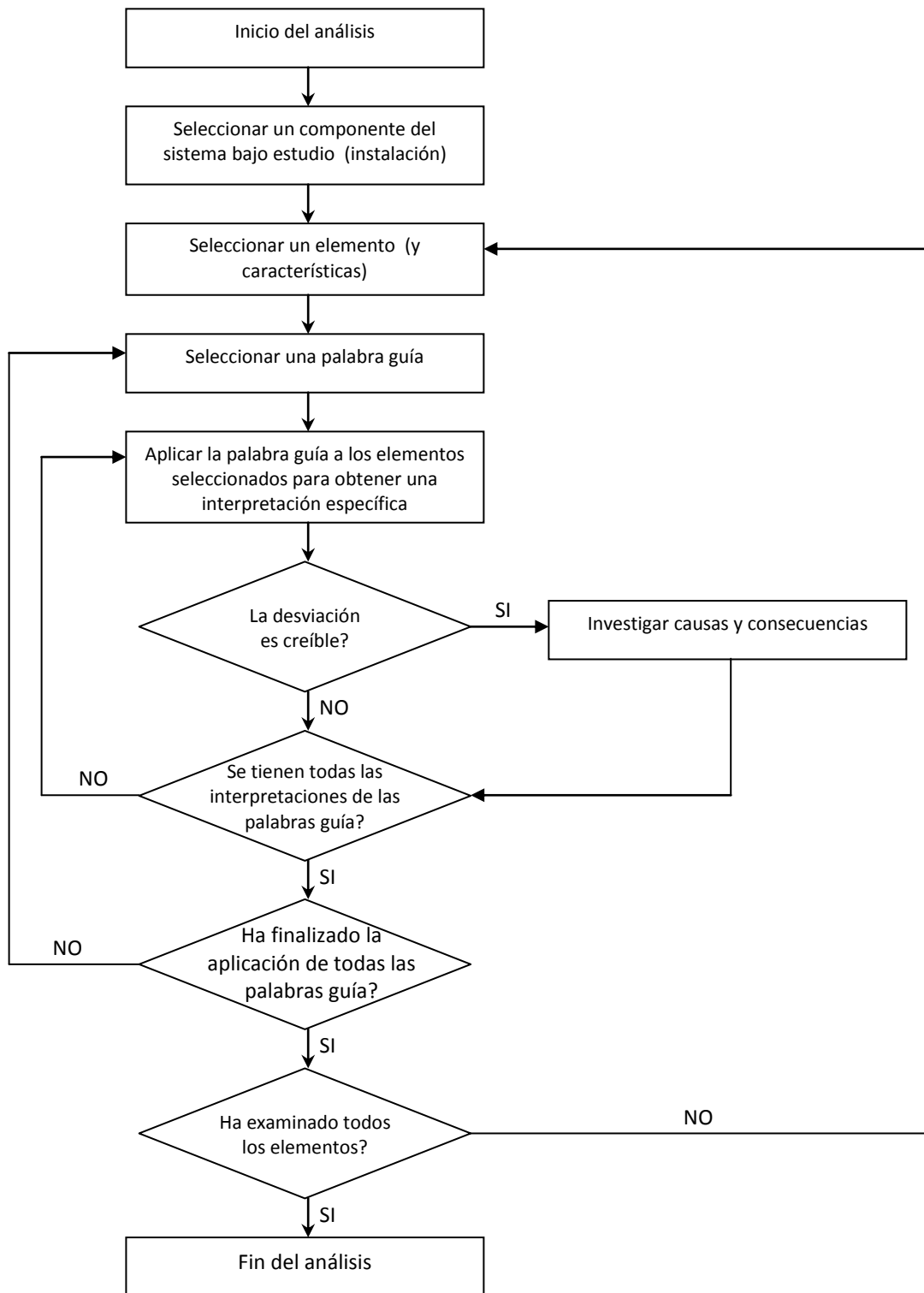


Figura 2.9.- Secuencia lógica de análisis HAZOP. (Adaptado de CIA, 1992).

## 2.6.4 DOCUMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

La fortaleza principal de HAZOP es que presenta un enfoque sistemático, disciplinado y documentado. Para lograr todos los beneficios de un estudio HAZOP, este tiene que estar debidamente documentados y en seguimiento. La Tabla 2.2 muestra un ejemplo de registro de los resultados del análisis.

Tabla 2.2.- Ejemplo de un modelo de formato para la evaluación de riesgos.

Fuente: (CIA, 1992).

TITULO DEL ESTUDIO:							HOJA:		
DIBUJO No.:			REV. No.:				FECHA:		
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:		
PARTE CONSIDERADA:									
INTENCIÓN DEL DISEÑO:			Material: Fuente:		Actividad: Destino:				
No.	Palabra Guía	Elemento	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Salvaguardias	Acciones requeridas	Acciones asignadas a

Además, los resultados de los estudios HAZOP pueden y deben de ser sometidos a auditorías internas o externas.

## 2.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Este capítulo presentó el marco teórico en relación a los conceptos relevantes al proyecto de tesis. Además, se presentó el marco metodológico para el desarrollo del proyecto. En particular, se ha adoptado la herramienta HAZOP para la identificación de riesgos asociados con el mantenimiento de una subestación eléctrica. El siguiente capítulo presenta los detalles de dicha instalación y el Capítulo 4 presenta el análisis.

---

# **CAPÍTULO III.- DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

---

## CAPÍTULO III.- DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dará una breve descripción del caso de estudio: una Subestación Eléctrica de Potencia y esto se presenta en la sección 3.2. El contexto espacial y temporal, así como las características técnicas y físicas se presentan en las secciones 3.3. y 3.4 respectivamente. Finalmente, las conclusiones del capítulo se presentan en la sección 3.5.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN

Una subestación forma parte de una red eléctrica encargada de dirigir y transformar el flujo de la Energía Eléctrica. De ella entran y salen líneas de igual o diferente tensión. Se clasifican en Subestaciones de centrales eléctricas, Subestaciones receptoras primarias y Subestaciones receptoras secundarias. Está compuesta por una serie de equipos eléctricos que sirven para la explotación y protección de la subestación. Siendo el Transformador de Potencia el equipo eléctrico más importante y costoso en una Subestación Eléctrica de Potencia en Alta Tensión.

(Enríquez Harper, 1994).



Figura 3.1.- Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

---

Las Subestaciones eléctricas en plantas generadoras o centrales eléctricas, modifican los parámetros de la Potencia Eléctrica suministrada por los generadores eléctricos para permitir la transmisión de la energía eléctrica.

Los niveles de tensión de generación oscilan entre 5 y 25 KV, y la transmisión de la energía eléctrica se puede efectuar a niveles de tensión de 23, 34.5, 69, 85, 115, 230 o 400 KV (en México).

Las Subestaciones Receptoras Primarias se encuentran alimentadas directamente de las líneas de transmisión, reducen la tensión a valores menores para la alimentación de sistemas de subtransmisión o de redes de distribución, dependiendo de la tensión de transmisión pueden tener en el secundario tensiones del orden de 230, 115 o 69 KV y eventualmente de 34.5, 13.2, 6.9 o 4.16 KV.

Las Subestaciones Receptoras Secundarias están alimentadas por las redes de subtransmisión y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones comprendidas entre 23, 34.5 y 6.9 KV.

De acuerdo al subsistema al cual estén conectadas, las Subestaciones Eléctricas de Potencia se clasifican de la siguiente manera en México. (Enríquez Harper, 1994).

- Subestaciones de Transmisión con niveles de tensión entre 230 kV y 400 kV.
- Subestaciones de Subtransmisión con niveles de tensión entre 115 kV y 230 kV.
- Subestaciones de Distribución con niveles de tensión entre 0.220 kV y 115 kV.

Por su función las Subestaciones Eléctricas de Potencia se clasifican en:

- Subestaciones Elevadoras.
- Subestaciones Reductoras.
- Subestaciones de Maniobra.
- Subestaciones de compensación reactiva.
- Subestaciones para terminales de líneas de CD en EHV.



---

El transformador de potencia es el encargado de modificar los niveles de tensión de la energía eléctrica para su transmisión o distribución, puede actuar como elevador o reductor dependiendo en el tipo de subestación eléctrica en que se encuentre. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 3.2.- Transformador Eléctrico de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

**Las funciones de la subestación son:**

- Explotación: La subestación tiene como meta el dirigir el flujo de energía de una manera óptima, tanto desde el punto de vista de pérdidas energéticas, como de la fiabilidad y seguridad en el servicio.
- Interconexión: Se encarga de la interconexión de las diferentes líneas que forman una red eléctrica, de igual o diferente tensión, así como también de la conexión de un generador a la red.
- Seguridad: Brindan seguridad al Sistema Eléctrico de Potencia, en caso de falta. (Enríquez Harper, 1994).

---

Una subestación, queda formada básicamente por varios circuitos eléctricos o posiciones, conectadas a través de un sistema de barras colectoras (buses). Cada circuito eléctrico está compuesto a su vez por interruptores de potencia, transformadores de instrumento, seccionadores, cuchillas de puesta a tierra, apartarrayos y estructuras de soporte.



Figura 3.3.- Equipos Eléctricos en una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

**El interruptor de potencia** es el equipo eléctrico de desconexión que puede asegurar la “puesta en servicio” o “puesta fuera de servicio” de un circuito eléctrico y que, simultáneamente, está capacitado para garantizar la protección de la instalación en que han sido montados contra los efectos de las corrientes de cortocircuito. Dichos aparatos deben ser capaces de cortar la intensidad máxima de corriente de cortocircuito. Su elección depende principalmente de la potencia de cortocircuito. Puede operar con o sin carga.



Figura 3.4.- Interruptores de Potencia en una Subestación Eléctrica.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

---

**Los transformadores de instrumento** proporcionan aislamiento a los equipos de protección y medición, alimentándolos con magnitudes proporcionales a aquellas que circulan en el circuito de potencia, los hay de intensidad (TC) y tensión (TP), dan la información necesaria al circuito de medición, para poder detectar la falla y actuar sobre ella. Los equipos de protección necesitan de estos datos para poder actuar eficazmente.



Figura 3.5.- Transformadores de Instrumento TP's y TC's.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

**Los seccionadores** son equipos capaces de aislar eléctricamente los diferentes elementos, componentes o tramos de una instalación o circuito, con el fin de realizar labores de mantenimiento con la seguridad adecuada. También son utilizados como selectores de barras o como “by-pass” para aislar a algún equipo fuera de servicio. Los seccionadores sólo pueden ser utilizados sin carga. También se les considera como una protección visible que da seguridad al operador durante el mantenimiento.



Figura 3.6.- Seccionadores instalados en una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

---

Paralelamente a estos equipos, existen también las autoválvulas, equipos de protección que se disponen previamente a otros aparatos con el fin de protegerlos en caso de falla en la red.

**Los Buses o Barras Colectoras** son el conjunto de cables o tubos conductores de la energía eléctrica al que se conectan todos los circuitos, sirviendo de pasillo de unión entre todos ellos. La configuración de estas barras puede ser de diferentes maneras, dependiendo del nivel de tensión, la finalidad de la subestación, la fiabilidad necesaria o incluso las costumbres en ciertos países. Las configuraciones más típicas son: simple barra, doble barra, triple barra, interruptor y medio y anillo. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 3.7.- Buses instalados en una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

**Las cuchillas de puesta a tierra** son equipos capaces de aislar eléctricamente los diferentes elementos, componentes o tramos de una instalación o circuito, con el fin de realizar labores de mantenimiento con la seguridad adecuada, al mismo tiempo que conectan parte de los equipos a **tierra** esto para brindar una mayor seguridad y evitar así un daño por electrocución. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 3.8.- Cuchillas de puesta a tierra instaladas en una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

---

**Las apartarrayos** son equipos que brindan protección de sobretensiones a los equipos instalados en la Subestación Eléctrica. Estos pueden ser colocados en las Líneas de Transmisión para proteger parte de la red eléctrica del sistema y en una Subestación Eléctrica de se colocan lo más próximo al Transformador de Potencia principal ya que es el elemento más importante y costoso una Subestación Eléctrica de Potencia. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 3.9.- Apartarrayos instaladas en una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

**Las estructuras de soporte** son todo el herraje o estructura metálica que ayuda a mantener en una posición todos y cada uno de los equipos que se instalan en una subestación eléctrica de potencia. (Enríquez Harper, 1994).



Figura 3.10.- Estructura de Soporte en una Subestación Eléctrica de Potencia.  
Fuente. (2011, Elaboración Propia 2011).

---

**Las subestaciones se pueden clasificar según la función que desempeñan en la red eléctrica como:**

- Subestaciones de generación, cuyo cometido es conectar e incorporar a la red la energía producida por los diferentes centros de generación de un país (térmicos, hidráulicos, eólicos, etc.) Estas subestaciones suelen tener que elevar el nivel de tensión de la energía eléctrica, desde los valores de generación a los valores de transmisión.
- Subestaciones de transmisión y subtransmisión de la energía eléctrica, desde su punto de generación hasta las áreas de consumo. Actúan de interconexión entre un número variable de líneas de la red.
- Subestaciones de distribución, que conectan las líneas de transmisión y subtransmisión con las ramas de distribución de la energía eléctrica, a menor nivel de tensión, para su transmisión local y distribución. (Enríquez Harper, 1994).

**Atendiendo a las soluciones constructivas de la subestación, se pueden dividir en:**

- Subestaciones de intemperie, donde equipo eléctrico y los buses están situados a la intemperie, enclavados sobre el terreno a través de estructuras metálicas o de hormigón y sus cimentaciones.
- Subestaciones de interior, donde el conjunto de la subestación se ubica en edificaciones, utilizándose sistemas de construcción convencionales o prefabricados. Estos sistemas obedecen a criterios ambientales o de emplazamiento. (Enríquez Harper, 1994).

**Dependiendo del tipo de equipo utilizado, se puede realizar otra clasificación:**

- Subestación convencional aislada en aire, que monta los componentes discretos convencionales conectados entre sí mediante conexiones que utilizan como medio aislante el aire. Pueden realizarse en intemperie o interior.
- Subestaciones blindadas aislada en gas SF<sub>6</sub>, que utilizan los componentes integrados y montados en fábrica, protegidos mediante pantallas metálicas y aisladas generalmente mediante gas (SF<sub>6</sub>). Pueden realizarse en intemperie o interior. (Enríquez Harper, 1994).

---

### 3.3 LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL

#### Contexto Espacial

Una manera de contextualizar este trabajo de tesis que hace referencia al estudio del **“Análisis de Riesgos en el Mantenimiento de un Sistema Eléctrico, Caso de: Una Subestación de Alta Tensión”**, es identificando el marco contextual. Para poder desarrollar el problema es necesario tener clara la localización geográfica y específica de nuestro sistema bajo estudio, y para identificarlo se hace necesario visualizarlo desde lo global (visto desde el universo) hasta el contexto particular.

Desde un contexto geográfico la Subestación Eléctrica de Potencia en la que se realizará el estudio del **“Análisis de Riesgos en el Mantenimiento de un Sistema Eléctrico, Caso de: Una Subestación de Alta Tensión”**, se encuentra localizada en la avenida Puebla s/n, Colonia Los Reyes Acaquilpan La Paz, Estado de México, Cp. 09180, estación La Paz. Dentro de las instalaciones de la Plataforma de Pruebas ubicada dentro de los Talleres La Paz.



Figura 3.11.- Ubicación Geográfica de la Subestación Eléctrica de Potencia de Línea “A” del STC metro.

Fuente: (Google, 2011).

---

## Contexto Temporal

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil “La Americana”. Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública.

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones.

Para dar respuesta a esa situación que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937).

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xía (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora). El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.



---

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

A raíz de esto y como consecuencia de la urbanización de la Ciudad de México y con la necesidad de contar con un medio de transporte eficiente que interconectará toda la ciudad, el 29 de abril de 1967 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto presidencial que crea el Sistema de Transporte Colectivo Metro, organismo público descentralizado, para construir, operar y explotar un tren rápido subterráneo como parte del transporte público del Distrito Federal. (El metro y las finanzas, 1989).

En el cruce de Av. Chapultepec con la calle Bucareli, el 19 de junio de 1967, se realizó la ceremonia de inicio de obra para construir la línea 1 del Sistema de Transporte Colectivo Metro. (Evolución de la transportación en la Ciudad de México, 1989).

El 4 de septiembre de 1969 Gustavo Díaz Ordaz y Alfonso Corona del Rosal, Regente del Distrito Federal de 1966 a 1970, inauguraron formalmente el servicio entre las estaciones Chapultepec y Zaragoza.

Con esto la Ciudad de México se vio con la necesidad de contar con infraestructura eléctrica suficiente para suministrar del servicio eléctrico al Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC metro).

En un principio La Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Compañía de Luz y Fuerza del Centro (LyF), se encargaban de suministrar la energía eléctrica al STC metro, hoy en día la única compañía encargada de ese fin es la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El metro de la Ciudad de México actualmente cuenta con 164 Subestaciones Eléctricas de Potencia de rectificación las cuales se encargan de suministrar la energía eléctrica a cada una de las 11 Líneas con al que se compone el STC metro, de las cuales solo 54 operan con 15 kV y 110 con 23 kV. Aunado a esto cuenta con 2 Subestaciones Eléctricas de Potencia en 230 kV y 1 Subestación Eléctrica de Potencia en 85 kV a las cuales se les denomina Subestaciones Eléctricas en Alta Tensión (SEAT's), que son parte integral y primordial en el suministro de energía eléctrica al STC metro. (Evolución de la transportación en la Ciudad de México, 1989).

A continuación en la **tabla 3.1** se muestran como están distribuidos los niveles de Tensión de la Energía Eléctrica que utiliza el STC metro que son proporcionados por la Comisión federal de Electricidad.

Tabla 3.1.- Niveles de Tensión empleados en las Subestaciones Eléctricas de Potencia del STC metro.

Fuente: Elaboración propia

LÍNEA	SUBESTACIONES DE RECTIFICACIÓN (S.R) POR LÍNEA	SISTEMA DE OPERACIÓN	NIVEL DE TENSIÓN EN CADA S.R.
1	16	CENTRALIZADO EN 85 KV	15 KV
2	19		
3	19		
4	8	DESCENTRALIZADO EN 23 KV	23 KV
5	13		
6	10		
7	15		
8	16	DESCENTRALIZADO EN 230 KV	23 KV
9	12	DESCENTRALIZADO EN 23 KV	
A	17	DESCENTRALIZADO EN 23 KV	
B	19	DESCENTRALIZADO EN 230 KV	

---

## **3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y TÉCNICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

### **3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

Una Subestación Eléctrica de Rectificación de la Línea “A” del Sistema de Transporte Colectivo metro, se encuentra construida en un área perimetral de aproximadamente de 10 x 18 m, en la cual cuenta con lo siguiente:

- Patio de maniobras.
- Local de acometida de la compañía suministradora (CFE).
- Local para el Transformador de Potencia.
- Local para el Rectificador de Potencia.
- Local para el Seccionador Automático de Aislamiento.
- Locales para los Disyuntores en corriente directa.
- Local para el contactor de tramo de protección.
- Local de automaticidad y control.
- Local para las celdas de 23 kV.
- Pasillo de seccionadores.

De manera integral todos estos elementos forman una Subestación Eléctrica de Potencia para este caso se le denomina de Rectificación debido a que convierte la energía eléctrica alterna en energía eléctrica continua, para uso de los trenes que circulan a lo largo de la línea. (STC-metro).



Figura 3.12.- Forma física de una Subestación Eléctrica de Potencia para Rectificación.  
Fuente: (Google, 2011).

### 3.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

En cuestión de las características técnicas que identifican a una Subestación Eléctrica de Potencia para Rectificación, podemos mencionar las siguientes:

- Es alimentada con un nivel de Tensión de 15 kV o 23 kV, ello dependerá de la línea en la que se encuentre para nuestro caso de estudio es de 23 kV.
- El transformador de Potencia es de 2300 kVA, opera a 23KV y reduce el nivel de tensión a 0.570 kV.
- El Rectificador de Potencia opera a 570 vca y rectifica a 750 vcd, tiene una capacidad de 3000 amp nominales.
- El seccionador Automático de Aislamiento abre el circuito del lado positivo a la salida del rectificador, opera de manera simultánea con el interruptor principal de la subestación.
- Los Disyuntores son equipos encargados de abrir el circuito en corriente directa, pueden abrir con o sin carga y soportar hasta 10,000 amp en cd.
- En los Armarios de Automaticidad se localizan los equipos de control y automatización de la subestación, tienen la modalidad de mando distancia y mando local, también cuentan con un teléfono de comunicación.

- 
- En las celdas de 23 kV se encuentran los equipos que reciben la energía eléctrica en 23 kV, estos equipos son: barras o buses colectores en 23 kV, seccionadores de acometida o llegada, interruptor de potencia, seccionadores de servicios auxiliares, cuchillas de puesta a tierra y un transformador para los servicios auxiliares o propios de la subestación.

En cuestiones de mantenimiento toda Subestación Eléctrica de Potencia destinada a la Rectificación lleva un programa semanal para detectar posibles daños en los equipos, de igual forma existe un área destinada al control y manejo de la energía eléctrica a distancia la cual se encarga de autorizar los accesos a las subestaciones y abrir o cerrar ciertos equipos eléctricos a distancia, esto con la finalidad de proporcionar seguridad al equipo de trabajo que realizara un mantenimiento ya sea preventivo, correctivo o una simple inspección en la subestación.

Los equipos de trabajo se componen de personal técnico que está preparado para atender cualquier eventualidad que se presente en una Subestación Eléctrica de Potencia destinada a la Rectificación. (STC-metro).

### **3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

El Capítulo ha presentado una descripción de la subestación eléctrica de potencia del caso de estudio.

El análisis de los riesgos asociados con el proceso de mantenimiento de dichas instalaciones se discute en el siguiente capítulo.

---

# **CAPÍTULO IV.-**

## **ANÁLISIS DE RIESGOS DEL**

### **CASO DE ESTUDIO**

---

## CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS DE RIESGOS DEL CASO DE ESTUDIO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el análisis HAZOP para el caso de una Subestación Eléctrica de Potencia de la Línea “A”, del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México. El análisis se presenta en la sección 4.2. Las conclusiones del capítulo se presentan en la sección 4.3.

### 4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE HAZOP

En el capítulo 2 se presentó la metodología para el análisis de Hazop adoptada para el proyecto. La figura 4.1 presenta dicha metodología. En las subsecuentes secciones se presenta el análisis considerando cada etapa de la metodología.

#### 4.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En esta etapa se definen los objetivos y el alcance del estudio; esto es los límites del sistema y sus interfaces con otros sistemas y el 'medio ambiente' deben de ser definidos (Figura 4.1).



Figura 4.1.- Análisis-Definición del problema.

La investigación del presente trabajo de Tesis se enfoca a la identificación de los riesgos potenciales asociados con el proceso Mantenimiento de Una Subestación de Alta Tensión, aplicado a una Subestación Eléctrica de Potencia de la Línea “A”, del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México. Se considera que el Sistema de Transporte Colectivo metro cuenta con una gran cantidad de Subestaciones Eléctricas en diferentes niveles de

---

tensión, esto conlleva a que se realicen periódicamente bajo un programa de mantenimiento diversas actividades, lo cual significa que en dichas instalaciones interviene continuamente el personal técnico encargado de llevar a cabo una tarea específica. El personal se expone a diferentes factores de riesgos eminentes durante la intervención a una Subestación Eléctrica, lo cual puede derivar accidentes que afectan a los equipos, interrupción en el suministro de energía eléctrica, daño al medio ambiente, pérdidas económicas, o peor aun daños físicos al personal que interviene en la subestación eléctrica. Por lo tanto estas subestaciones serán tomadas como escenario para nuestro análisis.

La energía eléctrica es un elemento muy importante en nuestra vida cotidiana, pero demasiado peligrosa que en contacto con nuestro cuerpo humano puede originar desde pequeños cosquilleos hasta daños físicos muy severos incluso la muerte. Un equipo eléctrico dañado en una subestación eléctrica, puede originar pequeñas fallas internas a la misma hasta daños mayores al sistema al cual se encuentre dando servicio. Una inadecuada capacitación y equipamiento en el personal técnico, personal administrativo y personal encargado del control de la energía eléctrica, puede originar una mala coordinación al momento de realizar alguna maniobra para llevar a cabo algún mantenimiento dentro de las instalaciones de una subestación eléctrica.

#### 4.2.2 PREPARACIÓN

En esta etapa de la metodología es muy importante tener la siguiente información relacionada con el caso de estudio (Figura 4.2).



Figura 4.2.- Análisis- Preparación de la información.



---

A continuación se presentan, por ejemplo, algunos datos técnicos relevantes a la subestación del caso de estudio.

- Es alimentada con un nivel de Tensión de 15 kV o 23 kV, ello dependerá de la línea en al que se encuentre para nuestro caso de estudio es de 23 kV.
- El transformador de Potencia es de 2300 kVA, opera a 23KV y reduce el nivel de tensión a 0.570 kV.
- El Rectificador de Potencia opera a 570 VCA y rectifica a 750 VCD, tiene una capacidad de 3000 amp nominales.
- El seccionador Automático de Aislamiento abre el circuito del lado positivo a la salida del rectificador, opera de manera simultánea con el interruptor principal de la subestación.
- Los Disyuntores son equipos encargados de abrir el circuito en corriente directa, pueden abrir con o sin carga y soportar hasta 10,000 amp en CD.
- En los Armarios de Automaticidad se localizan los equipos de control y automatización de la subestación, tienen la modalidad de mando distancia y mando local, también cuentan con un teléfono de comunicación.
- En las celdas de 23 kV se encuentran los equipos que reciben la energía eléctrica en 23 kV, estos equipos son: barras o buses colectores en 23 kV, seccionadores de acometida o llegada, interruptor de potencia, seccionadores de servicios auxiliares, cuchillas de puesta a tierra y un transformador para los servicios auxiliares o propios de la subestación.

### 4.2.3 ANÁLISIS

La figura 4.3 muestra la etapa de "Análisis" de HAZOP para el presente caso de estudio.



Figura 4.3.- Análisis HAZOP.

---

Históricamente se ha asumido que las subestaciones eléctricas y, por lo tanto, el suministro eléctrico, es confiable, seguro y de calidad. Sin embargo, con el desarrollo económico e industrial del país, a medida que la necesidad energética va en aumento, las garantías y exigencias de calidad, seguridad y continuidad del suministro eléctrico son mayores. Además, los procesos se van haciendo cada vez más complejos, de forma que la integridad operacional depende ya no sólo de la continuidad del servicio sino también de la calidad del suministro eléctrico. Si consideramos una subestación eléctrica de potencia en su fase de mantenimiento como un sistema en continuo cuya operación depende de una serie de variables que operan según unos parámetros determinados, un análisis cualitativo HAZOP puede tener cabida en este tipo de instalaciones. La realización de un análisis HAZOP consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de las desviaciones de las variables que definen un proceso continuo a través de las llamadas “palabras guía”; ver Capítulo 2.

Las principales variables que definen la operación de un sistema eléctrico y, de forma específica, de una subestación eléctrica de potencia son la tensión, la intensidad, la potencia y la frecuencia, además de aquellas otras que definen la operación de los equipos, como son presión, temperatura, comunicación, control, etc. A su vez, las “palabras guía” que definen las desviaciones de estas variables respecto de su operación normal son “NO”, “MÁS”, “MENOS”.

Para aplicar el HAZOP es necesario dividir la subestación eléctrica de potencia incluyendo las áreas involucradas en nodos de estudio, para cada uno de los cuales se analizarán todas las desviaciones que afectan a las variables que definen su operación y seguridad durante el mantenimiento. El análisis sistémico de cada uno de estos subsistemas o nodos quedará registrado en tablas que identifiquen, en este orden, la variable de estudio, la desviación, la causa de esa desviación, la consecuencia y/o respuesta del sistema y, por último, las recomendaciones propuestas. En esta fase realizaremos el análisis HAZOP de un mantenimiento eléctrico a una Subestación Eléctrica de Potencia para Rectificación de la Línea “A”, del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México.

En la planificación de los mantenimientos a una subestación eléctrica intervienen tres factores importantes:

- El área administrativa.
- El área técnica.
- El área encargada de controlar la energía eléctrica a distancia desde un puesto de control central.

---

Cada una de estos factores lleva a cabo tareas específicas las cuales se deben de cumplir en simultaneidad y con una coordinación adecuada para obtener los mejores resultados posibles.

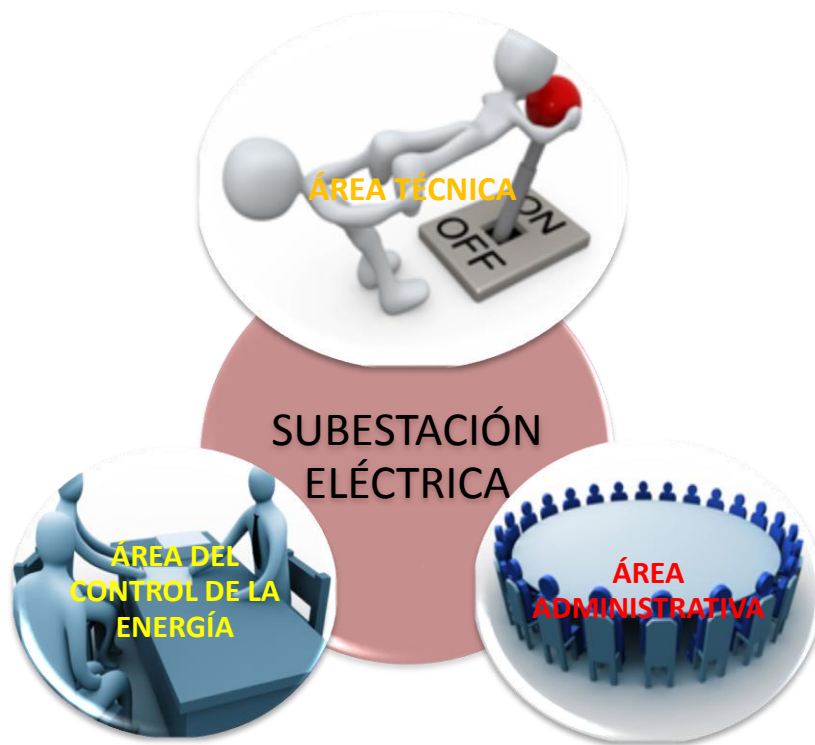


Figura 4.4.- Representación del Sistema Bajo estudio.  
Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de nuestro estudio dividiremos en tres nodos nuestro sistema, estos serán: El área administrativa, el área técnica y el área encargada de controlar la energía eléctrica a distancia desde un puesto de control central.

Los elementos para cada nodo serán:

Área administrativa:

- Procedimientos
- Planeación
- Capacitación

---

Área técnica:

- Tensión
- Corriente
- Procedimientos
- Planeación
- Practicas seguras
- Capacitación
- Herramientas y Equipo adecuado

Área encargada de controlar la energía eléctrica a distancia desde un puesto de control central:

- Tensión
- Corriente
- Procedimientos
- Planeación
- Practicas seguras
- Capacitación

A continuación se realiza el análisis HAZOP de cada uno de los nodos en cuestión, se hace uso de la Norma Británica del 01 de octubre de 2004 que lleva el nombre de Riesgos y Estudios de Operatividad (Estudios HAZOP) - Guía de Aplicación.

Tabla 4.1.- Análisis del área administrativa.  
Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 1 de 1	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: ÁREA ADMINISTRATIVA								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
1	Planeación	NO	No hay programa de mantenimiento	1)Error del área administrativa  2) No se entrego en tiempo y forma	No se lleva a cabo el mantenimiento  Se realiza el mantenimiento sin el programa de mantenimiento	Ninguno  El encargado del equipo técnico de mantenimiento deberá evaluar la situación	Posible  Poco probable pero posible y se incurre en una acción insegura	Elaboración oportuna del programa de mantenimiento  Cerciorarse de contar siempre con el programa de mantenimiento en tiempo y forma
2	Procedimientos	NO	No se proporciona la documentación adecuada sobre que hacer durante un mantenimiento	1)El área administrativa no cuenta con los procedimientos  2) Se tienen pero NO se entregaron en tiempo y forma	Falta de información indispensable para los mantenimientos  Igual que el anterior	El personal administrativo deberá solicitar los procedimientos correspondientes  Igual que el anterior	Poco probable pero posible  Posible	Revisión y/o actualización de los procedimientos para el mantenimiento eléctrico  Igual que el anterior
3	Capacitación	NO	No se proporciona capacitación adecuada al personal en las funciones que desempeñan	1)No hay presupuesto disponible  2)No existe el curso adecuado  3)El personal no asiste	Se desempeñan las funciones por experiencia propia  Igual que el anterior  Realizara sus actividades con el riesgo que ello implica	Ninguna  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Poco probable pero posible  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Revisión y/o actualización de los cursos de capacitación  Igual que el anterior  Igual que el anterior

Tabla 4.2.- Análisis del área técnica.  
Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 1 de 3	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: ÁREA TÉCNICA								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
1	Tensión	NO	Ausencia de Tensión	1)Falta del alimentador principal 2)Se abre el interruptor principal 3)Se abre el disyuntor 4)Falsa alarma	Ausencia de alimentación en 750 Vcc por parte de la Subestación hacia la línea de alimentación del tren. Igual que el anterior Igual que el anterior Igual que el anterior	El encargado del control de la energía a distancia pasa la avería al área técnica la cual intervendrá en la subestación afectada Igual que el anterior Igual que el anterior Igual que el anterior	Posible  Igual que el anterior  Igual que el anterior  Igual que el anterior	El personal técnico tendrá que acudir físicamente a la subestación a verificar las fallas y darles solución  Igual que el anterior  Igual que el anterior  Igual que el anterior
2	Corriente	NO	Ausencia de Corriente	No hay alimentación, interruptor principal abierto, disyuntor abierto	Ausencia de alimentación en 750 Vcc por parte de la Subestación hacia la línea de alimentación del tren.	El encargado del control de la energía a distancia pasa la avería al área técnica la cual intervendrá en la subestación afectada	Posible	El personal técnico tendrá que acudir físicamente a la subestación a verificar las fallas y darles solución
3	Procedimientos	NO	No se proporciona la documentación adecuada sobre que hacer durante un mantenimiento	El área administrativa NO entrega la información	Falta de información indispensable para los mantenimientos	El personal técnico deberá solicitar los procedimientos correspondientes	Posible	Revisión y/o actualización de los procedimientos para el mantenimiento eléctrico
4	Planeación	NO	No se realiza una planeación adecuada para el mantenimiento	Falta de coordinación	Falta de información y de comunicación entre las áreas y el personal técnico lo genera actos inseguros	Realizar una coordinación adecuada asegurándose de tener los medios para hacerlo y tener una comunicación constante	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre pendiente de los trabajos que le solicitan realice en la subestación

Tabla 4.3.- Continuación del análisis del área técnica.  
Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 2 de 3	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: ÁREA TÉCNICA								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
5	Planeación	DESPUES	Se realiza una buena planeación después de un incidente	Falta de coordinación y comunicación	Daños a las instalaciones de la subestación, paro del servicio del tren, daños al personal	Mantener una coordinación y comunicación muy estrecha entre las áreas involucradas	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre consciente de lo que va a realizar
6	Practicas seguras	NO	Desconocimiento de lo que se va realizar en la subestación	1)Falta de capacitación 2)Falta de comunicación 3)Falta de coordinación	Realizar actividades que generen actos inseguros y pueden terminar en consecuencias más graves  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Antes de realizar cualquier actividad se deberá de estar seguro lo que se va hacer en conjunto con las áreas involucradas  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Poco probable pero posible  Igual que el anterior  Igual que el anterior	El personal técnico deberá estar en constante comunicación con el control de la energía, así como estar siempre seguro y al tanto de lo que se va a realizar
7	Practicas seguras	DESPUES	Se llevan a cabo practicas seguras después de un incidente	Falta de coordinación y comunicación	Daños a las instalaciones de la subestación, paro del servicio del tren, daños al personal	Mantener una coordinación y comunicación muy estrecha entre las áreas involucradas	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre consciente de lo que va a realizar
8	Capacitación	NO	No se proporciona capacitación adecuada al personal técnico	1)No hay presupuesto disponible 2)No existe el curso adecuado 3)El personal no asiste	Se desempeñan las funciones por experiencia propia  Igual que el anterior  Realizara sus actividades con el riesgo que ello implica	Ninguna  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Poco probable pero posible  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Revisión y/o actualización de los cursos de capacitación  Igual que el anterior  Igual que el anterior

Tabla 4.4.- Continuación del análisis del área técnica.  
Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 3 de 3	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: ÁREA TÉCNICA								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
9	Capacitación	DESPUES	Se llevan a cabo cursos de actualización después de un incidente	Falta de coordinación y comunicación	Daños a las instalaciones de la subestación, paro del servicio del tren, daños al personal	Mantener una coordinación y comunicación muy estrecha entre las áreas involucradas	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre consciente de lo que va a realizar
10	Herramientas y equipos adecuados	NO	No se proporcionan las herramientas y el equipo adecuado para el personal técnico	1)No hay presupuesto 2)El área administrativa no las proporciona 3)El personal técnico no recoge su herramienta y equipo	Se desarrollan las actividades con herramienta y equipo obsoleto o en mal estado  Igual que el anterior  Realizara sus actividades con el riesgo que ello implica	Ninguna  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Posible  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Revisión y/o actualización de las necesidades técnicas en cuanto a herramientas y equipo de primera necesidad  Igual que el anterior  Igual que el anterior



Tabla 4.5.- Análisis del área del control de la energía.

Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 1 de 3	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: Área encargada de controlar la energía eléctrica a distancia desde un puesto de control central								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
1	Tensión	NO	Ausencia de Tensión	1) Falta del alimentador principal 2) Se abre el interruptor principal 3) Se abre el disyuntor 4) Falsa alarma	Ausencia de alimentación en 750 Vcc por parte de la Subestación hacia la línea de alimentación del tren. Igual que el anterior Igual que el anterior Igual que el anterior	El encargado del control de la energía a distancia pasa la avería al área técnica la cual intervendrá en la subestación afectada Igual que el anterior Igual que el anterior Igual que el anterior	Posible Igual que el anterior Igual que el anterior Igual que el anterior	El personal técnico tendrá que acudir físicamente a la subestación a verificar las fallas y darles solución al momento que deberá estar en constatación con el control de la energía Igual que el anterior Igual que el anterior Igual que el anterior
2	Corriente	NO	Ausencia de Corriente	No hay alimentación, interruptor principal abierto, disyuntor abierto	Ausencia de alimentación en 750 Vcc por parte de la Subestación hacia la línea de alimentación del tren.	El encargado del control de la energía a distancia pasa la avería al área técnica la cual intervendrá en la subestación afectada	Posible	El personal técnico tendrá que acudir físicamente a la subestación a verificar las fallas y darles solución al momento que deberá estar en constatación con el control de la energía
3	Procedimientos	NO	No se proporciona la documentación adecuada sobre que hacer en las operaciones del control de la energía	El área administrativa NO entrega la información	Falta de información indispensable para las operaciones del control de la energía	El personal del control de la energía deberá solicitar los procedimientos correspondientes	Poco probable pero posible	Revisión y/o actualización de los procedimientos para las operaciones del control de la energía

Tabla 4.6.- Continuación del análisis del área del control de la energía.

Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 2 de 3	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: Área encargada de controlar la energía eléctrica a distancia desde un puesto de control central								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
4	Planeación	NO	No se realiza una planeación adecuada en las operaciones del control de la energía	Falta de coordinación	Falta de información y de comunicación entre las áreas y el personal técnico lo genera actos inseguros	Realizar una coordinación adecuada asegurándose de tener los medios para hacerlo y tener una comunicación constante	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre pendiente de los trabajos que le solicite el control de la energía y viceversa
5	Planeación	DESPUES	Se realiza una buena planeación después de un incidente	Falta de coordinación y comunicación	Daños a las instalaciones de la subestación, paro del servicio del tren, daños al personal	Mantener una coordinación y comunicación muy estrecha entre las áreas involucradas	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre consciente de lo que va a realizar y estar en continua comunicación con el control de la energía
6	Practicas seguras	NO	Desconocimiento de lo que se va realizar en el control de la energía	1)Falta de capacitación 2)Falta de comunicación 3)Falta de coordinación	Realizar actividades que generen actos inseguros y pueden terminar en consecuencias más graves  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Antes de realizar cualquier actividad se deberá de estar seguro lo que se va hacer en conjunto con las áreas involucradas  Igual que el anterior  Igual que el anterior	Poco probable pero posible  Igual que el anterior  Igual que el anterior	El personal técnico deberá estar en constante comunicación con el personal del control de la energía, ambos deberán estar siempre seguros y al tanto de lo que se va a realizar

Tabla 4.7.- Continuación del análisis del área del control de la energía.  
Fuente: Elaboración propia.

TÍTULO DEL ESTUDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS							HOJA: 3 de 3	
TÍTULO PROCEDIMIENTO: ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, CASO DE: UNA SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN							FECHA:	
COMPOSICIÓN DEL EQUIPO:							FECHA DE LA REUNIÓN:	
PARTE CONSIDERADA: Área encargada de controlar la energía eléctrica a distancia desde un puesto de control central								
No.	Elemento	Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas de Seguridad	Comentarios	Acciones requeridas
7	Practicas seguras	DESPUES	Se llevan a cabo practicas seguras después de un incidente	Falta de coordinación y comunicación	Daños a las instalaciones de la subestación, paro del servicio del tren, daños al personal	Mantener una coordinación y comunicación muy estrecha entre las áreas involucradas	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre consciente de lo que va a realizar y estar en continua comunicación con el control de la energía
8	Capacitación	NO	No se proporciona capacitación adecuada al personal que opera el control de la energía	1)No hay presupuesto disponible	Se desempeñan las funciones por experiencia propia	Ninguna	Poco probable pero posible	Revisión y/o actualización de los cursos de capacitación
				2)No existe el curso adecuado	Igual que el anterior	Igual que el anterior	Igual que el anterior	Igual que el anterior
				3)El personal no asiste	Realizara sus actividades con el riesgo que ello implica	Igual que el anterior	Igual que el anterior	Igual que el anterior
9	Capacitación	DESPUES	Se llevan a cabo cursos de actualización después de un incidente	Falta de coordinación y comunicación	Daños a las instalaciones de la subestación, paro del servicio del tren, daños al personal	Mantener una coordinación y comunicación muy estrecha entre las áreas involucradas	Poco probable pero posible	El personal técnico deberá estar siempre consciente de lo que va a realizar y estar en continua comunicación con el control de la energía

---

## 4.2.4 DOCUMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

La figura 4.5 ilustra la última etapa del análisis del caso de estudio. Por otro lado, las Tablas sintetizan el análisis de HAZOP.



Figura 4.5.- Análisis-Documentación y seguimiento.

Una vez hecho el análisis por cada una de las áreas involucradas en base al mantenimiento a una Subestación Eléctrica de Potencia del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México. A continuación se presentan los resultados del análisis que se efectuó aplicando la técnica HAZOP.

Los peligros identificados y los problemas de operatividad:

- Riesgos a sufrir una descarga eléctrica por falta de coordinación, comunicación y capacitación entre las áreas involucradas.

Acciones necesarias para hacer frente a las incertidumbres descubiertas durante el estudio son:

- Proporcionar mayor capacitación al personal que esté involucrado, no importando que sea de una aérea distinta.
- Hacer llegar la información actualizada de todos los procedimientos así como los reglamentos de operación.
- Es de vital importancia proporcionar al personal técnico con el equipo de seguridad adecuado y de igual modo con la herramienta específica para sus actividades.

---

Recomendaciones para la mitigación de los problemas identificados:

- Contar con una capacitación continua.
- Renovar periódicamente el equipo personal de seguridad.
- Revisar y actualizar periódicamente los manuales y procedimientos.

Como podemos observar es necesario que en las áreas involucradas se lleven a cabo reuniones con la finalidad de retroalimentarse abordando los temas de seguridad en los trabajos que se realicen. También es importante contar con toda la información que sea posible, ya que de ello depende en gran medida que el análisis arroje resultados más concretos. Aunado a esto los grupos de trabajo que se formen tendrán que ser con personal especializado en la materia para poder tener así una mejor visión sistémica de todos y cada uno de los temas a tratar.

Debido a que en un sistema complejo como este se tiene una gran variedad de variables involucradas es necesario implantar una herramienta que nos permita tener el control de cada uno de los escenarios distintos que puedan presentarse, y así poder controlar los rangos de variación de los parámetros dentro de los cuales no cambia la solución del problema, y con ello mantener al margen nuestro sistema en cuestión.

### **4.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

El capítulo ha presentado el análisis HAZOP para el caso de una subestación eléctrica de potencia del sistema metro de la Ciudad de México. La discusión y las conclusiones del análisis se presentan en el siguiente capítulo.

---

# **CAPÍTULO V.-**

# **CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO**

---

## **CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

Este último capítulo presenta algunas conclusiones y recomendaciones de futuros trabajo. Las conclusiones acerca de los objetivos planteados en el proyecto de tesis, así como las del caso de estudio se presentan en la sección 5.2. La sección 5.3 presenta una breve discusión de posibles trabajos futuros.

### **5.2 CONCLUSIONES**

Los objetivos generales y específicos planteados en el presente proyecto se han cumplido.

#### **5.2.1 CONCLUSIONES ACERCA DE LOS CASOS DE ESTUDIO**

En base a los objetivos del presente trabajo de tesis, del llevar a cabo un análisis y gestión de riesgos asociados en los mantenimientos eléctricos a subestaciones eléctricas de potencia en este caso de Sistema de Transporte Colectivo metro de la Ciudad de México. Un número importante de variables fueron analizadas y evaluadas. Dado esto las principales conclusiones de este proyecto de tesis se enlistan a continuación:

- El riesgo de sufrir daños por una descarga eléctrica está presente en todo momento.
- Un accidente en una subestación eléctrica de potencia es complicado de controlar debido a la gran cantidad de variables que intervienen.
- Además no es suficiente tener conocimiento de las variables que se presentan en este trabajo de tesis, también es necesario tomar en cuenta un sistema integral en la prevención de riesgos laborales.
- Las personas encargadas de tomar decisiones, deberán de ser lo más capacitadas posibles sobre todo en el ámbito del control de la energía y de las áreas técnica encargadas de los mantenimientos, ya que una mala decisión deriva en actos inseguros y posibles accidentes fatales.

---

## **5.2.2 CONCLUSIONES ACERCA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ANÁLISIS**

La metodología empleada en el desarrollo de este proyecto de tesis en términos generales se considera adecuada, debido a que tratamos con su sistema duro ya que intervienen hombres y máquinas. Además de que nos permitió ir desarrollando de manera plena este proyecto de tesis, y los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

Es necesario hacer hincapié que durante la realización de este proyecto de tesis se presentó el problema de la falta de información necesaria para llevar un análisis más a detalle.

## **5.2.3 RECOMENDACIONES DERIVADAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Las recomendaciones derivadas de esta investigación son:

- Mejorar día a día los procesos de capacitación del personal.
- Actualizar todos y cada uno de los manuales de procedimientos relacionados a cada área en cuestión.
- Mantener al margen la dosificación del equipo y herramienta necesaria que se requiere en las áreas técnicas y de operación.
- Llevar un archivo actualizado de los accidentes y causas que los originaron, así como las medidas para disminuirlos.

## **5.3 FUTURO TRABAJO**

Debido a la complejidad del problema, hay muchos aspectos que se pueden mejorar en el presente trabajo. Algunos se derivan de las limitaciones con las que nos encontramos desde el hecho de formar un grupo de trabajo hasta la simple obtención de información detallada, y de otras circunstancias que no se consideraron, y debido a la naturaleza del problema dan cabida para darles seguimiento.



---

Dentro de las propias limitaciones modelo, es necesario mencionar que se trata de un estudio estático, lo cual sería recomendable realizar estudios experimentales.

Algunos aspectos no tomados en cuenta y que podrían ayudar a mejorar el modelo serian: la edad de los trabajadores, situaciones de estrés o presión laboral, nivel académico, problemas de inseguridad, entre otros. Esto marca la pauta para que se pueda seguir mejorando el proyecto de tesis presentado. En algunos casos son temas complementarios que no requieren modificar el modelo principal, y algunos otros darían nuevas líneas de investigación que modificarían esencialmente la presente tesis.

---

# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y WEBGRAFÍA**

---

## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- 2011, G. (02 de 02 de Elaboración Propia 2011). Ubicación Geografica de la Subestación Eléctrica de Potencia. *S.E. de Potencia de la Línea "A" del STC del metro de la Ciudad de México*. México, Estado de México, México: Elaboración Propia con apoyo de Google, 2011.
- *Área de Seguridad Industrial e Higiene, Investigación de Incidentes Relevantes, INCADE*. (2 de 02 de 2011).
- Arnold, M. (1989). Teoría de Sistemas, Nuevo Paradigmas: Enfoque de Niklas Luhmann. *Revista Paraguaya de Sociología*, 51-72.
- CIA. (1992). A guide to Hazard and Operability Studies. Chemical Industries Association, London, UK.
- *El metro y las finanzas*. (1989). México: Instituto de Investigaciones Económicas.
- Enríquez Harper, G. (1994). Elementos de diseño de subestaciones eléctricas . En G. Enríquez Harper, *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas* (pág. 597). México: Limusa.
- Enríquez Harper, G. Líneas de transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica . En G. Enríquez Harper, *Líneas de transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica* . México: Limusa.
- *es.wikipedia.org*. (s.f.). Recuperado el 08 de febrero de 2011, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_el%C3%A9ctrico\\_de\\_potencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_el%C3%A9ctrico_de_potencia)
- Evolución de la transportación en la Ciudad de México. (1989). *Metro metropoli México*, 17. México, D.F.: Instituto de Investigaciones Económicas.
- FLUKE. (10 de 12 de 2010). *www.fluke.com*. Recuperado el 10 de 12 de 2010, de [www.fluke.com](http://www.fluke.com).
- *General Systems Theory*. (1968).
- Google. (2011). *Ubicación Geografica de la Subestación Eléctrica de Potencia*. México DF: Elaboración Propia.
- Johannsen, O. (1975). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Chile: Universidad de Chile.
- STC-metro. (2011). *Informacion Técnica delSTC metro 2011*. Mexico DF: STC metro.
- Teoría General de Sistemas. (12 de Julio de 2007). *Principios Básicos de Teoría y Metodología de Sistemas* . Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.

- 
- *www.cese.edu.mx*. (01 de 05 de 2011). Recuperado el 01 de 05 de 2011, de [http://www.cese.edu.mx/revista/metodologia\\_de\\_sistemas.htm](http://www.cese.edu.mx/revista/metodologia_de_sistemas.htm)
  - *www.cfe.com.mx*. (s.f.). Recuperado el 17 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/Paginas/Transmision.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 08 de febrero de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/queEsCFE/Paginas/CFEylaelectricidadenM%C3%A9xico.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 12 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/Paginas/QuienesSomos.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 12 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Generaciondeelectricidad.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 12 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Termoelectrica.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 16 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Turbogas.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 16 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Carboelectricas.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 16 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Nucleoelectricas.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 16 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Hidroelectricas.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 16 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Hidroelectricas.aspx>
  - *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 16 de 05 de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/GeneraciónEoloeléctrica.aspx>

- 
- *www.cfe.gob.mx*. (s.f.). Recuperado el 19 de 05 de 2011, de TORRES DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA:  
<http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/Paginas/Transmision.aspx>
  - *www.hse.gov.uk/statistics*. (s.f.). Recuperado el 25 de 04 de 2011, de  
[http://search.hp.my.aol.com/aol/search?invocationType=enus-mh-1\\_-hp-ws-cn-nb-le&q=statistics+of+accidents+in+the+electrical+sector](http://search.hp.my.aol.com/aol/search?invocationType=enus-mh-1_-hp-ws-cn-nb-le&q=statistics+of+accidents+in+the+electrical+sector)
  - *www.insht.es*. (01 de 06 de 2011). Recuperado el 01 de 06 de 2011, de Evaluacion de riesgos laborales:  
<http://www.insht.es/portal/site/Insht/?VAPCOOKIE=yqLPNmQL3QQ2b1tcgw83lqQdCR6L8C2rQRYHzzn1h8KfmwcQnchSI!-976727414!-1453128700>
  - *www.mitecnologico.com*. (01 de 05 de 2011). Recuperado el 01 de 05 de 2011, de  
<http://www.mitecnologico.com/Main/SistemasDurosSistemasSuaves>
  - *www.monografias.com*. (s.f.). Recuperado el 08 de febrero de 2011, de  
<http://www.monografias.com/trabajos13/genytran/genytran.shtml#CONCLU>
  - *www.unisdr.org*. (01 de 05 de 2011). Recuperado el 01 de 05 de 2011, de  
<http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page9-spa.pdf>
  - *www.wikipedia.com*. (s.f.). Recuperado el 12 de 05 de 2011, de  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n\\_de\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)
  - *www.wikipedia.com*. (s.f.). Recuperado el 19 de 05 de 2011, de  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_electricidad#cite\\_note-3](http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_electricidad#cite_note-3)
  - *www.wikipedia.com*. (s.f.). Recuperado el 17 de 05 de 2011, de  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_suministro\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico)
  - *www.wikipedia.com*. (s.f.). Recuperado el 17 de 05 de 2011, de  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_transporte\\_de\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_transporte_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)
  - *www.wikipedia.com*. (s.f.). Recuperado el 17 de 05 de 2011, de  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_distribuci%C3%B3n\\_de\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_distribuci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)

---

**ANEXO-A.-**

**EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y  
SU CONTEXTO**

---

# ANEXO-A.- EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU CONTEXTO

## A1. INTRODUCCIÓN

Una subestación eléctrica se integra de equipos y elementos que sirven para controlar y distribuir la energía eléctrica, que está a su vez forma parte de un Sistema Eléctrico de Potencia. Durante la operación en dicha subestación existen factores de riesgo, originados por ejemplo, de un mal mantenimiento, un equipo dañado o por una inadecuada coordinación entre el personal técnico que se encuentra físicamente en la subestación y el personal encargado de realizar las maniobras a distancia desde un puesto de operación, lo cual se puede derivar en accidentes que afectan a los equipos, interrupción en el suministro de energía eléctrica, daño al medio ambiente, pérdidas económicas, o peor aun daños físicos al personal que interviene en la subestación eléctrica.

Por otro lado, debido al incremento constante (dato de seguridad industrial) de lesiones por descargas eléctricas sufridas por el personal técnico durante la realización de algún mantenimiento en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de potencia, se pretende implementar un sistema aplicado en la coordinación de mantenimientos para reducir el nivel de riesgo de sufrir alguna lesión en cualquier línea de transmisión y subestación eléctrica de potencia, en las cuales se realice un servicio de mantenimiento eléctrico y así mismo reducir el impacto económico y cultural que se derive de ello.

## A.2 EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU CONTEXTO

### A.2.1 HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD

La **historia de la electricidad** se refiere al estudio y uso humano de la electricidad, al descubrimiento de sus leyes como fenómeno físico y a la invención de artefactos para su uso práctico. El fenómeno en sí, fuera de su relación con el observador humano, no tiene historia; y si se la considerase como parte de la historia natural, tendría tanta como el tiempo, el espacio, la materia y la energía. Como también se denomina *electricidad* a la rama de la ciencia que estudia el fenómeno y a la rama de la tecnología que lo aplica, la *historia de la electricidad* es la rama de la historia de la ciencia y de la historia de la tecnología que se ocupa de su surgimiento y evolución.

---

Uno de sus hitos iniciales puede situarse hacia el año 600 a. C., cuando el filósofo griego Tales de Mileto observó que frotando una varilla de ámbar con una piel o con lana, se obtenían pequeñas cargas (efecto triboeléctrico) que atraían pequeños objetos, y frotando mucho tiempo podía causar la aparición de una chispa. Cerca de la antigua ciudad griega de Magnesia se encontraban las denominadas *piedras de Magnesia*, que incluían magnetita. Los antiguos griegos observaron que los trozos de este material se atraían entre sí, y también a pequeños objetos de hierro. Las palabras *magneto* (equivalente en español a imán) y magnetismo derivan de ese topónimo.

La electricidad evolucionó históricamente desde la simple percepción del fenómeno, a su tratamiento científico, que no se haría sistemático hasta el siglo XVIII. Se registraron a lo largo de la Edad Antigua y Media otras observaciones aisladas y simples especulaciones, así como intuiciones médicas (uso de peces eléctricos en enfermedades como la gota y el dolor de cabeza) referidas por autores como Plinio el Viejo y Escribonio Largo,<sup>1</sup> u objetos arqueológicos de interpretación discutible, como la Batería de Bagdad,<sup>2</sup> un objeto encontrado en Irak en 1938, fechado alrededor de 250 a. C., que se asemeja a una celda electroquímica. No se han encontrado documentos que evidencien su utilización, aunque hay otras descripciones anacrónicas de dispositivos eléctricos en muros egipcios y escritos antiguos.

Esas especulaciones y registros fragmentarios son el tratamiento casi exclusivo (con la notable excepción del uso del magnetismo para la brújula) que hay desde la Antigüedad hasta la Revolución científica del siglo XVII; aunque todavía entonces pasa a ser poco más que un espectáculo para exhibir en los salones. Las primeras aportaciones que pueden entenderse como aproximaciones sucesivas al fenómeno eléctrico fueron realizadas por investigadores sistemáticos como William Gilbert, Otto von Guericke, Du Fay, Pieter van Musschenbroek (botella de Leyden) o William Watson. Las observaciones sometidas a método científico empiezan a dar sus frutos con Luigi Galvani, Alessandro Volta, Charles-Augustin de Coulomb o Benjamin Franklin, proseguidas a comienzos del siglo XIX por André-Marie Ampère, Michael Faraday o Georg Ohm. Los nombres de estos pioneros terminaron bautizando las unidades hoy utilizadas en la medida de las distintas magnitudes del fenómeno. La comprensión final de la electricidad se logró recién con su unificación con el magnetismo en un único fenómeno electromagnético descrito por las ecuaciones de Maxwell (1861-1865).

El telégrafo eléctrico (Samuel Morse, 1833, precedido por Gauss y Weber, 1822) puede considerarse como la primera gran aplicación en el campo de las telecomunicaciones, pero no será en la primera revolución industrial, sino a partir del cuarto final del siglo XIX cuando las aplicaciones económicas de la electricidad la convertirán en una de las fuerzas motrices de la segunda revolución industrial. Más que de grandes teóricos como Lord Kelvin, fue el momento



---

de ingenieros, como Zénobe Gramme, Nikola Tesla, Frank Sprague, George Westinghouse, Ernst Werner von Siemens, Alexander Graham Bell y sobre todo Thomas Alva Edison y su revolucionaria manera de entender la relación entre investigación científico-técnica y mercado capitalista. Los sucesivos cambios de paradigma de la primera mitad del siglo XX (relativista y cuántico) estudiarán la función de la electricidad en una nueva dimensión: atómica y subatómica.

La electrificación no sólo fue un proceso técnico, sino un verdadero cambio social de implicaciones extraordinarias, comenzando por el alumbrado y siguiendo por todo tipo de procesos industriales (motor eléctrico, metalurgia, refrigeración...) y de comunicaciones (telefonía, radio). Lenin, durante la Revolución bolchevique, definió el socialismo como la suma de la electrificación y el poder de los soviets,<sup>3</sup> pero fue sobre todo la sociedad de consumo que nació en los países capitalistas, la que dependió en mayor medida de la utilización doméstica de la electricidad en los electrodomésticos, y fue en estos países donde la retroalimentación entre ciencia, tecnología y sociedad desarrolló las complejas estructuras que permitieron los actuales sistemas de I+D e I+D+I, en que la iniciativa pública y privada se interpenetran, y las figuras individuales se difuminan en los equipos de investigación.

La energía eléctrica es esencial para la sociedad de la información de la tercera revolución industrial que se viene produciendo desde la segunda mitad del siglo XX (transistor, televisión, computación, robótica, internet...). Únicamente puede comparársele en importancia la motorización dependiente del petróleo (que también es ampliamente utilizado, como los demás combustibles fósiles, en la generación de electricidad). Ambos procesos exigieron cantidades cada vez mayores de energía, lo que está en el origen de la crisis energética y medioambiental y de la búsqueda de nuevas fuentes de energía, la mayoría con inmediata utilización eléctrica (energía nuclear y energías alternativas, dadas las limitaciones de la tradicional hidroelectricidad). Los problemas que tiene la electricidad para su almacenamiento y transporte a largas distancias, y para la autonomía de los aparatos móviles, son retos técnicos aún no resueltos de forma suficientemente eficaz.

El impacto cultural de lo que Marshall McLuhan denominó Edad de la Electricidad, que seguiría a la Edad de la Mecanización (por comparación a cómo la Edad de los Metales siguió a la Edad de Piedra), radica en la altísima velocidad de propagación de la radiación electromagnética (300.000 km/s) que hace que se perciba de forma casi instantánea. Este hecho conlleva posibilidades antes inimaginables, como la simultaneidad y la división de cada proceso en una secuencia. Se impuso un cambio cultural que provenía del enfoque en "segmentos especializados de atención" (la adopción de una perspectiva particular) y la idea de la "conciencia sensitiva instantánea de la totalidad", una atención al "campo total", un "sentido de

---

la estructura total". Se hizo evidente y prevalente el sentido de "forma y función como una unidad", una "idea integral de la estructura y configuración". Estas nuevas concepciones mentales tuvieron gran impacto en todo tipo de ámbitos científicos, educativos e incluso artísticos (por ejemplo, el cubismo). En el ámbito de lo espacial y político, "la electricidad no centraliza, sino que descentraliza... mientras que el ferrocarril requiere un espacio político uniforme, el avión y la radio permiten la mayor discontinuidad y diversidad en la organización espacial". (www.wikipedia.com).

## **A.2.2 ANTECEDENTES DE LA ELECTRICIDAD EN MÉXICO**

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil "La Americana". Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública. En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica.

No obstante, durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México. Algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales, como The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente.

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones. En ese período se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz.

Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública.

---

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas. En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más redituables, sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629.0 MW.

Para dar respuesta a esa situación que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937).

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xíla (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora). El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de 64 kW, misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 kW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa. Hacia 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías 9%.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

**ANEXO-B.-**

**FORMAS DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA**

---

## **ANEXO-B.-FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Este anexo presenta una breve descripción de las diferentes formas de generación de energía eléctrica:

- a) Geotermoeléctrica
- b) Termoeléctrica
- c) Turbogas
- d) Carboeléctricas
- e) Ciclo combinado
- f) Combustión interna
- g) Nucleoeléctrica
- h) Hidroeléctrica
- g) Eoloeléctrica

A continuación se describen cada una de las formas listadas anteriormente.

### **B1. GEOTERMOELÉCTRICA**

CFE se ha preocupado en el desarrollo de fuentes de energía para generar electricidad, además de los combustibles fósiles, grandes centrales hidroeléctricas y centrales nucleares. Teniendo en cuenta la ubicación geográfica y geológica de México, los otros más accesibles de las fuentes de energía son la energía geotérmica y eólica.

México tiene un gran historial en el uso de la energía geotérmica, con el fin de generar electricidad, que se inicia en los años 50 cuando la primera planta eléctrica geotérmica se instaló en el continente americano. La capacidad de energía eléctrica geotérmica es de 964.50 megawatts (MW), la generación de 3.03% de los 177.795 GWh producidos al 30 de septiembre de 2008. El campo geotérmico de Cerro Prieto, es el segundo más grande del mundo, produce 46,37% de la electricidad distribuida en Baja California, este sistema es, aparte de la Dirección Nacional del Sistema Eléctrico.

---

## B1.1 LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica utiliza el agua y la salud; por lo que se reunieron en ciertos lugares subterráneos conocidos como capas geotérmicas. La energía geotérmica, como su nombre lo dice, es la salud de la energía procedente de la esencia misma del planeta, desplazando hacia arriba en el propio magma que fluye a través de las fisuras existentes en las rocas sólidas y semisólidas en el interior de la Tierra, alcanzando cerca de los niveles de la superficie, donde existen condiciones geológicas favorables para su recolección. Este tipo de capa es ligada al fenómeno volcánico y terremoto, a causa de la profundidad y de movimientos pasando continuamente entre los límites de las placas litosféricas en las que la porción sólida más externa de la Tierra se divide. Una capa típica de la energía geotérmica se compone de una fuente de salud, un acuífero y la llamada capa sello. La salud suele ser una fuente de cámara magmática en proceso de enfriamiento. El acuífero es cualquier formación litológica permeable suficiente para alojar agua meteórica asomando desde la superficie o desde otros acuíferos. La capa sello es otra formación, o parte de ella, con menor permeabilidad, su función es impedir que el total de los fluidos geotérmicos se dispersan en la superficie. (ver Figura B1)

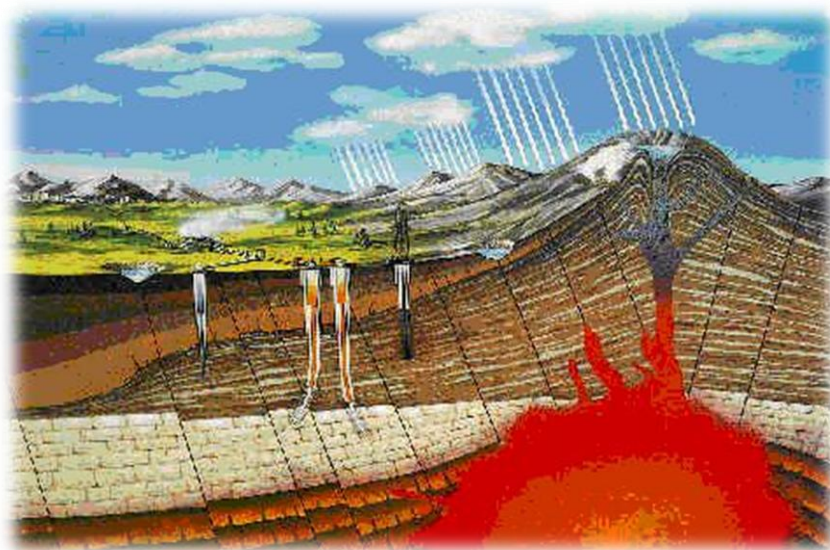


Figura B1.- Origen de la Energía Geotérmica.  
Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

## B1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA

Por medio de pozos específicamente perforados, las aguas subterráneas, que poseen una gran cantidad de energía térmica almacenada, se extraen a la superficie transformándose en vapor, que se utiliza para generar energía eléctrica. Este tipo de planta opera con los mismos principios que los de una termoeléctrica como vapor, con excepción de la producción de vapor, que en este caso se extrae del subsuelo. El vapor de agua obtenido de la mezcla se envía a un separador; el secado de vapor va a la turbina de energía cinética que se transforma en energía mecánica y esta a su vez, en electricidad en el generador. Ver Figura B2.

## B1.3 ESQUEMA DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA

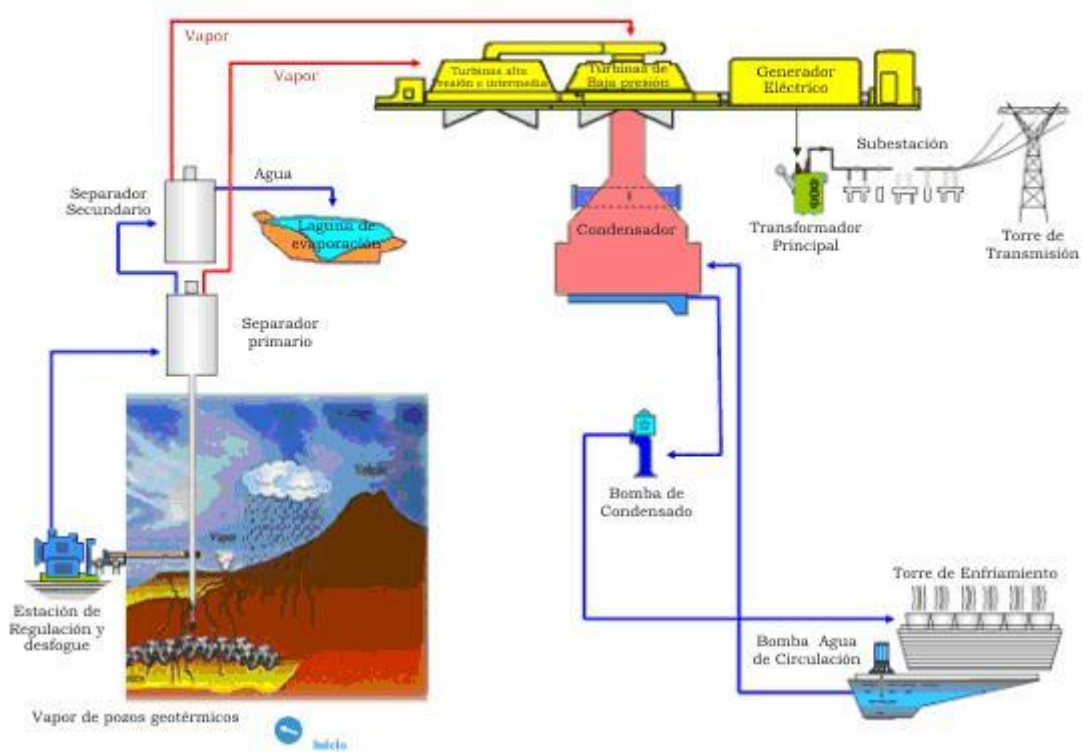


Figura B2.- Esquema de una Planta Generadora Geotérmica.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

Existen unidades de 5 MW en la que el vapor, una vez que trabajó en la turbina, se libera directamente a la atmósfera. En unidades de 20, 37,5 y 110MW, el vapor es enviado a un sistema de condensación; agua condensada, junto con la proveniente del separador, se reinyecta en el metro o descargadas a través de un tubo de evaporación. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

## **B2. TERMOELÉCTRICA**

En el proceso termoeléctrico existe una clasificación de tipos de generación, según la tecnología utilizada para hacer girar los generadores eléctricos:

- Vapor

Con vapor de agua se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.

- Turbogas

Con los gases de combustión se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.

- Combustión Interna

Con un motor de combustión interna se produce el movimiento del generador eléctrico.

- Ciclo Combinado

Combinación de las tecnologías de turbogas y vapor. Constan de una o más unidades turbogas y una de vapor, cada turbina acoplada a su respectivo generador eléctrico.

Otra clasificación de las centrales termoeléctricas corresponde al combustible primario para la producción de vapor:

- Vapor (combustóleo, gas natural y diesel)
- Carboeléctrica (carbón)
- Dual (combustóleo y carbón o combustóleo y gas)
- Geotermoeléctrica (vapor extraído del subsuelo)
- Nucleoeléctrica (uranio enriquecido)

Para el cierre de septiembre de 2008, la capacidad efectiva instalada y la generación de cada uno de estos tipos de generación termoeléctrica, es la siguiente:



---

## B2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR

Una central termoeléctrica de tipo vapor es una instalación industrial en la que la energía química del combustible se transforma en energía calorífica para producir vapor, éste se conduce a la turbina, donde su energía cinética se convierte en energía mecánica, la que se transmite al generador para producir energía eléctrica. La Figura B3 ilustra la secuencia del proceso de transformación de energía.

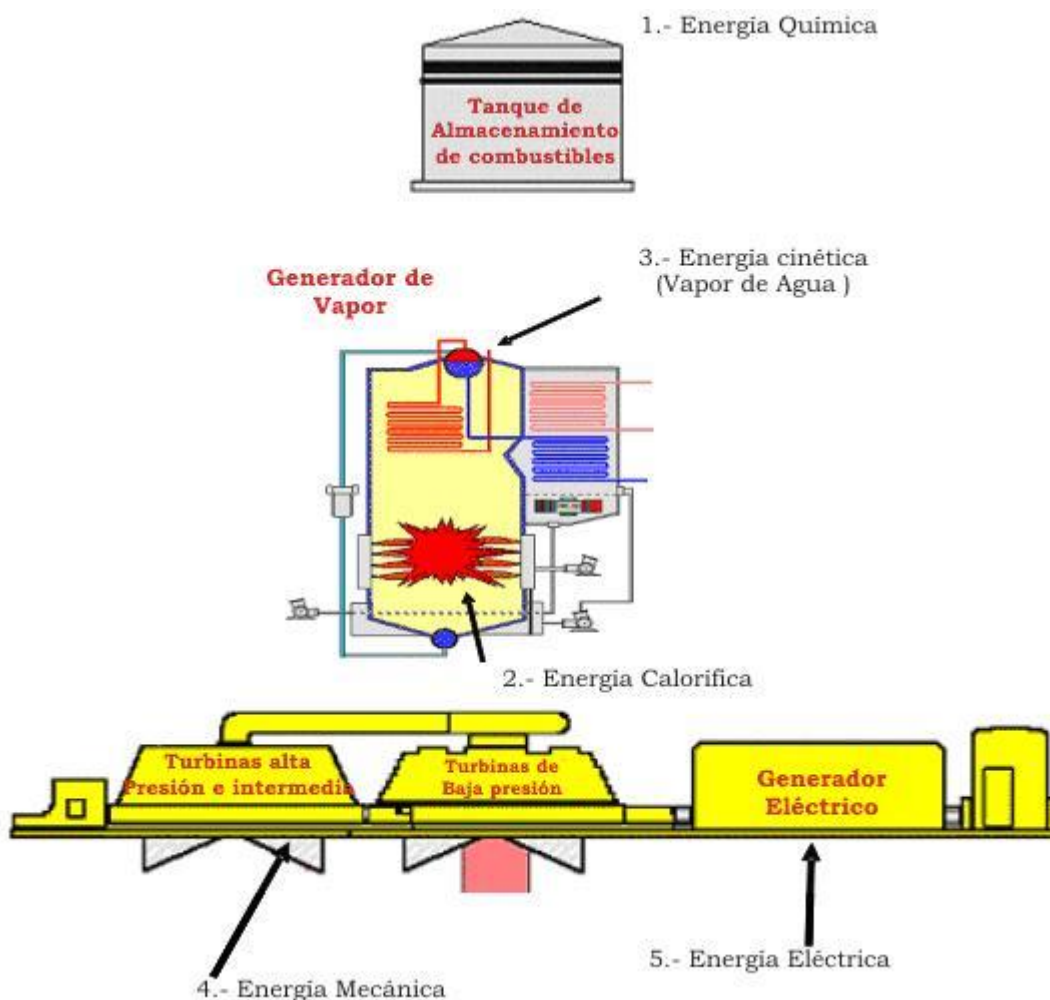


Figura B3.- Secuencia de Transformación de la energía.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

## B2.2 CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR

Estas centrales utilizan el poder calorífico de combustibles derivados del petróleo (combustóleo, diesel y gas natural), para calentar agua y producir vapor con temperaturas del orden de los 520°C y presiones entre 120 y 170 kg/cm<sup>2</sup>, para impulsar las turbinas que giran a 3600 r.p.m. (revoluciones por minuto). (www.cfe.gob.mx).

La figura B4 ilustra un esquema de una central termoeléctrica tipo vapor.

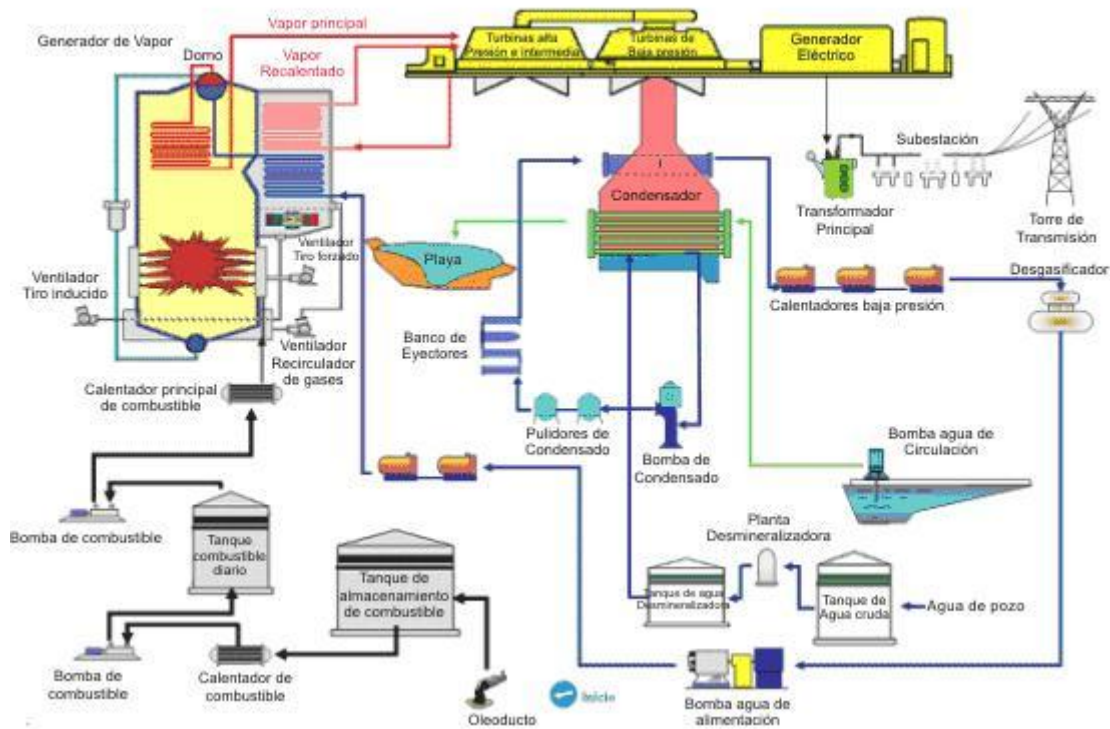


Figura B4.- Esquema de una Central Termoeléctrica.

Fuente.(www.cfe.gob.mx).

---

## B3. TURBOGAS

### B3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PLANTAS DE TURBOGAS

La generación de energía eléctrica en las unidades de turbogas, se realiza directamente la energía cinética resultante de la expansión de aire comprimido y los gases de combustión. La turbina está unida al generador de rotor, dando lugar a la producción de energía eléctrica. Los gases de la combustión, se descargan directamente a la atmósfera después de trabajar en la turbina.

La Figura B5, ilustra un esquema del funcionamiento de una central de Turbogas.

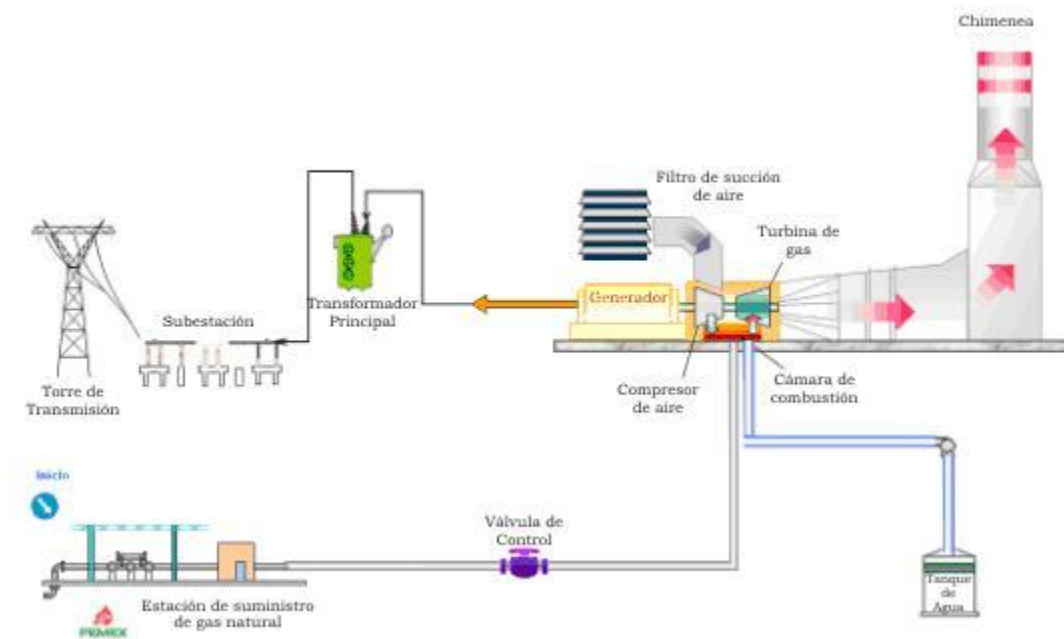


Figura B5.- Esquema de una Central de Turbogas.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

Estas unidades utilizan el gas natural o diesel como combustible. Desde el punto de vista operativo, el breve tiempo de arranque y la variación a la inconsistencia de la demanda, la turbina de gas satisface cargas de suministro y capacidad del sistema eléctrico. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

## B4. CARBOELÉCTRICAS

### B4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CARBOELÉCTRICAS

En cuanto a su concepción básica, carboeléctricas son básicamente las mismas que las plantas termoeléctricas de vapor, el único cambio importante es que son alimentadas por carbón, y las cenizas residuales requieren maniobras especiales y amplios espacios para el manejo y confinamiento. (www.cfe.gob.mx). La Figura B8 ilustra un esquema de una central Carboeléctrica típica.

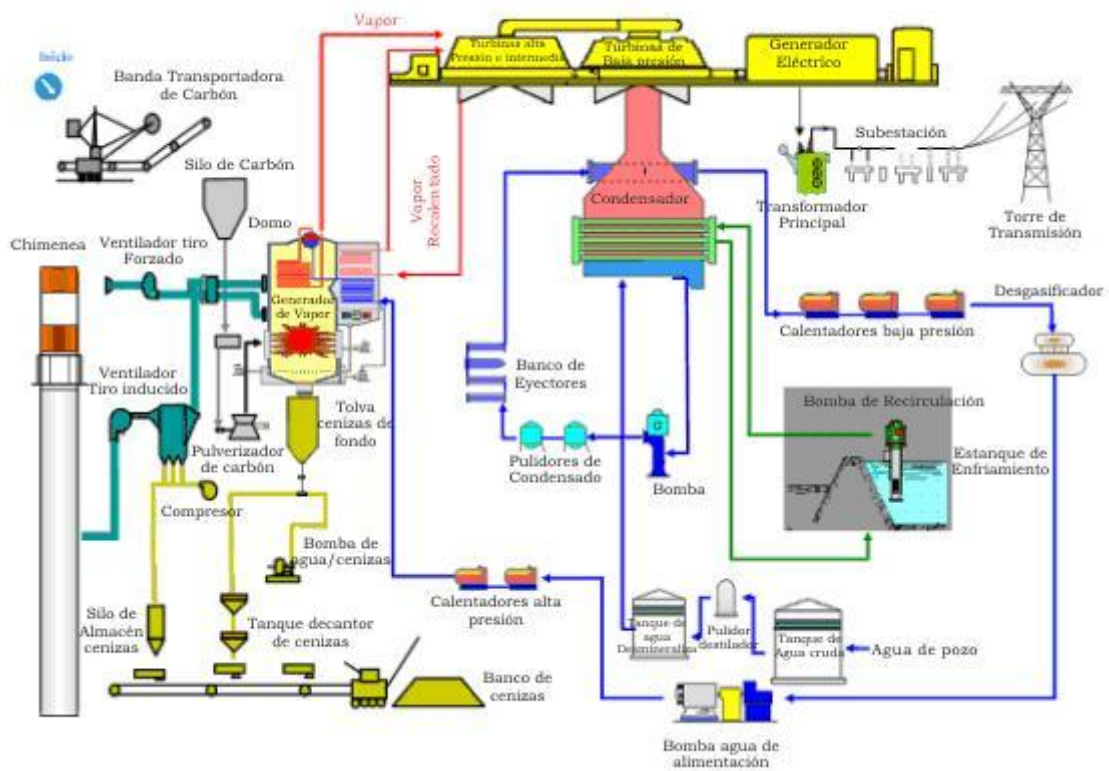


Figura B6.- Esquema de una Central Carboeléctrica.

Fuente.(www.cfe.gob.mx).

## B5. CICLO COMBINADO

### B5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN INSTALACIONES DE CICLO COMBINADO

Plantas de ciclo combinado constará de dos tipos diferentes de unidades generadoras: turbogas y vapor. Una vez que la generación de energía eléctrica de ciclo se termina en las unidades turbogas, la alta temperatura de gases de escape se utiliza para calentar agua para producir vapor, que se utiliza para generar energía eléctrica adicional.

Esta combinación de dos tipos de generación nos permite aprovechar al máximo los combustibles utilizados, mejorando así la eficiencia térmica en todos los tipos de generación termoeléctrica.

La Figura B7 ilustra un esquema de una central de ciclo Combinado.

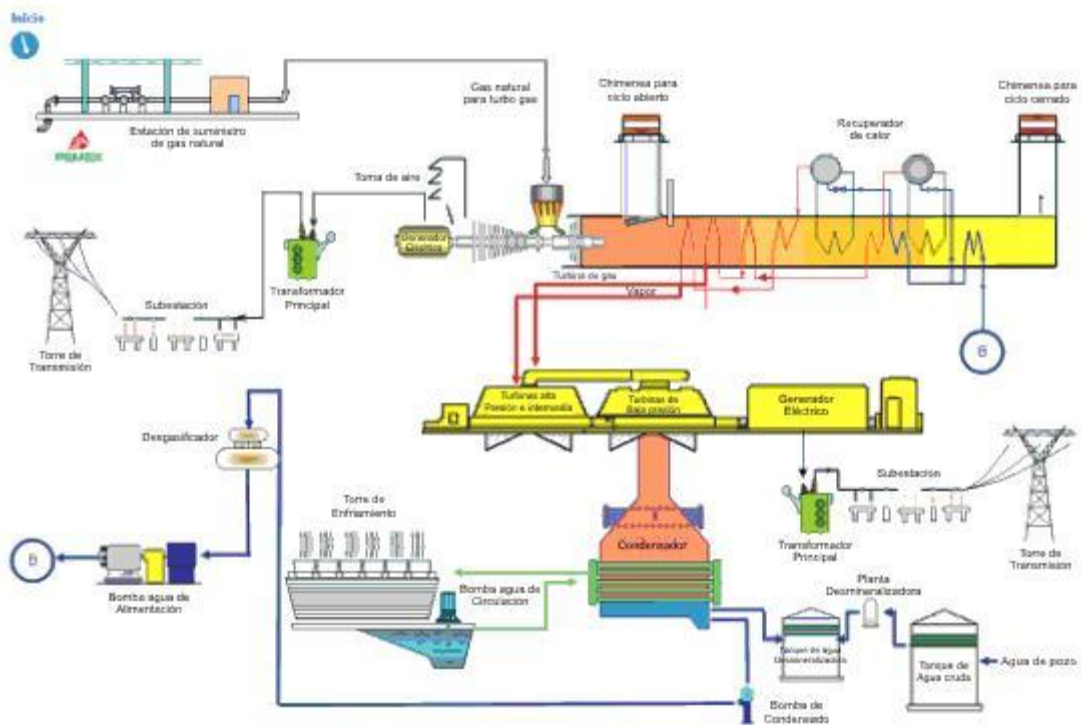


Figura B7.- Esquema de una Central de Ciclo Combinado.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

El plan general de una planta de ciclo combinado se puede organizar de acuerdo a las diferentes posibilidades. El número de unidades turbogas por unidad de vapor varía de 1-1 a 4-1.

Hay tres variables de vapor para la fase de diseño:

- a. - sin quemar combustible adicional
- b. - con la quema de combustible adicional para el control de calor
- c. - con la quema de combustible adicional para aumentar el calor y la presión de vapor

Una de las ventajas de este tipo de plantas es la posibilidad de construirlas en dos etapas. La primera etapa, turbogas, puede ser terminada en un corto período de tiempo y la planta inicia operaciones de inmediato y posteriormente, la construcción de la unidad de vapor puede ser terminada, y completar así el ciclo combinado.

## B6. COMBUSTIÓN INTERNA

### B6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN LAS PLANTAS DE COMBUSTIÓN INTERNA

Las plantas de combustión interna están equipadas con motores de combustión interna en la que aprovechan la expansión de gas de combustión para obtener energía mecánica, que luego se transforma en energía eléctrica en el generador. La Figura B8 presenta un esquema de los componentes principales de una central de combustión interna.

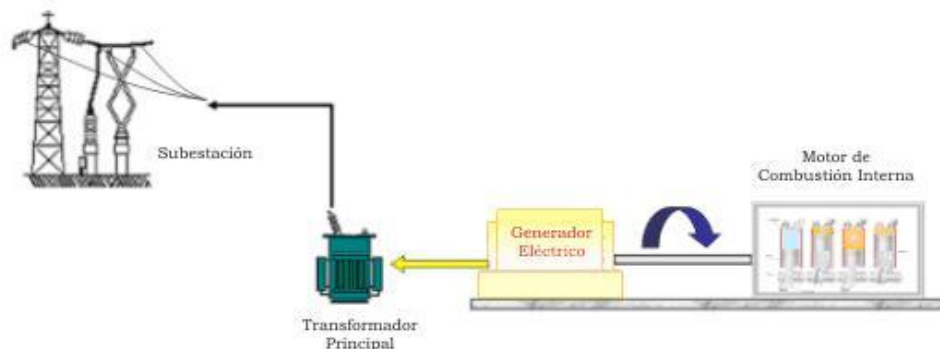


Figura B8.- Esquema de una Central de Combustión Interna.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

Las plantas de combustión interna son usualmente alimentadas por gasóleo, y en el caso de la planta ubicada en San Carlos, Baja California Sur, para alimentar sus dos motores de combustión interna utilizan una mezcla de combustóleo y el gasóleo.

## **B7. NUCLEOELÉCTRICAS**

### **B7.1 LA ÚNICA CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA DEL PAÍS**

Dispone de 370 hectáreas localizadas sobre la costa del Golfo de México, en el km 42.5 de la carretera federal Cd. Cardel-Nautla, municipio de Alto Lucero; a 60 km al noreste de la ciudad de Xalapa, a 70 km del puerto de Veracruz y a 290 km al noreste del Distrito Federal.

La central consta de dos unidades, cada una con capacidad de 682.44 megavatios, equipadas con reactores del tipo agua hirviente y contenciones de ciclo directo. El sistema nuclear de suministro de vapor fue adquirido a General Electric y el Turbogenerador a Mitsubishi Heavy Industries.

### **B7.2 LA ENERGÍA NUCLEAR**

Toda la materia del universo está formada por moléculas que a su vez están constituidas por átomos, los cuales están formados por partículas aún más pequeñas.

Un átomo contiene protones, neutrones y electrones, los átomos se pueden imaginar cómo sistemas solares en miniatura, en su centro se encuentran los protones y los neutrones firmemente unidos formando el núcleo atómico. Alrededor de este núcleo, como si fuesen pequeños planetas girando alrededor del sol, se encuentran los electrones.

#### **B7.2.1 EL ÁTOMO**

El protón y el neutrón tienen prácticamente la misma masa, se diferencian porque el primero posee una carga eléctrica positiva (+) mientras que el segundo carece de carga. La masa del núcleo del átomo es la suma de las masas de sus componentes, es decir, es la suma de las masas de sus protones y neutrones, la carga eléctrica total del núcleo es positiva. El electrón es 1 840 veces más ligero que el protón y posee una carga eléctrica negativa.

El núcleo del átomo contiene un número atómico, es un número entero conformado por el número de protones y es igual al número de electrones, razón por la cual sus cargas eléctricas se encuentran balanceadas.

---

Los átomos son diferentes, cuando se agrupan forman sustancias distintas conocidas como elementos. Cada elemento está formado por átomos con el mismo número atómico, sin embargo pueden tener diferente número de masa. Los átomos de un mismo elemento se llaman isótopos y se diferencian entre si por el número de masa.

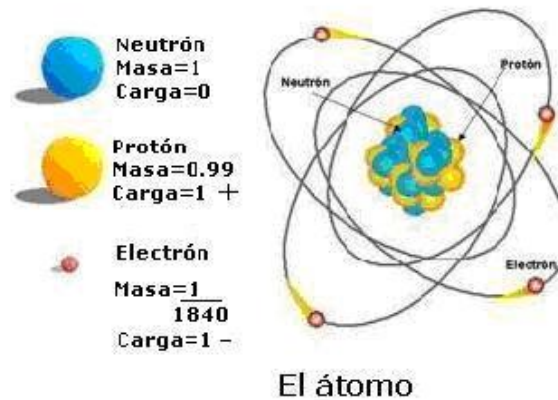


Figura B9.- Descripción del Átomo.  
Fuente.(www.cfe.gob.mx).

El elemento uranio, cuyo número atómico es 92, tiene fundamentalmente dos isótopos con número de masa 235 y 238 respectivamente. El uranio puede ser manipulado, es posible bombardear el núcleo de un átomo con neutrones, lo cual altera su estructura y puede dividirlo en dos núcleos pequeños. La división del núcleo emite radiación, genera energía térmica y libera dos o tres neutrones, es el proceso llamado fisión. Los neutrones producidos por la fisión, impactan otros núcleos del mismo isótopo generando una reacción en cadena, lo cual libera grandes cantidades de energía. El control de la reacción en cadena se realiza utilizando otros elementos como boro y cadmio para capturar los neutrones libres.

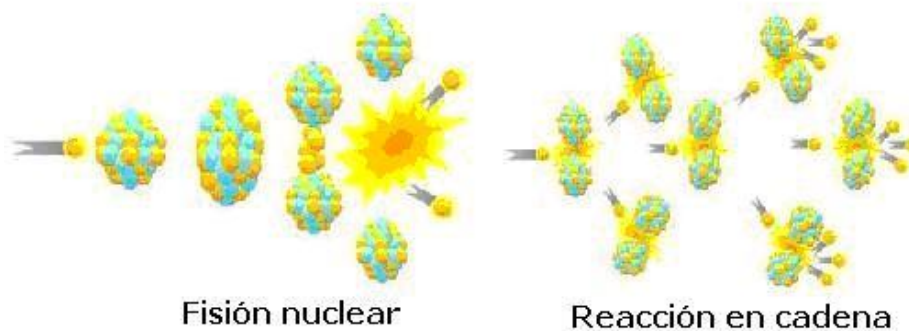


Figura B10.- Descripción de la Reacción en Cadena.  
Fuente.(www.cfe.gob.mx).



---

La energía nuclear utiliza la energía en forma de calor obtenida por la reacción en cadena de la fisión, para generar electricidad.

## **B7.2.2 URANIO NATURAL**

Para obtener el uranio a utilizar en las centrales nucleares se realizan algunas actividades conocidas como "ciclo de combustible", mismo que inicia con la explotación del mineral y termina con la gestión de desechos radiactivos.

En la primera etapa el uranio se extrae y en plantas cercanas al yacimiento se convierte en un concentrado de uranio llamado "pastel amarillo". El concentrado de uranio pasa a una planta de conversión y enriquecimiento, ahí se transforma en un gas llamado hexafluoruro de uranio que es enviado a la planta de enriquecimiento para aumentar la proporción de 0.7% a 33% al separar el U-235 del U-238, por su densidad el U-238 se utiliza para generar contrapeso en aviones y barcos y en elaboración de municiones.

La fabricación del combustible, consiste en la conversión del gas de uranio en dióxido de uranio en polvo que es prensado en forma de pastillas. Las pastillas son encapsuladas en varillas o tubos de zircaloy, que son ensamblados y transportados a la central nuclear donde serán cargados al núcleo del reactor. El poder energético de una pastilla de combustible cuyo peso es aproximado de 10 gramos equivale a 3.9 barriles de combustóleo.

La siguiente etapa, conocida como irradiación del combustible se realiza dentro del núcleo del reactor, el cual opera en forma continua durante un lapso de 12 a 18 meses a plena potencia. Al término de los cuales la reactividad del núcleo disminuye y los ensambles de combustible deben ser reemplazados.

La última etapa en el ciclo de combustible es el tratamiento de los ensambles gastados extraídos del núcleo del reactor, los cuales son almacenados aproximadamente 10 años en albercas dentro del reactor para su enfriamiento, posteriormente son encapsulados en contenedores herméticamente sellados y depositarlos en almacenes bajo tierra donde no representan riesgo para el medio ambiente. Parte del combustible gastado puede ser reciclado para ser utilizado nuevamente en una planta nuclear.

---

## B7.3 REACTORES NUCLEARES

Un reactor nuclear es un enorme recipiente dentro del cual se está efectuando una reacción de fisión en cadena de manera controlada. Está colocado en el centro de un gran edificio de gruesas paredes de concreto, que protegen al personal que lo opera y al público en general de la radiactividad que produce. Básicamente un reactor consta de tres elementos esenciales: combustible, moderador y refrigerante.

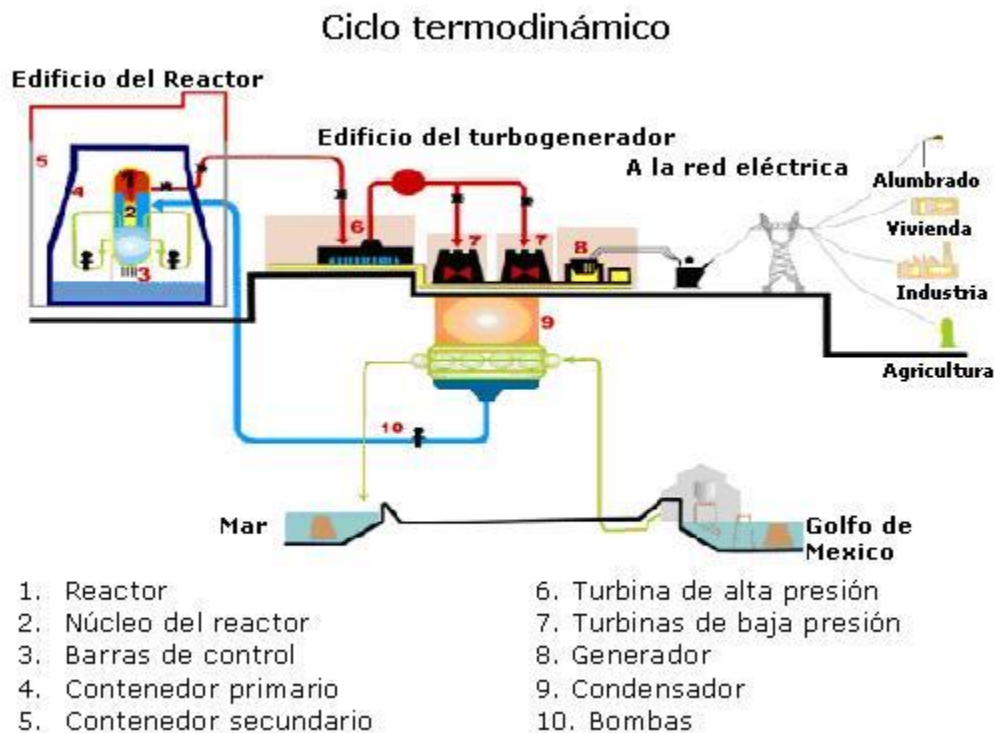


Figura B.11.- Esquema de una Central Nucleoelectrica.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

En las centrales nucleares el calor se obtiene a partir de la fisión del uranio, no se genera combustión, por analogía con las centrales convencionales se le denomina combustible nuclear. Como combustible se utiliza Uranio, como moderador y refrigerante agua. ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

## B8. HIDROELÉCTRICAS

### B8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua como fuente primaria para generar electricidad. Estas plantas se localizan en sitios en donde existe una diferencia de altura entre la central eléctrica y el suministro de agua. De esta forma, la energía potencial del agua se convierte en energía cinética que es utilizada para impulsar el rodete de la turbina y hacerla girar para producir energía mecánica. Acoplado a la flecha de la turbina se encuentra el generador, que finalmente convierte la energía mecánica en eléctrica.

Una característica importante es la imposibilidad de su estandarización, debido a la heterogeneidad de los lugares en donde se dispone de aprovechamiento hidráulico, dando lugar a una gran variedad de diseños, métodos constructivos, tamaños y costos de inversión.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de acuerdo con dos diferentes criterios fundamentales: ([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

1. Por su tipo de embalse.
2. Por la altura de la caída del agua.

La figura B.12 ilustra los componentes principales de una central hidroeléctrica.

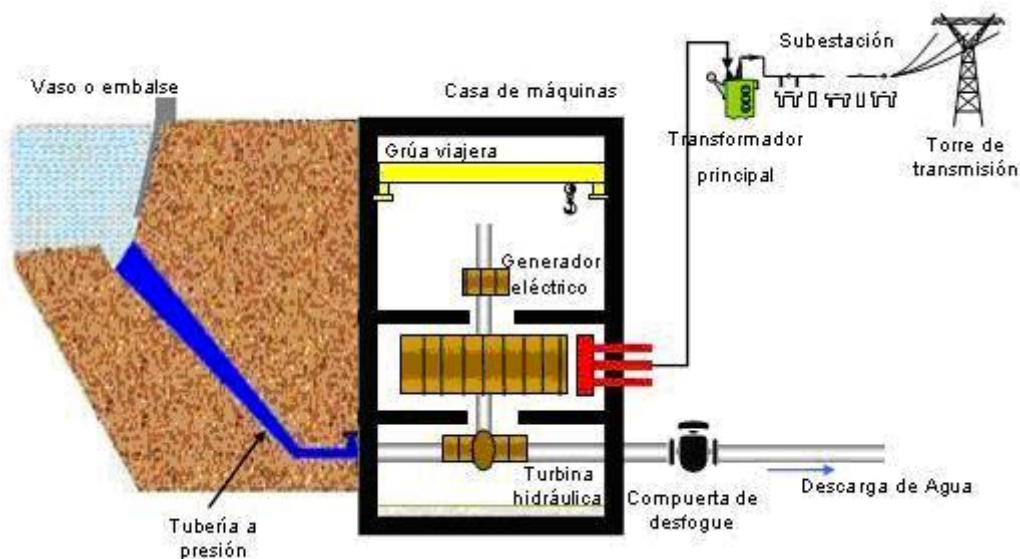


Figura B.12.- Esquema de una Central Hidroeléctrica.

Fuente.([www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)).

---

## B9. EOLOELÉCTRICA

### B9.1 Descripción del proceso de las centrales eólicas

Este tipo de central convierte la energía del viento en electricidad mediante una aeroturbina que hace girar un generador. Es decir, aprovecha un flujo dinámico de duración cambiante y con desplazamiento horizontal, de donde resulta que la cantidad de energía obtenida es proporcional al cubo de la velocidad del viento.

La figura B13 presenta los componentes básicos de una central Eoloeléctrica.

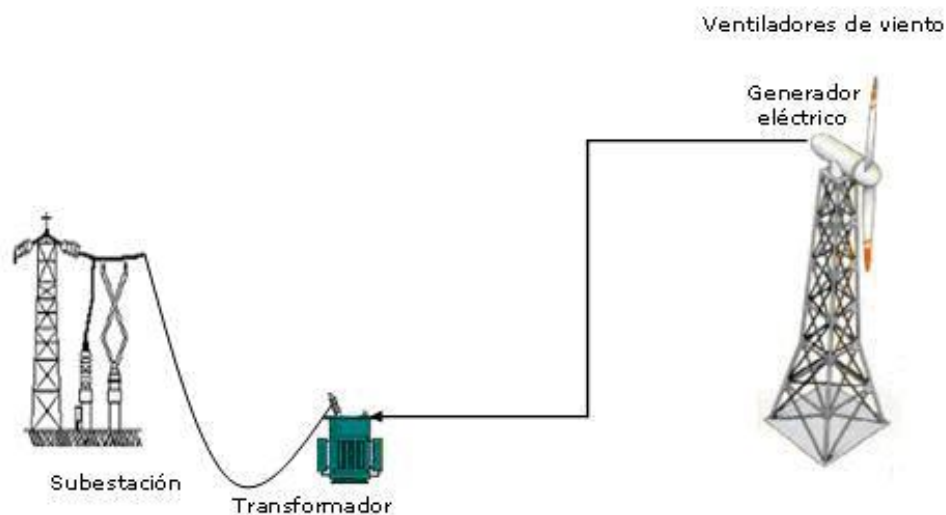


Figura B13.- Esquema de una Central Eoloeléctrica.  
Fuente.(www.cfe.gob.mx).

Los aerogeneradores aprovechan la velocidad de los vientos comprendidos entre 5 y 20 metros por segundo. Con velocidades inferiores a 5 metros por segundo, el aerogenerador no funciona y por encima del límite superior debe pararse, para evitar daños a los equipos.

### B9.2 DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

Además de la geotermia, la única fuente de energía alterna susceptible de desarrollarse en zonas de corrientes de viento a precios competitivos en gran escala, es la energía eólica.

## B9.2.1 CENTRAL EÓLICA DE LA VENTA, OAXACA

La Central de La Venta se localiza en el sitio del mismo nombre, a unos 30 kilómetros al noreste de Juchitán, Oaxaca. Fue la primera planta eólica integrada a la red en América Latina. Con una capacidad instalada de 84.875 megavatios, consta de 105 aerogeneradores, ya que a partir de enero de 2007 entraron en operación comercial 98 nuevas unidades generadoras.

## B9.2.2 CENTRAL EÓLICA DE GUERRERO NEGRO, BAJA CALIFORNIA SUR

Se ubica en las afueras de Guerrero Negro, Baja California Sur, dentro de la Zona de Reserva de la Biósfera de El Vizcaíno. Tiene una capacidad de 0.600 megavatios y se integra por un solo aerogenerador. (www.cfe.gob.mx).

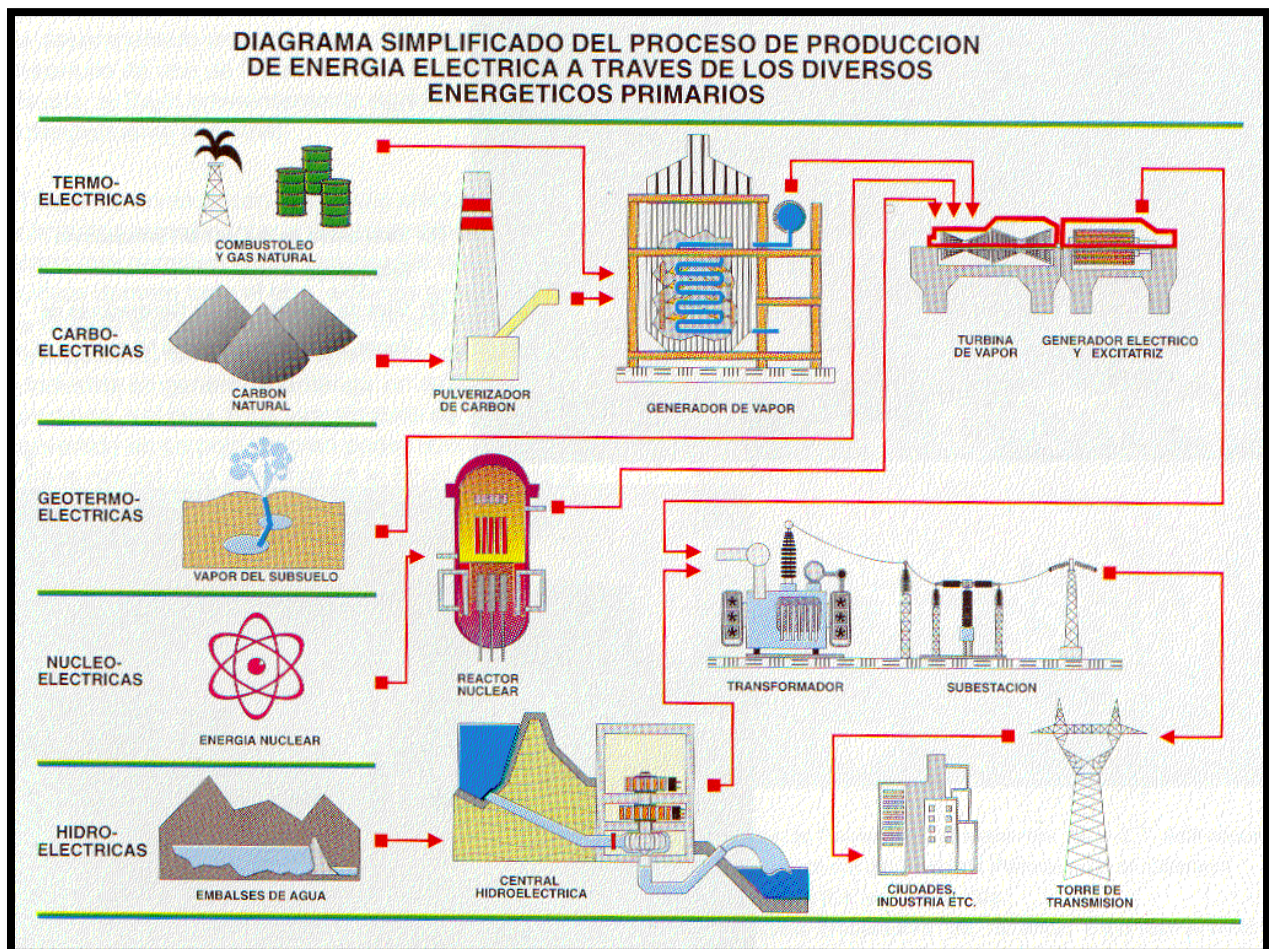


Figura B14.- Descripción de la Generación de La Energía Eléctrica.

Fuente.(www.cfe.gob.mx).