

**PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO  
EN LA INDUSTRIA CON ÉNFASIS EN AHORRO  
EFICIENTE DE ENERGÍA**

**Hernando E. Salas Simancas**

**Cesar A. Quiñones Marriaga**



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2010**

# **PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN LA INDUSTRIA CON ÉNFASIS EN AHORRO EFICIENTE DE ENERGÍA**

**Hernando E. Salas Simancas**

**Cesar A. Quiñones Marriaga**

**Trabajo Final Integrador para optar el título de Especialista en  
Gerencia de Mantenimiento**

**Director Trabajo Final Integrador**

**MSc Vladimir Quiroz Mariano**



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
CARTAGENA DE INDIAS**

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente**

---

**Firma Jurado**

---

**Firma Jurado**

**Cartagena de Indias D. T. y C., 22 de octubre de 2010**

Cartagena de Indias D. T. y C., 22 de octubre de 2010

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Especialización en Gerencia de Mantenimiento**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter para su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado **"PLANEACION DE MANTENIMIENTO ELECTRICO EN LA INDUSTRIA CON ENFASIS EN AHORRO EFICIENTE DE ENERGIA"** realizada por los estudiantes **Hernando Salas Simancas y Cesar Quiñones Marriaga**, para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,



---

**Cesar Augusto Quiñones Marriaga**



---

**Hernando Salas Simancas**

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 22 de octubre de 2010

Yo, **Cesar Quiñones Marriaga**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**PLANEACION DE MANTENIMIENTO ELECTRICO EN LA INDUSTRIA CON ENFASIS EN AHORRO EFICIENTE DE ENERGIA**” producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



---

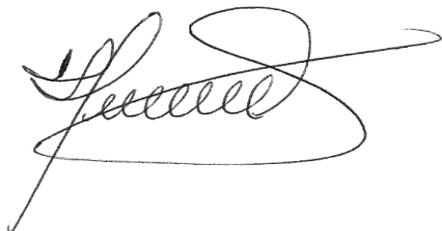
**Cesar Augusto Quiñones Marriaga**  
C.C. 9.294.617 de Turbaco (Bolívar).

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 22 de octubre de 2010

Yo, **Hernando Salas Simancas**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**PLANEACION DE MANTENIMIENTO ELECTRICO EN LA INDUSTRIA CON ENFASIS EN AHORRO EFICIENTE DE ENERGIA**” producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



---

**Hernando Salas Simancas**

C.C. 73.557.596 de Arjona-Bolívar

Cartagena de Indias D. T. y C., 22 de octubre de 2010

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Especialización en Gerencia de Mantenimiento**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado **"PLANEACION DE MANTENIMIENTO ELECTRICO EN LA INDUSTRIA CON ENFASIS EN AHORRO EFICIENTE DE ENERGIA"** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente

---

**MSc Vladimir Quiroz Mariano**

**Director Trabajo Final Integrador**

## **DEDICATORIA**

Quisiéramos recordar aquí a todas las personas que nos alentaron en estos semestres de estudio e investigación, gracias a las cuales este trabajo de grado es hoy una realidad.

En primer lugar, a nuestras familias, por su apoyo incondicionado y por su ayuda valiosa. También queremos recordar a todos los tutores, por sus enseñanzas, paciencia y dedicación.

¡Gracias a todos! por sus valiosos consejos y enseñanzas.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>TERMINOLOGÍA TÉCNICA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>GENERALIDADES DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS - CLASIFICACIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS NOMINALES DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.</b>	<b>GENERADORES.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.</b>	<b>MOTORES ELÉCTRICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.3.1.</b>	<b>MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2.1.</b>	<b>MOTOR SINCRÓNICO.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.2.2.</b>	<b>MOTORES ASINCRÓNICOS O DE INDUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.2.3.</b>	<b>MOTORES ASINCRÓNICOS, JAULA DE ARDILLA.....</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>PÉRDIDAS EN EQUIPOS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.</b>	<b>FORMAS Y GENERALIDADES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>CENTRALES TÉRMICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>CENTRALES HIDRÁULICAS.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1.3.</b>	<b>CENTRALES DE GRUPO ELECTRÓGENO.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.4.</b>	<b>CENTRALES NO CONVENCIONALES.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.5.</b>	<b>PERDIDAS EN LA GENERACIÓN – BÚSQUEDA DE LA EFICIENCIA.....</b>	<b>26</b>

4.1.5.1.	MÁXIMA POTENCIA SUMINISTRABLE POR UN GENERADOR.....	28
4.1.5.2.	NOTAS ESPECIALES.....	29
4.2.	PÉRDIDAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	30
4.2.1.	SISTEMAS TRIFÁSICOS.....	31
4.2.2.	SISTEMAS MONOFÁSICOS.....	31
4.2.3.	SISTEMAS DE ALTA TENCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA.....	32
4.2.4.	CONSIDERACIONES ECONÓMICAS.....	32
4.2.4.1.	ECONOMÍA DE LOS CONDUCTORES.....	33
4.2.5.	FACTORES DE INCIDENCIA EN PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN REDES ELÉCTRICAS.....	35
4.2.6.	DISMINUCIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	36
4.3.	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES.....	37
4.3.1.	PÉRDIDAS DE POTENCIA.....	37
4.4.	PÉRDIDAS EN MOTORES.....	39
4.4.1.	EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	42
4.4.2.	RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS.....	42
5.	MANTENIMIENTO INDUSTRIAL INTEGRAL.....	49
5.1.	TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	50
5.1.1.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	50
5.1.2.	MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	50
5.1.3.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	50
5.1.3.1.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO NO PLANIFICADO.....	51
5.1.3.2.	MANTENIMIENTO PLANIFICADO.....	52
6.	PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....	53
6.1.	VISIÓN GLOBAL DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....	53

<b>6.1.1.</b>	<b>MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....</b>	<b>61</b>
<b>6.1.2.</b>	<b>FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....</b>	<b>64</b>
<b>6.1.2.1.</b>	<b>FUNCIONES PRIMARIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>6.1.2.2.</b>	<b>FUNCIONES SECUNDARIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>6.2.</b>	<b>OBJETIVOS PRIMARIOS DE LA PLANEACIÓN EFICIENTE DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE LA INDUSTRIA.....</b>	<b>65</b>
<b>6.3.</b>	<b>PLANEACIÓN PARA MANTENIMIENTO ELÉCTRICO INDUSTRIAL.....</b>	<b>66</b>
<b>6.3.1.</b>	<b>BENEFICIOS DE LA PLANEACIÓN EN MANTENIMIENTO.....</b>	<b>66</b>
<b>6.3.2.</b>	<b>CICLO DE ESTADO DE EQUIPOS.....</b>	<b>67</b>
<b>6.3.3.</b>	<b>FUENTES DE DEFECTO.....</b>	<b>69</b>
<b>7.</b>	<b>MODELOS DE AHORRO ENERGÉTICO BASADO EN TÉCNICAS PLANEACIÓN ELÉCTRICA DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>ACTIVIDADES PUNTUALES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCCIÓN DE ENERGÍA Y OTROS RECURSOS.....</b>	
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Considerando la importancia tan alta que tiene el mantenimiento en la industria, se ha tomado la idea de poder especificar las directrices de lo que corresponde a la planificación centrada en el mantenimiento de equipos eléctricos con todas las consideraciones que, a nuestro juicio, se deben tener en cuenta para poder preservar estos equipos funcionando con una alta eficiencia durante el mayor periodo de tiempo posible y a la vez enfatizando en el ahorro de energía y de los recursos de toda índole siempre que se garantice su funcionalidad en el tope del rango productivo.

En esta monografía se hace una descripción breve de los diferentes equipos eléctricos y sus características intrínsecas y de allí se esbozan los consejos de consideración para el ahorro de energía que es lo mismo que llevar el equipo a un nivel de eficiencia alto y/o utilizar altos estándares en equipos de última generación y acordes a la carga de trabajo a realizar, utilización de las ventajas de la tecnología, etc., posteriormente vamos a los lineamientos de la planeación y específicamente a la planificación eléctrica de mantenimiento y de allí a la integración de conceptos.

Esperamos que este trabajo sea de su agrado y llene las expectativas aquí trazadas.

## **OBJETIVOS**

- ❖ Establecer los métodos y procedimientos efectivos de planeación para conseguir estándares de calidad en el mantenimiento eléctrico de una compañía industrial.
- ❖ Elaboración de un modelo de ahorro energético mediante el uso de técnicas de planeación eléctrica eficientes.
- ❖ Describir los puntos técnicos de las máquinas eléctricas a tener en cuenta para conseguir un ahorro de energía significativo mediante la implementación de técnicas de planeación de mantenimiento eléctrico.

## 2. TERMINOLOGÍA TÉCNICA

- ❖ **Amperio:** Unidad de medida de la corriente eléctrica, que debe su nombre al físico francés André Marie Ampere, y representa el número de cargas (coulombs) por segundo que pasan por un punto de un material conductor. (1Amperio = 1 coulomb/segundo).
- ❖ **Arco Eléctrico:** Es una especie de descarga eléctrica de alta intensidad, la cual se forma entre dos electrodos en presencia de un gas a baja presión o al aire libre. Este fenómeno fue descubierto y demostrado por el químico británico Sir Humphry Davy en 1800.
- ❖ **Bobina:** Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un cilindro sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas.
- ❖ **Central de Generación Eólica:** Es aquella central donde se utiliza la fuerza del viento para mover el eje de los generadores eléctricos. Por lo general puede producir desde 5 hasta 300 kwatts.
- ❖ **Central de Generación Térmica:** Es aquella central donde se utiliza una turbina accionada por vapor de agua inyectado a presión para producir el movimiento del eje de los generadores eléctricos.
- ❖ **Central Hidroeléctrica:** Es aquella central donde se aprovecha la energía producida por la caída del agua para golpear y mover el eje de los generadores eléctricos.

- ❖ **Comercialización:** consiste en la venta, facturación y cobro por el servicio eléctrico prestado a los consumidores finales.
  
- ❖ **Corriente Eléctrica:** Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor; siendo su unidad de medida el amperio. y se representan por la letra I.
  
- ❖ **Corriente Eléctrica Alterna:** El flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente de sentido. Se le denota como corriente A.C. (Altern current) o C.A. (Corriente alterna).
  
- ❖ **Corriente Eléctrica Continua:** El flujo de corriente en un circuito producido siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct current) o C.C. (Corriente continua).
  
- ❖ **Coulomb:** Es la unidad básica de carga del electrón. Su nombre deriva del científico Agustín de Coulomb (1736-1806).
  
- ❖ **Distribución:** incluye el transporte de electricidad de bajo voltaje (generalmente entre 120 Volt. y 34.500Volt) y la actividad de suministro de la electricidad hasta los consumidores finales.
  
- ❖ **Efecto Fotoeléctrico:** Cuando se produce en un material, la liberación de partículas cargadas eléctricamente, debido a la irradiación de luz o de radiación electromagnética. Este fenómeno fue explicado por Albert Einstein en 1905 utilizando el concepto de partícula de luz o fotón.

- ❖ **Electricidad:** Fenómeno físico resultado de la existencia e interacción de cargas eléctricas. Cuando una carga es estática, esta produce fuerzas sobre objetos en regiones adyacentes y cuando se encuentra en movimiento producirá efectos magnéticos.
  
- ❖ **Electroimán:** Es la magnetización de un material, utilizando para ello la electricidad.
  
- ❖ **Energía solar:** Es la energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones de fusión nuclear; esta energía se propaga a través del espacio por las partículas llamadas fotones.
  
- ❖ **Generación de Energía:** comprende la producción de energía eléctrica a través de la transformación de otro tipo de energía (mecánica, química, potencial, eólica, etc.) utilizando para ello las denominadas centrales eléctricas (termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas, nucleares, etc.)
  
- ❖ **Generador:** Dispositivo electromecánico utilizado para convertir energía mecánica en energía eléctrica por medio de la inducción electromagnética.
  
- ❖ **Inducción Electromagnética:** Es la creación de electricidad en un conductor, debido al movimiento de un campo magnético cerca de este o por el movimiento de él en un campo magnético.
  
- ❖ **Kilowatt:** Es un múltiplo de la unidad de medida de la potencia eléctrica y representa 1000 watts.

- ❖ **Ley de Faraday:** "Si un campo magnético variable atraviesa el interior de una espira se obtendrá en esta una corriente eléctrica".
  
- ❖ **Motor eléctrico:** El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra, mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas.
  
- ❖ **Ohmio:** Unidad de medida de la Resistencia Eléctrica. Y equivale a la resistencia al paso de electricidad que produce un material por el cual circula un flujo de corriente de un amperio, cuando está sometido a una diferencia de potencial de un voltio.
  
- ❖ **Resistencia Eléctrica:** Se define como la oposición que ofrece un cuerpo a un flujo de corriente que intente pasar a través de si.
  
- ❖ **Tierra:** Comprende a toda la conexión metálica directa, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones no existan diferencias potenciales peligrosas y que al mismo tiempo permita el paso a tierra de las corrientes de falla o la de descargas de origen atmosférico.
  
- ❖ **Transformador:** Dispositivo utilizado para elevar o reducir el voltaje. Está formado por dos bobinas acopladas magnéticamente entre sí.
  
- ❖ **Transmisión:** comprende la interconexión, transformación y transporte de grandes bloques de electricidad, hacia los centros urbanos de distribución, a través de las redes eléctricas y en niveles de tensión que van desde 115.000 Volts, hasta 800.000 Volt.

- ❖ **Turbina:** Máquina rotativa con la capacidad de convertir la energía cinética de un fluido en energía mecánica. Sus elementos básicos son: rotor con paletas, hélices, palas, etc. Esta energía mecánica sirve para operar generadores eléctricos u otro tipo de máquinas.
  
- ❖ **Voltio:** Es la unidad de fuerza que impulsa a las cargas eléctricas a que puedan moverse a través de un conductor. Su nombre, voltio, es en honor al físico italiano, profesor en Pavia, Alejandro Volta quien descubrió que las reacciones químicas originadas en dos placas de zinc y cobre sumergidas en ácido sulfúrico originaban una fuerza suficiente para producir cargas eléctricas.
  
- ❖ **Watt:** Es la unidad de potencia de un elemento receptor de energía (por ejemplo una radio, un televisor). Es la energía consumida por un elemento y se obtiene de multiplicar voltaje por corriente.

### **3. GENERALIDADES DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS- CLASIFICACIÓN**

Una máquina eléctrica es todo equipo que necesita de la energía eléctrica para producir un trabajo, un servicio o para convertir un tipo de energía en otra; todas las máquinas eléctricas usan este proceso de conversión o transformación de la energía mediante el campo magnético. De esta forma, por ejemplo, si un equipo cualquiera convierte energía eléctrica en energía mecánica estamos hablando de una máquina eléctrica.

La principal clasificación de las máquinas eléctricas se realiza básicamente en tres grandes grupos: los generadores, motores y transformadores; los generadores, como su nombre lo indica, son los que producen, son los que se encargan de convertir energía mecánica en energía eléctrica; los motores se encargan de producir energía eléctrica en energía mecánica. Adicionalmente los transformadores son los que convierten la energía en diferentes niveles de tensión. Existen otras máquinas eléctricas que no entran en las clasificaciones anteriores, pero existen en proporciones más pequeñas tales como los convertidores electromecánicos, los compensadores electromecánicos, amplificadores electromecánicos, etc.; estas últimas clasificaciones en su gran mayoría han sido reemplazados por dispositivos electrónicos debido a los grandes avances en esta materia por tanto no serán objeto de nuestra atención. Vamos a concentrarnos en los más importantes, generadores, motores y transformadores.

### **3.1. CARACTERÍSTICAS NOMINALES DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS**

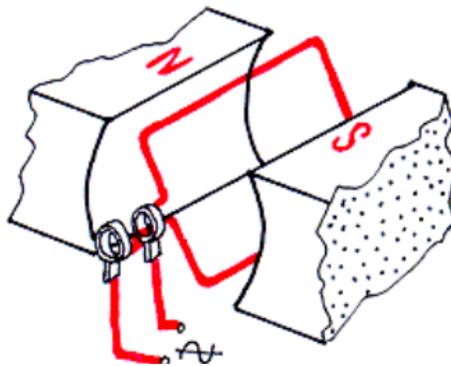
Consideramos importante que antes de entrar de lleno en el estudio de las máquinas eléctricas, es necesario que se conozca o se refresquen los conocimientos acerca de los parámetros de trabajo de las máquinas eléctricas. Estas características hacen mención a los datos de los parámetros bajo los cuales debe trabajar la máquina para obtener los mejores beneficios de ella así como especificar que bajo estas condiciones está diseñado el equipo y por tanto vamos a obtener una mejor vida útil del mismo. Estos datos se encuentran por lo general en la placa característica de cada máquina eléctrica. Los datos más representativos de una máquina eléctrica son los siguientes:

La potencia, tensión, corriente, velocidad, frecuencia de C.A., rendimiento (performance), número de fases, factor de potencia y régimen de funcionamiento (para carga permanente, carga tipo sierra, carga de emergencia). Además, en la placa figura: Nombre del fabricante, año de fabricación, clase de aislamiento, también datos complementarios necesarios para la instalación y mantenimiento (peso, tipo de conexión eléctrica trifásica, otros).

Las máquinas pueden funcionar también en condiciones no nominales (sobrecarga y subcarga, potencia superior o inferior a la nominal, tensión y corriente diferentes del nominal hasta cierto rango de operación), en estas condiciones los índices energéticos también son diferentes del nominal.

### 3.2. GENERADORES

Un generador eléctrico es un sistema que produce energía eléctrica a partir de otra energía primaria utilizando el arreglo físico adecuado y la ayuda del principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831, en el que si un conductor se mueve a través de un campo magnético hecho con imanes permanentes, o si está situado en las proximidades de un circuito de conducción fijo cuya intensidad puede variar, se establece o se induce una corriente en el conductor. La máquina eléctrica más sencilla es la dinamo de disco desarrollada por Faraday, que consiste en un disco de cobre que se monta de tal forma que la parte del disco que se encuentra entre el centro y el borde quede situada entre los polos de un imán de herradura. Cuando el disco gira, se induce una corriente entre el centro del disco y su borde debido a la acción del campo del imán.



**Figura N°1. – Espira de conductor entre un campo magnético**

Haciendo girar una espira en un campo magnético se produce una f.e.m.<sup>1</sup> inducida en sus conductores. La tensión obtenida en el exterior a través de un anillo colector y una escobilla en cada extremo de la espira tiene carácter senoidal. Conectando los extremos de la espira a unos semianillos conductores aislados entre sí, conseguiremos que cada escobilla esté siempre en contacto con la parte de inducido que presenta una determinada polaridad.

### **3.3. MOTORES ELÉCTRICOS**

Un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica, movimiento rotativo y torque, este es el concepto básico de los equipos que en este proyecto trataremos de desarrollar.

Los motores eléctricos a su vez se dividen de acuerdo al tipo de corriente que los energiza.

- ❖ Motores de corriente continúa C.C.
- ❖ Motores de corriente alterna C.A.

---

<sup>1</sup> **F.e.m.:** Fuerza electromotriz, corresponde a la fuerza que se traduce en una diferencia de potencial entre dos puntos dentro de un circuito eléctrico que es atravesado por un campo magnético.

### **3.3.1. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA**

Los motores eléctricos de corriente continua son aquellas máquinas que se diseñan para que funcionen cuando son conectadas a una red eléctrica de alimentación de poder cuya característica más importante es que el flujo de energía no oscila en el tiempo sino que se mantiene constante (DC). Es poco el uso de este tipo de motores debido a las dificultades que presentan la distribución y manejo de la C.C, a pesar de que son muy útiles cuando es necesario variar la velocidad o cambiar el sentido de giro. Por su poco uso no haremos en estudio profundo de su funcionamiento y comportamiento, solo diremos que basa su funcionamiento en la reversibilidad de un generador de C.C. (Dinamo). El movimiento de un conductor o espira dentro de un campo magnético engendra en él una corriente inducida, cuyo sentido depende del que rija el movimiento de la espira. Esto se consigue haciendo girar mecánicamente un campo magnético. Si por el contrario aportamos una corriente continua a un conductor o espira inmersa en un campo magnético, nace en él un movimiento cuyo sentido depende también del sentido del campo y del sentido de la corriente que atraviesa el conductor.

### **3.3.2. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA**

Los motores eléctricos de corriente alterna son aquellas máquinas que se diseñan para que funcionen cuando son conectadas a una red eléctrica de alimentación de poder cuya característica más importante es que el flujo de energía oscilante en el tiempo de manera sinusoidal. Por el fácil manejo de transmisión, distribución y transformación de la C.A, se ha constituido en la corriente con más uso en la sociedad moderna. Es por ello que los

motores de C.A, son los más normales y con el desarrollo tecnológico se ha conseguido un rendimiento altísimo que hace que más del 90 % de los motores instalados sea de C.A.

Los motores de C.A, a su vez se dividen por sus características en:

❖ **Sincrónicos:**

- Trifásico con Colector.
- Trifásico con Anillos.
- Rotor Bobinado.

❖ **Asincrónicos o de Inducción:**

- Trifásico Jaula de Ardilla.
- Monofásico: Condensador, Resistencia.
- Asincrónicos Sincronizados: Serie o Universal.

### **3.3.2.1. MOTOR SINCRÓNICO**

Está fundamentado en la reversibilidad de un alternador. El campo interior de una aguja se orienta de acuerdo a la polaridad que adopta en cada momento el campo giratorio en que se halla inmersa y siempre el polo S de la aguja se enfrenta al polo N cambiante de posición del campo giratorio, la aguja sigue cambiando con la misma velocidad con que lo hace el campo giratorio. Se produce un perfecto sincronismo entre la velocidad de giro del campo y la de la aguja.

Si tomamos un estator de doce ranuras y lo alimentamos con corriente trifásica, se creará un campo giratorio. Si al mismo tiempo a las bobinas del rotor le aplicamos una C.C, girará hasta llegar a sincronizarse con la velocidad del campo giratorio, de tal manera que se

enfrentan simultáneamente polos de signos diferentes, este motor no puede girar a velocidades superiores a las de sincronismo, de tal forma que será un motor de velocidad constante. La velocidad del campo y la del rotor, dependerán del número de pares de polos magnéticos que tenga la corriente. Un motor de doce ranuras producirá un solo par de polos y a una frecuencia de 60 Hz, girará a 3600 R.P.M.

Como se verá el principal inconveniente que presenta los motores sincrónicos, es que necesitan una C.C. para la excitación de las bobinas del rotor, pero en grandes instalaciones (Siderúrgicas), el avance de corriente que produce el motor sincrónico compensa parcialmente el retraso que determinan los motores asincrónicos, mejorando con ello el factor de potencia general de la instalación, es decir, el motor produce sobre la red el mismo efecto que un banco de condensadores, el mismo aprovechamiento de esta propiedad, es la mayor ventaja del motor sincrónico.

### **3.3.2.2. MOTORES ASINCRÓNICOS O DE INDUCCIÓN**

Son los de mayor uso en la industria, por lo tanto son los que mayor análisis merecen. Cuando aplicamos una corriente alterna a un estator, se produce un campo magnético giratorio, este campo de acuerdo a las leyes de inducción electromagnéticas, induce corriente en las bobinas del rotor y estas producen otro campo magnético opuesto según la ley de Lenz y que por lo mismo tiende a seguirlo en su rotación de tal forma que el rotor empieza a girar con tendencia a igualar la velocidad del campo magnético giratorio, sin que ello llegue a producirse. Si sucediera, dejaría de producirse la variación de flujo indispensable para la inducción de corriente en la bobina del inducido.

A medida que se vaya haciéndose mayor la diferencia entre la velocidad de giro del campo y la del rotor, las corrientes inducidas en él y por lo tanto su propio campo, irán en aumento gracias a la composición de ambos campos se consigue una velocidad

estacionaria. En los motores asincrónicos nunca se alcanza la velocidad del sincronismo, los bobinados del rotor cortan siempre el flujo giratorio del campo inductor.

### **3.3.2.3. MOTORES ASINCRÓNICOS, JAULA DE ARDILLA**

Es sin duda el más común de todos los motores eléctricos, por su sencillez y forma constructiva. Elimina el devanado en el rotor o inducido. Las planchas magnéticas forman el núcleo del rotor, una vez ensambladas dejan unos espacios cilíndricos que sustituyen a las ranuras de los rotores bobinados, por estas ranuras pasan unas barras de cobre (o aluminio) que sobresalen ligeramente del núcleo, estas barras o conductores están unidos en ambos lados por unos anillos de cobre. Se denomina Jaula de Ardilla por la similitud que tiene con una jaula. En los motores de jaula de pequeña potencia, las barras son reemplazadas por aluminio inyectado igual que los anillos de cierre, a los que se les agregan unas aletas que actúan a su vez en forma de ventilador.

Las ranuras o barras pueden tener diferentes formas y lo que se pretende con ello es mejorar el rendimiento del motor, especialmente reducir las corrientes elevadas que producen los motores de jaula en el momento de arranque.

Cuando el inducido está parado y conectamos el estator tienen la misma frecuencia que la que podemos medir en la línea, por lo tanto, la autoinducción en el rotor será muy elevada, lo que motiva una reactancia inductiva que es mayor donde mayor es el campo. De la manipulación de las ranuras y en consecuencia las barras dependerán que las corrientes sean más o menos elevadas, lo que en definitiva es el mayor problema de los motores de jaula.

## 4. PÉRDIDAS EN EQUIPOS ELÉCTRICOS

Las pérdidas de potencia en las máquinas eléctricas rotativas son muy importantes por los tres siguientes aspectos, las pérdidas determinan el rendimiento de la máquina e influyen apreciablemente en el costo del servicio; producen calentamiento, determinando con ello la potencia nominal que puede obtenerse de la máquina sin lograr deteriorar aislamiento de los devanados y también debe tenerse en cuenta que estas pérdidas determinan caídas de tensión que deben ser cubiertas por la corriente con el fin de mantener el rendimiento de dicha máquina.

Y el rendimiento de una máquina cualquiera viene definido por la ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

También puede ser expresado:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Entrada} - \text{Pérdidas}}{\text{Entrada}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida}}{\text{Salida} + \text{Pérdidas}}$$

Para calcular las pérdidas es común utilizar las dos expresiones ya que es más normal medir las pérdidas que medir directamente las potencias de entrada y salida en la carga. La medición de las pérdidas es más conveniente y económica y dá resultados más precisos para calcular el rendimiento, ya que un determinado porcentaje de error en su medición solo repercutirá en su décima parte sobre el error resultante en el rendimiento calculado.

De acuerdo a la American National Standards Association (ANSI), se han definido las siguientes tipos de pérdidas para las máquinas rotativas, como las más importantes y significativas de mayor a menor:

- ❖ **Pérdidas en el cobre:** Se originan naturalmente en los devanados de la máquina, por convención estas pérdidas se determinan basándose en la resistencia de los devanados a 75°C, si bien en la realidad dependen de la resistencia efectiva en las condiciones normales de frecuencia y de flujo. En los circuitos inductores de las máquinas síncronas y de corriente continua, únicamente se atribuyen a la propia máquina es solo una parte aquí las pérdidas en el devanado, mientras que las que se producen en los reóstatos de regulación del campo o en los equipos complementarios, se cargan al conjunto es solo una parte.
- ❖ **Pérdidas mecánicas:** debidas al rozamiento en escobillas y cojinetes, a la resistencia del aire con la potencia necesaria para hacer circular el aire a través de un sistema de refrigeración.
- ❖ **Pérdidas en el núcleo:** debidas a las histéresis y a las corrientes parásitas originadas por variaciones de la densidad de flujo magnético en el hierro, cuando éste se excita con el devanado principal.
- ❖ **Pérdidas adicionales:** comprendidas por la distribución no uniforme de la corriente en los conductores, las adicionales en el núcleo por las distorsiones propias del equipo cuando está con carga; estas pérdidas son bastante difíciles de cuantificar pero para efectos de simplificación se ha determinado que rondan el 1% de la potencia suministrada.

En términos generales se puede decir que las pérdidas de potencia en los equipos eléctricos está determinada por las condiciones de la máquina intrínsecamente hablando, también va a depender de las condiciones de calidad de la energía de la fuente, de las condiciones de la carga y acople, de la calidad de los materiales constructivos, del diseño mismo y obviamente del grado de incidencia del medio ambiente en el cual opera (caliente o fresco – limpio o sucio).

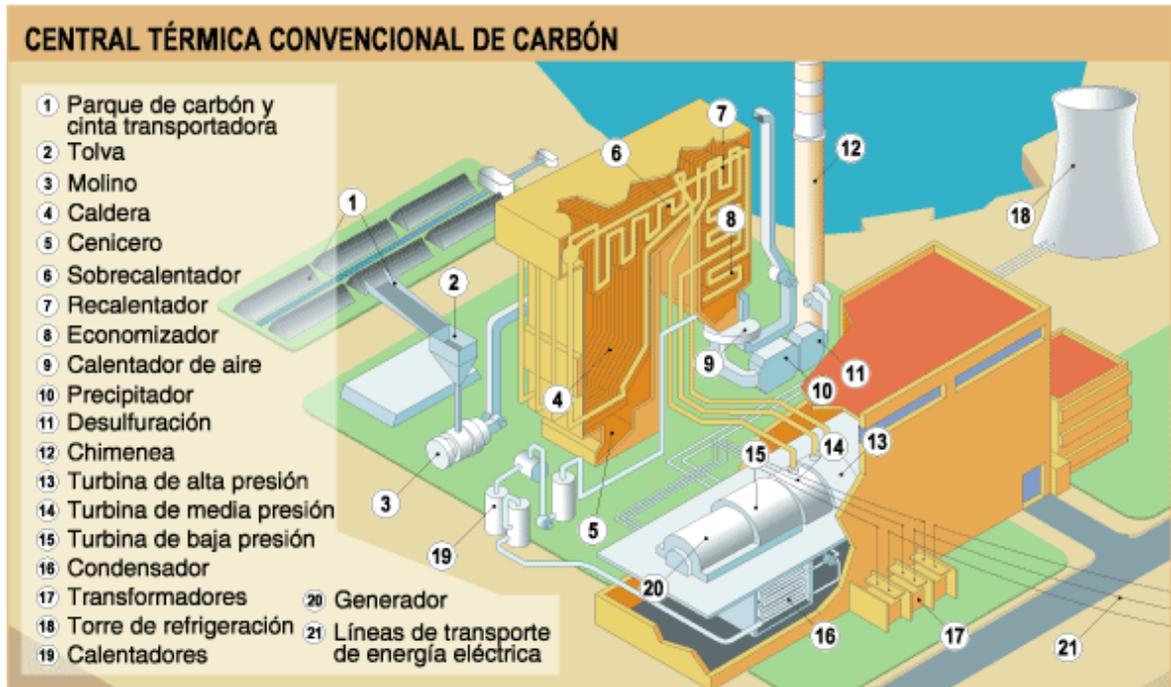
#### **4.1. FORMAS Y GENERALIDADES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA**

La energía eléctrica que aprovechan los distintos usuarios está sujeta a una serie de etapas, de carácter técnico económico, que pueden resumirse en: producción o generación, transformación en sus distintas etapas, transmisión, distribución y

Comercialización. La producción de energía realizada en las o Centrales Eléctricas, las clasificamos en dos grandes grupos: Producción Térmica e Hidráulica de energía eléctrica. En ambos casos se transforma una energía potencial (química o gravitatoria) en energía eléctrica. Pasamos a darlas características de cada una de los tipos de centrales:

**4.1.1. CENTRALES TÉRMICAS:** El plazo de ejecución de este tipo de central es relativamente bajo, pudiendo estimarse entre dos y tres años, la vida útil de las instalaciones oscila alrededor de los 20 ó 25 años. Poseen la ventaja de poderse ubicar normalmente cerca de los centros de consumo, lo que trae aparejado una disminución muy considerable de costos, por reducción de la longitud de las líneas de transmisión de energía. Tiene un elevado costo de explotación, por el consumo de combustible y además su costo de mantenimiento también es elevado. El costo de inversión, es sustancialmente menor que el de las Centrales Hidroeléctricas, pudiendo afirmarse que en líneas generales

que resulta ser la tercera parte. El período de construcción es menor sustancialmente que el de las hidroeléctricas. Deben ubicarse cerca de ríos que permitan el abastecimiento del agua de refrigeración.



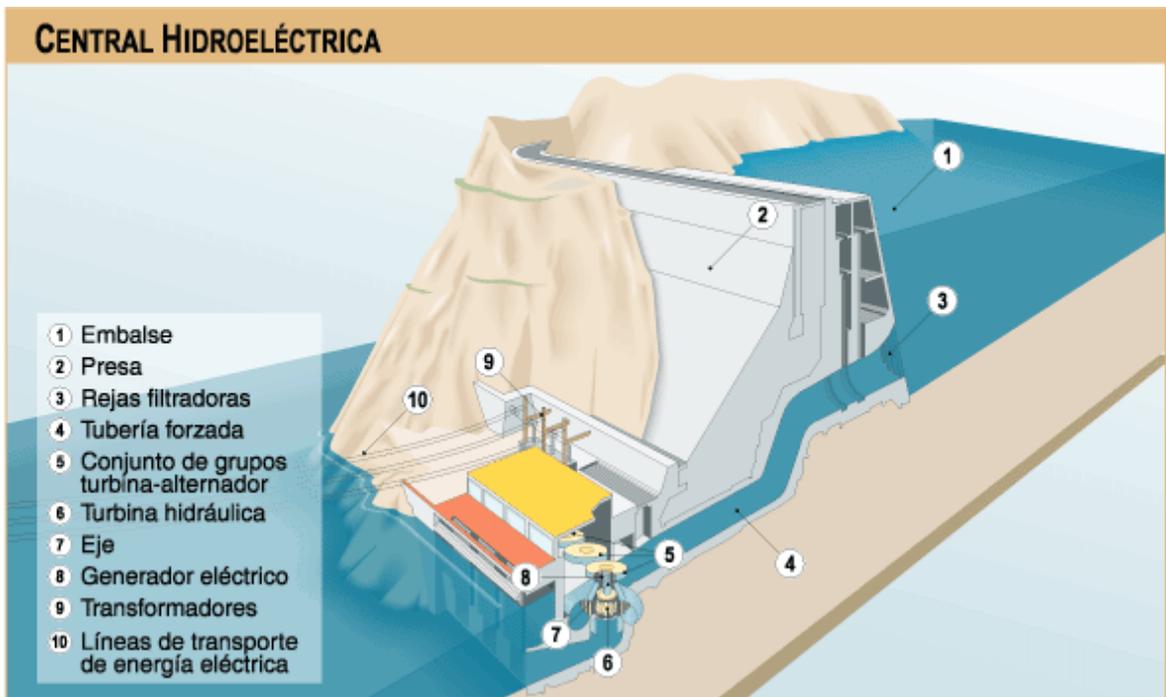
**Figura N°2. – Diagrama de una central térmica convencional.**

Una central térmica produce energía eléctrica a partir de la combustión de carbón, fuel-oil o gas en una caldera diseñada al efecto. El funcionamiento de todas las centrales térmicas, o termoeléctricas, es semejante. El combustible se almacena en parques o depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la central, pasando a la caldera, en la que se provoca la combustión. Esta última genera el vapor a partir del agua que circula por una extensa red de tubos que tapizan las paredes de la caldera. El vapor hace girar los álabes de la turbina, cuyo eje rotor gira solidariamente con el de un generador que produce la energía eléctrica; esta energía se transporta mediante líneas de alta tensión a los centros de consumo. Por su parte, el vapor es enfriado en un condensador y

convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, comenzando un nuevo ciclo.

La última generación de térmicas son las GICC, Gasificación de Carbón Integrada en Ciclo Combinado, que parten de una tecnología con la que se consiguen gases combustibles a partir de la gasificación del carbón con una inyección de oxígeno. El gas combustible obtenido se depura y pasa a una turbina en cuyo alternador asociado se produce energía eléctrica, como en el ciclo de una térmica convencional.

**4.1.2. CENTRALES HIDRÁULICAS:** En contraposición con lo precedentemente expresado, las centrales hidroeléctricas, se caracterizan por: elevado período de construcción alrededor de los 6 años, con un gran costo de inversión inicial, por la gran envergadura de las obras hidráulicas (dique, canales, etc.,) que se deben realizar; su vida útil es sustancialmente superior, alrededor de los 40 años, su gasto de explotación es mínimo dado que no consume combustible. Se encuentran condicionadas en potencias, a las condiciones naturales del aprovechamiento, es decir al salto y caudal, en cambio la potencia de las Centrales Térmicas, prácticamente no tiene limitación. Normalmente se encuentran ubicadas lejos de los grandes centros de consumo, lo que exige una ejecución de grandes sistemas de transmisión que abultan la inversión inicial. Debemos hacer resaltar que además de generarse energía con un aprovechamiento se regula el río, optimizando el riego, se evitan crecidas y se asegura el agua potable y de uso industrial.



**Figura N°3. - Diagrama de una central hidroeléctrica convencional.**

**4.1.3. CENTRALES DE GRUPO ELECTRÓGENO:** Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna. Es comúnmente utilizado cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar, o cuando hay corte en el suministro eléctrico y es necesario mantener la actividad. Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica, generalmente son zonas agrícolas con pocas infraestructuras o viviendas aisladas. Otro caso es en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que, a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse en caso de emergencia.

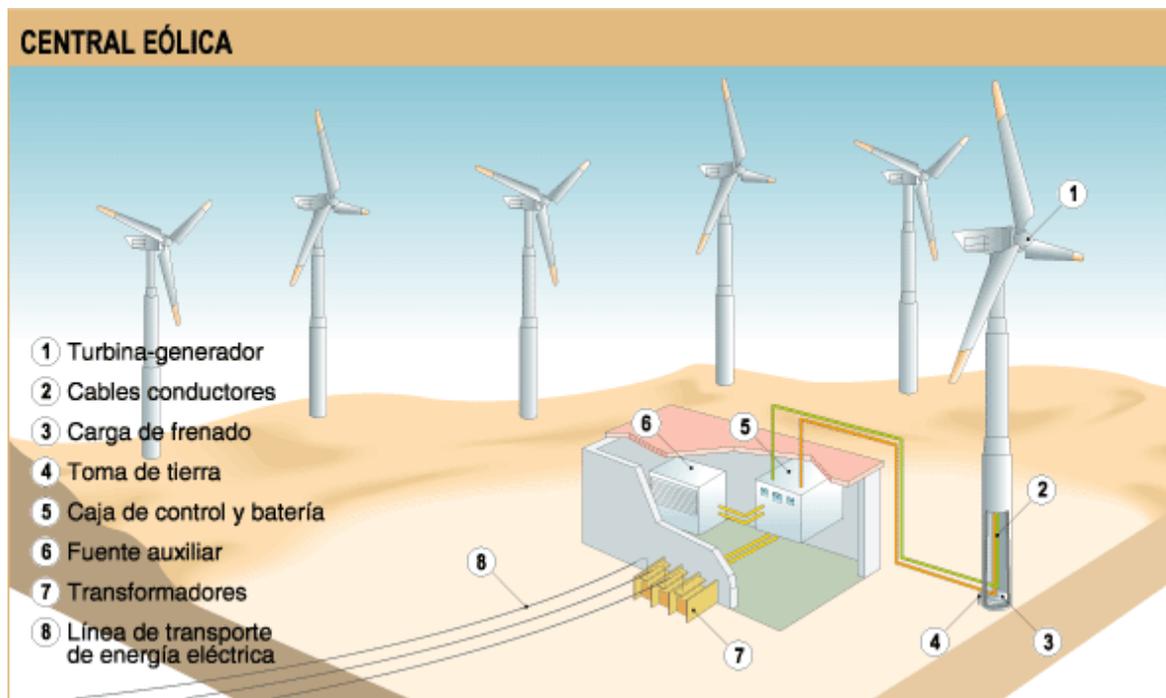


**Figura N°4. - Diagrama de una central tipo grupo electrógeno.**

**4.1.4. CENTRALES NO CONVENCIONALES:** Los sistemas de generación de energía llamados no convencionales se denominan de esta forma debido a que utilizan fuentes y metodologías de aprovechamiento energético diferentes a las expuestas anteriormente y que por su naturaleza y sistemas utilizados, corresponden a porcentajes y volúmenes de generación mucho menores de los expuestos anteriormente. Estos sistemas se conforman en:

- ❖ **Energía eólica:** Es la energía eléctrica aprovechada del movimiento natural del aire y los vientos que en muchas regiones del globo mantienen un

régimen semipermanente durante una proporción aceptablemente alta o constante a lo largo de un año. Se utilizan entonces unos “molinos” de viento, generalmente localizados en sitios con pocos habitantes, estos dispositivos son diseñados de tal manera que se aproveche la mayor cantidad de viento por lo que se construyen con materiales de última generación con énfasis en su poco peso, alta dureza y alta resistividad a los embates climáticos. Estas aspas son acopladas a un generador eléctrico mediante una caja mecánica. Generalmente este tipo de generación es realizada en arreglos de muchas unidades de generación con el fin de aprovechar el mismo viento varias veces.



**Figura N°5. - Diagrama de una central eólica.**

❖ **Energía solar:** Resulta de aprovechar la energía lumínica y calórica del sol a través de dos maneras, la primera es utilizando paneles solares modulares de absorción de energía, estos paneles convierten la energía lumínica del sol en energía eléctrica que se puede almacenar en bancos de baterías y posteriormente transformar al nivel de voltaje y el tipo de energía requeridas, este sistema es llamado fotovoltaico; la segunda manera es la utilización de la luz y calor solar reflejados a partir de pantallas o espejos localizados adecuadamente para coincidir en un punto específico en el que se calienta agua y se produce vapor de agua que luego mueve una turbina y ésta a su vez un generador, este sistema es llamado solar térmico.

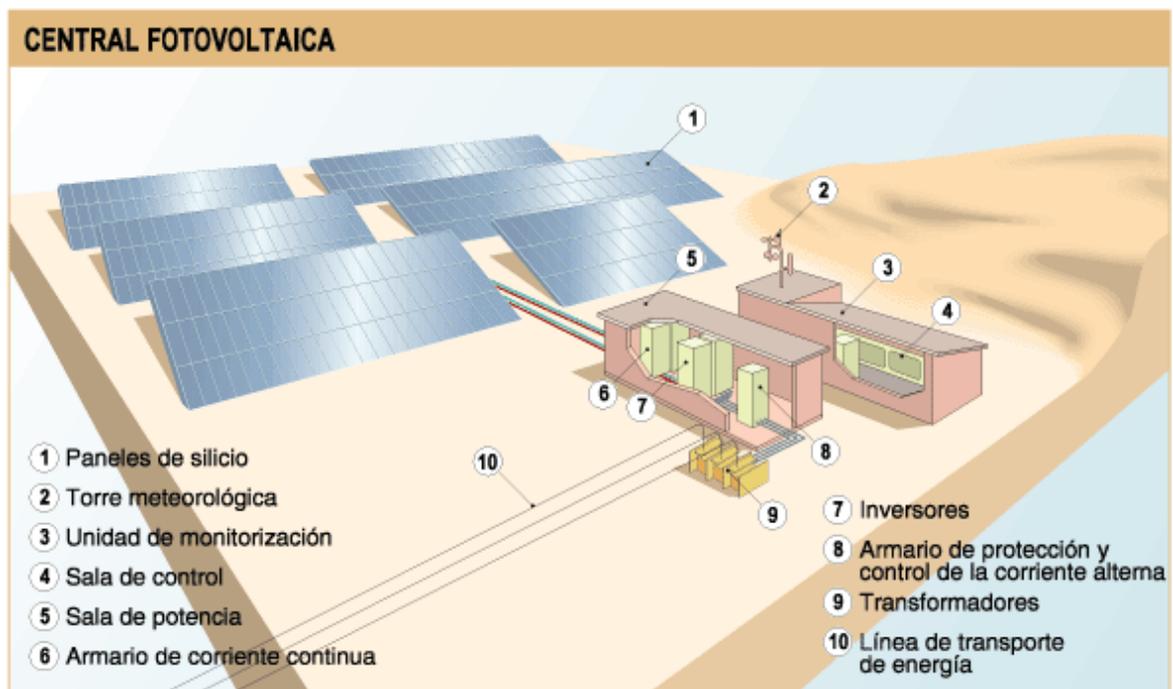
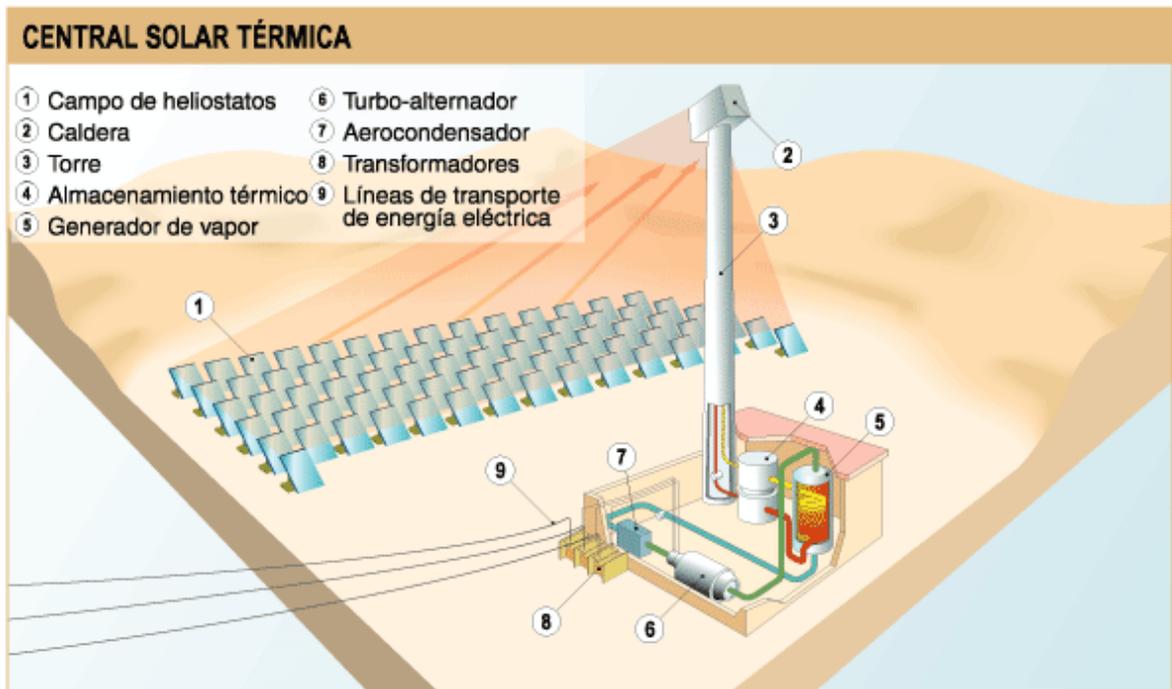


Figura N°6. - Diagrama de una central solar con paneles fotovoltaicos.



**Figura N°7. - Diagrama de una central solar con espejos reflectores.**

- ❖ Otros sistemas son a través del aprovechamiento de las mareas o mareomotriz, con aprovechamiento de la biomasa, la energía calórica del interior de la tierra se conoce como geotérmica y el biogás también se usa en buena forma para la generación alternativa.

#### **4.1.5. PERDIDAS EN LA GENERACIÓN – BÚSQUEDA DE LA EFICIENCIA**

Un generador tiene dos bornes o polos (+ y -) entre los que existe una diferencia de potencial que se mide en Voltios, y esta diferencia de potencial es la que produce la circulación de las cargas. Por definición, la diferencia de potencial (voltios), es la energía (julios), comunicada por el generador, a cada unidad de carga (culombios), que pasa por él.

$$V=W/Q$$

Así un voltio es la diferencia de potencial de un generador que comunica un julio a cada culombio que pasa por él. Todos los generadores tienen, aparte de las cargas exteriores a que se conecten o no, una resistencia interna, que deben también atravesar las cargas y disipar la correspondiente energía, energía que se pierde en calor dentro del generador.

Cuando un generador funciona en vacío, o sea sin cargas exteriores, existe una diferencia de potencial en bornes (que es la máxima que puede producir) y que se llama fuerza electromotriz. A medida que se va cargando el generador, baja la diferencia de potencial en sus bornes, llegando a poder anularse (cortocircuito en bornes). Así pues, la resistencia interna  $r$  y la fuerza electromotriz  $E$  son dos características intrínsecas de un generador. A menor resistencia interna para igualdad de fuerza electromotriz, mayor potencia será capaz de entregar un generador. Si la Intensidad que suministra un generador es  $I$ , y su resistencia interna  $r$ , la potencia  $rI^2$  se disipa internamente en el generador.

La diferencia de potencial en bornes de un generador solo coincide con la fuerza electromotriz del mismo, cuando está en vacío. Por tanto, la resistencia interna de

un generador es un componente intrínseco del circuito que debe tenerse en cuenta a la hora del cálculo, (salvo que la resistencia exterior, sea muy superior a la del generador, y por tanto, la carga del generador, pequeña respecto a la capacidad de este). Así pues, la Fuerza Electromotriz del generador se invierte en los receptores exteriores, en los conductores de conexión, y en su resistencia interna.

#### **4.1.5.1. MÁXIMA POTENCIA SUMINISTRABLE POR UN GENERADOR**

La máxima potencia que es capaz de entregar un generador a un receptor exterior es cuando la resistencia interna del generador es igual a la resistencia del receptor. Una fuente de tensión ideal o generador ideal, es aquella que la diferencia de potencial en bornes es siempre constante, e independiente de la carga. Así la fuerza electromotriz del mismo coincide siempre con la diferencia de potencial en bornes, y su resistencia interna es nula. Obviamente estas fuentes no existen pero se pueden considerar como tales los generadores reales, cuando la carga conectada a ellos consume una potencia despreciable frente a la potencia que es capaz de suministrar ese generador.

Ya entendidos que la mayor eficiencia de un generador eléctrico se presenta cuando se aprovecha la mayor cantidad posible de energía cinética y a su vez convertirla en energía eléctrica, debemos resaltar que son muy importantes las siguientes premisas para conseguir altas eficiencias en este renglón:

- ❖ Las mayores pérdidas del generador están en la resistividad de los devanados a manera de calor llamado Efecto Joule, donde la potencia

perdida equivale al valor de la resistencia del devanado multiplicado por la corriente que le atraviesa elevada al cuadrado:  $P=R.I^2$ , por esta razón se hace necesario que se usen devanados de cobre o aleaciones de cobre ya que este metal es el que tiene menor resistividad ( $\text{ohm}/\text{mm}^2$ ).

- ❖ Las otras pérdidas importantes son las asociadas al rozamiento mecánico, que en resumen se encuentran en los rodamientos, anillos rozantes y tiene mucho que ver la inercia que tiene el equipo para vencer el estado de reposo inicial (esto último para el caso de los aerogeneradores). Para esto hay algunos avances tecnológicos referentes a nuevas tecnologías de alternadores eléctricos "secuenciales", que van activando bobinas del generador cuando la velocidad del viento va en aumento, hasta conseguir la velocidad de régimen, así la eficiencia siempre se mantiene niveles altos.
- ❖ El uso de tecnologías y materiales de punta en los diseños de los generadores, siempre en busca de la máxima eficiencia son premisas básicas para la selección del generador adecuado para su utilidad. En este campo se han visto realmente avances tecnológicos significativos en las micro centrales eólicas de energía, donde las opciones son muy interesantes.

#### **4.1.5.2. NOTAS ESPECIALES**

Los inversionistas públicos y privados siguen ampliando la generación de energía eléctrica a través de la construcción de plantas que utilizan combustibles fósiles. Sin embargo, quemar combustibles fósiles para producir energía es una de las fuentes principales de la

emisión de gases de efecto invernadero. Afortunadamente, la inversión privada en fuentes renovables y eficientes de energía también está en aumento. Las fuentes de energía renovable tales como la eólica, hidroeléctrica, solar, de biomasa, geotérmica y otras producen energía sin emisiones o con emisiones escasas de gases de efecto invernadero, mientras que los proyectos de energía eficiente evitan la emisión de gases de efecto invernadero a través de la conservación de energía. Los demás beneficios comprenden la reducción local de la contaminación del aire, mejora de la seguridad de energía, aumento de la eficiencia y de la competitividad de la producción industrial y el uso rentable de desechos agrícolas como combustible. Los proyectos de energía renovable y eficiente son relativamente pequeños y se pueden implementar y ampliar rápidamente en entornos receptivos, lo cual brinda tasas de rendimiento competitivas a los inversionistas privados. La ampliación de los sectores de energía renovable y eficiente será crítica para el logro de los objetivos mundiales; sin embargo, ciertos obstáculos impiden la inversión privada en estos sectores. Entre dichos obstáculos se encuentran los altos costos y los riesgos que conlleva la inversión en proyectos pequeños, la falta de experiencia con estas tecnologías y estructuras de proyecto, la mala solvencia crediticia o los perfiles de riesgo poco conocidos de los encargados de implementar los proyectos, la carencia de financiamiento adecuado y otros riesgos y limitaciones económicas y financieras, tales como la convertibilidad monetaria, devaluación, impuestos altos, dificultades administrativas y precios subsidiados de la energía.

#### **4.2. PÉRDIDAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

Los sistemas de transmisión esencialmente constan de los siguientes elementos:

- ❖ Estaciones transformadoras elevadoras.
- ❖ Líneas de transmisión.
- ❖ Estaciones de maniobra.
- ❖ Estaciones transformadoras reductoras.

Hoy en día, para el transporte de grandes potencias se usan universalmente los sistemas de corriente alterna. Se ha llegado a ello como consecuencia de la simplicidad de los grandes generadores y transformadores de corriente alterna. La tensión de transmisión puede ser adaptada a las necesidades del servicio con mayor sencillez y economía que en caso de sistemas de corriente continua.

El sistema de uso más general en la actualidad es el trifásico. Los sistemas monofásicos solo se usan en ferrocarriles. Los sistemas de transmisión a alta tensión en corriente continua (sistema Thury) fueron usados en Europa desde 1890 hasta 1937.

#### **4.2.1. SISTEMAS TRIFÁSICOS**

Se emplean de modo casi exclusivo para la transmisión de energía, gracias a su simplicidad y al mayor rendimiento de los conductores respecto a los demás sistemas de corriente alterna.

#### **4.2.2. SISTEMAS MONOFÁSICOS**

Estos sistemas no pueden, en general, competir con los sistemas trifásicos para la transmisión de energía y se usan tan solo para aplicaciones especiales. La más importante de ellas es la de los grandes ferrocarriles; si se tiene en cuenta el coste del conjunto del equipo, la transmisión monofásica resulta ser la más económica.

### **4.2.3. SISTEMAS DE ALTA TENSIÓN DE CORRIENTE CONTINUA**

Estos sistemas permiten reducir la tensión, en comparación con los sistemas trifásicos, como puede deducirse del peso relativo de conductor para una tensión máxima dada.

Los métodos para conseguir grandes potencias a tensiones elevadas en corriente continua no han progresado al mismo ritmo que los adelantos en corriente alterna ya que se debe considerar el hecho que se requiere una inversión inicial más alta de las convencionales y hoy día, casi no existen sistemas comerciales de alta tensión en corriente continua; no obstante en china actualmente ya existen líneas de este tipo con excelentes datos de pérdidas tomando en cuenta que las tecnologías de semiconductores de gran potencia ya lo permite.

### **4.2.4. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS**

La elección de tensión es generalmente tema propio del proyecto del sistema, ya que el costo de la línea de transmisión es solamente uno de los muchos factores de importancia a considerar. En líneas importantes, la elección se hace mejor mediante presupuestos comparativos y tanteos respecto a una determinada serie de aspectos que incluyen la totalidad del equipo, prestando la debida atención a las tensiones existentes, a las cargas futuras, a las interconexiones y la intercambiabilidad del equipo. Tales comparaciones resultan muy laboriosas, y justifican un programa cuidadosamente planeado. La elección de la tensión queda

generalmente limitada dentro de márgenes relativamente pequeños por la necesidad de conseguir una regulación satisfactoria sin prodigar excesivamente el equipo regulador. Esto depende en gran escala del número de Kilowatts que deben ser transmitidos a un número determinado de kilómetros. En general, dentro unos límites dados de tensión, con la misma calidad de construcción, el costo de la línea sola disminuye ligeramente al aumentar la tensión. Esto es debido a la reducción conseguida en el peso del conductor, que es generalmente el factor más importante, aunque aumente el costo del aislamiento por aumento de tensión. Sin embargo, diversas consideraciones, tales como el efecto corona y la resistencia mecánica, pueden alterar esta conclusión teórica. El costo de la línea, sin incluir el equipo de sus extremos, no es, pues, una guía segura. Una parte del mayor costo de las líneas de tensiones más elevadas, especialmente si se consideran tensiones muy diferentes, se debe a la mejor calidad de construcción y mejor servicio, que generalmente acompañan (y con razón suelen exigirse) a las tensiones más elevadas.

#### ***4.2.4.1. ECONOMÍA DE LOS CONDUCTORES***

El conductor más económico se determina por tanteo sobre diversas secciones, y es aquel para el cual resulta mínima la suma del costo anual de las pérdidas de energía y de las cargas financieras anuales. Tal comparación, efectuada para condiciones fijas, es decir, para un determinado valor y carácter de la carga, tipo de construcción, distancia de transmisión y tensión, puede incluir todos los costos sin tener en cuenta lo poco o mucho que tales costos estén afectando por la sección del conductor. Pero si la sección del conductor más económica se determina mediante fórmulas como las que se indican en el párrafo siguiente, es

necesario que todos los costos afectados por la sección del conductor estén incluidos en P, costo por unidad de peso.

Puede obtenerse una aproximación útil de la sección del conductor más económico mediante las siguientes fórmulas, en las cuales el costo total, incluyendo la erección y montaje y las variaciones en el costo de las estructuras, está incluido en costo por unidad de peso de conductor. Así expresado, el costo anual total de conductor puede expresarse en una ecuación la cual

**C = Costo por kilowatt-año de energía perdida;**

**r = resistencia por unidad de longitud;**

**I = intensidad de la corriente;**

**p = costo por unidad de peso de conductor;**

**a = tanto por ciento de interés y amortización;**

**w = peso de la unidad de longitud de conductor.**

$$\text{El costo total anual es} = \frac{C I^2}{1.000} + p \cdot w \frac{a}{100}$$

El conductor más económico para una carga dada transmitirá, en condiciones normales, una carga mayor con un mayor costo anual pero a un menor costo por kilowatt (con tal que no sea necesario añadir equipo de regulación). Generalmente no es necesaria gran precisión al hacer los cálculos económicos de conductores, ya que es difícil prever las necesidades futuras, y el mejor conductor será, en realidad, el que resulte según la curva de cargas durante la totalidad de la vida útil de la línea.

#### 4.2.5. FACTORES DE INCIDENCIA EN PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN REDES ELÉCTRICAS

Las pérdidas se clasifican en dos tipos: **técnicas y no técnicas**

Las **pérdidas técnicas** se definen como la potencia que consumen o pierden los dispositivos eléctricos en la misma red de generación o distribución, y que se puede atribuir a su misma naturaleza o a fallas de funcionamiento; por ejemplo, un transformador eléctrico tiene una potencia de entrada diferente a la potencia de salida, y esa diferencia es la potencia que consumen sus propios componentes.

Las **pérdidas no técnicas** se clasifican en tres tipos: las accidentales tienen su origen en el mal uso u operación de los elementos y equipos de los circuitos eléctricos, como es el caso de una conexión errónea; las administrativas se refieren a la energía eléctrica que por algún motivo operativo no se contabiliza o factura; las fraudulentas se refieren a la energía que utilizan los consumidores a través de tomas directas o alterando los medidores para que registren un consumo diferente al efectivamente realizado.

En el caso de las pérdidas técnicas es posible tener control y supervisión a través de prácticas operativas y procedimientos de diseños automatizados para el dimensionamiento óptimo de los circuitos eléctricos. Es decir que las pérdidas de este tipo se pueden identificar, controlar y reducir a índices muy bajos, compatibles con el nivel de la tecnología disponible. Las que en cambio representan un problema estructural son las pérdidas no técnicas, particularmente las de tipo fraudulento atribuidas a consumidores deshonestos que roban la energía eléctrica.

#### **4.2.6. DISMINUCIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN**

Con el paso de los años se han venido puliendo diversas técnicas para hacer mas eficientes los diferentes medios de transmisión y distribución de energía a través de las líneas aéreas, algunas de las cuales las nombramos a continuación:

- ❖ Buen diseño, esto incluye el trazado, los materiales, las torres, diámetro del conductor, cálculos adecuados, etc., tratando de prever necesidades futuras.
- ❖ Puntos de generación distribuidos inteligentemente en la red dependiendo de los puntos de consumo y disposición de la red.
- ❖ Manejar adecuadamente la variabilidad de las líneas, buscando aprovechar siempre al máximo la red sin sobrecargarla.
- ❖ Manejo adecuado de los parámetros de calidad de energía de la red como tensión regulación, frecuencia, factor de potencia.
- ❖ Manejo integrado como un sistema inteligente (Smart grids), el cual basado en modelos de probabilidad matemática y operación inteligente del sistema, pueda ejercer un control integrado del sistema valorando cada uno de los factores, equipos y situaciones que se puedan presentar para realizar los ajustes necesarios en el tiempo adecuado de antelación para garantizar la normal operación del sistema con el mínimo posible de problemas de suministro de energía.

### **4.3. PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES**

El cálculo de las pérdidas en los transformadores ha sido siempre un tema de interés en el sector industrial, mas que nada para quienes tienen a su cargo el diseño de estas maquinas y para quienes las operan cuando estas realizan su función, con el fin de obtener de ellas siempre la mayor eficiencia en el momento de su eficiencia en el momento de su funcionamiento bajo determinadas condiciones.

Los transformadores pueden ser en general maquinas monofásicas o trifásicas fijas (no rotativas) que transforman los niveles de tensión en valores superiores (elevadores) o inferiores (reductores) de tensión según lo requiera el sistema industrial. Estos aparatos de potencia son las máquinas eléctricas de mayor eficiencia con un promedio del 95% aproximadamente. El 5% restante se reparte en las diferentes pérdidas que se producen en el transformador.

#### ***4.3.1. PÉRDIDAS DE POTENCIA***

En un transformador eléctrico, al igual que en todas las máquinas eléctricas, hay pérdidas de potencia. Por tratarse de una máquina estática, no existen pérdidas de potencia de origen mecánico en un transformador y éstas se reducen a las del hierro del circuito magnético y las del cobre de los bobinados.

### ❖ ***Pérdidas en el hierro (PH):***

La potencia pérdida en el hierro del circuito magnético de un transformador puede ser medida la prueba de vacío. Se alimenta el transformador al vacío, la potencia absorbida en ese momento corresponde exactamente a las pérdidas en el hierro. En efecto por ser nula la intensidad de corriente en el bobinado secundario no aparecen en la pérdida de potencia. Por consiguiente se puede afirmar que el total de la potencia absorbida por un transformador funcionando al vacío bajo a voltaje nominal, representa el valor de la potencia pérdida en el hierro del circuito magnético. Dichas pérdidas son causadas por el fenómeno de histéresis y por las corrientes de Foucault, las cuales dependen del voltaje de la red, de la frecuencia y de la inductancia a que está sometido el circuito magnético. La potencia pérdida en el núcleo permanece constante, ya sea en vacío o con carga.

### ❖ ***Pérdidas en el cobre (PC):***

Es la suma de las potencias pérdidas en los bobinados de un transformador, funcionando bajo carga nominal. El valor de esta potencia depende de la intensidad de corriente tanto en el bobinado primario como en el secundario, la cual varía mucho desde el funcionamiento en vacío a plena carga.

La variación del valor de la potencia pérdida en el cobre es proporcional al cuadrado de la intensidades de corriente de carga y a la resistencia de los bobinados.

$$P_{cu} = I_1^2 \times r_1 + I_2^2 \times r_2$$

**Donde:**

**$P_{cu}$  = Pérdidas en los bobinados del transformador.**

**$I_1$  = Intensidad en el bobinado primario.**

**$I_2$  = Intensidad en el bobinado secundario.**

**$r_1$  = Resistencia del bobinado primario.**

**$r_2$  = Resistencia del bobinado secundario.**

#### **4.4. PÉRDIDAS EN MOTORES**

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia:

$$P_1 = m_1 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1$$

Parte de la  $P_1$  se consume (disipa) en la resistencia  $R$  del devanado del estator ocasionando una pérdida eléctrica  $\Delta P_{el}$ , así como una pérdida magnética en el campo del estator  $\Delta P_{mag}$ , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor  $\Delta P_{el2}$  en su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{el\text{mag}} - \Delta P_{el2}$$

En las máquinas de anillos rozantes, además se tienen pérdidas en las escobillas de contacto, las cuales se añades a la pérdida  $\Delta P_{el2}$ . La potencia mecánica obtenida en el árbol del eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia  $P_2$  :

$$P_2 = P_{mec} - \Delta P_{fric} - \Delta P_{adic}$$

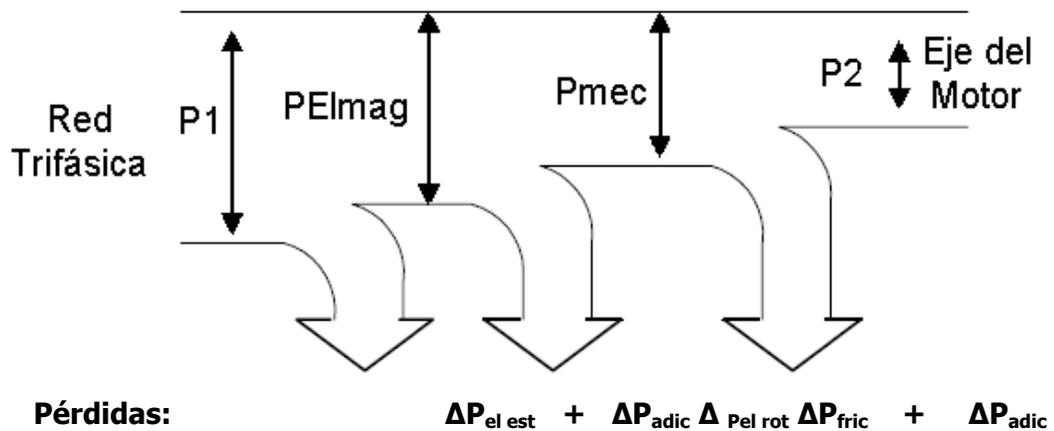
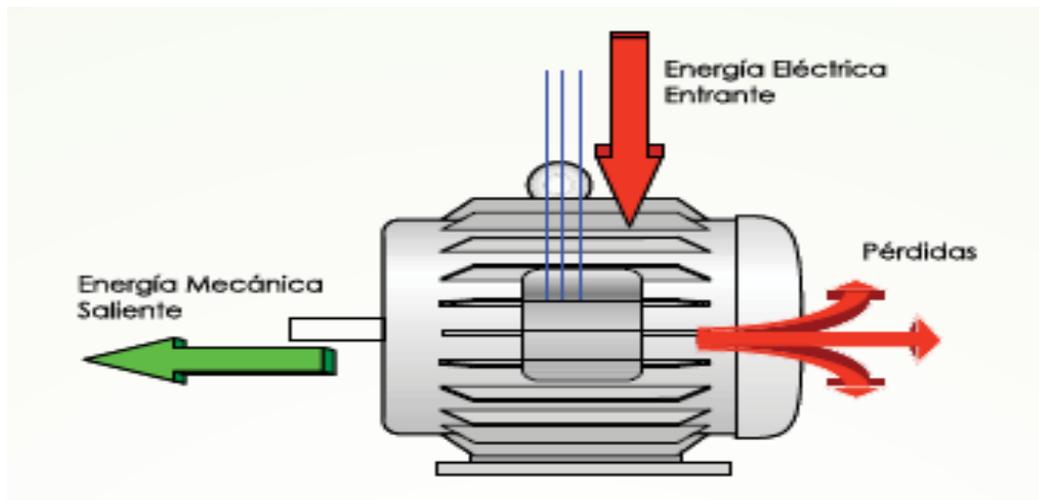


Figura N°8. – Distribución de las pérdidas de potencia de un motor eléctrico.



**Figura N°9. - Distribución de la energía en un motor eléctrico**

En resumen, podemos tener los siguientes conceptos de las diferencias entre cada una de las pérdidas de potencia de los motores.

❖ **Pérdidas eléctricas:** dependen del régimen de trabajo del motor, conocido como factor de carga. Se presentan tanto en el estator como en el rotor; se reflejan como calentamiento a través del embobinado del estator y dependen de la resistencia eléctrica del material utilizado en su fabricación.

Según las especificaciones técnicas de cada fabricante, este tipo de pérdidas se pueden reducir haciendo que el diseño de la armadura disipe mejor el calor y disminuyendo el espesor del aislamiento, para incrementar el volumen de cable en el estator. En el caso del rotor, las pérdidas pueden disminuirse incrementando el tamaño de las barras conductoras para bajar la resistencia, o reduciendo la corriente eléctrica.

- ❖ **Pérdidas en el núcleo:** son independientes de la carga y representan la energía requerida para magnetizar el material del núcleo, por lo que se producen en el acero magnético del motor.
- ❖ **Pérdidas mecánicas:** se dividen en pérdidas por fricción y por ventilación. Las primeras ocurren debido a la fricción entre el rotor y el estator y el rozamiento de los rodamientos del eje del motor. Por su parte, las pérdidas por ventilación se deben a la fricción de las partes en movimiento del motor con el aire que se encuentra dentro de la carcasa. Las pérdidas mecánicas pueden reducirse mejorando la selección de cojinetes, utilizando baleros de mejor calidad, reduciendo el entrehierro, mejorando el movimiento del flujo de aire y empleando un ventilador más eficiente, según el diseño del fabricante.

#### 4.4.1. EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

La eficiencia o rendimiento de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en porcentaje de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica, esto es:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ mecánica}{Potencia\ eléctrica} \times 100$$

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica. En el proceso de conversión, se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca será del 100%. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o este tiene algún

desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar con mucho las de diseño, con la consecuente disminución de la eficiencia.

La mayoría de los motores eléctricos presentan su mayor eficiencia al 75% del factor de carga, por ello, es conveniente que la elección de la potencia de un motor sea para que este trabaje a ese porcentaje de carga. Así funcionará en el rango de alta eficiencia y tendrá un 25% de capacidad adicional para soportar mayores cargas de trabajo.

#### **4.4.2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS**

- ❖ Elegir correctamente la potencia del motor. El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Adicionalmente los motores de inducción a cargas bajas o en vacío tienen un factor de potencia muy bajo.
- ❖ Seleccionar el motor de acuerdo con su ciclo de trabajo. Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranques y paros, ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia. Además de que se puede dañar el aislamiento de los devanados por la elevación de la temperatura.
- ❖ Seleccionar el armazón del motor, de acuerdo con el ambiente en que va a estar trabajando. Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto menos costosos, además de operar con mayor factor de potencia. Sin

embargo, en condiciones adversas del medio, los motores cerrados serán los indicados.

- ❖ Seleccionar correctamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite prefiera motores de alta velocidad, son más eficientes y si se trata de motores de corriente alterna, trabajan con un mejor factor de potencia.
- ❖ Utilizar motores de inducción trifásicos en lugar de monofásicos. En motores de potencia equivalente, su eficiencia es de 3 a 5% mayor y su factor de potencia mejora notablemente.
- ❖ Utilizar motores síncronos en lugar de motores de inducción. Cuando se requieren motores de gran potencia y baja velocidad la elección de un motor síncrono debe ser considerada, también compite en costo con uno de inducción de características similares, su eficiencia es de 1% al 3% mayor, su velocidad es constante y contribuye a mejorar el factor de potencia de la instalación.
- ❖ Sustituir los motores antiguos o de uso intenso. Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso han depreciado sus características de operación, pueden justificar su sustitución por motores normalizados y de alta eficiencia.
- ❖ Efectuar correctamente la instalación eléctrica y el montaje de los motores y su carga. Las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas en su capítulo referente a motores, y las recomendaciones de los fabricantes son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos.
- ❖ Realizar en forma correcta la conexión a tierra de los motores. Una conexión defectuosa o la ausencia de ésta, puede poner en peligro la vida de los operarios si se presenta una falla a tierra. Además de ocasionar corrientes de fuga que no son liberadas por el equipo de protección con un dispendio de energía.

- ❖ Evitar concentrar motores en locales reducidos o en lugares que puedan dificultar su ventilación. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de su eficiencia.
- ❖ Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en las terminales del motor, acarrea entre otros, un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída máxima del 3% (o del 5% en la combinación de alimentador y circuito derivado) pero es recomendable que no rebase el 1%.
- ❖ Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance, los motores operan con mayor eficiencia.
- ❖ Compensar la energía reactiva demandada por los motores de corriente alterna más importantes o con mayor número de horas de funcionamiento, mejorando el factor de potencia de la instalación, con lo que se reducen las pérdidas de la potencia y de la tensión en los conductores.
- ❖ Procurar que los motores síncronos funcionen con un factor de potencia cercano a la unidad, para mejorar el factor de potencia de la instalación.
- ❖ Evitar hasta donde sea posible el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
- ❖ Utilizar arrancadores a tensión reducida, en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración.
- ❖ Utilizar arrancadores estrella-triángulo o de devanado partido, como alternativa de los arrancadores a tensión reducida cuando la carga impulsada no requiera de alto par de arranque. Son más económicos y

eficientes en términos de energía, pero tienen el inconveniente de que el par de arranque se reduce notoriamente.

- ❖ Sustituir en los motores de rotor devanado, los reguladores con resistencias para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes. En las resistencias se llega a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.
- ❖ Instalar arrancadores electrónicos en lugar de los reóstatos convencionales para el arranque de los motores de corriente directa. Permiten una mayor eficiencia en el arranque con el consiguiente ahorro de energía.
- ❖ Sustituir motores con engranes, poleas, bandas u otro tipo de transmisión, para reducir la velocidad del motor, por motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos.
- ❖ Instalar motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos, en aquellos accionamientos, en donde la carga sea variable y se pueda controlar ajustando la velocidad. Por ejemplo en sistemas de bombeo o compresión que deben suministrar caudales variables y que para hacerlo utilicen válvulas u otros dispositivos de control. La eficiencia total del motor y su carga se eleva notablemente con ahorros importantes de energía.
- ❖ Evaluar la posibilidad de conectar la ventilación solamente durante las bajas velocidades, en aquellos motores de velocidad ajustable y ventilación separada provista por equipos auxiliares. Con esto se puede reducir el consumo de energía en el sistema de ventilación.
- ❖ Preferir el acoplamiento individual, en accionamientos con un grupo de motores, así se consigue mejor que cada motor trabaje lo más cerca posible de su máxima carga.
- ❖ Acoplar directamente el motor a la carga siempre que el accionamiento lo permita. Con esto se evitan pérdidas en el mecanismo de transmisión.

- ❖ Instalar acoplamientos flexibles en aquellos motores sometidos a un número elevado de arranques súbitos. Con esto se pueden atenuar los efectos de una alineación defectuosa, reducir los esfuerzos de torsión en la flecha del motor y disminuir las pérdidas por fricción.
- ❖ Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.
- ❖ Mantener en buen estado y correctamente ajustados los equipos de protección contra sobrecalentamientos o sobrecargas en los motores. Los protegen de daños mayores y evitan que operen con baja eficiencia.
- ❖ Revisar periódicamente las conexiones del motor, junto con las de su arrancador y demás accesorios. Conexiones flojas o mal realizadas con frecuencia originan un mal funcionamiento del motor y ocasionan pérdidas por disipación de calor.
- ❖ Mantener en buen estado los porta escobillas, escobillas, conmutadores y anillos colectores en motores de corriente directa, síncronos y de rotor devanado. Un asentamiento incorrecto de las escobillas sobre el conmutador en los anillos colectores, provoca sobrecalentamientos y pérdidas de energía.
- ❖ Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobrecalentamiento en los conductores con una pérdida de energía y en caso extremo la falla del motor.
- ❖ Mantener en óptimas condiciones los sistemas de ventilación y enfriamiento de los motores, para evitar sobrecalentamientos que puedan aumentar las pérdidas en los conductores del motor y dañar los aislamientos.

- ❖ Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.
- ❖ Reparar o cambiar los ejes del motor y de la transmisión, si se han doblado por sobrecarga o por mal uso. Un eje en mal estado incrementa las pérdidas por fricción y puede ocasionar daños severos sobre todo en los cojinetes del motor.
- ❖ Mantener en buen estado los medios de transmisión entre el motor y la carga, tales como: poleas, engranes, bandas y cadenas. Si estos no se encuentran en condiciones apropiadas o su instalación es incorrecta, pueden ocasionar daños importantes, además de representar una carga inútil para el motor.
- ❖ Mantener en óptimas condiciones los cojinetes del motor. Una cantidad considerable de energía se pierde en cojinetes en mal estado o si su lubricación es inadecuada (insuficiente o excesiva). Repárelos o sustitúyalos si tienen algún desperfecto y siga las instrucciones del fabricante para lograr una correcta lubricación.
- ❖ Realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente, potencia (kW), velocidad (rpm), resistencia de aislamiento, etc., con objeto de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas, cuando se requieran.
- ❖ Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que ésta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor este trabajando, pero es recomendable desmontarlo al menos una vez al año para realizar la limpieza completa de todos sus componentes.

- ❖ Mantener actualizados los manuales de operación de los motores, incorporando en éstos las modificaciones que tengan lugar.
- ❖ Colocar carteles con instrucciones concretas para los operarios, con la finalidad de que los motores operen con la mayor seguridad y eficiencia.

## **5. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL INTEGRAL**

El mantenimiento actual esta caracterizado por la búsqueda de tareas que permitan eliminar o minimizar la ocurrencia de fallas y/o disminuir las consecuencias de las mismas.

Las pruebas y acciones de mantenimiento preventivo y correctivo programadas a los equipos de las subestaciones eléctricas, tienen como finalidad, garantizar la operación continua, segura y compatible con el medio ambiente de los mismos y brindar disponibilidad, óptima condición de funcionamiento y una vida útil prolongada.

Se busca bajar la frecuencia de fallas y/o disminuir sus consecuencias. Esta es una de las visiones más básicas del mantenimiento y en ocasiones es el único motor que mueve las estrategias de mantenimiento de algunas empresas.

La vida útil de algunos activos se ve afectada seriamente por la frecuencia del mantenimiento. Por otra parte se pueden diferir grandes inversiones, como por ejemplo la reconstrucción de equipos mayores. Es de suma importancia encontrar el punto exacto de máximo beneficio económico.

Muchas tareas de mantenimiento van dirigidas a disminuir eventos que puedan acarrear responsabilidades legales relativas al medio ambiente y seguridad.

## **5.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO**

### **5.1.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Servicios de inspección, control, conservación y restauración de un equipo con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar fallas.

El mantenimiento preventivo sistemático, donde cada equipo para después de un período de funcionamiento, para que sean hechas mediciones, ajustes y si es necesario, cambio de piezas en función de un programa preestablecido a partir de la experiencia operativa, recomendaciones de los fabricantes.

### **5.1.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio.

### **5.1.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Servicios de reparación en equipos con falla. Comprende el que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo.

#### **5.1.3.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO NO PLANIFICADO**

El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el **objetivo** de evitar **costos** y daños **materiales** y/o humanos mayores.

Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de **normas** legales, etc.).

Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los **procesos** que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier **tiempo**, sin afectar la seguridad.

También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Otro inconveniente de este sistema, es que debería disponerse inmovilizado un capital importante invertido en piezas de repuesto visto que la adquisición de muchos elementos

que pueden fallar, suele requerir una gestión de compra y entrega no compatible en tiempo con la necesidad de **contar** con el bien en operación (por ejemplo: caso de equipos discontinuados de fabricación, partes importadas, desaparición del fabricante).

Por último, con referencia al personal que ejecuta el servicio, no le quedan dudas que debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato. Generalmente se agrupa al personal en forma de cuadrillas.

#### **5.1.3.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO PLANIFICADO**

Se sabe con anticipación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto. La diferencia con el de emergencia, es que no existe el grado de urgencia del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con las tareas de producción. En general, programamos la detención del equipo, pero antes de hacerlo, vamos acumulando tareas a realizar sobre el mismo y programamos su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para ejecutar toda tarea que no podríamos **hacer** con el equipo en funcionamiento. Lógicamente, aprovecharemos para las paradas, horas en contra turno, períodos de baja **demanda**, fines de semana, períodos de vacaciones, etc.

## **6. PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

### **6.1. VISIÓN GLOBAL DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

Hoy día vivimos un proceso de globalización que nos afecta a todos:

Economías abiertas y concurrencia en un nivel nunca antes visto presionan para abajo los precios de los productos finales, al mismo tiempo en que los costos, principalmente el financiero, sacrifican los volúmenes de venta y los márgenes de lucro.

En estos nuevos tiempos, actividades como el mantenimiento deben ser repensadas y redireccionadas, de manera a contribuir con los resultados de la empresa. No tiene más sentido mantener las plantas operando a la máxima capacidad, con altos costos de mano de obra y capital. Hay que asegurar, que el área operacional de una capacidad productiva compatible con la demanda y a un costo que no sacrifique el precio final del producto y consecuentemente su competitividad en el mercado, o el margen de lucro de la empresa.

Para que los objetivos de la empresa sean alcanzados, es fundamental el papel de los sistemas informatizados de gestión del mantenimiento, que agregan funcionalidad, tecnología simplificando procesos.

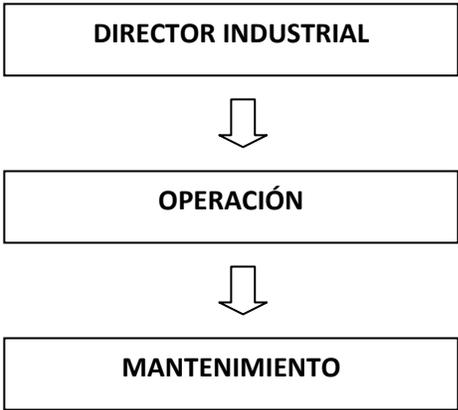
Hasta la década de 1980 la industria de la mayoría de los países occidentales tenían un objetivo bien definido: obtener un máximo de rentabilidad para una inversión dada. Sin embargo con la penetración de la industria oriental en el mercado occidental, el consumidor pasó a ser considerado un elemento importante en las adquisiciones, o sea, exigir la calidad de los productos y los servicios suministrados, y esta demanda hizo que las empresas considerasen este factor, "calidad", como una necesidad para mantenerse competitivas, especialmente en el mercado internacional.

Esta exigencia no se le debe atribuir solamente a los asiáticos, ya que en 1975, la Organización de Las Naciones Unidas definía a la actividad final de cualquier entidad organizada como Producción = Operación + Mantenimiento, donde al segunda factor de este binomio, puede ser atribuidas las siguientes responsabilidades:

- ❖ Reducción del tiempo de paralización de los equipos que afectan la operación.
- ❖ Reparación, en tiempo oportuno, de los daños que reducen el potencial de ejecución de los servicios.
- ❖ Garantía de funcionamiento de las instalaciones, de manera que los productos o servicios satisfagan criterios establecidos por el control de la calidad y estándares pre-establecidos.

La historia del mantenimiento acompaña el desarrollo técnico industrial de la humanidad. A fines del siglo XIX, con la mecanización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones. Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecutado por el mismo grupo de operación.

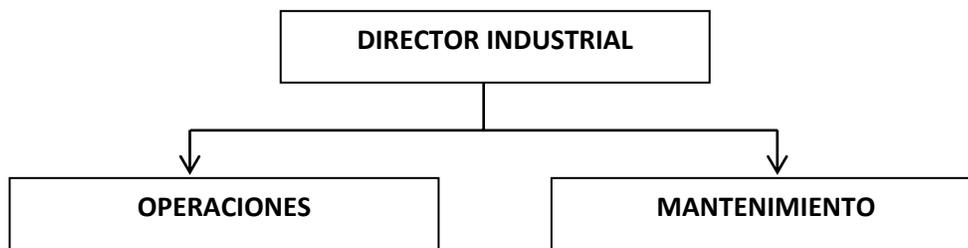
Con la llegada de la Primera Guerra Mundial y con la implantación de la producción en serie, instituida por el Sr. Henry Ford, las fábricas pasaron a establecer programas mínimos de producción, y como consecuencia de esto, sintieron la necesidad de formar equipos que pudiesen efectuar reparaciones en máquinas en servicio, en el menor tiempo posible. Así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico era la ejecución del mantenimiento, hoy conocido como "Mantenimiento Correctivo". De este modo los organigramas de las empresas presentaban la posición del mantenimiento como indica la figura 10.



**Figura N°10. - Posición del Mantenimiento hasta la década de 1930.**

Esta situación se mantuvo hasta la década de 1930, cuando, en función de la Segunda Guerra Mundial y la necesidad de aumentar la rapidez de producción, la alta

administración pasó a preocuparse, no solamente de corregir fallas sino también de evitar que las mismas ocurriesen, razón por el cual el personal técnico de mantenimiento paso a desarrollar el proceso de Prevención de averías que, juntamente con la Corrección, completaban el cuadro general de Mantenimiento, formando una estructura tan importante como la de operación, siendo el organigrama resultante, el representado en la figura 11.

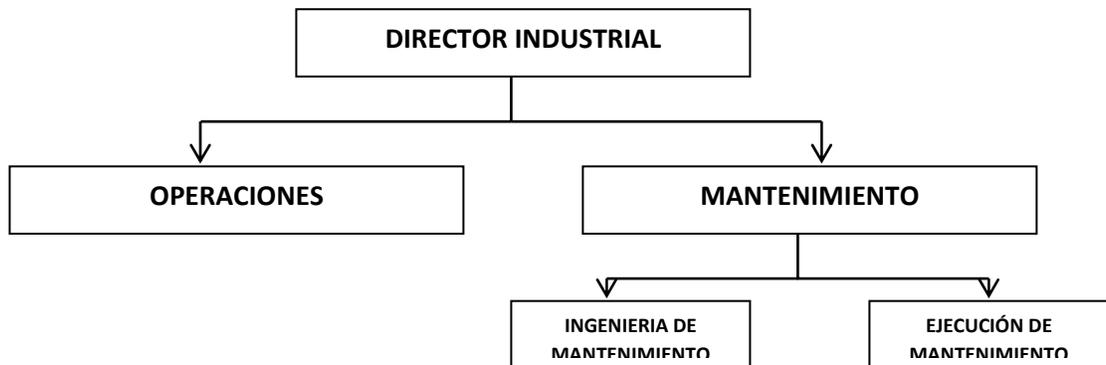


**Figura N°11. - Posición del Mantenimiento en las década de 1930 y 1940.**

Alrededor del año 1950, con el desarrollo de la industria para satisfacer los esfuerzos de la posguerra, la evolución de la aviación comercial y de la industria electrónica, los Gerentes de Mantenimiento observaron que, en muchos casos, el tiempo empleado para diagnosticar las fallas era mayor que el tiempo empleado en la ejecución de la reparación (Figura 6.3), y seleccionaron grupos de especialistas para conformar un órgano asesor que se le llamo ingeniería de mantenimiento y recibió las funciones de planificar y controlar el mantenimiento preventivo analizando causas y efectos de las averías, los organigramas se subdividieron como se indica en la figura 12.

<b>TIEMPOS DE DIAGNOSTICO Y REPARACIÓN DE EQUIPOS DE ACUERDO CON SU NATURALEZA CONSTRUCTIVA.</b>		
<b>NATURALEZA</b>	<b>DIAGNOSTICO</b>	<b>REPARACIÓN</b>
<b>Mecánico</b>	<b>10%</b>	<b>90%</b>
<b>Hidráulico</b>	<b>20%</b>	<b>80%</b>
<b>Eléctrico</b>	<b>60%</b>	<b>40%</b>
<b>Electrónico</b>	<b>90%</b>	<b>10%</b>

**Figura N°12. - Tiempos de Diagnostico y Reparación de Equipos de Acuerdo con su Naturaleza Constructiva.**



**Figura N°13. - División Organizacional del Mantenimiento.**

A partir de 1966, con la difusión de las computadoras, el fortalecimiento de las Asociaciones Nacionales de Mantenimiento, creadas a finales del periodo anterior y la sofisticación de los instrumentos de protección y medición, la Ingeniería de Mantenimiento pasó a desarrollar criterios de predicción o previsión de fallas, con el objetivo de optimizar el desempeño de los grupos de ejecución del mantenimiento.

Esos criterios, conocidos como mantenimiento Predictivo, fueron asociados a métodos de planificación y control de mantenimiento automatizados, reduciendo las tareas burocráticas de los ejecutantes del mantenimiento.

En este final de siglo, con las exigencias de incremento de calidad de los productos y servicios, hechas por los consumidores, el mantenimiento paso a ser un elemento importante en el desempeño de los equipos, en un grado de importancia equivalente a lo que venía practicando en operación.

Estas etapas evolutivas del mantenimiento industrial se caracterizaron por la reducción de costos y por la garantía de la calidad (a través de la confiabilidad y la productividad de los equipos) y cumplimiento de los tiempos de ejecución (a través de la disponibilidad de los equipos).

Los profesionales de mantenimiento pasaron a ser más exigidos, en la atención adecuada de sus clientes, o sea, los equipos, obras o instalaciones, quedando claro que las tareas que desempeñan, se manifiestan como impacto directo o indirecto en el producto o servicio que la empresa ofrece a sus clientes. La organización corporativa es vista, hoy en día, como una cadena con varios eslabones, donde evidentemente el mantenimiento es uno de los de mayor importancia, en los resultados de la empresa.

Por otro lado el mantenimiento también tiene sus proveedores, o sea: los contratistas que ejecutan algunas de sus tareas, el área de materiales que abastece los repuestos y material de uso común, el área de compras que adquiere materiales y nuevos equipos etc.; siendo todos ellos importantes para que el cliente final de la empresa se sienta bien atendido.

La búsqueda obstinada de ventajas competitivas, ha mostrado que el costo del mantenimiento no está bajo control y es un factor importante en el incremento del desempeño global de los equipos.

El mejoramiento continuo de las prácticas de mantenimiento, así como la reducción de costos, son resultado de la aplicación del ciclo de calidad total como base, en el proceso gerencial.

Mejoras significativas en los costos del mantenimiento y disponibilidad de los equipos están siendo alcanzadas a través de la:

- ❖ Ejecución de algunas actividades por parte de los operarios de los equipos.
- ❖ Mejoramiento continuo del equipo.
- ❖ Educación y capacitación de los responsables de la actividad de mantenimiento.
- ❖ Recopilación de información, evaluación y satisfacción de las necesidades de los clientes.
- ❖ Análisis adecuado de la información y aplicación de soluciones simples pero estratégicas.
- ❖ Planificación del mantenimiento con "Enfoque en la estrategia de mantenimiento específico por tipo de equipo".

La gestión dinámica del mantenimiento comprende la administración de sus interfaces con otras divisiones corporativas.

La coordinación en la planificación de la producción, la estrategia de mantenimiento, la adquisición de repuestos, la programación de servicios y el flujo de información entre los subsistemas, eliminan los conflictos en la obtención de metas.

Altas disponibilidades e índices de utilización, el aumento de la confiabilidad, el bajo costo de producción como resultado del mantenimiento optimizado, la gestión de repuestos y la alta calidad de los productos son metas que pueden ser alcanzadas solamente cuando operación y mantenimiento trabajan juntos.

Actualmente se observa que las empresas bien administradas han optado una visión prospectiva de oportunidades, usualmente soportada:

- ❖ Rutinas sistematizadas para minimizar el mantenimiento.
- ❖ Sistemas de mantenimiento con auxilio de procesamiento electrónico de datos.
- ❖ Herramientas y dispositivos de medición.
- ❖ Asesorías competentes en la determinación del potencial de mejoramiento e implantación de soluciones estratégicas.

En las rutinas sistematizadas, se busca establecer las necesidades reales de intervención y aplicación, lo mejor posible, de las tablas que, además de compactar la información, permite estandarizar la búsqueda de registros y filtros necesarios para la elaboración de los reportes históricos y el apoyo al análisis de fallas, evaluando la disponibilidad y los costos.

En los sistemas de mantenimiento con el apoyo del procesamiento electrónico de datos, se busca almacenar el máximo posible de información relacionada con los equipos (registro), y materiales (repuestos), establecer las tareas adecuadas para ejecución de intervenciones programadas por los mantenedores y operadores, definir el momento adecuado para la ejecución y los recursos que serán utilizados (planificación), reducir al máximo las tareas burocráticas de los ejecutantes de mantenimiento, al mismo tiempo que se establece, de forma completa los registros de otras áreas, directa o indirectamente implicadas con la función mantenimiento.

En las herramientas y en los dispositivos de medición, serán utilizados los criterios de predicción con datos originados en el monitoreo automático o manual, el establecimiento de criterios para garantizar el mejor mantenimiento en los aspectos de costos y seguridad, incluyendo las acciones necesarias para reducir los movimientos del personal de mantenimiento y las pérdidas de tiempo en la recolección de materiales y herramientas.

La adecuada recolección de información, almacenamiento y tratamiento de datos permitirá obtener los reportes, que a su vez, deben ser prácticos, concisos y objetivos, además de ser adecuados a los niveles de consulta para cada cliente.

### **6.1.1. MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

Es de conocimiento general que hoy en día, el mantenimiento eléctrico es necesario para muchos aspectos en la vida diaria de una empresa, y que está exenta al mantenimiento eléctrico, de una forma u otra, ya sea está una pequeña o mediana en sus equipos en funcionamiento, talleres, oficinas, bodegas, etc. Esto nos lleva a la conclusión de que el mantenimiento eléctrico debe ser continuo.

Además con el mantenimiento eléctrico se logran profundos cambios que se han presentado en estos últimos tiempos en los mercados, términos y/o conceptos tales como globalización, competencia, reducción de costos, servicio, etc., deben confrontarse todos los días para la permanencia de la empresa en su actividad específica.

En el mercado eléctrico, a nivel nacional, se ha asistido su desregulación, concesión de servicio; generación como actividad de riesgo comercial; competencia de precios y la constitución de entes reguladores con capacidad técnica y legal para el control de la actividad. Muchas económicas por calidad y producto técnico deben ser incluidas en el análisis.

Estos cambios del mercado por la competencia, reducción de precios por la calidad y continuidad, han impactado a todos y a cada uno de los sectores de las empresas, incluyendo la actividad de mantenimiento eléctrico.

Actualmente la técnica de mantenimiento eléctrico debe necesariamente desarrollarse bajo el concepto de reducir los tiempos de intervención sobre el equipo, con el fin de obtener la menor indisponibilidad para el servicio, adoptando estrategias de:

- ❖ Mantenimiento Rutinario.
- ❖ Mantenimiento Correctivo.
- ❖ Mantenimiento Programado.
- ❖ Mantenimiento Preventivo.
- ❖ Mantenimiento Predictivo.

El mantenimiento eléctrico en la industria permite detectar fallas que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o a mediano plazo una parada de

planta y/o un siniestro afectando a personas e instalaciones. Esto permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de salidas de servicio imprevistas, no programadas, gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones y del mantenimiento. Los beneficios de reducción de costos incluyen ahorros de energía, protección de los equipos, velocidad de inspección y diagnóstico, verificación rápida y sencilla de la reparación etc.

La aplicación del mantenimiento se verá reflejada en el éxito o el fracaso de la empresa, incidiendo en:

- a)** Costos de producción.
- b)** Calidad de servicio.
- c)** Capacidad operacional.
- d)** Capacidad de respuesta de la empresa ante situaciones de cambio.
- e)** Seguridad e higiene de la industria o empresa.
- f)** Calidad de vida de los colaboradores de la empresa.
- g)** Plan de seguridad e imagen ambiental de la empresa.

### **Definimos el Mantenimiento Eléctrico como:**

Conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de equipos eléctricos, oficinas y accesorios.

Para poder garantizar la disponibilidad operacional de equipos eléctricos, oficinas y accesorios, el mantenimiento debe ser ejecutado de manera continua y permanente a través de planes que contengan fines, metas y objetivos precisos y claramente definidos.

## **6.1.2. FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

### **6.1.2.1. FUNCIONES PRIMARIAS**

- ❖ Mantener, reparar y revisar los equipos e instalaciones.
- ❖ Modificar, instalar, remover equipos e instalaciones.
- ❖ Desarrollos de programas de mantenimiento preventivo y programado.
- ❖ Selección y entrenamiento del personal.

### **6.1.2.2. FUNCIONES SECUNDARIAS**

- ❖ Asesorar la compra de nuevos equipos.
- ❖ Hacer pedidos de repuestos, herramientas y suministros.
- ❖ Controlar y aseguran un inventario de repuestos y suministros.
- ❖ Mantener los equipos de seguridad y demás sistemas de protección.
- ❖ Llevar la contabilidad e inventario de los equipos.

## **6.2. OBJETIVOS PRIMARIOS DE LA PLANEACIÓN EFICIENTE DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS EN LA INDUSTRIA**

Teniendo en cuenta las funciones primarias y secundarias del mantenimiento eléctrico, determinamos que el objetivo básico, es contribuir por todos los medios disponibles a reducir, en lo posible, el costo final de la operación de la planta. De este se desprende un objetivo técnico por el que se trata de conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todo el equipo, maquinaria y estructuras de tratamiento.

El personal de mantenimiento tiene dos puntos de vistas para cumplir estos objetivos: el aspecto humano y el técnico. El evitar los accidentes previene pérdidas humanas y de grandes responsabilidades. Por el lado técnico, la maquinaria, las instalaciones y los

equipos bien mantenidos no provocarán pérdidas económicas y facilitarán la producción continua y eficiente de la planta.

Los principales objetivos del mantenimiento eléctrico, manejados con criterios económicos y encausados en un ahorro en los costos generales de producción son:

- ❖ Llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, con intervalos de control para detectar oportunamente cualquier desgaste o rotura, manteniendo los registros adecuados.
- ❖ Mantener permanentemente los equipos e instalaciones, en su mejor estado para evitar los tiempos de parada que aumentan los costos.
- ❖ Efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto, empleando métodos más fáciles de reparación.
- ❖ Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.
- ❖ Prevenir detenciones inútiles o paralización de las maquinas.
- ❖ Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- ❖ Gestionar el mantenimiento para que incluya todos los aspectos relativos dirigidos al departamento de Mantenimiento Eléctrico.
- ❖ Definir políticas de mantenimiento que abarquen los aspectos de calidad, seguridad e interrelaciones con el medio ambiente y empresarial.
- ❖ Minimizar los riesgos laborales.
- ❖ Establecer políticas de almacenamiento, selección, compras, etc.; de los materiales que son necesarios para la realización de intervenciones eléctricas, electromecánicas y/o electrónicas.
- ❖ Abordar la realización de un plan de Mantenimiento Eléctrico.
- ❖ Clasificar los equipos en función de su importancia y qué modelo de mantenimiento debe ser aplicable a cada equipo.
- ❖ Determinar las tareas de mantenimiento a aplicar y su frecuencia.

## **6.3. PLANEACIÓN PARA MANTENIMIENTO ELÉCTRICO INDUSTRIAL**

### **6.3.1 BENEFICIOS DE LA PLANEACIÓN EN MANTENIMIENTO**

Muchas empresas no son consientes del beneficio de la planeación, sobre todo en nuestro medio latino, que se caracteriza por tener un ancestro colectivo de solución inmediata de problemas y somos valorados por la prontitud e ingenio que usamos para resolverlos.

La planeación en mantenimiento es la raíz del mejoramiento de la gestión y la base para reducción de costos.

A continuación mencionamos algunos de los mayores beneficios de la planeación:

- ❖ Menor consumo de horas hombres y por ende menores costos, ya que el técnico tiene oportunamente y a la mano toda la información, conocimientos, equipos, herramientas y recursos necesarios para efectuar el trabajo sin interrupciones.
- ❖ Disminución de inventarios. Una buena planeación nos permite saber cuando vamos a necesitar un repuesto, lo que nos permite hacer compras justo a tiempo.
- ❖ Mejora el clima laboral en el personal de mantenimiento quien se encuentra menos presionado "trabajos de emergencia" que algunas veces le impiden pasar un mayor tiempo con su familia.
- ❖ Mejora la productividad (Eficiencia x Eficacia) tiempo de ejecución y eficacia, es decir se hace lo que realmente hay que hacer, evitando las adivinanzas y el trabajo innecesario.
- ❖ Disminución de la rata de generación de defectos.

### **6.3.2. CICLO DE ESTADO DE EQUIPOS**

El ciclo se inicia con el equipo en buen estado. Esto significa todos los equipos de la planta que se encuentran en buen funcionamiento. Si se presenta un defecto en el equipo, entonces este se mueve a la categoría de equipo defectuoso. La detección de defectos puede ser hecha por una inspección formal, por un operador en su ronda o por que fue detectada durante una intervención proactiva. También puede ocurrir que el equipo esté defectuoso y no se haya detectado. El defecto existe pero nadie lo sabe.

Si las políticas de la empresa soportan el trabajo programado, entonces el equipo sigue trabajando con el defecto y queda a la espera de la programación. Basado en las prioridades, el plan de mantenimiento preventivo, la disponibilidad de repuestos y personal, se programa y completa la reparación para poner el equipo nuevamente en buen estado.

Si el defecto no es detectado, o si es detectado, pero las políticas de la organización no contemplan el trabajo planeado, el equipo falla. Entonces se coloca en falla funcional, si no es un equipo crítico, pero en espera, como un trabajo reactivo (Backlog) hasta que haya suficientes recursos para reparar el defecto y volver el equipo en línea.

Si la falla se presenta en un equipo crítico, es una emergencia y es necesario tomar recursos de otros trabajos para atender en forma reactiva, no planeada y no programada el evento. Normalmente estos eventos resultan costosos pues causan pérdidas en la producción o ponen en riesgo la integridad e las personas, la planta o los equipos y la duración de la reparación es mayor a un evento planeado. También es origen de nuevos defectos, generando un ciclo reforzador.

### **6.3.3. FUENTE DE DEFECTOS**

Los defectos son las causas raíces de las fallas funcionales de las plantas. Definimos los defectos como una disminución de la resistencia a la falla de un equipo, componente o parte, que con el tiempo crea una falla. Los defectos son originados por la forma de operación del equipo, la calidad de obra de la mano de mantenimiento, el desgaste y uso, repuestos que no cumplen con las especificaciones o un diseño inadecuado.

Los defectos generan más defectos. Los defectos no atendidos empeoran con el tiempo.

Los pequeños defectos que son tolerados por operaciones o mantenimiento frecuentemente son la causa de las emergencias de mañana. Adicionalmente las fallas también generan más defectos causados por daños colaterales.

Mano de obra no calificada, defectos en arranque, defectos en repuestos, pueden inducir nuevos defectos y nuevos problemas, la rata de falla de estos defectos agregados depende de las habilidades, estándares y cultura de la organización.

## **7. MODELO DE AHORRO ENERGETICO BASADO EN TECNICAS DE PLANEACION ELECTRICA DE MANTENIMIENTO.**

Teniendo en cuenta todo lo anotado anteriormente y adicionalmente otros conceptos de ahorro energético tales como la observación y control a equipos de soporte, gestión de iluminación y acondicionamiento de aire; entonces tenemos un estudio realizado en una dependencia de mantenimiento de la mina Pribbenow de propiedad de Drummond Ltd Colombia, tendiente a la demostración de ahorro energético mediante la implementación de prácticas de planeación eléctrica adecuadas y modernas.

Como se pretende realizar ahorro energético debemos entonces establecer los parámetros iniciales de condición energética del área intervenida para el estudio, entonces se instala un equipo de monitoreo temporal a la salida del transformador con el fin de obtener datos de entrada, para ello se dispone del equipo Data Logger de marca G.E. instalado en nuestra fuente de energía un transformador de 750KVA, 4.160/480-277V, trifásico, 60HZ, en aceite, tipo padmount (pedestal), Delta -Y. Luego de este proceso es importante describir lo que se denomina la caracterización energética que es un procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo. También es el paso previo para implementar un sistema de gestión o administración de la energía.

**DATOS RECIBIDOS DEL EQUIPO DATA LOGGER DURANTE 24 HORAS:**

<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
07:02:30 a.m.	8.098.308	4.136.981
07:07:30 a.m.	5.939.758	4.160.816
07:12:30 a.m.	2.540.000	4.286.603
07:17:30 a.m.	3.457.552	4.886.619
07:22:30 a.m.	2.852.184	5.445.854
07:27:30 a.m.	3.437.771	6.452.421
07:32:30 a.m.	6.164.720	7.711.003
07:37:30 a.m.	7.037.101	7.833.641
07:42:30 a.m.	8.016.513	7.701.311
07:47:30 a.m.	8.957.547	7.527.101
07:52:30 a.m.	10.044.479	5.903.942
07:57:30 a.m.	11.268.883	4.722.170
08:02:30 a.m.	8.985.667	3.736.806
08:07:30 a.m.	13.396.455	3.266.981
08:12:30 a.m.	14.397.008	2.747.531
08:17:30 a.m.	5.757.334	2.477.402
08:22:30 a.m.	6.146.516	2.335.277
08:27:30 a.m.	6.584.740	2.218.524
08:32:30 a.m.	1.869.777	2.055.765
08:37:30 a.m.	1.982.205	2.095.253
08:42:30 a.m.	1.517.072	2.172.881
08:47:30 a.m.	2.217.215	2.266.747
08:52:30 a.m.	1.474.738	2.274.594
08:57:30 a.m.	2.443.187	2.449.897

09:02:30 a.m.	2.556.711	2.545.865
09:07:30 a.m.	2.641.398	2.621.876
09:12:30 a.m.	1.906.612	2.699.471
09:17:30 a.m.	2.868.506	2.881.775
09:22:30 a.m.	2.993.694	2.979.435
09:27:30 a.m.	2.190.550	3.057.592
09:32:30 a.m.	2.159.070	3.168.329
09:37:30 a.m.	3.335.333	3.307.193
09:42:30 a.m.	3.481.940	3.398.168
09:47:30 a.m.	3.571.579	3.379.523
09:52:30 a.m.	3.689.247	3.330.651
09:57:30 a.m.	3.752.345	3.384.219
10:02:30 a.m.	3.880.342	3.456.350
10:07:30 a.m.	3.973.440	3.528.330
10:12:30 a.m.	2.980.876	3.602.454
10:17:30 a.m.	3.051.405	3.789.530
<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
10:22:30 a.m.	4.356.752	3.911.828
10:27:30 a.m.	3.147.508	3.616.781
10:32:30 a.m.	3.083.547	3.753.329
10:37:30 a.m.	4.672.235	3.985.798
10:42:30 a.m.	4.810.366	4.082.824
10:47:30 a.m.	4.939.061	4.047.399
10:52:30 a.m.	5.078.300	4.104.838
10:57:30 a.m.	5.223.568	4.175.093
11:02:30 a.m.	3.873.923	4.242.952

11:07:30 a.m.	2.061.701	4.435.220
11:12:30 a.m.	5.589.584	5.132.619
11:17:30 a.m.	5.711.187	5.312.974
11:22:30 a.m.	5.837.329	5.222.403
11:27:30 a.m.	4.196.671	5.288.077
11:32:30 a.m.	6.138.165	5.574.101
11:37:30 a.m.	6.253.245	5.520.734
11:42:30 a.m.	6.369.225	5.586.317
11:47:30 a.m.	6.505.247	5.673.870
11:52:30 a.m.	6.631.843	5.760.148
11:57:30 a.m.	6.757.520	5.845.656
12:02:30 p.m.	4.649.672	5.929.731
12:07:30 p.m.	7.020.742	6.042.119
12:12:30 p.m.	7.152.333	6.129.153
12:17:30 p.m.	5.131.263	6.211.609
12:22:30 p.m.	7.422.146	6.522.103
12:27:30 p.m.	7.535.324	6.642.274
12:32:30 p.m.	7.656.728	6.531.487
12:37:30 p.m.	7.777.358	6.587.334
12:42:30 p.m.	7.883.646	6.669.646
12:47:30 p.m.	5.412.519	6.755.461
12:52:30 p.m.	8.122.665	6.867.288
12:57:30 p.m.	8.262.425	6.957.357
01:02:30 p.m.	8.415.814	7.042.479
01:07:30 p.m.	8.541.922	7.125.325
01:12:30 p.m.	6.193.358	7.205.231
01:17:30 p.m.	8.732.507	7.536.802

01:22:30 p.m.	8.892.785	7.663.222
01:27:30 p.m.	9.053.091	6.989.676
01:32:30 p.m.	6.171.431	6.980.122
01:37:30 p.m.	9.278.314	7.078.692
01:42:30 p.m.	9.410.068	7.150.630
01:47:30 p.m.	9.536.786	7.216.604
01:52:30 p.m.	9.621.433	7.285.817

<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
01:57:30 p.m.	9.774.943	7.146.979
02:02:30 p.m.	9.915.489	7.182.238
02:07:30 p.m.	4.000.123	7.240.498
02:12:30 p.m.	10.135.881	8.136.047
02:17:30 p.m.	6.977.101	8.328.267
02:22:30 p.m.	10.352.298	8.750.343
02:27:30 p.m.	10.461.069	8.886.441
02:32:30 p.m.	10.662.993	8.985.849
02:37:30 p.m.	7.585.418	9.087.797
02:42:30 p.m.	10.799.352	9.537.839
02:47:30 p.m.	10.922.677	9.385.032
02:52:30 p.m.	11.050.644	9.453.455
02:57:30 p.m.	11.323.368	9.268.464
03:02:30 p.m.	11.364.230	9.324.214
03:07:30 p.m.	11.520.383	9.419.873
03:12:30 p.m.	11.733.302	9.507.795

03:17:30 p.m.	11.977.748	9.247.424
03:22:30 p.m.	12.048.540	9.273.546
03:27:30 p.m.	8.675.895	8.511.127
03:32:30 p.m.	12.220.200	8.745.030
03:37:30 p.m.	8.915.199	8.845.349
03:42:30 p.m.	12.514.031	8.333.266
03:47:30 p.m.	12.656.472	8.074.376
03:52:30 p.m.	12.675.320	8.092.798
03:57:30 p.m.	8.710.132	8.145.176
04:02:30 p.m.	12.923.027	8.469.193
04:07:30 p.m.	5.482.132	8.563.446
04:12:30 p.m.	13.267.060	9.472.906
04:17:30 p.m.	13.392.682	9.639.861
04:22:30 p.m.	5.359.878	9.708.818
04:27:30 p.m.	9.310.295	10.580.179
04:32:30 p.m.	13.630.353	11.224.532
04:37:30 p.m.	13.818.183	11.391.315
04:42:30 p.m.	14.049.807	11.506.894
04:47:30 p.m.	14.160.926	11.628.157
04:52:30 p.m.	14.191.354	11.746.203
04:57:30 p.m.	14.292.342	11.432.050
05:02:30 p.m.	14.559.537	10.281.555
05:07:30 p.m.	10.073.402	9.909.435
05:12:30 p.m.	14.867.722	9.958.165
05:17:30 p.m.	15.098.656	9.718.567
05:22:30 p.m.	15.307.454	8.876.578
05:27:30 p.m.	15.644.319	8.096.172

<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
05:32:30 p.m.	15.681.259	7.445.097
05:37:30 p.m.	10.724.264	6.897.057
05:42:30 p.m.	6.135.848	6.563.289
05:47:30 p.m.	10.909.846	6.568.726
05:52:30 p.m.	10.959.573	6.317.232
05:57:30 p.m.	11.041.152	6.056.590
06:02:30 p.m.	6.316.589	5.816.991
06:07:30 p.m.	6.352.559	5.821.664
06:12:30 p.m.	6.442.498	5.863.645
06:17:30 p.m.	6.499.839	4.646.700
06:22:30 p.m.	6.543.665	3.742.097
06:27:30 p.m.	6.584.656	2.903.562
06:32:30 p.m.	6.622.448	2.500.981
06:37:30 p.m.	6.680.633	2.212.770
06:42:30 p.m.	6.712.895	1.889.442
06:47:30 p.m.	6.786.868	1.712.152
06:52:30 p.m.	6.826.957	1.503.660
06:57:30 p.m.	1.781.107	1.389.269
07:02:30 p.m.	1.794.809	1.379.624
07:07:30 p.m.	1.225.832	1.384.270
07:12:30 p.m.	1.794.937	1.439.520
07:17:30 p.m.	1.801.524	1.452.994
07:22:30 p.m.	1.228.318	1.460.645

07:27:30 p.m.	1.824.508	1.473.180
07:32:30 p.m.	1.173.675	1.482.125
07:37:30 p.m.	1.848.492	1.559.498
07:42:30 p.m.	1.856.193	1.577.241
07:47:30 p.m.	1.864.295	1.585.928
07:52:30 p.m.	1.872.148	1.595.062
07:57:30 p.m.	1.890.391	1.546.335
08:02:30 p.m.	1.909.745	1.546.760
08:07:30 p.m.	1.320.011	1.499.547
08:12:30 p.m.	1.940.392	1.489.236
08:17:30 p.m.	1.952.454	1.493.111
08:22:30 p.m.	1.953.448	1.498.106
08:27:30 p.m.	1.965.235	1.504.129
08:32:30 p.m.	1.979.038	1.510.516
08:37:30 p.m.	1.351.158	1.516.964
08:42:30 p.m.	1.989.805	1.580.057
08:47:30 p.m.	1.361.563	1.542.505
08:52:30 p.m.	1.295.264	1.602.270
08:57:30 p.m.	2.010.287	1.694.502

<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
09:02:30 p.m.	2.028.495	1.714.067
09:07:30 p.m.	2.046.453	1.661.860
09:12:30 p.m.	2.062.638	1.663.151
09:17:30 p.m.	2.077.429	1.670.603

09:22:30 p.m.	2.092.308	1.677.453
09:27:30 p.m.	1.446.142	1.684.598
09:32:30 p.m.	2.137.599	1.694.904
09:37:30 p.m.	2.130.158	1.702.359
09:42:30 p.m.	2.131.907	1.710.536
09:47:30 p.m.	1.467.741	1.720.708
09:52:30 p.m.	2.164.919	1.798.487
09:57:30 p.m.	2.161.401	1.753.308
10:02:30 p.m.	2.169.687	1.756.000
10:07:30 p.m.	2.190.693	1.766.997
10:12:30 p.m.	1.520.470	1.716.398
10:17:30 p.m.	2.234.926	1.781.455
10:22:30 p.m.	2.245.297	1.798.307
10:27:30 p.m.	2.276.162	1.806.930
10:32:30 p.m.	2.295.391	1.813.717
10:37:30 p.m.	1.573.439	1.820.977
10:42:30 p.m.	2.304.354	1.899.829
10:47:30 p.m.	2.320.063	1.917.748
10:52:30 p.m.	1.596.752	1.926.870
10:57:30 p.m.	2.344.197	2.014.625
11:02:30 p.m.	2.350.849	2.035.664
11:07:30 p.m.	2.363.085	2.048.036
11:12:30 p.m.	2.365.859	2.060.738
11:17:30 p.m.	2.397.471	2.072.027
11:22:30 p.m.	2.417.196	2.081.128
11:27:30 p.m.	2.414.641	2.089.760

11:32:30 p.m.	2.436.785	2.100.449
11:37:30 p.m.	2.456.148	2.110.676
11:42:30 p.m.	2.472.270	1.821.210
11:47:30 p.m.	2.497.470	1.723.338
11:52:30 p.m.	2.511.283	1.654.638
11:57:30 p.m.	2.492.975	1.651.876
12:02:30 a.m.	2.499.200	1.657.891
12:07:30 a.m.	2.516.801	1.663.873
12:12:30 a.m.	2.541.376	1.608.911
12:17:30 a.m.	2.554.298	1.606.303
12:22:30 a.m.	816.432	1.555.179
12:27:30 a.m.	1.637.545	1.698.539

<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
12:32:30 a.m.	1.651.143	1.727.700
12:37:30 a.m.	2.602.059	1.804.369
12:42:30 a.m.	2.614.590	1.817.157
12:47:30 a.m.	2.615.420	1.821.581
12:52:30 a.m.	1.663.112	1.826.909
12:57:30 a.m.	2.632.951	1.912.195
01:02:30 a.m.	1.684.306	1.928.630
01:07:30 a.m.	1.707.860	2.021.934
01:12:30 a.m.	1.707.886	2.136.784
01:17:30 a.m.	2.664.080	2.265.779
01:22:30 a.m.	2.669.674	2.289.145

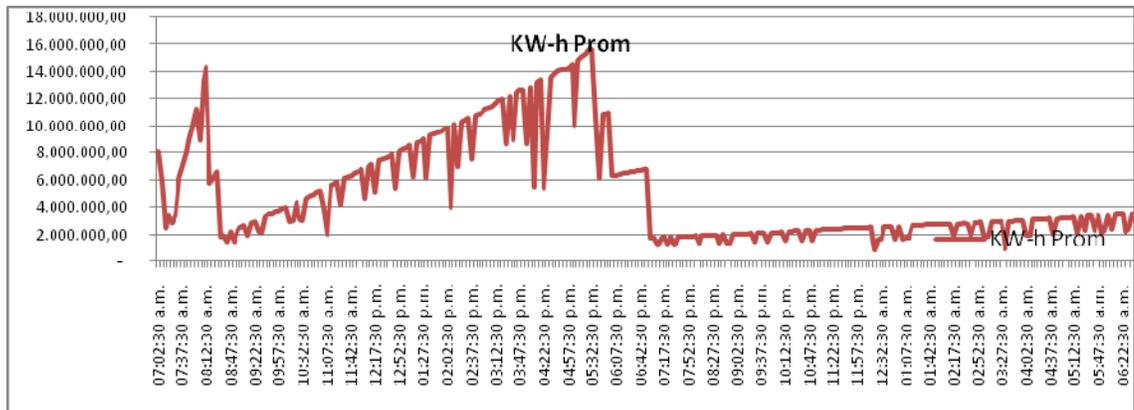
01:27:30 a.m.	2.692.913	2.300.135
01:32:30 a.m.	2.710.330	2.310.021
01:37:30 a.m.	2.737.243	2.228.642
01:42:30 a.m.	2.734.882	2.223.652
01:47:30 a.m.	2.754.681	2.230.352
01:52:30 a.m.	2.764.719	2.236.853
01:57:30 a.m.	2.775.781	2.241.619
02:02:30 a.m.	2.780.232	2.163.951
02:07:30 a.m.	2.798.469	2.159.345
02:12:30 a.m.	2.805.772	2.165.347
02:17:30 a.m.	1.911.843	2.174.275
02:22:30 a.m.	2.801.734	2.171.333
02:27:30 a.m.	2.822.510	2.084.126
02:32:30 a.m.	2.836.967	2.082.627
02:37:30 a.m.	2.822.409	2.089.333
02:42:30 a.m.	1.942.841	2.096.088
02:47:30 a.m.	2.848.794	2.182.376
02:52:30 a.m.	2.884.580	1.913.836
02:57:30 a.m.	2.937.694	1.893.889
03:02:30 a.m.	1.879.600	1.897.657
03:07:30 a.m.	1.863.727	1.977.110
03:12:30 a.m.	2.962.564	2.079.109
03:17:30 a.m.	2.936.708	2.095.615
03:22:30 a.m.	2.926.481	2.019.562
03:27:30 a.m.	2.970.074	1.938.794
03:32:30 a.m.	949.234	1.937.801
03:37:30 a.m.	2.999.356	2.243.297

03:42:30 a.m.	3.007.304	2.292.117
03:47:30 a.m.	3.026.522	2.303.576
03:52:30 a.m.	3.042.105	2.314.947
03:57:30 a.m.	3.063.326	2.326.316

<b>HORA</b>	<b>KW-h Prom</b>	<b>KW-h Prom_2</b>
04:02:30 a.m.	1.944.926	2.235.472
04:07:30 a.m.	1.947.597	2.335.324
04:12:30 a.m.	3.122.216	2.476.800
04:17:30 a.m.	3.133.150	2.501.165
04:22:30 a.m.	3.180.555	2.512.011
04:27:30 a.m.	3.172.162	2.520.448
04:32:30 a.m.	3.192.118	2.531.108
04:37:30 a.m.	3.207.527	2.428.316
04:42:30 a.m.	2.019.794	2.425.747
04:47:30 a.m.	3.197.065	2.464.465
04:52:30 a.m.	3.221.265	2.481.169
04:57:30 a.m.	3.253.168	2.494.645
05:02:30 a.m.	3.276.420	2.419.053
05:07:30 a.m.	3.287.854	2.419.659
05:12:30 a.m.	3.316.985	2.326.283
05:17:30 a.m.	2.112.961	2.244.384
05:22:30 a.m.	3.353.234	2.339.208
05:27:30 a.m.	2.304.750	2.280.563
05:32:30 a.m.	3.390.486	2.357.421

05:37:30 a.m.	3.411.668	2.373.628
05:42:30 a.m.	2.343.453	2.379.238
05:47:30 a.m.	3.436.015	2.366.233
05:52:30 a.m.	2.162.618	2.290.409
05:57:30 a.m.	2.348.632	2.386.124
06:02:30 a.m.	3.458.676	2.450.148
06:07:30 a.m.	2.370.517	2.415.088
06:12:30 a.m.	3.487.959	2.480.745
06:17:30 a.m.	3.500.534	2.433.230
06:22:30 a.m.	3.503.978	2.342.687
06:27:30 a.m.	2.220.047	2.205.212
06:32:30 a.m.	2.411.149	2.340.119
06:37:30 a.m.	3.523.589	2.777.702

Los datos de potencia transferida recibido del equipo Data Logger durante un periodo de 24 horas con intervalos de 5 minutos son los siguientes:



**Figura N°14 - Diagrama de distribución de consumo en KW-h promedio del circuito de potencia intervenido.**

En esta gráfica se observa que la curva se coloca en máxima alrededor de las 5:30PM y cuya característica mas importante es que el consumo es mucho mayor en las horas del día, influenciado principalmente por el uso "continuo" de equipos de refrigeración de oficinas, además del uso fuerte de las máquinas de soldar del área de mantenimiento .

**Cantidad de equipos de consumo eléctrico en el área de influencia**

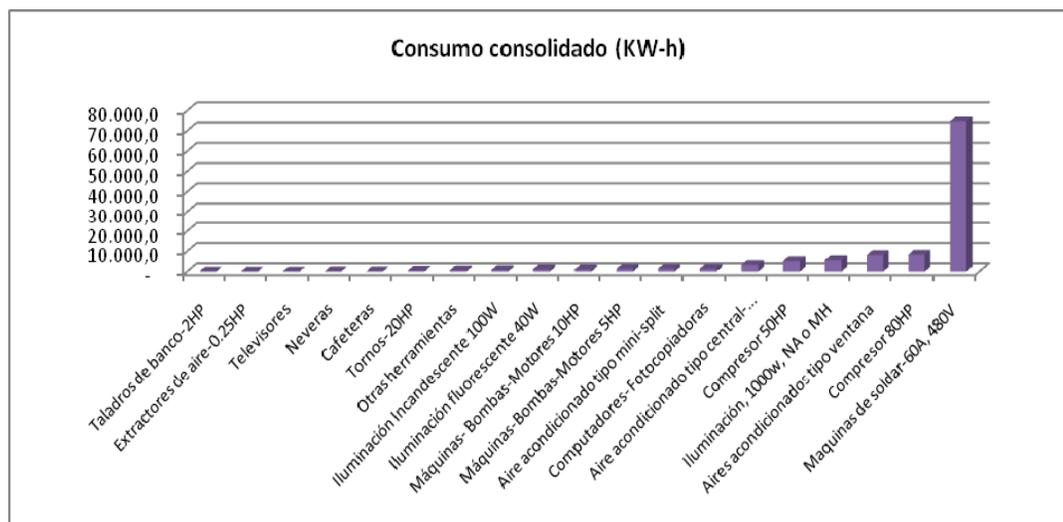
Los equipos eléctricos, digamos que representativos, que encontramos en el área de influencia de esta caracterización energética son los siguientes en orden de menor a mayor consumo consolidado:

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Régimen (% de uso)</b>	<b>Consumo Prom. (W)</b>	<b>Consumo consolidado (KW-h)</b>
Taladros de banco-2HP	4,0	5,0	1.492,0	29,8
Extractores de aire-0.25HP	6,0	80,0	75,0	36,0
Televisores	40,0	20,0	70,0	56,0
Neveras	5,0	100,0	150,0	75,0
Cafeteras	6,0	30,0	900,0	162,0
Tornos-20HP	1,0	35,0	14.920,0	522,2
Otras herramientas	10,0	25,0	2.238,0	559,5
Iluminación Incandescente 100W	100,0	55,0	134,0	737,0
Iluminación fluorescente 40W	200,0	95,0	53,6	1.018,4
Máquinas- Bombas-Motores 10HP	12,0	12,0	7.460,0	1.074,2
Máquinas-Bombas-Motores 5HP	25,0	15,0	3.730,0	1.398,8
Aire acondicionado tipo mini-split	10,0	85,0	1.680,0	1.428,0
Computadores- Fotocopiadoras	42,0	80,0	430,0	1.444,8

Aire acondicionado tipo central-4Tons	10,0	50,0	6.500,0	3.250,0
Compresor 50HP	2,0	70,0	37.300,0	5.222,0
Iluminación, 1000w, NA o MH	50,0	85,0	1.340,0	5.695,0
Aires acondicionados tipo ventana	45,0	100,0	1.800,0	8.100,0
Compresor 80HP	2,0	70,0	59.680,0	8.355,2
Maquinas de soldar-60A, 480V	20,0	75,0	49.824,0	74.736,0
<b>Total</b>	<b>590,0</b>	<b>1.087,0</b>	<b>189.776,6</b>	<b>113.899,9</b>

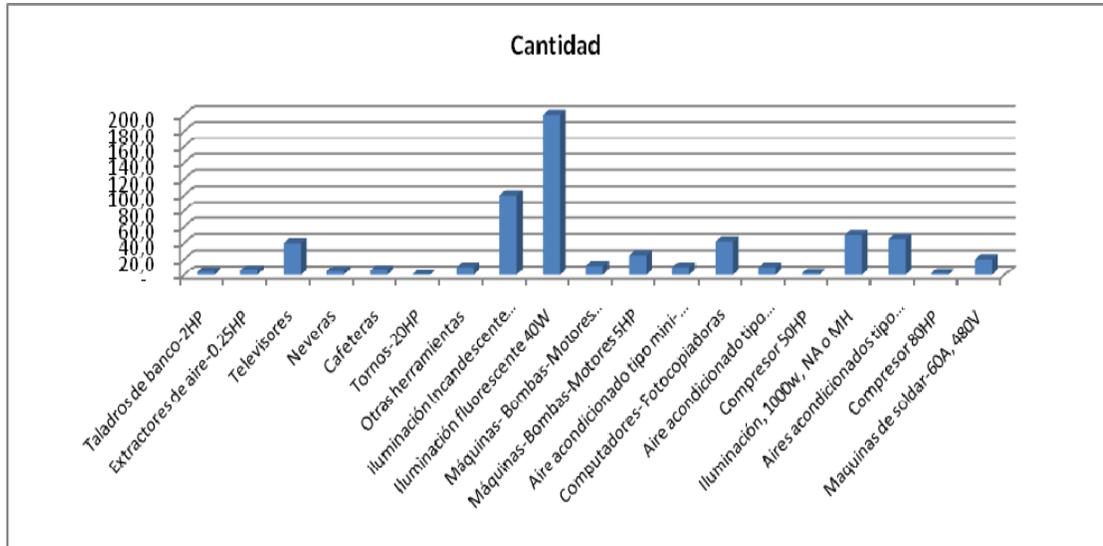
**Figura N°15 - Cuadro de distribución de cargas tipificado por clase de equipos en el área intervenida.**

Una gráfica tipo Pareto de los datos anteriores quedaría de la siguiente forma:



**Figura N°16 - Gráfica distribución de consumo tipificado por tipo de equipos.**

Ahora veremos la distribución por número de equipos:



**Figura N°17 - Gráfica distribución de consumo tipificado por número de equipos.**

## **8. ACTIVIDADES PUNTUALES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCCIÓN DE ENERGÍA Y OTROS RECURSOS.**

Teniendo en consideración todas las notas anteriores, se ha elaborado este plan de trabajo retomando los preceptos básicos de mantenimiento y planeación eléctrica eficiente. Previo a la descripción de actividades realizadas debemos comentar lo siguiente:

Teniendo la gráfica de carga en este sistema y la caracterización de la misma donde se observa que los mayores volúmenes de consumo por equipos son encabezados por las máquinas de soldar de 60 Amperios, seguidos por los compresores de aire de 80HP, posteriormente los aires acondicionados tipo ventana y en cuarto lugar tenemos a los sistemas de alumbrado. Siendo estos equipos los de mayor consumo, por lógica con los que se deben intervenir de primera mano de manera que se sepa si están debidamente mantenidos o debidamente usados o si son los equipos correctos de acuerdo a la función que prestan por ser los consumos mas representativos.

Inicialmente se hace necesario hacer un comentario acerca el transformador objeto de la evaluación.

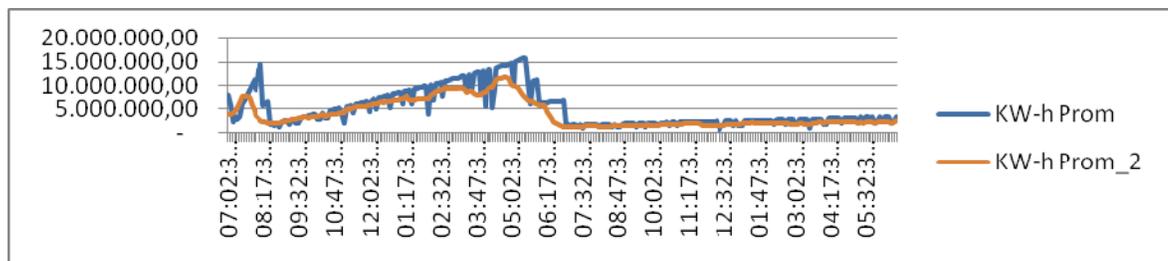
- ❖ **Transformador 750KVA, 4160/480-277V:** se encontró que el voltaje de salida del transformador era bajo (465VAC) en promedio, por lo que se procedió a corregir el tap del mismo en una posición de tal forma que aumenta en un 0,25% hasta el valor de 477VAC. Debemos anotar que mediante esta corrección se mejora el funcionamiento de los equipos ya que tienen una mejor calidad de energía promedio de manera que de esta forma el ahorro se infiere por durabilidad

del equipo (extensión de la vida útil del equipo) y mejorar este ámbito también es eficiencia en mantenimiento.

- ❖ **Máquinas de soldar:** Se establecen rutinas de mantenimiento programado de las máquinas para revisar los equipos de refrigeración de la máquina (ventilador) y selector de rangos de amperajes de trabajo. Se encontraron equipos que tenían conexiones eléctricas flojas, otros con el ventilador no funcional y además en muchos casos los selectores presentaban problemas de fugas de corriente por falta de ajuste, generando así mas calentamiento del normal y por ende mayor gasto de energía, por no decir del deterioro propio del equipo y la consecuente disminución de la vida útil de los equipos. En total se intervinieron los 20 equipos presentes y se realizaron mejoras en 16 de ellos en cuanto a estos temas específicos. Además se realizaron unas jornadas de re-entrenamiento de los soldadores para que fijaran adecuadamente el selector de amperajes de acuerdo al trabajo a realizar y no “calentar” la máquina innecesariamente.
  
- ❖ **Compresores de aire de 80HP:** se encontró que los circuitos de aire comprimido tenían bastantes fugas de aire, lo que en consecuencia, no permitía que los equipos tomaran pausas por presión, (los presostatos siempre activados), y por ende los motores trabajando ininterrumpidamente ocasionando un importante consumo inoficioso de energía en esta área de referencia. Se corrigieron las fugas de aire y se ajustaron los equipos de protección de los motores así como los presostatos de cada sistema de aire.
  
- ❖ **Aires acondicionados:** se encontró que en muchas dependencias que solo funcionan de día y otras oficinas que solo funcionan de lunes a viernes, los aires acondicionados eran dejados encendidos también en la noche y en los fines de semana ocasionando un consumo extra sin justificación. Gerencialmente se determinó que era necesario apagar los equipos de acondicionamiento de aire durante los periodos de tiempo donde no hubiese personas en las dependencias.

- ❖ **Sistemas de alumbrado:** Se encontró que sistemas de alumbrado permanecían encendidos durante el día en sitios donde realmente no se necesitan (sitios abiertos). Se instalaron o habilitaron los controles de alumbrado mediante fotoceldas centralizadas para estos circuitos eléctricos.

Una vez terminada esta etapa de evaluación e implementación de técnicas de mantenimiento iniciadas desde el análisis de los consumos y su caracterización respectiva de parte de planeación, como actividad asociada y de soporte de mantenimiento eléctrico, se procede entonces a realizar nuevamente la instalación del equipo de medición, obteniendo la siguiente gráfica de comportamiento de carga con siguientes resultados.



**Figura N°18. - Diagrama de distribución de consumo en KW-h promedio del circuito de potencia intervenido. En azul el comportamiento del consumo inicial y en naranja el comportamiento después de realizar los mantenimientos mencionados anteriormente.**

Observando la gráfica de consumo obtenida, donde la línea azul corresponde al comportamiento de consumo inicial de referencia y la línea naranja corresponde al consumo en KW-H promedios luego de implementadas las prácticas de mantenimiento coordinadas desde la Planeación de mantenimiento eléctrico.

Como es apreciable en dicha gráfica, la tendencia de consumo viene bajando sus crestas y suavizándolas de tal manera que podemos calcular que tenemos una disminución promedio de 10% de energía en el consumo reflejado en el mismo circuito eléctrico de referencia.

Esta baja en el consumo de energía se debe principalmente a la implementación de los nuevos métodos de planeación de mantenimiento eléctrico y obviamente un compromiso a realizar estos mantenimientos con una excelente calidad y también la importancia que todos los niveles jerárquicos de la Compañía ha sabido orientar.

Es importante para nuestros lectores entender que solo se han tenido en cuenta los cuatro puntos donde encontramos mayor consumo de energía y por ende donde se concentra la mayor probabilidad de éxito de economía energética; no se puede entonces echar de menos a los otros factores, que aunque menores, no son menos importantes ya que en motivos de ahorro energético todo cuenta ya que eso se convierte en recursos financieros.

## 9. CONCLUSIONES.

- Hay que desarrollar una estrategia global, que conduzca a la organización de mantenimiento con un plan de largo plazo; las mejores oportunidades se apoyan en el trabajo en equipo. El desarrollo de una estrategia de mantenimiento valdadera y perdurable debe involucrar a los directivos; con el fin de que auditen avances, retrocesos y progresos en la implementación de la estrategia.
- Tener claridad a nivel de planeación cuales son las pautas que se deben tener en cuenta para que el mantenimiento de los equipos se realice de la mejor manera posible buscando siempre el objetivo primario, mantener los equipos trabajando.
- Entender desde la visión de la gerencia cuales son los roles de cada integrante del equipo de mantenimiento y de esta manera gerenciar desde su posición.
- Dependiendo del tipo de industria, los activos eléctricos son por lo general, el mayor de todos (o uno de los mayores), es deber de nosotros como mantenedores, preservarlo de la mejor manera posible, utilizando el conocimiento y las herramientas para ello, esto hace parte de nuestra labor. Sin energía no hay industria, es totalmente indispensable para su funcionamiento.
- Los nuevos y cada vez más eficientes avances de la tecnología son, en muchos casos, aplicables a los sistemas eléctricos con el fin de ser mas racionales con el uso de los equipos eléctricos de la industria. Hay que buscar el balance entre lo

que es eficiente y el ahorro a mediano o largo plazo que puedo conseguir con la implementación.

- Las buenas prácticas de mantenimiento eléctrico industrial pueden ser un factor en la mejora de la eficiencia de los equipos y de las instalaciones eléctricas de tal manera que el resultado es un ahorro energético que puede ser importante dependiendo del grado de seriedad con que se implementen y conserven las medidas comentadas anteriormente. En el caso de referencia hemos obtenido un ahorro promedio de 10% de energía en los consumos y esto, cuando se tienen consumos grandes los volúmenes de dinero son mas apreciables.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Energy Efficient Motor Driven Systems. European Copper Institute (ECI), Fraunhofer-ISI, KU Leuven and University of Coimbra. Published by ECI in April 2004.
  
- A. L. Orille, A. Jornet, S. Jareño, A. Pérez, "Optimal design and efficiency test method of induction motors fed by frequency converters", EEMODs 2002, Treviso, Italy.
  
- Fuente: [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_2403\\_motores\\_electricos](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2403_motores_electricos).
  
- Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives. Paolo Bertoldi, Anibal de Almeida, Hugh Falkner (Editors). Springer, 2000. Página V.
  
- C.N.Glew, "Stray load losses in induction motors: a challenge to academia", Power Engineering Journal, February 1998.
  
- Belmans, R., Collard, B., Driesen, J., Evans, M-A, Honorio, L., Electricity for more efficiency: Electric technologies and their energy savings potential, urelectric & UIE: Brussels, 2004, pp.
  
- Asea Brown Boveri, ABB, Manual de Mantenimiento de Motores y Generadores de Inducción, [www.abb.com/motors&drives](http://www.abb.com/motors&drives), Diciembre 2006.
  
- G. Bonessi, J. Viera, Cálculo De Pérdidas Técnicas En Redes De Distribución Con Generación Distribuida, IEEE, 7º encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas. 16 y 17 de Octubre del 2008, Montevideo-URUGUAY.
  
- Unidad Editorial, Memorias de Conferencia de Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids), Madrid 14 de Junio 2010.

- D. Betancur, F. Bianco, F. Boions, M. Rey, Beneficios por Reducción de Pérdidas Eléctricas en la Red de Distribución al Adoptarse Niveles de Tensión Superiores en la Media Tensión, paper UTE Union de Transmisores Eléctricos, Uruguay, 2009.
- C. Puret, Cuaderno Técnico No 55-Las Redes de Distribución Pública del Mundo, Schneider Electric, 2007.
- Joan I. Frau Valentí, Eficiencia Energética En Redes Eléctricas, Desde La Perspectiva De Las Empresas Distribuidoras, Endesa Distribución, Barcelona, 29 de mayo de 2007.
- Programa Regional de Eficiencia Energética, Motores eléctricos: Buenas prácticas en eficiencia energética, San Jose de Costa Rica, marzo 2010.
- Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento, conferencista Ing. Héctor Huacuz A, Octubre 30-31 de 2003 – León, GTO. México.
- Bóreo, Carlos, Mantenimiento Industrial, Editorial Universitat, Córdoba 1998.
- Monchy, Francois. "Teoria y Practica del Mantenimiento Industrial", Versión castellana Manuel Fraxanet de Simón, Masson S. A. Barcelona 1990.
- Probability Concepts in Electric Power Systems, Anders, George J, Jhon Wiley y & Sons, Toronto, ON, 1990.
- Releability – Centered Maintenance Management and Engineering Methods, Anderson Ronald, T; Neri Lewis, El Servier Science Publishers Ltd. Essex, England.