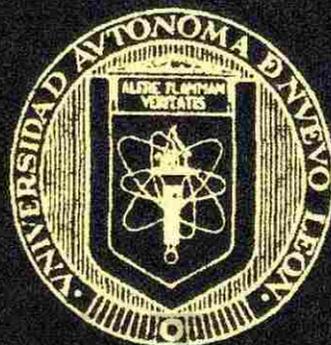


# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



" REINGENIERÍA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA  
EN LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA"

**POR**

ING. VALENTIN ZAVALA BERNAL

**TÉSIS**

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON  
ESPECIALIDAD EN POTENCIA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L.

A 24 DE JUNIO DEL 2003

VZB

REINIGUNG  
BENJAMIN  
SCHEIDT  
SUPERIOR  
ACTION  
FRONT  
HERBIA

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2003  
.Z3

20003



1020149863



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

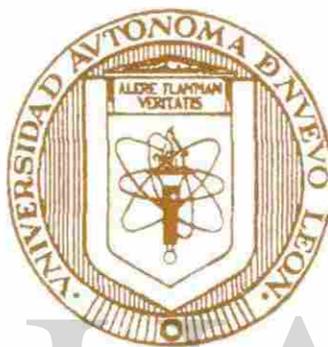
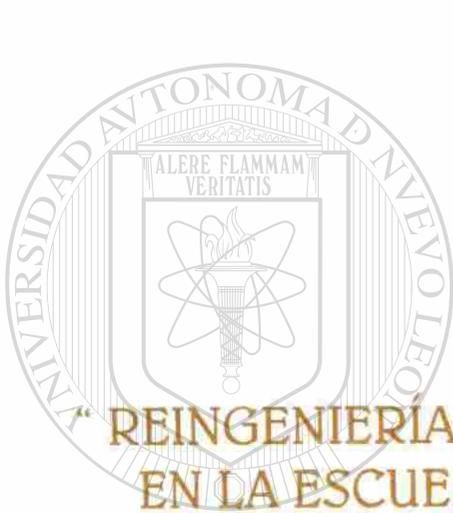


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



“REINGENIERÍA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA  
EN LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA”

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**POR**

**ING. VALENTIN ZAVALA BERNAL**

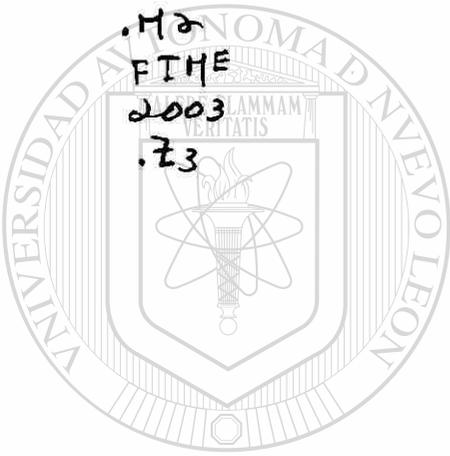
**TÉSIS**

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON  
ESPECIALIDAD EN POTENCIA

981467

TM  
Z5853

.M2  
EIME  
2003  
.Z3



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO  
TESIS

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**“REINGENIERÍA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA  
EN LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA”**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
**POR**

DIRECTOR **ING. VALENTIN ZAVALA BERNAL**

**TÉSIS**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON  
ESPECIALIDAD EN POTENCIA**

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**“REINGENIERÍA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA  
EN LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA”**

**POR**

**ING. VALENTIN ZAVALA BERNAL**

**TÉSIS**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON  
ESPECIALIDAD EN POTENCIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**División de Estudios de Post-grado**

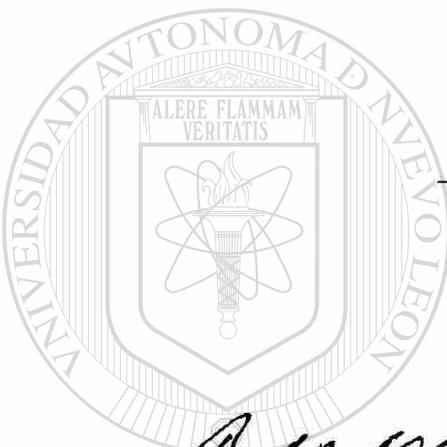
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis. “ **Reingeniería de la Instalación Eléctrica en la Escuela Superior de Ingeniería** ” realizada por el alumno **Valentín Zavala Bernal**, matrícula 1115165 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Sistemas Eléctricos de Potencia.

El comité de tesis



Asesor

Dr. Rogelio Ramírez Barradas



Coasesor

Dr. Fernando Betancourt Ramírez



Coasesor

Dr. Fernando Sánchez Tello

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Vº.Bo

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez  
Subdirector de Post-grado

San Nicolás de los Garza, N.L., Julio de 2003

# DEDICATORIA

**A MI ESPOSA,**

**J. Narcedalia Montero Rodriguez de Zavala, mi compañera quien con su cariño y comprensión me apoya para continuar venciendo nuevas metas.**



**Gabriela Astrid**

**Lucia Anahi**

**Mariel Alejandra**

**Natalia Analija,**

**Con el deseo que sigan el camino de su formación educativa;  
para lograr la superación requerida en la vida**

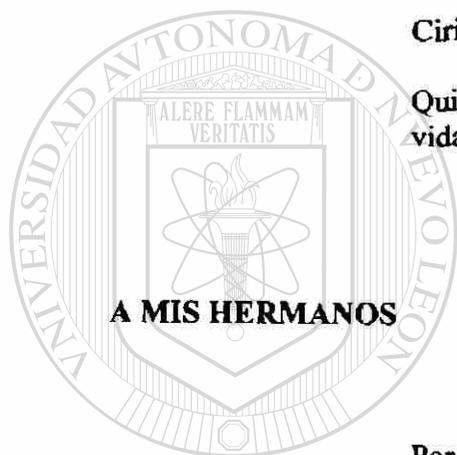
# AGRADECIMIENTO

## A MIS PADRES

Agapito Zavala Salazar (+), descanse en paz

Ciria Bernal Campirano (+), descanse en paz

Quienes me trajeron al mundo y me enseñaron el camino de la vida



## A MIS HERMANOS

Por apoyarme y darme alientos para lograr mis anhelos en la vida, en especial a Samuel (+), descanse en paz, por comprenderme, apoyarme y conducirme.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### A MIS AMIGOS

En especial aquellos que han contribuido en la formación de mi vida y me han dedicado algún tiempo para la conversación, y fraternizar.

# **AGRADECIMIENTO**

## **A NUESTROS MAESTROS DE POST-GRADO**

EN ESPECIAL AL ASESOR Y COASESORES DE ESTA TESIS,

DR. ROGELIO RAMÍREZ BARRADAS  
DR. FERNANDO SÁNCHEZ TELLO  
DR. FERNANDO BETANCOURT RAMIREZ

Quienes dedicaron su conocimiento tiempo y esfuerzo en la aplicación de metodologías, técnicas y una cultura para la aplicación en nuestra labor de vida.

## **A LOS COMPAÑEROS DE POST-GRADO,**

Por su amistad y sus muestras abiertas al dialogo, fraternidad así como su apoyo en el trayecto de los estudios fijado por la U.A.N.L.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA Y EQUIPO DE APOYO  
EN TODAS SUS ÁREAS,**

Por su apoyo, confianza y atenciones otorgadas para llevar a cabo mis estudios y este tema de tesis.

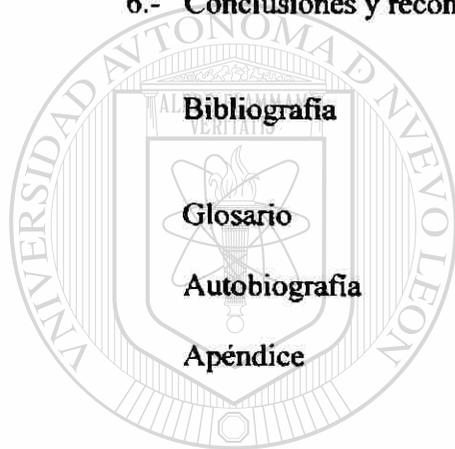
**A TODOS, GRACIAS**

# Índice

	Pág.
Resumen	1
1.- Introducción	2
2.- Circuitos eléctricos de corriente alterna	5
2.1 Corriente alterna	
2.1.1 Introducción	
2.1.2 Periodo , frecuencia	8
2.1.2.1 Análisis	
2.1.2.2 Frecuencias industriales	
2.1.3 Formula de variación senoidal de la intensidad de la corriente	9
2.1.3.1 Análisis	
2.1.3.2 La intensidad de la corriente alterna	
2.1.4 Ley de Ohm	11
2.1.5 Condensadores	12
2.1.5.1 Introducción	
2.1.5.2 Importancia de los fenómenos de capacidad	
2.1.5.3 Utilización de los condensadores	
2.1.5.4 Clases de condensadores	
2.1.6 Inductancias	15
2.1.6.1 Campo magnético	
2.1.6.2 Fuerza electromotriz de inducción	
2.1.6.2.1 Ley de Lenz	
2.1.6.2.2 Consecuencias	
2.2 Inductancia y corriente alterna	16
2.3 Impedancia	18
2.3.2 Ley de Ohm Generalizada	
2.3.3 Resonancia	
2.4 Potencia	20
2.4.2 Desarrollo	
2.4.3 Potencia compleja	
2.4.4 Corrección del factor de potencia	
2.5 Solución de circuitos por el método de mallas	22
2.6 Circuitos de C.A. trifásicos	24
2.7 Potencia en circuitos trifásicos balanceados	
2.7.2 Conexiones y relaciones de potencia	
2.7.3 Medición de la potencia trifásica	
3.- Elementos generales de las instalaciones eléctricas	26
3.1 Objetivo	
3.2 Concepto de instalación eléctrica	
3.3 Elementos de una instalación eléctrica de baja tensión	27
3.3.1 Conductores eléctricos	
3.3.1.1 Generalidades	

3.3.1.2	Selección del calibre de conductores en baja tensión	
3.3.1.3	Número de conductores en un tubo conduit	
3.3.1.4	Cálculo de conductores por caída de voltaje	
3.4	Sistema trifásico a tres conductores	37
3.5	Utilización de los sistemas de distribución	38
3.5.1	Sistema monofásico a dos conductores	
3.5.2	Sistema trifásico a tres conductores	
3.5.3	Sistema trifásico a cuatro conductores	39
3.5.4	Caída de voltaje	
3.6	Canalizaciones eléctricas	42
3.7	Conectores para canalizaciones eléctricas	43
3.8	Accesorios adicionales	
3.9	Seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión	44
3.9.1	Introducción	
3.9.2	Línea de tierra	
3.9.3	Toma de tierra	45
3.9.3.1	Dependencia	
3.9.3.2	Algunos casos mas corrientes	
3.9.4	El riesgo de incendio	47
3.9.5	La sobrecarga	
3.9.6	El corto circuito	48
3.9.7	La avería de fase a tierra	
3.9.8	El arco eléctrico	49
3.9.9	Reacción en caso de corto circuito	
3.9.10	Desenganche para corriente de cortocircuito mínima	
3.9.11	Caída de tensión	50
4.-	Equipos y aparatos eléctricos en la escuela	52
4.1	La subestación eléctrica	
4.1.1	El transformador	54
4.1.2	Operación de los transformadores	58
4.1.3	Capacidad de carga de un transformador	60
4.1.4	Conexión de los transformadores	61
4.1.5	Capacitores para corrección del factor de potencia	67
4.2	Interruptores	73
4.2.1	Interruptores manuales	74
4.3	Tableros eléctricos	75
4.3.1	Tableros de distribución	80
4.4	Cuchillas fusibles	83
4.5	Apartarrayos	84
4.6	Transformador para instrumentos	86
4.7	Equipo de aire acondicionado	90
4.8	Alumbrado	106
4.9	Equipo de laboratorio para análisis del carbón	
4.10	Equipo centro de cómputo	

5.-	Revisión Energética de la instalación eléctrica	107
5.1	Administración de la energía y revisión energética	
5.1.1	Auditoria energética	113
5.1.2	Administración de la energía	
5.1.2.1	Facturas o cuentas por el servicio de energía eléctrica	121
5.2	Análisis del uso eficiente de la energía	130
5.2.1	Identificación de las posibilidades de ahorro de la energía	
5.2.2	Identificación de los mayores consumidores de energía	131
5.2.3	Planteamiento estadístico para el cálculo del consumo de energía	135
5.3	Resumen de costos	136
5.3.1	Presentación de resultados	
5.3.2	Informe financiero	137
6.-	Conclusiones y recomendaciones	139



**Bibliografía** 142

**Glosario** 143

**Autobiografía** 144

**Apéndice** 145

**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## Resumen

En esta tesis se analiza de manera detallada el comportamiento energético de la instalación eléctrica de la Escuela Superior de Ingeniería y se proponen una serie de medidas tendientes a mejorar la eficiencia en el funcionamiento global de la misma.

La motivación principal de este trabajo ha sido el concretar en acciones prácticas las ideas surgidas de un afán de superación, el cual, para ser más eficientes nos conduce a racionalizar el uso de la energía como uno de los factores más importantes para el logro de ésta meta.

En los capítulos iniciales se presentan las bases teóricas de los circuitos de corriente alterna, así como de las instalaciones y equipo eléctrico considerando tanto su aspecto constructivo y operativo como los aspectos de seguridad. Se presentan también los principios de diseño del sistema de aire acondicionado, que resulta de primordial importancia considerando el clima de la región donde se localiza la instalación.

El análisis detallado de las condiciones actuales de funcionamiento de la instalación eléctrica y las alternativas de mejora ocupan la parte central de este trabajo. Se presentan los datos reales de consumo energético así como los costos que este consumo involucra.

Se describen las áreas de oportunidad para el ahorro de energía y se presentan conclusiones y recomendaciones para el logro de estos objetivos.

Se recomiendan cambios a las instalaciones que involucran la remodelación de diferentes áreas de trabajo. El análisis costo-beneficio permite concluir que a través de los ahorros en la energía consumida es posible recuperar la inversión en un lapso de 3.4 años.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

Las industrias, empresas u organizaciones de servicio se hallan actualmente en un proceso continuo de cambios para lograr un funcionamiento mas eficaz y mantenerse dentro de la competencia. Esto implica disminuir costos, la costehabilidad es el resultado de la aplicación de métodos, para llevar a cabo mejoras que conduzcan a estándares de tiempo equitativo y a una motivación laboral con modernos sistemas de retribución. Se suma a esto lo que la Comisión Federal de Electricidad ha instituido con un premio nacional de ahorro de Energía Eléctrica, como un reconocimiento público anual a las empresas industriales, Comerciales o de servicios, así como a las instituciones Educativas o de investigación, que más se hayan destacado durante el año calendario inmediato anterior al del lanzamiento de la convocatoria, por los esfuerzos desarrollados y los logros obtenidos en el campo del uso eficiente y racional de la energía eléctrica con el consecuente ahorro.

Este trabajo fue elaborado para identificar las posibilidades de incrementar el uso eficiente de la energía, destacando y actualizando el material que establece estrategias específicas para fomentar y llevar a cabo la disminución de energía y hacer mas eficiente la instalación eléctrica de la Escuela Superior de Ingeniería. Dotar al personal administrativo, de una fuente de datos reales provenientes del resultado de las investigaciones.

El presente trabajo de tesis tiene el objetivo de fomentar y apoyar las mejoras que respecto a la disminución del consumo y demanda de energía eléctrica son necesarias desarrollar para que las instalaciones eléctricas hagan en forma optima su función, disminuyendo las pérdidas que por algún motivo pasaron desapercibidas en su

instalación original o que por el incremento natural de la carga fueron rebasadas. A la vez considerando los avances tecnológicos en materia de equipos y luminarias es necesario su evaluación para tomar la decisión de su arreglo o reemplazo siempre considerando su mayor eficiencia, estimando la enorme trascendencia que el ahorro de Energía Eléctrica encierra para la industrialización , diversificación de la economía, generación de empleos y para el desarrollo general del País.

Cada capítulo contiene material mejorado de acuerdo a los lineamientos que surgieron por los maestros asesores.

El capítulo 1 ilustra de una forma general la necesidad de la disminución del consumo y demanda de energía eléctrica que son necesarias desarrollar en las instalaciones eléctricas.

En el capítulo 2 se desarrollan los conceptos teóricos básicos de la electricidad para lograr de una forma condensada abarcar todas las bases necesarias para la comprensión de las instalaciones eléctricas.

El capítulo 3 trata el concepto genérico de instalación eléctrica su clasificación , los elementos que la componen y su funcionamiento; a la vez trata lo necesario que es una buena selección de los elementos y equipos basado en cálculo y catálogos para que reúna las condiciones deseadas de acuerdo a la naturaleza de la carga, del tipo de energía disponible y de los dispositivos de fabricación comercial.

El capítulo 5 se dan las bases para la administración de la energía identificando las posibilidades de incrementar su eficiencia estableciendo programas y elaborando medidas para su conservación.

Capítulo 6 se discute el punto de la racionalización de la energía

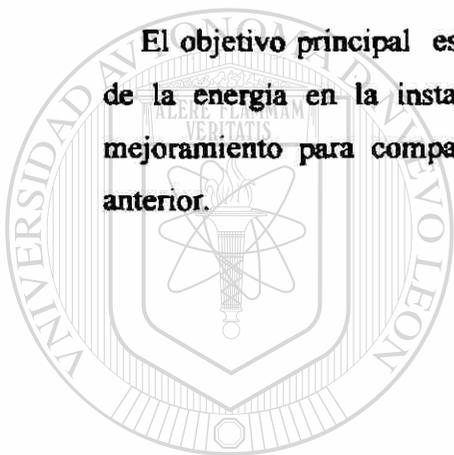
Capítulo 7 conclusiones y recomendaciones

Capítulo 8 bibliografías

## Objetivo

Incitar a la Escuela Superior de Ingeniería a que revise y mejore sus instalaciones en búsqueda de una mayor eficiencia mediante la aplicación de técnicas y equipos mas avanzados, así, como a la utilización de equipos mas modernos, encaminados a reducir el consumo y demanda de la Energía Eléctrica; enfocándola a la verificación que el plan o estrategia de ahorro se oriente; mas que un ahorro indiscriminado; hacia la toma de decisiones, basadas en cifras y datos verificables, mas que en opiniones; hacia el ahorro económico no solo mejorando el balance energético, sino con perspectivas de mejorar los resultados en el futuro y ser mas realistas en las economías actuales.

El objetivo principal es identificar las posibilidades de incrementar el uso eficiente de la energía en la instalación eléctrica de la Escuela Superior de Ingeniería, el mejoramiento para compararla con los resultados propios obtenidos en un periodo anterior.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# Capítulo 2

## CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA

### 2.1 Corriente alterna

#### 2.1.1 Introducción

Hoy más del 95% de la energía eléctrica utilizada por la industria y los hogares se produce en forma de corriente alterna. Esto no se debe primordialmente a ninguna superioridad de la corriente alterna sobre la continua en cuanto a su aplicación a fines domésticos e industriales. En realidad, hay muchos casos en los que la corriente continua es absolutamente necesaria para determinadas industrias, como los tranvías urbanos, los procesos electrolíticos, los motores de corriente continua son preferibles para los ascensores, prensas, mineros continuos y muchos accionamientos con velocidad variable.

Sin embargo en todos estos casos, la energía se produce y se transporta la mayoría de las veces en forma de corriente alterna y se convierte después en corriente continua.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Algunas de las razones de producir la energía en forma de corriente alterna es que puede producirse a tensiones relativamente altas, puede elevarse y reducirse fácilmente por medio de transformadores estáticos. Con ello es posible el transporte económico de energía como corriente alterna hasta distancias muy largas valiéndose de altas tensiones de transporte, lo que representa una gran ventaja, ya que el peso del conductor varía en forma inversa del cuadrado de la tensión, cuando la potencia, la distancia y las pérdidas admitidas no varían. Después es posible reducir con elevado rendimiento la tensión de transporte al alcanzar el punto de utilización de la energía.

Es posible construir generadores de corriente alterna de gran tamaño que giren a elevadas velocidades de modo que su costo de construcción y los gastos de explotación por kilowatt resulten reducidos, y estos generadores se adaptan perfectamente a turbinas motrices de elevada velocidad.

Para trabajar a velocidad constante, el motor de inducción de corriente alterna tiene mejor rendimiento que el de corriente continua, es mas barato y su fabricación es menos costosa, lo que se debe en parte al hecho de que el motor de inducción no tiene colector. Conviene, por la tanto, producir la energía eléctrica en forma de corriente alterna para poder utilizar motores de inducción.

Los elevados rendimientos de transporte que pueden alcanzarse con la corriente alterna, hacen que sea económico producir energía eléctrica en cantidades muy grandes en una central única para distribuirla sobre un extenso territorio. El alternador de gran tamaño tiene un rendimiento que puede alcanzar hasta un 98.5 % y aún, como las grandes calderas y turbinas de vapor requieren menos personal por kilowatt, las cargas de explotación por kilowatt- hora, referentes a trabajo y vigilancia, son pequeñas.

Por tales motivos, suele ser más económico producir energía eléctrica por medio de unidades grandes, transformarla en corriente continua, que producir directamente corriente continua en el propio lugar de su utilización.

Recordemos, no obstante, que los reducidos gastos de producción se contrarrestan, en parte por lo menos, por el costo de la distribución debido a la instalación de líneas, cables, subestaciones, maquinaria, etc., unidos a los gastos de personal de explotación y los de mantenimiento de la red de distribución.

La teoría y análisis de la corriente alterna se fundan en el empleo de una bobina que gira en un campo magnético uniforme a velocidad constante para generar una f.e.m. inducida que varía de una forma senoidal como se observa en la figura (2.1)

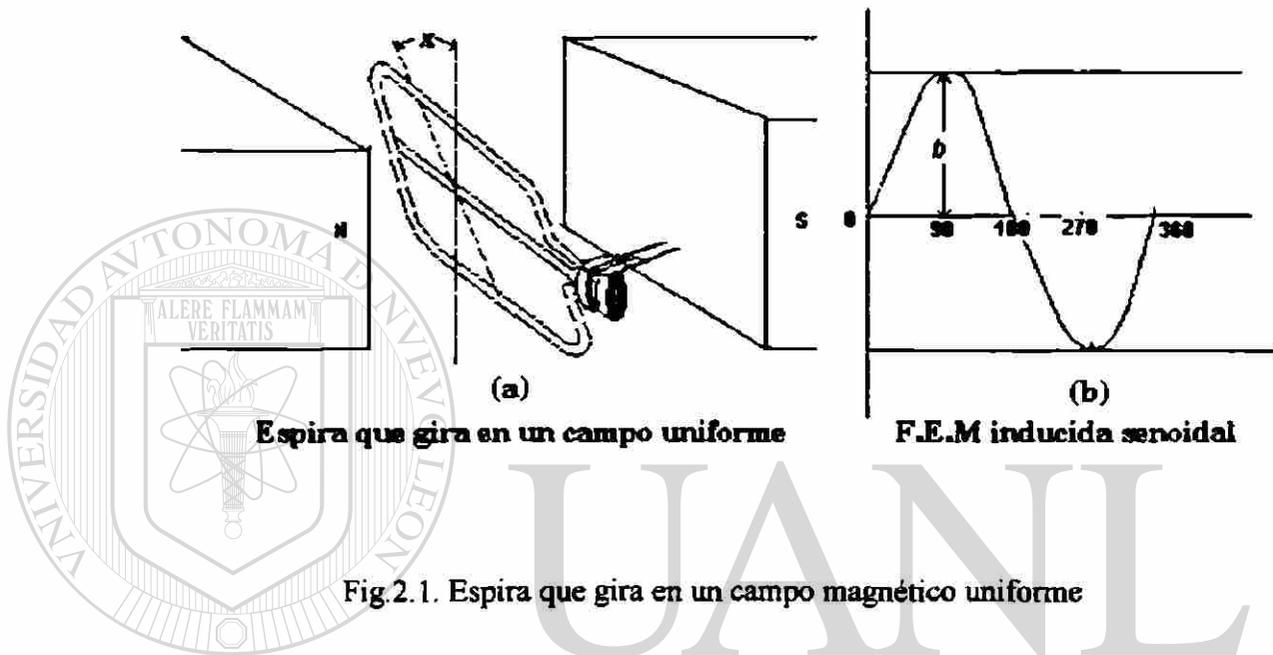


Fig.2.1. Espira que gira en un campo magnético uniforme

Cuya expresión viene dada por:

$$e = B l v \text{ sen } \theta \times 10^{-8} \text{ volts.}$$

En la que :

- B Es la densidad de flujo en ( gauss o líneas/cm<sup>2</sup> )
- l Es la longitud activa del conductor que corta el flujo en (cm)
- v Es la velocidad relativa entre el conductor y el campo en cm/seg.
- e Es la f.e.m. inducida en (volts)

## 2.1.2 Periodo; frecuencia

### 2.1.2.1 Análisis

Si el conductor de la fig. (2.1a) gira durante un tiempo (  $t$  ) en segundos a partir de la posición  $0^0$ , habrá dado (  $st$  ) revoluciones, o (  $ft$  ) ciclos. Estando (  $s$  ) en ( r.p.m. ) y (  $f$  ) en periodos por segundo. Por lo tanto:

$$x = 2 \pi s t = 2 \pi f t \quad \text{radianes o } 360 f t \quad \text{grados}$$

Si la velocidad angular es (  $w$  ) ( en radianes por segundo ), concluimos:

$$w = 2 \pi f \quad \text{radianes por segundo}$$

$$w = 360 f \quad \text{grados por segundo}$$

La frecuencia de un alternador depende del número de pares de polos frente a los cuales pasa la espira por segundo . Por lo tanto:

$$f = \frac{p}{2} s \quad \text{o sea} \quad f = \frac{P S}{120} \quad \text{periodos por segundo}$$

$s$  velocidad en r. p. s.

$S$  velocidad en r. p. m.

$P$  numero de polos

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### 2.1.2.2 Frecuencias industriales

Una compañía que suministra energía para luz y fuerza debe adoptar una frecuencia de 60 ciclos / seg. , porque a frecuencias menores por ejemplo a 25 ciclos/ seg. Las lamparas oscilaran de una manera inadmisibile y los transformadores para la frecuencia mas baja son mas voluminosos y pesados, además mas caros que los de frecuencia elevada. En cambio, una empresa que produzca energía únicamente destinada a fuerza puede adoptar la frecuencia de 25 ciclos/ seg. Esta frecuencia se utiliza en ferrocarriles para las locomotoras eléctricas en E.U.

### 2.1.3 Formula de la variación senoidal de la intensidad de la corriente

#### 2.1.3.1 Análisis

En la curva de la fig. 2.1 ( b ) , el valor de la ordenada ( y ) en un punto cualquiera se puede hallar multiplicando b por el seno del ángulo correspondiente. Por lo tanto:

$$Y = b \text{ sen } x$$

Donde x esta expresado en grados

Si reemplazamos en esta ecuación x por su valor  $2 \pi f t$  y  $2 \pi f$  se reemplaza por w obtenemos la ecuación de la intensidad de la corriente alterna senoidal.

$$i = I_m \text{ sen } 2 \pi f t = I_m \text{ sen } w t$$

Donde

i es el valor de la corriente instantánea dado un instante t.

$I_m$  es el valor máximo de la corriente

$W = 2\pi f$  velocidad angular en radianes/ seg.

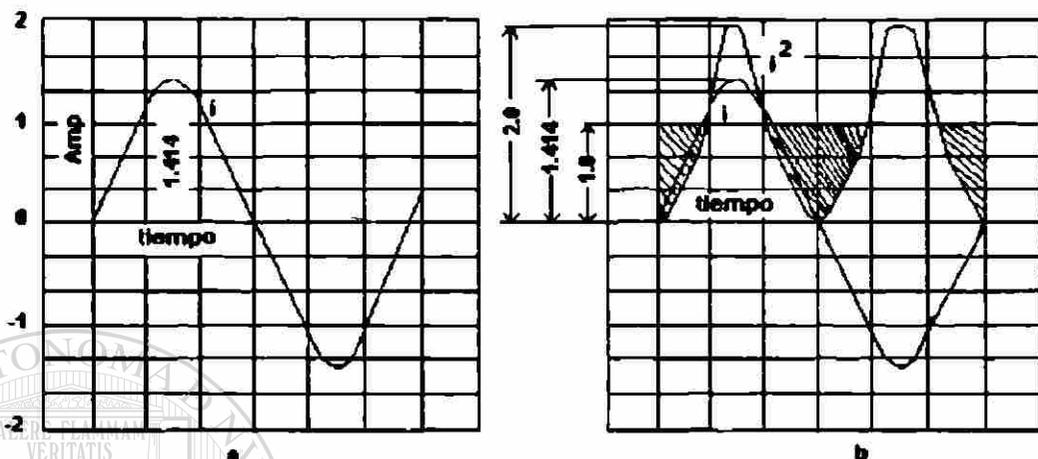
#### 2.1.3.2 La intensidad de la corriente alterna

Un amperímetro de corriente continua, conectado para determinar el valor de la intensidad de la corriente alterna, debe indicar cero, puesto que dicho instrumento mide valores medios. Pero el valor de la intensidad de la corriente alterna no se mide por su valor medio, sino por su efecto térmico y se puede definir como sigue:

Una corriente alterna de intensidad de “ un amper”; es aquella que, al circular por una determinada resistencia óhmica, produce la misma cantidad de calor que si pasara una corriente continua de un amper.

El efecto térmico es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, o sea que en un instante cualquiera su valor es :

$$\text{efecto térmico} = .i^2 R$$



**Figura 2.2** Valores máximo y eficaz de la intensidad de una corriente alterna

En la fig.2.2 ( b ) se representan las curvas de variación de la corriente y sus valores elevados al cuadrado. El valor máximo de la curva de  $i^2$  es  $(1.4142)^2 = 2$ , puesto que el máximo de la curva de los valores de  $i$  es  $1.4142 = \sqrt{2}$ . La curva de los cuadrados se halla siempre encima del eje, este valor de la intensidad de corriente recibe el nombre de “ intensidad media cuadrática” o “ valor eficaz” de la intensidad de la corriente.

Para cualquier corriente senoidal, la relación entre el valor máximo de la intensidad y el valor eficaz es igual a  $\sqrt{2}$ , o sea 1.4142. La relación entre la intensidad eficaz y la máxima es a su vez,  $1/\sqrt{2} = 0.707$

$$I_{ef} = 0.707.I.m = (1 / \sqrt{2} ) I m$$

### 2.1.4 Ley de ohm

Si consideramos un circuito que tiene solo resistencias donde se cumple:

$$e = R i = R I_m \text{ Sen } \omega t = E_m \text{ sen } \omega t$$

Donde

$E_m$  es el valor de la tensión.

La intensidad y la tensión tienen la misma frecuencia  $f = \omega/2\pi$ . Ambos también están en fase cuando  $t = 0$ ,  $\text{sen } \omega t = 0$  esto se muestra en la fig. 2.3( a ) en la que están representadas cuando cortan el eje y toman su valor máximo al mismo tiempo. En la misma fig.2.3( b ) se representan tanto el voltaje como la corriente en un diagrama vectorial.

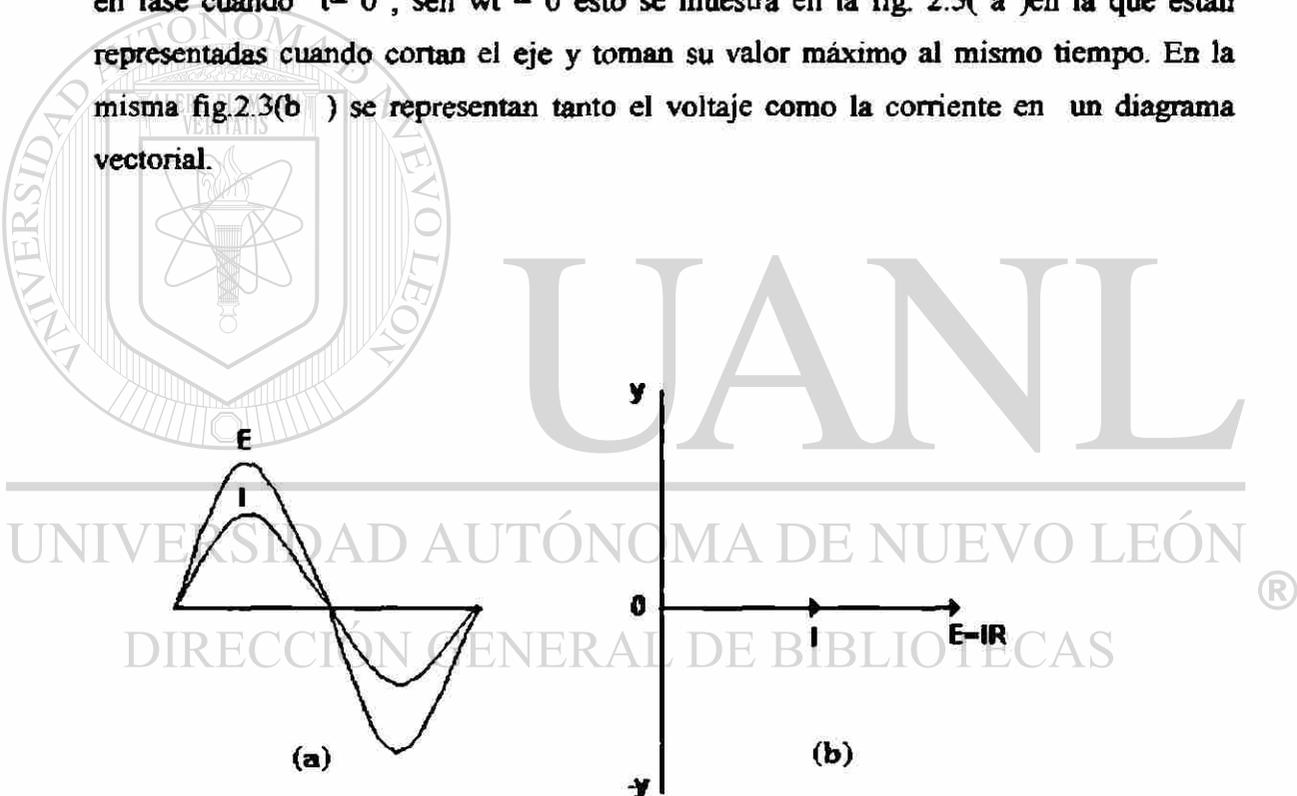


Fig.2.3 Curva de tensión y corriente en fase con el diagrama vectorial correspondiente

Cuando no hay más que resistencias, la corriente alterna sigue las mismas leyes de la corriente continua en lo que se refiere a las relaciones que existen entre la tensión y la intensidad de la corriente, la resistencia y la potencia.

## 2.1.5 Condensadores

### 2.1.5.1 Introducción

Un condensador esta constituido por dos placas metálicas separadas por un dieléctrico, trabaja bajo los principios de las cargas en los átomos de los materiales de lo que están hechas las placas, las cuales al ser conectadas a una tensión quedan cargadas. Esta carga que adquieran las placas es proporcional a la tensión de tal manera que podemos formularla.

$$Q = C V$$

Donde :

C es el coeficiente de proporcionalidad o capacidad del condensador en faradios ; como el Faradio es una unidad muy grande se utiliza el  $\mu F$  que representa una millonésima de Faradio ( $10^{-6}$  Faradios)

V Es la tensión o diferencia de potencial en volts

Q Es la carga que adquiere el condensador en coulomb

Si después de haber cargado un condensador se le aísla, este conserva su carga. Al contrario si se unen sus placas a través de una resistencia R se descarga según una ley exponencial.

$$v = V e^{-t/RC}$$

donde

v Es la diferencia de potencial en la descarga en cualquier instante

RC Es la constante de tiempo

t = RC ,

t en seg.

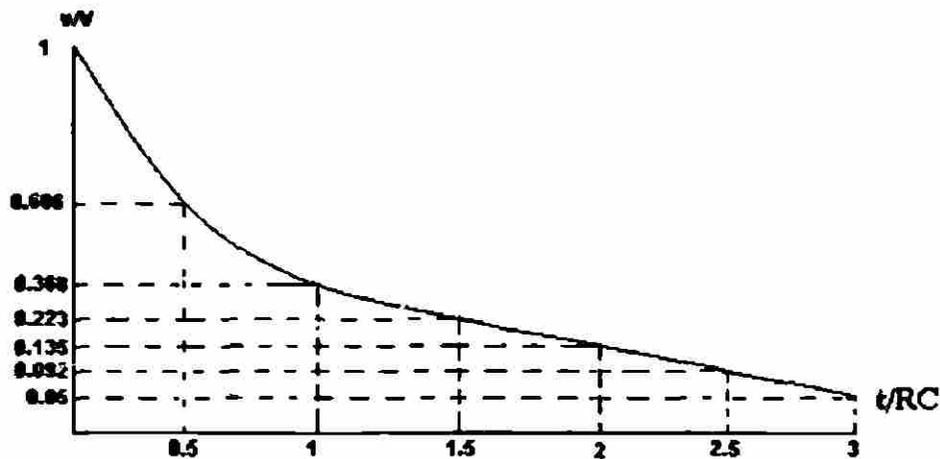


Fig. 2.4 Potencial de un condensador durante su descarga

Para  $t = RC$  la diferencia de potencial de las placas alcanza un 36.8 % del valor inicial en un seg.

### 2.1.5.2 Importancia de los fenómenos de capacitancia

Los fenómenos de capacitancia desempeñan un gran papel en las redes eléctricas. Ya que un conductor aislado forma la placa de un conductor y la tierra forma la otra, de tal manera que entre mas largo sea el conductor mayor será su capacidad y en un aislante rebajado por raspones o por otros motivos es mas fácil que se forme el arco eléctrico y electrocutar al personal que lo maneja o dañar el equipo.

### 2.1.5.3 Utilización de los condensadores

Prácticamente no existe instalación eléctrica sin condensadores, a continuación damos algunos ejemplos de utilización.

- 1.- Electrónica
- 2.- Control eléctrico ( relevadores de tiempo )
- 3.- " Para corregir el factor de potencia"

En corriente alterna el condensador adelanta la corriente con respecto al voltaje, el cual si lo consideramos perfecto el ángulo de desfaseamiento es de 90 grados como se muestra en la fig.2.5 ( b, c ).

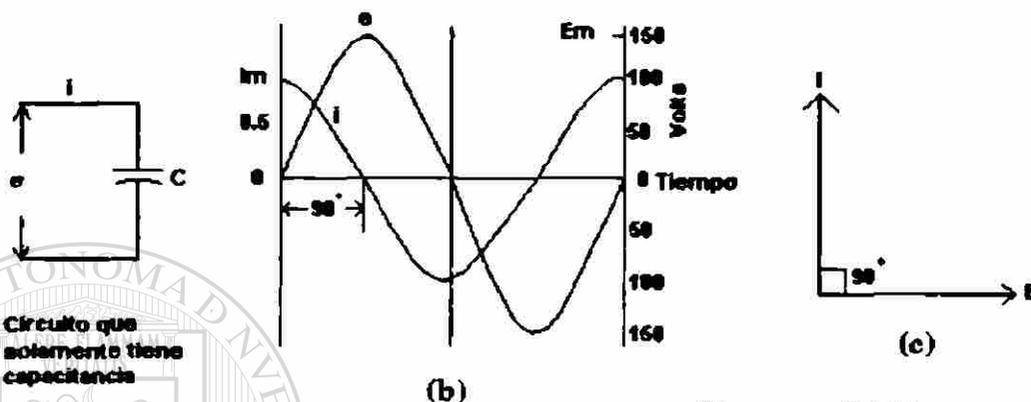


Fig. 2.5

Es esta la característica que se usa para corregir el factor de potencia. También depende en forma inversamente proporcional de cierta oposición al flujo de la corriente alterna. Dicha oposición se le llama reactancia capacitiva y se representa por  $X_C$ .

$$X_C = 1 / 2 \pi f C = 1 / \omega C$$

$X_C$  Es la reactancia capacitiva en ohm

$f$  Es la frecuencia en ciclos/seg. o hertz

$C$  Es la capacidad en faradios.

#### 2.1.5.4 Clases de condensadores

Son muchas y varían en particular según la gama, muy amplia, de las capacidades que se desean. Se distinguen los condensadores de aire, de aceite, de dieléctrico sólido. Los más clásicos están formados por bandas de papel comprendidas entre hojas de aluminio muy delgadas y enrolladas en cilindros.

## 2.1.6 Inductancias

### 2.1.6.1. Campo magnético

En todo conductor recorrido por una corriente eléctrica se crea un campo magnético alrededor de él, que es proporcional a dicha corriente.

Si el conductor se enrolla en forma de un resorte ( solenoide ), el campo magnético será reforzado dependiendo del número de vueltas dándole el nombre de fuerza magnetomotriz (f.m.m ) al producto de la corriente por el número de vueltas.

$$f_{mm} = N I \quad \text{amper-vueltas}$$

El flujo es el número de líneas que forman el campo magnético y es proporcional a la corriente que circula por la bobina o solenoide.

Si la corriente que pasa por el conductor que forma el solenoide es variable se presenta el fenómeno de autoinducción y el flujo será:

$$\phi = L I$$

Donde  $L$  se llama inductancia en henry, es una propiedad de la bobina o elemento en estudio; también se le llama coeficiente de autoinducción.

### 2.1.6.2. Fuerza electromotriz de inducción

#### 2.1.6.2.1. Ley de lenz:

En todos los casos de inducción electromagnética, la tensión inducida tenderá a hacer circular en un circuito cerrado una corriente en un sentido tal que su efecto magnético se oponga a la variación que la ha engendrado.

$$e = - d \phi / d t$$

Puesto que  $\phi = L i$

$$d \phi = L d i$$

Por lo tanto

$$e = -L d i / d t$$

### 2.1.6.2.2 Consecuencias

En todos los circuitos eléctricos en donde intervienen bobinas hay inductancia que crean campos que inducen a su vez en el circuito una f.e.m. de inducción (e). La cual puede alcanzar valores muy grandes del 50 a 100% de la tensión de la red. Esto es lo que explica la sobreintensidad del arco al abrir o cerrar un circuito.

El transformador basa sus principios en la inducción cuyo papel es esencial dentro de la transmisión, distribución de la energía eléctrica a escala nacional, internacional y en la industria, para proporcionar los diferentes voltajes requeridos en las mejores condiciones económicas.

## 2.2 Inductancia y corriente alterna

En un circuito puramente inductivo la corriente atrasa al voltaje en un ángulo de 90 grados como se muestra en la fig.2.6 ( b ). Si se aplica una tensión de forma senoidal.

$$v = V_m \cos \omega t$$

La fuerza electromotriz de inducción contrarrestaría a esta de acuerdo a la primera ley de kirchhooff.

$$-L \frac{di}{dt} + V_m \cos \omega t = 0$$

Despejando

$$.di = ( 1 / L ) V_m \cos \omega t dt$$

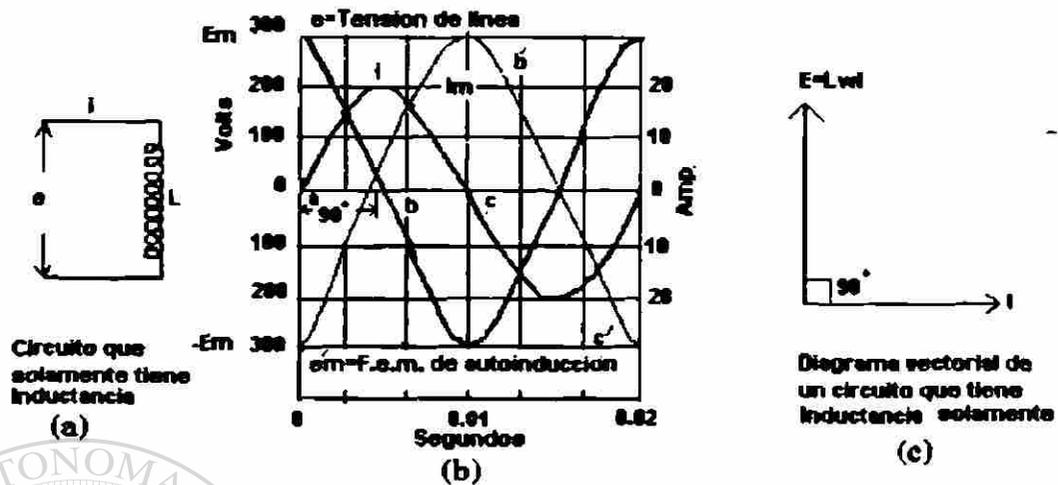
Integrando

$$.i = ( 1 / L\omega ) V_m \text{sen} [ \omega t - \pi / 2 ]$$

$$.i = ( V_m / L\omega ) \text{sen} [ \omega t - \pi / 2 ]$$

$$i = I_m \text{sen} [ \omega t - \pi / 2 ]$$

Al graficar el voltaje y la corriente se observa en la fig.2.6 ( b ) el desfase así como también la f.e.m. de inducción.



Si la asemejamos a la ley de ohm, el factor  $L\omega$  nos representaría la oposición al flujo de la corriente y se representa por  $X_L = L\omega$ ,

$X_L = 2\pi fL$  y se llama reactancia inductiva "en ohm".

Ahora podemos escribir aplicando la ley de ohm al circuito inductivo.

$$X_L(i) = v$$

$$\omega L I_m \sin(\omega t - \pi/2) = V_m \cos \omega t$$

Puesto que

$$\begin{aligned} \sin(\omega t - 90) &= \cos \omega t \\ \omega L I_m \cos \omega t &= V_m \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{El valor máximo del } \cos \omega t &= 1 \\ \omega L I_m &= V_m \end{aligned}$$

Los valores de voltaje y corriente máximos pueden ser leídos en osciloscopio y algunos instrumentos digitales.

En lo que respecta a los aparatos analógicos estos dan valores eficaces del voltaje y la corriente, aplicando las relaciones.

$$I_m = I_{ef} \sqrt{2}, \quad V_m = V_{ef} \sqrt{2}, \quad \omega L I_{ef} \sqrt{2} = V_{ef} \sqrt{2}$$

$$I_{ef} = V_{ef} / \omega L = V_{ef} / X_L$$

## 2.3. Impedancia Z

### 2.3.1. Ley de ohm generalizada

Si se aplica una tensión a un circuito serie que contenga resistencia, capacidad e inductancia aparecerán las siguientes relaciones del diagrama vectorial mostrado en la fig.2.7(b).

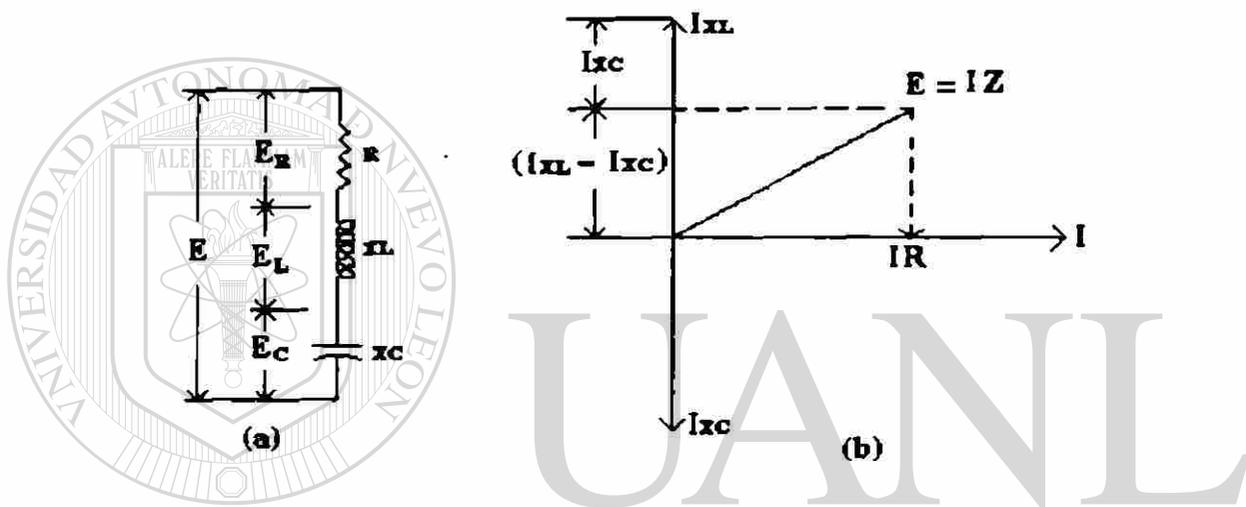


Fig. 2.7 Circuito serie con R, L, C.

En la cual se pone como referencia en el eje horizontal la corriente, ya que esta es la que se atrasa o se adelanta con respecto al voltaje dependiendo el tipo de circuito que predomine. En el caso del circuito resistivo la corriente y el voltaje están en fase.

La tensión de la línea debe ser igual al vector suma de las tres tensiones y es la hipotenusa del triángulo rectángulo cuyos catetos son  $IR$ , e  $I(XL - XC)$

$$E^2 = (IR)^2 + [I(XL - XC)]^2$$

$$E^2 = I^2 [R^2 + (XL - XC)^2]$$

$$E = I \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

El factor  $\sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$  se le da el nombre de impedancia y se representa como.

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

De tal forma que podemos escribir.

$$E = I Z, \text{ despejando } I \text{ tenemos } I = E / Z$$

$$\text{El ángulo de fase } \varphi \text{ se halla de la expresión } \operatorname{tg} \varphi = (X_L - X_C) / R$$

$$\text{El factor de potencia del circuito es } f. P = \cos \varphi = R / Z$$

### 2.3.2 Resonancia

Cuando la reactancia inductiva es igual a la reactancia capacitiva sucede la resonancia y la tensión en terminales de la inductancia es igual a la de la tensión en el capacitor y se equilibran mutuamente, de manera que la caída de tensión  $I R$  se hace igual a la tensión de la línea como se muestra en el diagrama vectorial de la

fig.2.8

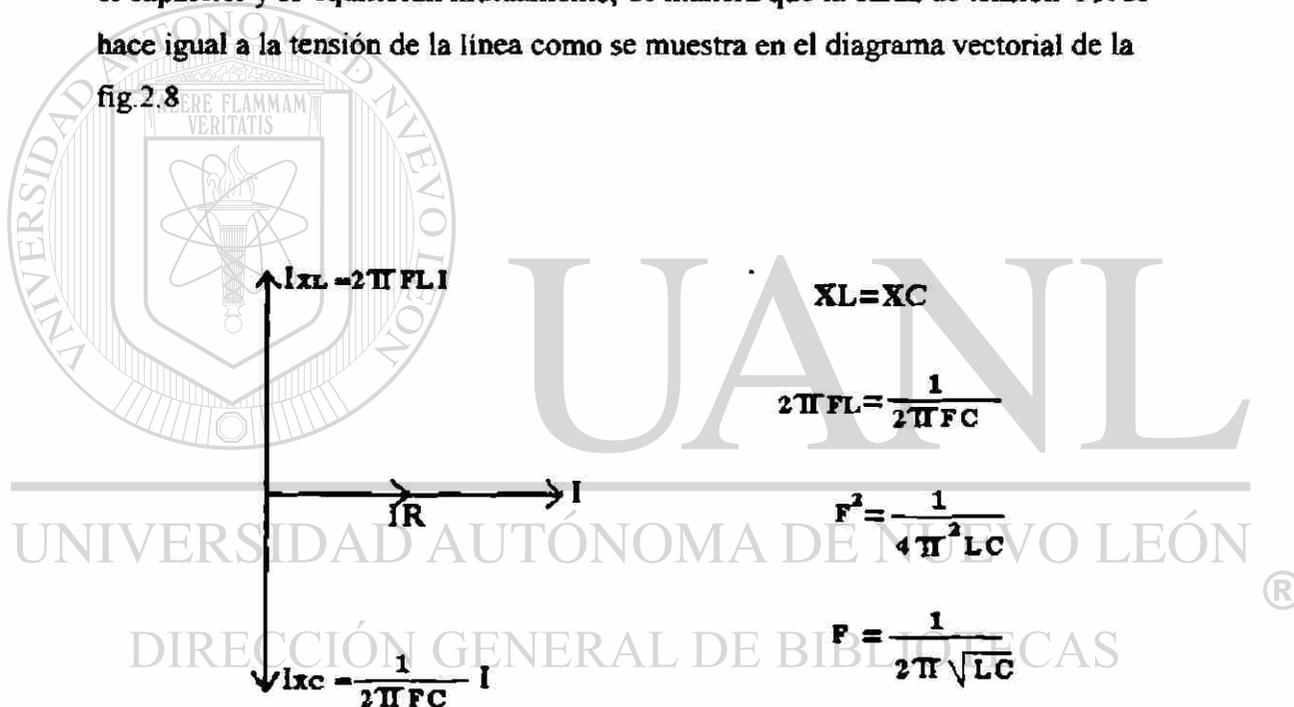


Fig. 2.8 Diagrama vectorial de la resonancia

Cuando el circuito es resonante la tensión en el inductor es igual a la del capacitor y ambas tensiones pueden alcanzar altos valores, aun cuando la tensión de alimentación sea reducida, esta relación también es aplicada a circuitos en paralelo.

## 2.4 Potencia

### 2.4.1 Potencia activa

La fórmula para la potencia en corriente continua  $p = e i$ , en corriente alterna esta fórmula también se acepta. Considerando valores instantáneos su expresión.

$P = E_m \sin \omega t - [ I_m \sin (\omega t - \phi) ] = 1/2 E_m I_m [ \cos \phi - \cos (2\omega t - \phi) ]$  el valor medio de esta potencia

$$P = 1/2 (E_m I_m \cos \phi)$$

$$E_m = \sqrt{2} E_{ef}, \quad I_m = \sqrt{2} I_{ef},$$

$$\text{Puesto que } E_{ef} = E_m / \sqrt{2} \quad \text{y} \quad I_{ef} = I_m / \sqrt{2}$$

$$P = E_{ef} I_{ef} \cos \phi$$

Esta potencia es el efecto realmente útil de la corriente. Se llama potencia real o potencia activa, mientras que el producto de  $E_{ef} \times I_{ef}$  es la potencia aparente y se representa por la letra S; al  $\cos \phi$  le llama factor de potencia.

### 2.4.2 Potencia compleja

La potencia compleja o potencia aparente está dada por el producto  $V I$  y se denota por el símbolo S. Las unidades de S son volts amper o sus múltiplos. en la forma trigonométrica la potencia compleja tiene la forma.

$$S = V I \cos \phi + j V I \sin \phi$$

Donde como ya vimos  $V I \cos \phi$  es la parte real o potencia real (P), al producto  $V I \sin \phi$  que es la parte imaginaria, se le conoce como la potencia reactiva se representa por la letra (Q) de manera que la potencia compleja se puede expresar;

$$S = P + j Q$$

Si la corriente va atrasada con relación al voltaje ( circuito inductivo) se tiene el triángulo de la fig.2.9.

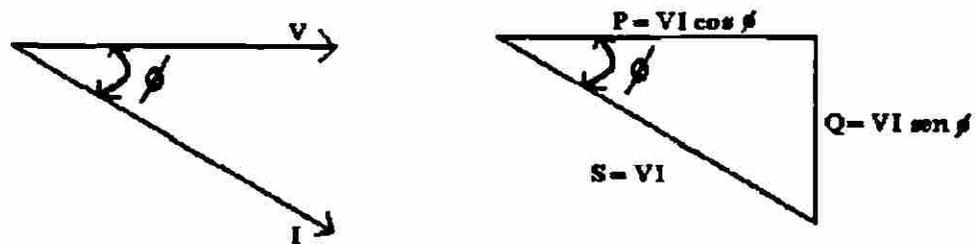
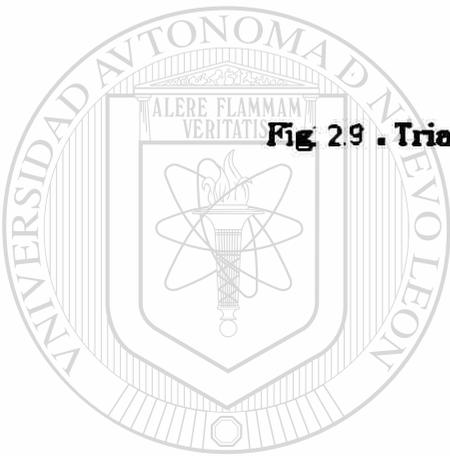


Fig. 2.9 . Triangulo de potencia para cicuito inductivo



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

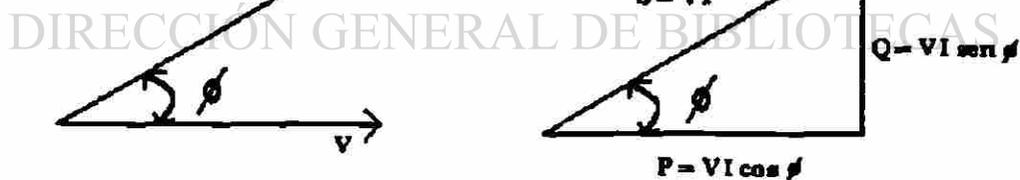


Fig.2.10 Triangulo de potencia para circuito capacitivos

Para corriente adelantada al voltaje ( circuito capacitivo ) fig.2.10.

La potencia compleja S también se obtiene del producto  $V I$

Resumen de fórmulas para determinar la potencia real, reactiva, aparente.

**Potencia real**

$$P = V I \cos \phi$$

$$P = I^2 R$$

$$P = V^2 / R$$

potencia aparente

$$S = V I, \quad S = I^2 Z, \quad S = V^2 / Z$$

**Potencia reactiva**

$$Q = V I \text{ Sen} \phi$$

$$Q = I^2 X$$

$$Q = V^2 / X$$

Factor de potencia

$$\cos \phi = R / Z, \quad \cos \phi = P / S$$

### 2.4.3 Corrección del factor de potencia

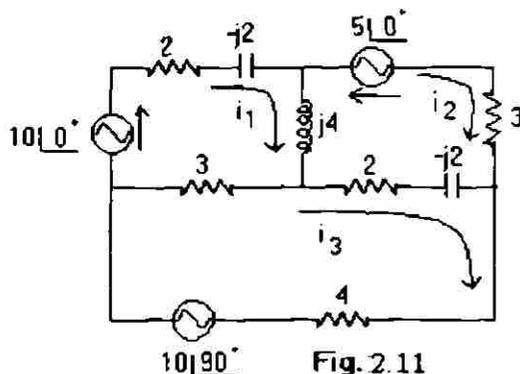
En algunas aplicaciones de los circuitos eléctricos, especialmente en los casos de sistemas industriales, es necesario hacer correcciones en el factor de potencia, para evitar multas por parte de C.F.E. que establece un (0.9) mínimo.

Ver apéndice A- 2 para un ejemplo

### 2.5 Solución de circuitos por el método de mallas

La solución de circuitos de C.A. por el método de mallas, parte de la aplicación de la ley de Kirchhoff de voltajes a cada trayectoria cerrada del circuito ( malla) seleccionadas de tal forma que se planteen ecuaciones linealmente independientes.

Consideremos la Fig. 2.11 para plantear las ecuaciones y determinar las corrientes de malla del circuito



Forma generalizada de las ecuaciones usando la técnica de inspección:

$$Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + Z_{13} I_3 = V_1$$

$$Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + Z_{23} I_3 = V_2$$

$$Z_{31} I_1 + Z_{32} I_2 + Z_{33} I_3 = V_3$$

Los elementos  $Z_{kk} = Z_{11}, Z_{22}, Z_{33}$  se conocen como **impedancias propias** y se obtienen como la suma algebraica de las impedancias alrededor de esa malla.

Los elementos  $Z_{ki} = Z_{12}, Z_{13}, Z_{21}, Z_{23}, Z_{31}, Z_{32}$ , se conocen como **impedancia mutua** entre las mallas  $k-i$  y es la impedancia que se encuentra entre estas mallas tomada con el signo apropiado. En caso de acoplamiento magnético entre inductancias de distintas mallas se deben considerar como elementos mutuos de acuerdo con el signo dado por su polaridad.

Otra forma de expresar el sistema de ecuaciones es como un producto de matrices.

$$\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix}$$

Las incógnitas son las corrientes de malla  $I_1, I_2, I_3$ , que se obtienen resolviendo estos sistemas por medio de las técnicas de solución de ecuaciones simultáneas.

Tomando en consideración lo antes dicho las impedancias propias son

$$Z_{11} = 2 - j2 + j4 + 3 = 5 + j2$$

$$Z_{22} = 2 + 3 - j2 + j4 = 5 + j2$$

$$Z_{33} = 3 + 2 - j2 + 4 = 9 - j2$$

Las impedancias mutuas.

$$Z_{12} = Z_{21} = -(j4) = -j4$$

$$Z_{13} = Z_{31} = -(3) = -3$$

$$Z_{23} = Z_{32} = -(2 - j2) = -2 + j2$$

Sustituyendo en la fórmula generalizada

$$(5 + j2) I_1 + (-j4) I_2 + (-3) I_3 = 10 \angle 0^\circ$$

$$(-j4) I_1 + (5 + j2) I_2 + (-2 + j2) I_3 = -5 \angle 0^\circ$$

$$(-3) I_1 + (-2 + j2) I_2 + (9 - j2) I_3 = -10 \angle 90^\circ$$

## 2.6 Circuitos de C.A. trifásicos

Un sistema trifásico de inducción de voltaje se puede interpretar como tres fasores separados entre sí por  $120^\circ$ , de tal forma que las ondas de voltaje para cada fase se encuentran separadas  $120^\circ$  entre sí, considerando como positiva la rotación del inductor en el sentido contrario a las manecillas del reloj de tal forma que para la secuencia A B C, los fasores pasen con respecto a un punto fijo en el orden A-B, C-A, B-C, esto para cualquier voltaje instantáneo inducido.

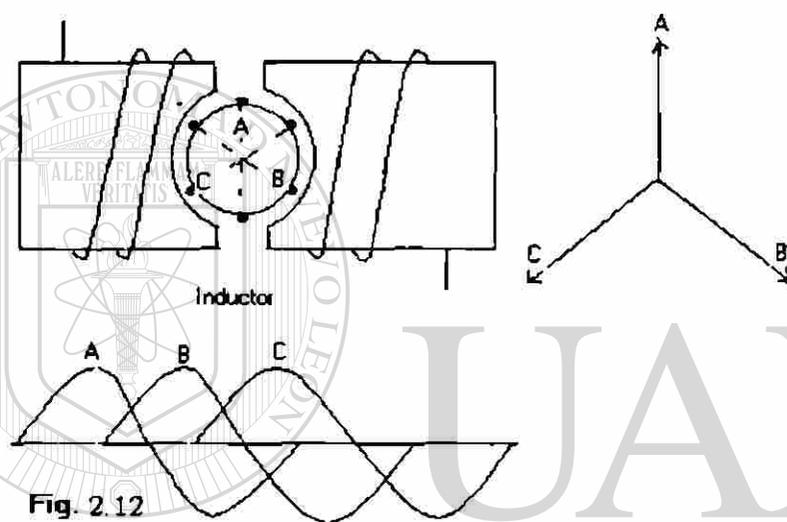


Fig. 2.12

Tanto las fuentes de voltaje como las cargas se encuentran normalmente conectadas en dos formas: **Delta y Estrella**.

## 2.7 Potencia en circuitos trifásicos balanceados

### 2.7.1 Conexiones y relaciones de potencia

Las conexiones más empleadas (de transformadores, motores) en la industria son las conexiones Delta ( $\Delta$ ) y Estrella ( $Y$ ) y las relaciones entre potencia, corriente y voltaje para cada una de ellas se muestra a continuación.

$$S_t = \sqrt{3} V_L I_L \quad (\text{Volts Amper})$$

$$Q_t = \sqrt{3} V_L I_L \text{ Sen } \phi \quad (\text{Volts Amper reactivos})$$

**Para conexión  $\Delta$** 

$$P_t = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \text{ ( Watts )}$$

$$I_L = I_f \sqrt{3}$$

$$V_L = V_f$$

$P_t$  = potencia total en Watts

$V_L$  = voltaje de línea en Volts

$I_L$  = corriente de línea en Amperes

$V_f$  = voltaje de fase en Volts

$I_f$  = corriente de fase en Amperes

**Para conexión  $Y$** 

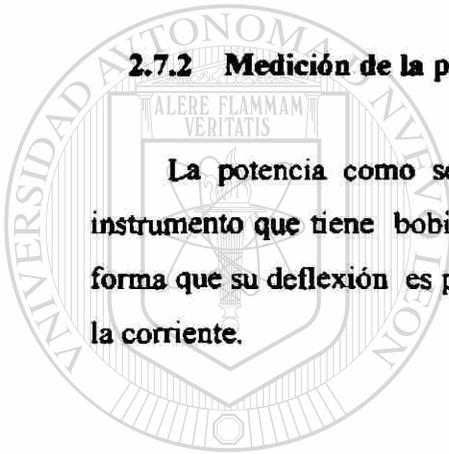
$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \text{ ( Watts )}$$

$$I_L = I_f$$

$$V_L = V_f \sqrt{3}$$

**2.7.2 Medición de la potencia trifásica**

La potencia como se sabe se mide por medio de un Wattmetro, que es un instrumento que tiene bobinas de potencial y bobinas de corriente en un arreglo de tal forma que su deflexión es proporcional a  $V I \cos \phi$ , siendo  $\phi$  el ángulo entre el voltaje y la corriente.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



# Capítulo 3

## ELEMENTOS GENERALES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

### 3.1 Objetivo

El objetivo de una instalación eléctrica es cumplir con los servicios que fueron requeridos durante la etapa del proyecto, en esencia proporciona servicio con el propósito de que la energía eléctrica satisfaga los requerimientos de los distintos elementos que la transformaran según sean las necesidades.

Las instalaciones eléctricas se clasifican tomando en cuenta la generación hasta la utilización pasando por las etapas de transformación, transmisión y distribución como:

- a).- Alta tensión (80, 100, 110, 220, 400 KV).
- b).- Extra alta tensión ( mas de 345 KV).
- c).- Mediana tensión ( 66, 44, 32 KV ).
- d).-Distribución y baja tensión (23, 20, 13.2, 4.16, 0.440, 0.220, 0.127 KV)

Esta clasificación esta de acuerdo a las tensiones empleadas en los sistemas eléctricos, ya que el reglamento de obras e Instalaciones Eléctricas establece otros rangos para un tipo específico de instalación eléctrica.

-DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### 3.2 Concepto de instalación eléctrica

Conjunto de elementos necesarios para conducir y transformar la energía eléctrica: cumpliendo con los requisitos de:

- a).- Ser segura contra accidentes e incendios.
- b).-Eficiente y económica.
- c).-Accesible y de fácil mantenimiento
- d).- Cumplir con los requisitos técnicos que fija el reglamento de obras e instalaciones eléctricas.

### 3.3 Elementos de una instalación eléctrica de baja tensión

En principio en una instalación eléctrica intervienen como elementos principales para conducir, proteger y controlar la energía eléctrica y los dispositivos receptores los siguientes:

- a).- Conductores Eléctricos.
- b).- Canalizaciones Eléctricas.
- c).- Conectores para las canalizaciones eléctricas.
- d).- Accesorios adicionales.
- e).- Dispositivos de protección.

Considerando que las instalaciones pueden ser: visibles, ocultas, parcialmente ocultas y a prueba de explosión.

#### 3.3.1 Conductores eléctricos

##### 3.3.1.1 Generalidades

En cualquier instalación eléctrica se requiere que los elementos de conducción de energía tengan una buena conductividad y cumplan con otros requisitos en cuanto a sus propiedades eléctricas y mecánicas, considerando desde luego el aspecto económico. Por esta razón la mayor parte de los conductores empleados en instalaciones eléctricas están hechos de cobre o aluminio que son comercialmente los materiales con mayor conductividad y con un costo bajo, ya que existen otros materiales con mejor conductividad como son la plata y el platino, pero con un costo elevado lo que hace antieconómico su utilización en instalaciones eléctricas.

Desde el punto de vista de las normas, los conductores se han identificado por un número que corresponden a lo que comúnmente se conoce como el calibre y que normalmente sigue el sistema americano (A.W.G., circular mil) o europeo, siendo el más grueso el número 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20, que es el más delgado usado en

instalaciones eléctricas. Los países europeos usan generalmente el milímetro cuadrado por tal motivo es necesario tener una conversión de medida que puede hacerse utilizando la relación.

$$\text{Circular mil} = \text{mm}^2 \times 1973.5$$

la tabla N° 3.1 que se muestra a continuación presenta estas equivalencias. (1)\*

Dimensiones de los conductores eléctricos desnudos				
Calibre A.W.G. M.C.M	Sección		Diámetro	
	C.M.	mm <sup>2</sup>	Pulg.	mm
20	1022	0.5176	0.03196	0.812
18	1624	0.8232	0.04030	1.024
16	2583	1.3090	0.05082	1.291
14	4107	2.0810	0.06408	1.628
12	6530	3.3090	0.08081	2.053
10	10380	5.2610	0.1019	2.588
8	16510	8.3670	0.1285	3.264
6	26250	13.3030	0.1620	4.115
4	41740	21.1480	0.2043	5.189
3	52630	26.6700	0.2294	5.827
2	66370	33.6320	0.2576	6.543
1	83690	42.4060	0.2893	7.348
1/0	105500	53.4770	0.3249	8.252
2/0	133100	67.4190	0.3648	9.266
3/0	167800	85.0320	0.4096	10.403
4/0	211600	107.2250	0.4600	11.684
250		126.644	0.575	14.605
300		151.999	0.630	16.002
350		177.354	0.681	17.297
400		202.709	0.728	18.491
500		253.354	0.814	20.675

\* Bibliografía

A excepción de los conductores eléctricos usados en líneas aéreas y redes de distribución, los conductores empleados en las instalaciones eléctricas están aislados con aislante tipo termoplástico con diferentes denominaciones comerciales según el tipo de fabricante, siendo los mas comunes: tipo TW, vinanel 900, vinanel nylon, vulcanel E.P, vulcanel XLP.

Cada tipo de conductor tiene propiedades específicas que lo diferencian de otros, pero en general en la selección de un conductor deben considerarse los agentes que los afectan durante su operación.

Primero conviene elegir el tipo de cable a usar, que depende de su utilización.

Como segundo punto, elegir la sección de los conductores, de acuerdo a las secciones normalizadas que da la tabla siguiente ( sección en  $\text{mm}^2$  para un conductor de fase):

Esta tabla hace recordar la noción de densidad de corriente, que es la relación entre la intensidad de la corriente y la sección de los conductores es de :

5.5 A/ $\text{mm}^2$  para una sección nominal de cable de  $10\text{mm}^2$

1.7 A/ $\text{mm}^2$  para una sección nominal de cable de  $150\text{mm}^2$

El cable destinado a la conducción de la energía debe satisfacer muchos imperativos que resultan en la utilización y que se pueden agrupar como:

- 1) Agentes químicos (agua , humedad, hidrocarburos, ácidos, álcalis)
- 2) Agentes mecánicos ( presión mecánica, abrasión, elongación, dobleces a 180 grados)
- 3) Agentes eléctricos ( rigidez dieléctrica).

Por otra parte los conductores alimentan diferentes tipos de aparatos: el conductor debe estar concebido en forma que se evite todo peligro de electrocución, con algún dispositivo que lo ponga fuera de servicio cuando se presente una avería .

En estas condiciones un solo tipo de conductor no puede satisfacer a la vez todas las condiciones. con la aparición de materiales nuevos en la fabricación, conducen a modificaciones constantes en la concepción actual de los conductores.

### 3.3.1.2 Selección del calibre de conductores en baja tensión

La selección adecuada de un conductor eléctrico que llevará corriente a un dispositivo específico se hace tomando en consideración dos factores:

- 1.- La capacidad de conducción de corriente ( Ampacidad ).
- 2.- La caída de voltaje.

La capacidad de conducción de un conductor se encuentra limitada por los siguientes factores.

Conductividad del material conductor.

Capacidad térmica del aislamiento.

Desde el punto de vista de conductividad hay tablas que dan la resistencia eléctrica de los conductores de cobre, este factor es muy importante ya que determina las pérdidas de potencia eléctrica al paso de la corriente según la formula.

$$W = I^2 R$$

Donde

R = resistencia del conductor

I = Corriente eléctrica en amperes

W = Perdida de potencia en Watts.

Esta potencia en un periodo de tiempo determinado es una energía que se disipa en forma de calor.

También sabemos que la resistencia eléctrica de los conductores varía con la temperatura, y los datos están normalmente dados para temperaturas de 60 °C, por lo que al calcular la resistencia de un conductor a cualquier otra temperatura se debe corregir mediante la formula:

$$R_t = R_{60^\circ C} \left[ 1 + \alpha ( T - 60 ) \right]$$

Donde

R<sub>t</sub> = Resistencia a la temperatura deseada

T = Temperatura considerada

.α = Coeficiente de corrección en ohms/°c, en el caso del cobre su valor es de 0.00385.

Recordemos que la resistencia indicada en las tablas están dados para una corriente directa, y que cuando una corriente alterna circula por un conductor se produce lo que se conoce como el efecto superficial debido a que se desarrolla una tensión por efecto de la inducción que es mayor en la parte central del conductor que en la superficie produciendo el efecto de una corriente en sentido contrario a la corriente normal que circula por el conductor, manifestándose como un aumento de resistencia.

Por lo tanto podemos decir que la resistencia de un conductor cuando circula por el una corriente alterna es mayor que cuando circula una corriente directa, hay factores de corrección para obtener la resistencia a la corriente alterna partiendo de la resistencia a la corriente directa.

Un factor muy importante para determinar la temperatura máxima de operación a régimen permanente de un conductor son las pérdidas que se manifiestan en forma de calor ( $W = I^2 R$ )

**TABLA N° 3.2 TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN A RÉGIMEN PERMANENTE DE LOS CONDUCTORES DE BAJA TENSIÓN**

TW	60°C EN AMBIENTE SECO	60°C EN AMBIENTE MOJADO
VINANEL 900	90°C. EN AMBIENTE SECO	75°C EN AMBIENTE MOJADO
VINANEL NYLON	90°C. EN AMBIENTE SECO	75°C EN AMBIENTE MOJADO
VULCANEL EP	90°C. EN AMBIENTE SECO	75°C EN AMBIENTE MOJADO
VULCANEL XLP	90°C. EN AMBIENTE SECO	75°C EN AMBIENTE MOJADO

La capacidad de conducción de corriente está íntimamente ligada a la capacidad del aislamiento a las temperaturas elevadas, por temperaturas ambientes superiores a los 40°C , también considerando que por lo general los conductores se encuentran dentro de canalizaciones en las instalaciones eléctricas, y se comportan como emisores de calor.

En el caso de instalaciones eléctricas de baja tensión, los conductores se encuentran alojados en un medio de canalización en donde además se encuentran otros conductores, al considerar como ejemplo un tubo conduit, el calor generado tiende a disiparse en el medio envolvente es decir, el propio aislamiento del conductor, el aislamiento de los

conductores vecinos, el aire que está contenido en el tubo mismo. En este caso el calor generado en el caso de sobrecargas permanentes destruirá los aislamientos mucho antes que el material conductor llegue a su temperatura de fusión, debido a que la capacidad térmica del aislamiento es mucho menor que la del conductor, por lo que es muy importante limitar la temperatura de trabajo de los conductores hasta el punto en que el calor que se genera no llegue a la temperatura de fusión de los aislamientos, un conductor debe de trabajarse debajo de la temperatura de fusión del aislamiento.

Una expresión para calcular la corriente admisible en el conductor que se encuentra en un tubo conduit es: tomando en consideración la temperatura del conductor y la temperatura ambiente.

$$I = \sqrt{(T_c - T_a) / (R \cdot R_x)}$$

Donde

$T_c$  => Temperatura del conductor

$T_a$  => Temperatura ambiente

$R$  => Resistencia del conductor en ohm-m<sup>2</sup>/ m

$R_x$  => Resistencia térmica de los distintos medios desde el punto mas caliente hasta el mas frio.

### 3.3.1.3 Número de conductores en un tubo conduit

Debido a las restricciones del tipo térmico que el aislamiento impone, el numero de conductores dentro de un tubo conduit tiene que ser restringido. De manera que facilite el alojamiento y la manipulación durante la instalación de los conductores y se considere también la cantidad de aire necesaria para que los conductores se mantengan a temperaturas adecuadas en base a un buen enfriamiento.

Relación entre la sección del tubo y los conductores

$$F = a / A$$

Donde ,

$A$  => Área interior del tubo en mm<sup>2</sup> o plg<sup>2</sup>

$a$  => Área total de los conductores

$F$  => Factor de relleno

Este factor de relleno tiene los siguientes valores establecidos para instalaciones

53% para un conductor

31% para dos conductores

43% para tres conductores

40% para cuatro o mas conductores

Tabla N° 3.3 Factores multiplicadores para convertir resistencia con corriente continua a resistencia con corriente alterna de 50 y 60 Hz (1)\*

Calibre	Factor multiplicador, cables con cubierta no magnética en aire o en ductos no magnéticos	Factor Multiplicador
A. W. G.		Cables con cubierta magnética o en ducto Magnético.
M. C. M.		
2	1.000	1.01
1	1.000	1.01
0	1.001	1.02
00	1.001	1.03
000	1.002	1.04
0000	1.004	1.05
250	1.005	1.06
300	1.006	1.07
350	1.009	1.08
400	1.011	1.10
500	1.018	1.13
600	1.025	1.16
700	1.034	1.19
750	1.039	1.21
800	1.044	1.27
1000	1.067	1.30
1250	1.102	1.41
1500	1.142	1.53
1750	1.185	1.67

TABLA N° 3.4 CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES DE  
CU BASADA EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C (1)\*

Calibre A.W.G. M.C.M.	TIPO T.W. 60°C				VINANEL 900 75°C			
	1 a 3	4 a 6	6 a 9	1	1 a 3	4 a 6	6 a 9	1
	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO
14	15	12	10	20	15	12	10	20
12	20	16	14	25	20	16	14	25
10	30	24	21	40	30	24	21	40
8	40	32	28	55	45	36	31	65
6	55	44	38	80	65	52	45	95
4	70	56	49	105	85	68	59	125
2	95	76	66	140	115	92	80	170
0	125	100	87	195	150	120	105	230
00	145	116	110	225	175	140	122	265
000	165	132	115	260	200	160	140	310
0000	195	156	132	300	230	184	161	360
250	215	172	150	340	255	204	178	405
300	240	192	168	375	285	228	199	445
350	260	208	182	420	310	248	217	505
400	280	224	196	455	335	268	234	545
500	320	256	224	515	380	304	266	680

TABLA N° 3.5 (1)\*

CALIBRE	TAMAÑO DEL TUBO CONDUIT											
	A.W.G.	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/4"	3"	3 1/2"	4"	5"
	Dimensión en milímetros											
	13	19	25	31	38	51	64	76	89	101	127	152
14	9	13	25	44	60	99						
12	7	12	20	34	47	78						
10	5	9	15	26	36	60	85					
8	3	5	8	14	20	32	46	72				
6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62		
4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	46	63	
2	1	1	1	4	5	9	12	20	26	34	54	78
1	0	1	1	2	4	6	8	14	19	25	39	57
0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	21	33	45
00	0	1	1	1	3	4	6	10	14	18	28	41
000	0	0	1	1	1	4	4	9	12	15	24	35
0000	0	0	1	1	1	3	4	7	10	13	20	29
250				1	1	2	3	6	8	10	16	23
300				1	1	1	2	5	7	9	14	20
350				1	1	1	1	4	6	8	12	18
400					1	1	1	4	5	7	11	16
500					1	1	1	3	4	6	9	13
600						1	1	3	3	5	7	11
700							1	1	2	3	4	6

#### 3.3.1.4 Cálculo de conductores por caída de voltaje

No basta calcular los conductores con corriente únicamente, es decir, seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circulará por él. También es necesario que la caída de voltaje en el conductor no exceda los valores establecidos por el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas (que son 2% en instalaciones residenciales y 3 ó 4% en instalaciones industriales).

Para estar seguros de que la caída de voltaje no exceda esos valores es necesario calcular las caídas de voltaje "e%" en los circuitos derivados y en los alimentadores que se formula de la manera siguiente.

$$.e\% = e \times 100 / E_n = e_f \times 100 / E_f$$

Donde

$e \Rightarrow$  Caída de voltaje de fase a neutro en volts

$e_f \Rightarrow$  Caída de voltaje entre fases, en volts

$e\% \Rightarrow$  Caída de voltaje en porciento

$E_n \Rightarrow$  Voltaje de linea a neutro

$E_f \Rightarrow$  Voltaje entre fases

Sistema monofásico

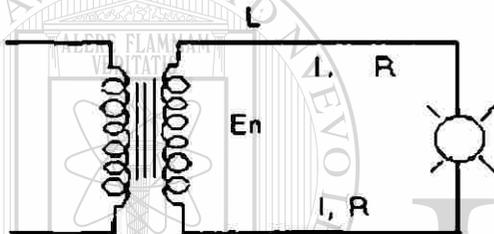


Fig. 3.1. Circuito monofásico simple

La potencia que consume la carga es

$$W = E_n I \cos \phi \quad \text{despejando } I \text{ tenemos } I = W / E_n \cos \phi$$

La caída de voltaje por resistencia en el conductor es:

$$.e = 2 I R$$

La resistencia del conductor es

$$R = \rho L / A = (1/50) (L / A)$$

De donde

$$.e = (1/25) (L I / A)$$

$$.e\% = (L I / 25 A) (100 / E_n) = 4 L I / E_n A$$

Siendo

$$\rho = \text{Resistividad del cobre en (ohm-m / mm}^2) = 1/50$$

$L =$  Longitud del conductor en metros

$A \Rightarrow$  Sección transversal del conductor en (metros<sup>2</sup>) (ver apéndice A-3)

### 3.4 Sistema Trifásico a Tres Conductores

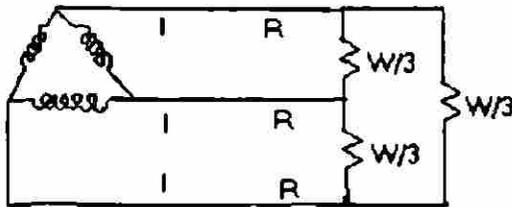


Fig. 3.2 Circuito trifásico a tres conductores

La potencia que consume la carga trifásica es:

$W = \sqrt{3} E_f I \cos \phi$  y despejando  $I$  tenemos.

$$I = W / \sqrt{3} E_f \cos \phi$$

La caída de voltaje entre fases es

$$E_f = \sqrt{3} R I$$

Pero :

$$R = \rho L / A = (1 / 50) (L / A)$$

$$.e_f = (\sqrt{3} / 50) L I / A$$

El porciento de caída de voltaje es:

$$.e\% = (e_f / E_f) \times 100$$

$$e\% = (\sqrt{3} / 50) (L / A E_f) \times 100$$

$$e\% = (2 \sqrt{3}) L I / A \times E_f$$

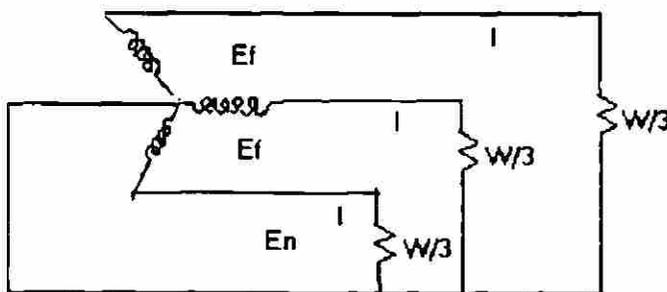


Fig. 3.3 Circuito trifásico a cuatro conductores

La potencia que consume la carga trifásica es

$$W = \sqrt{3} E_f I \cos \varphi = 3 E_n I \cos \varphi$$

$$I = W / \sqrt{3} E_f \cos \varphi = W / 3 E_n \cos \varphi$$

La caída de voltaje entre fases es:

$$E_f = \sqrt{3} R I = (\sqrt{3} / 50) L I / A$$

$$.e\% = (\sqrt{3} / 50) (L I / A E_f) \times 100 = (2\sqrt{3}) (L I / A E_f)$$

La caída de tensión al neutro es:

$$.e = I R = L I / 50 A$$

$$.e\% = (.e / E_n) \times 100 = (L I / 50 A E_n) \times 100 = 2 L I / A E_n$$

### 3.5 Utilización de los sistemas de distribución

#### 3.5.1 Sistema monofásico a dos conductores.

El sistema monofásico a dos conductores se emplea para alimentar cargas de alumbrado que no excedan a 3750 watts por circuito.

También se emplea para alimentar circuitos derivados que no excedan de 20, 30, 40 Amper.

#### 3.5.2 Sistema trifásico a tres conductores.

-El sistema trifásico a tres conductores se emplea generalmente para alimentar cargas trifásicas que operan con tensiones de 440 o 220 volts, como es el caso de los motores trifásicos de 440 V, que en operación resultan mas económicos que los motores a 220 V, ya que demandan menos corriente.

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi \eta$$

Donde  $\eta \Rightarrow$  Eficiencia del motor

V  $\Rightarrow$  Voltaje de operación

$\cos \varphi \Rightarrow$  Factor de potencia

Ver apéndice A-4

### 3.5.3 Sistema trifásico a cuatro conductores

El sistema trifásico a cuatro conductores presenta una operación flexible de cargas trifásicas y monofásicas. Es posible alimentar cargas trifásicas en tres conductores ( con tensión entre líneas ) , por ejemplo a 220 V y alimentar cargas monofásicas ( alumbrado ) a una tensión entre línea y neutro  $220 / \sqrt{3} = 127 \text{ V}$  ). Debido a esta ventaja, este sistema es el mas empleado para la alimentación de cargas industriales.

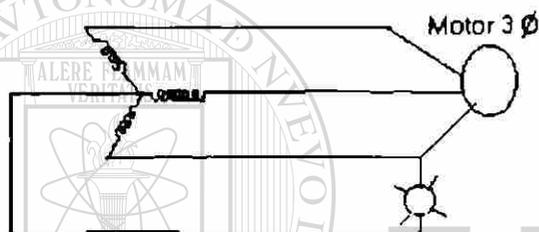


Fig 3.4 Circuito trifásico de 4 conductores alimentando un motor

### 3.5.4 Caída de voltaje.

En los conductores eléctricos se tiene resistencia y reactancia, es decir, la caída de voltaje total es por resistencia y reactancia.

La reactancia de un conductor depende de varios factores: sección, frecuencia de operación, longitud, material, materiales magnéticos, etc.

Sea:

$E_n$  = Voltaje al principio del conductor,

$E'_n$  = Voltaje al final del conductor,

$e$  = La caída de voltaje en el conductor por resistencia y reactancia.

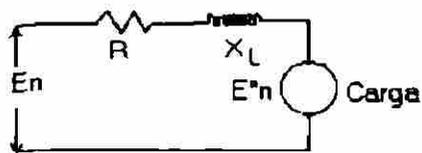


Fig.3.5a Circuito simple monofásico

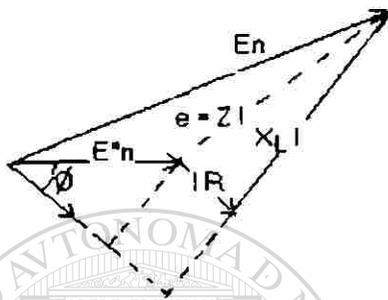


Fig 3.5 b Diagrama fasorial

$$\vec{E}_n = \vec{E}'_n + R I + j X_L I$$

$$E_n = \sqrt{(E'_n \cos \varphi + R I)^2 + (E'_n \sin \varphi + X_L I)^2}$$

$E_n$  magnitud

$$|E_n| = |E'_n| + |R I| + |X_L I| = |E'_n| + |Z I|$$

$$|Z I| = e = \sqrt{(R I)^2 + (X_L I)^2}$$

$$|E_n| = |E'_n| + e$$

$$E'_n = |E_n| - e$$

La caída de voltaje total por resistencia y reactancia es:

$$e = \sqrt{(R I)^2 + (X_L I)^2}$$

Ver apéndice A-5

TABLA N° 3.6 (1)\*

Calibre A.W.G. M.C.M.	Resistencia. Ohm / 1000 pie 60°C.	Reactancia ohm / 1000 pie	
		mínima	máxima
14	3.0		
12	1.87		
10	1.18		
8	0.740	0.046	0.045
6	0.465	0.040	0.045
4	0.292	0.037	0.050
3	0.228	0.036	0.049
2	0.185	0.035	0.048
1	0.146	0.035	0.048
0	0.116	0.034	0.048
00	0.092	0.032	0.044
000	0.073	0.031	0.044
0000	0.058	0.030	0.045
250	0.049	0.030	0.044
300	0.0408	0.029	0.045
350	0.0350	0.029	0.044
400	0.0306	0.029	0.043
450	0.0272	0.028	0.040
500	0.0245	0.028	0.038
550	0.0222	0.028	0.040
600	0.0204	0.028	0.038
750	0.0163	0.028	0.035
1000	0.0123	0.028	0.038
1250	0.0098	0.028	0.038
1500	0.00816	0.028	0.038
1750	0.00700	0.027	0.037

## Notas Relativas a la tabla anterior

- 1.- El factor de corrección por temperatura para la resistencia óhmica es de 0.34% por °C.

2.-Para conductores en ductos de acero, ó con armaduras de acero, la resistencia aumenta en 25%, por lo tanto multiplíquese los valores por 1.25.

3.- Los valores de la reactancia mínima se aplican para conductores juntos dentro de un tubo conduit o ducto. Los valores de la reactancia máxima se aplican para conductores separados, en instalaciones aéreas, o en mensulas en galerías de conductores.

4.- Para 50 ciclos, los valores de la reactancia deben multiplicarse por 5/6

### 3.6 Canalizaciones eléctricas

Son dispositivos que se emplean en las instalaciones para contener a los conductores de manera que estos queden protegidos en lo posible contra el deterioro mecánico, contaminación y a su vez proteger a la instalación contra incendios por los arcos que se puedan presentar durante un corto circuito

Los medios de canalizaciones mas comunes son .

- 1).- Tubos conduit
- 2).- Ductos
- 3).- Charolas

#### 1).- Tubo conduit

Existen en el mercado una gran variedad de tubería conduit para emplearse de acuerdo a las necesidades especiales de que se trate en tramos de 3.05 m de largo con rosca en los extremos a excepción de plástico y de pared delgada entre los que se consideran los siguientes

Tubo de acero galvanizado de pared gruesa

Tubo de acero galvanizado de pared delgada.

Tubo de acero esmaltado de pared gruesa.

Tubo de aluminio.

Tubo flexible

Tubo de plástico flexible

### 3.7 Conectores para canalizaciones eléctricas

Son aquellos elementos que sirven para interconectar las canalizaciones eléctricas entre si, o con los elementos que contienen a los dispositivos de control, protección o salidas para receptores son esencialmente de dos tipos:

- 1).- Condulet
- 2).- Cajas de conexión

#### 1).- Condulets

Son empleados en instalaciones de tubo conduit de tipo visible, se fabrican de una aleación de aluminio y otros metales.

Se fabrican en tres tipos principalmente

- a) Ordinario
- b) A prueba de polvo y vapor.
- c) A prueba de explosión

### 3.8 Accesorios adicionales

Dentro de estos accesorios se encuentran los siguientes:

- 1) Portalámparas.
- 2) Apagadores de palanca, de botón o de presión.
- 3) De tipo oculto
- 4) De sobreponer.
- 5) Contactos.

Tipo doméstico y comercial e industrial que pueden ser:

- a) Para sobreponer
- b) Intercambiables
- c) Tipo oculto.
- d) De piso y polarizados, para los de tipo industrial se fabrican para sobreponer, de tipo oculto y en forma de extensión, así como el tipo clavija.
- e) Dispositivos de protección

### 3.9 Seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión

#### 3.9.1 Introducción

El estudio de la seguridad de las redes, tanto de neutro a tierra como de neutro aislado, muestran la gran importancia de una puesta a tierra correcta de las masas de la red por lo que se dedican algunas líneas al modo práctico de realizarlas.

#### 3.9.2 Línea a tierra

Se trata de un conductor que sigue aproximadamente el mismo trayecto que las tres fases de la red. Su objetivo es facilitar la unión con tierra de todas las masas metálicas: cárter de los transformadores, de motores, de cajas de conexión, etc. Reglamentariamente, las líneas de tierra deben tener una conductancia por unidad de longitud al menos igual a la del conductor activo mas grueso de alimentación.

Puede estar constituido por

- A) Un conductor especial
- B) Una vaina de plomo de un cable
- C) La armadura metálica de un cable armado

En los cables de baja tensión, un cuarto conductor, dentro del tubo conduit adicional a los tres de fase añadido en el cable armado o de uso rudo a los tres conductores de fase, suele ser el que se utiliza como línea de tierra y se identifica generalmente con un color Blanco , Gris o Verde. En caso de estar fuera del tubo conduit este puede ser desnudo.

### 3.9.3 Toma de tierra

#### 3.9.3.1 Dependencia

a).- Depende de la resistividad del suelo. Esta varía de 40 a 5000  $\text{ohm}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ , cuando se pasa de la tierra de labor húmeda al gres ordinario. Las pizarras secas tienen resistividades de 200 a 1000  $\text{Ohm}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ . La humedad reduce mucho estas últimas cifras.

b).- También depende de la forma geométrica y de las dimensiones de la armadura metálica que las constituyen. En general, la resistencia de la toma de tierra disminuye con las dimensiones.

#### 3.9.3.2 Algunos casos más corrientes:

1.- Tubo introducido verticalmente en un agujero: no requiere pasar de 1.5 mts. de longitud. La resistencia es aproximadamente de  $0.12\Omega$

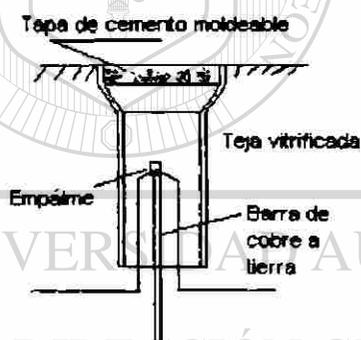


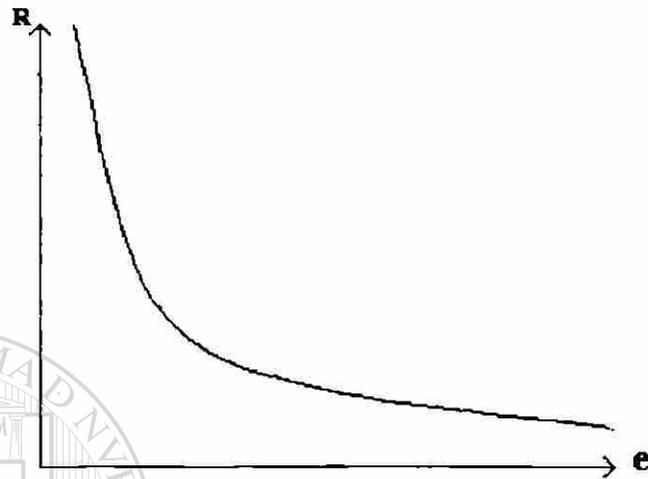
Fig 3.6 Toma de tierra desconectable

2. - Placa de hierro laminado: una superficie de un metro cuadrado es suficiente; corresponde a  $0.4 \Omega$

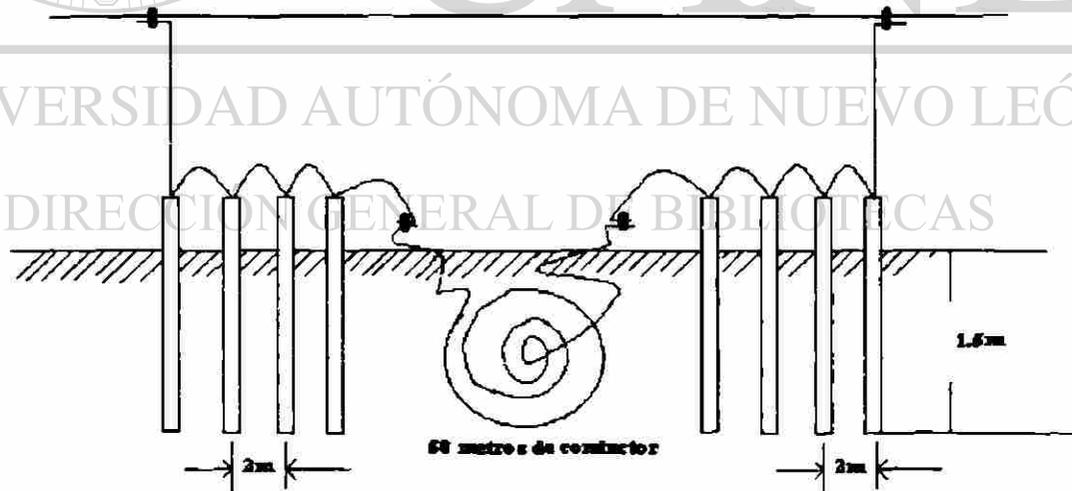
3.- Conductor enterrado; constituye una buena toma de tierra. El diámetro del conductor tiene poca importancia. Mas allá de 50 mts, de longitud las ventajas son, por otra parte, pequeñas. Para 50 mts. La resistencia es alrededor de  $0.15 \Omega$

4.- Varios tubos verticales conectados en paralelo: se estima inútil colocar mas de 8. Se les podrá colocar a 2 mts. unos de otros y la resistencia será de  $0.05\Omega$ .

Una buena realización práctica consistirá en colocar dos series de 4 tubos ligados entre ellos por 50 mts. de conductor enterrado en el suelo.



**Fig.3.7 Variación de la resistencia de una toma de tierra en función de una de sus dimensiones**



**Fig.3.8 Toma de tierra**

## Resistencia

Para el tubo =  $0.12 \Omega$

Para la placa =  $0.4\Omega$

Para los conductores =  $0.15\Omega$

Para los 8 tubos =  $0.05\Omega$

### 3.9.4 El riesgo de incendio

Toda circulación de corriente lleva consigo un calentamiento de los conductores por efecto joule. Y esto puede provocar un incendio, si no se cumplen ciertas condiciones cuyas consecuencias pueden ser catastróficas.

La electricidad exige precauciones especiales. Por ejemplo, examinemos las circunstancias por las que una instalación eléctrica puede dar lugar a un incendio. Se distinguen cuatro tipos de fenómenos:

- a) La sobrecarga
- b) El corto circuito
- c) La fase a tierra
- d) El arco eléctrico.

### 3.9.5 La sobrecarga

La elección de las distintas partes de una red eléctrica se hace de modo que los desprendimientos de calor a lo largo del servicio, sean bastantes débiles para que se disipen sin ningún riesgo.

Pero con frecuencia ocurre que una instalación evoluciona, teniendo que soportar la red eléctrica motores adicionales o suplementarios. Si la selección no ha sido adecuada

algunas partes de la red soportaran intensidades de corriente más elevadas que aquellas para las que habían sido previstas: existirá entonces sobrecarga.

Las sobrecargas tienen como efecto someter a los aislantes a temperaturas elevadas. Por lo tanto se afectan sus cualidades, hay descomposición y a veces hasta su inflamación.

### 3.9.6 El corto circuito

Es el incidente en que se establece un contacto directo entre dos fases o entre fase y tierra en una red con neutro a tierra. Este fenómeno va acompañado casi siempre de un arco que desprende un calor importante. Tales arcos, pueden provocar el incendio de los cables o provocar la explosión de aparatos llenos de aceite.

Los cortocircuitos tienen los diversos orígenes siguientes:

- 1.- Degradación del material por una causa exterior:
- 2.- Degradación progresiva de los aislantes.
- 3.- Error del material.

### 3.9.7. La avería fase a tierra

En una red con neutro aislado, esta avería no provoca cortocircuito. Es esta una de las ventajas más importantes de este tipo de red que se añade a la de su seguridad en cuanto al riesgo de electrocución.

### 3.9.8. El arco eléctrico

Se trata del arco que salta entre los dos extremos de un corte sobre un conductor y que conserva así, a pesar de este corte, el paso de una corriente. Lo que puede ser suficiente para provocar un incendio. Por lo tanto es necesario considerar.

- 1) Medidas preventivas, para evitar su aparición.
- 2) Disposiciones de protección para contener el fenómeno inmediatamente.

### 3.9.9 Reacción en caso de corto circuito

Las protecciones de las redes están provistas para cortar las corrientes de corto circuito. Pero es preciso admitir que este corte necesita algún tiempo, muy corto, durante el cual la red soporta la fuerte intensidad de la corriente.

El tiempo de corte es normalmente inferior a 0.2 segundos. Sin embargo, por razones de seguridad, se admite que puede prolongarse durante 2 segundos y se deduce que una gran duración de la red esta asegurada si la corriente de corto circuito, aun la mas grande, no pasa de 90 amperes por  $\text{mm}^2$  de conductor.

### 3.9.10 Desenganche para la corriente de corto circuito mínima

Las protecciones deben:

- 1) Quedar insensibles a las corrientes inferiores de 6 a 10 de la corriente nominal, a fin de no impedir el arranque de los motores.
- 2) Responder a todas las corrientes superiores a todas las corrientes de cortocircuito mínima ( $2I_{cm}$ ) y para mejor seguridad a  $2/3$  de  $2I_{cm}$ .

Ahora bien, en el cálculo de estas corrientes interviene la impedancia del cable. Si es grande, el valor  $2/3 (2I_{cm})$  puede ser más pequeño que 6 a 10  $I_n$ . En este caso, ninguna protección reunirá a la vez las dos condiciones contradictorias anteriores. Es necesario entonces, aunque el cable convenga desde el punto de vista de la densidad de corriente y de todas las demás condiciones, pasar a un cable más grueso, de impedancia menor.

### 3.9.11 Caída de tensión

Se presenta como se muestra a continuación.

Sea un motor con una intensidad ( $I_n$ ) alimentado por un transformador que asegura una tensión constante ( $E_t$ ) gracias a un conductor de impedancia ( $Z_c$ ), la caída de tensión en el cable es vectorialmente :

$$e_c = Z_c I_n$$

De manera que la tensión en los bornes del motor será:

$$E_{\text{motor}} = E_t - e_c$$

Por otra parte, durante el periodo de arranque:

- La corriente es muy importante
- El factor de potencia  $\cos \phi$  baja alrededor de 0.4
- El par es proporcional al cuadrado de la tensión.

Nos exponemos a un arranque difícil si el valor de  $Z_c$  es excesivo. Es necesario calcular las caídas de tensión antes de proceder a una instalación. Se hace un cálculo de la siguiente manera:

#### 1. Estudio general

Transformador:	Tensión	$E_t$ constante
Cable	: Impedancia	$Z_c$
Motor	: Intensidad nominal	$I_n$ ( para la tensión $E_t$ )
	: Intensidad de arranque	$I_a$ ( para la tensión $E_t$ )
	: $\cos \phi$	para la marcha normal ( con $I_n$ y $E_t$ )
	$\cos \phi = 0.4$	( en el arranque )

Para marcha normal la impedancia del motor:

$$Z_{\text{motor}} = E_{\text{motor}} / I_n$$

La impedancia del conjunto, cable y motor, es:

$$Z_c + Z_{\text{motor}} = Z_c + E_{\text{motor}} / I_n$$

La corriente que se establecerá en el circuito será, por consiguiente:

$$I = E_t / (Z_c + Z_{\text{motor}})$$

Finalmente, la caída de tensión en el cable, es:

$$E_c = Z_c I = Z_c E_t / (Z_c + Z_{\text{motor}})$$

Y la tensión en los bornes del motor es:

$$E_t - Z_c I = E_t Z_{\text{motor}} / (Z_c + Z_{\text{motor}})$$

En el cálculo de arranque, por otra parte, el cálculo es el mismo, pero la impedancia del motor, es:

$$Z_{am} = E_{\text{motor}} / I_A$$

La nueva tensión en los bornes del motor es:

$$E_t - Z_c I_A = E_t Z_{am} / (Z_c + Z_{am})$$

Donde  $Z_{am}$  es la impedancia de arranque del motor y puede ser muy inferior a  $Z_m$ , puesto que  $I_A$  esta comprendida entre 6 y 10  $I_n$  siendo  $I_n$  la corriente nominal del motor y el  $\cos \phi$  es pequeño en el arranque. Como consecuencia, el par motor, que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación, puede ser insuficiente al principio.

# CAPITULO 4

## EQUIPOS Y APARATOS ELÉCTRICOS EN LA ESCUELA

### 4.1 La Subestación Eléctrica

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos que sirven para transformar las características de la energía eléctrica ( voltaje, corriente), o bien para transformar la energía eléctrica de C.A. a C.D.

Las subestaciones eléctricas intervienen en las distintas etapas que tiene la energía eléctrica desde su generación; es decir, la transmisión, la distribución, y la utilización.

De acuerdo con lo anterior, las subestaciones eléctricas se pueden clasificar como sigue:

- 6) Por su operación:
- e) De C.A.,
  - f) De C.D.

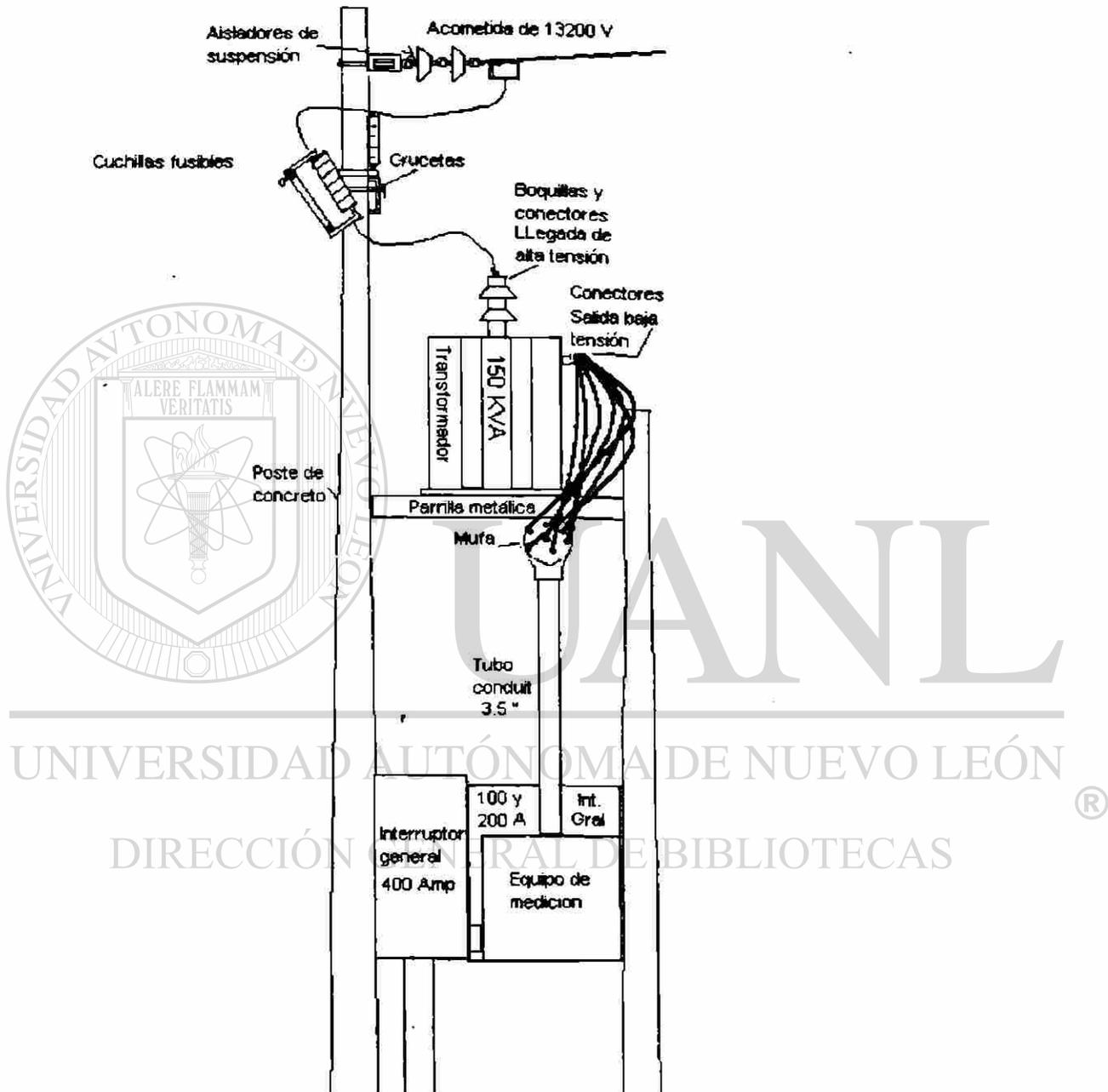
- 7) Por la función que desempeñan:

- a) Elevadoras de tensión
- b) Reductoras de tensión
- c) De enlace ( para interconectar líneas)
- d) Rectificadoras ( convertir C.A. en C.D. ).

- 3 ) Por su construcción:

- a) Tipo intemperie
- b) Tipo interior
- c) Tipo blindada

## Elementos Principales de una Subestación Eléctrica



**Fig.4.0 Vista lateral de la subestación en la Escuela Superior de Ingeniería**

Los principales elementos que constituyen una subestación eléctrica son los siguientes:

- 1.- Transformador.
- 2.- Interruptor.
- 3.- Restaurador.
- 4.- Cuchilla fusible.
- 5.- Cuchilla desconectadora.
- 6.- Apartarrayos.
- 7.- Transformador de instrumentos ( potencial y corriente).
- 8.- Red de tierras.
- 9.- Tablero de control.
- 10.- Estructura.
- 11.- Equipo de filtrado de aceite.
- 12.- Alumbrado.
- 13.- Herrajes.

#### 4.1.1 Transformador

El transformador esta considerado como el elemento mas importante de una subestación de C.A. , y se puede definir como sigue:

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Un transformador es un dispositivo que;

- a) Transfiere energía de un circuito a otro,
- b) Hace la transferencia de energía por inducción electromagnética,
- c) Los circuitos están aislados eléctricamente y acoplados magnéticamente
- d) Transfiere la energía manteniendo la frecuencia constante
- e) Generalmente la hace con un cambio de voltaje.

El circuito elemental de un transformador es el que se observa en la Fig. 4.1:

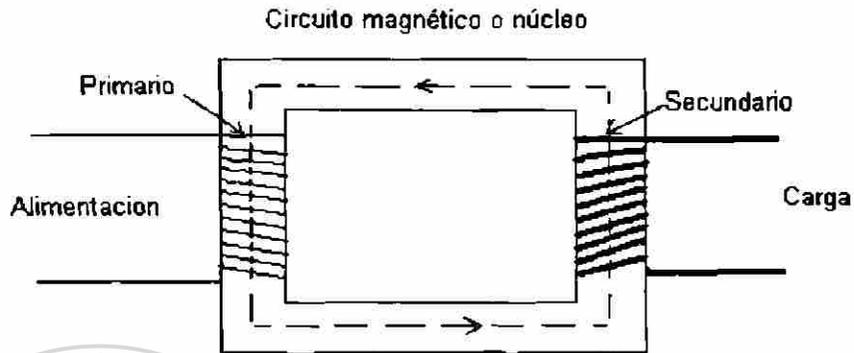


Fig. 4.1 Transformador elemental

Las partes principales de que esta formado un transformador son las siguientes:

1. Núcleo
2. Devanado primario y secundario
3. Tanque.
4. Boquillas aisladoras para conexión
5. Herrajes ( para sujeción del núcleo )
6. Ganchos de sujeción
7. Base para rolar.
8. Placa de características
9. Placa de conexión a tierra
10. Instrumentos indicadores

Las ecuaciones fundamentales de un transformador son: la relación de transformación, la ecuación del voltaje inducido, y la formula para la potencia.

Relación de transformación:

$$V_p / V_s = N_p / N_s \quad V_p / V_s = I_s / I_p$$

$V_p \Rightarrow$  Voltaje de fase del primario ( línea a neutro)

$V_s \Rightarrow$  Voltaje de fase del secundario (línea a neutro )

$N_s \Rightarrow$  Número de espiras por fase del secundario

$N_p \Rightarrow$  Número de espiras del primario

$I_p \Rightarrow$  Corriente de fase del primario

$I_s \Rightarrow$  Corriente de fase del secundario

La ecuación de voltaje inducido:

$V_p = 4.44 \dot{\Phi} f N_p \times 10^{-8}$  ( volts por fase ).

$\dot{\Phi}$  = Flujo magnético en líneas ( o maxwells )

$f$  = Frecuencia

$N_p$  = Número de espiras del primario por fase.

Para el secundario, la ecuación de voltaje inducido es semejante.

$V_s = 4.44 \dot{\Phi} f N_s \times 10^{-8}$  ( volts por fase ).

La ecuación de la potencia de un transformador es:

Transformador monofásico

$S = V I$  ( K V A )

$P = V I \text{ Cos } \Phi$  ( KW )

$\text{Cos } \Phi \Rightarrow$  factor de potencia de la carga alimentada por el transformador.

La corriente en el primario es :

$I_p = P / ( V_p \text{ Cos } \Phi )$  ( Amperes )

La corriente en el secundario:

$$I_s = P / (V_s \cos \Phi) \quad (\text{Amperes})$$

**Para el transformador trifásico**

$$P = \sqrt{3} * V_L I_L \cos \Phi \quad (\text{Watts})$$

$$I_L = P / (\sqrt{3} * V_L \cos \Phi) \quad (\text{Amperes})$$

Los transformadores por el número de fases pueden ser monofásicos o trifásicos.

Por el tipo de núcleo:

- a) Núcleo tipo columnas.
- b) Núcleo tipo acorazado.

Por su forma de enfriamiento:

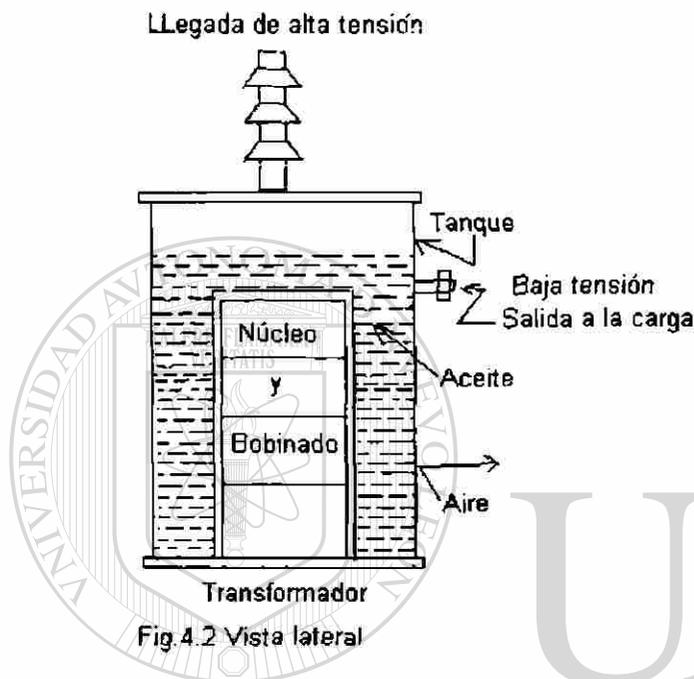
- a) Tipo OA.
- b) Tipo OA/FA.
- c) Tipo FOA.
- d) Tipo OW
- e) Tipo AA.
- f) Tipo AFA

En nuestro caso el transformador que se encuentra en la Subestación es:

El tipo OA , de 150 KVA, 13200/ 220 / 127 Volts , Conexión Delta Estrella , Impedancia de 2.67 % , con un peso de 750 Kg, Marca Continental, es un transformador enfriado por aceite y aire. El transformador se encuentra dentro de un recipiente.

(tanque) que contiene aceite. El aceite desempeña la función de refrigerante, pero también debe ser un buen aislante.

El calor se transmite del transformador al aceite, del aceite al tanque, y el tanque lo disipa por contacto con el aire.



#### 4.1.2 Operación de los transformadores

Las corrientes de carga en un transformador producen esfuerzos magnéticos en los devanados y también producen calentamiento (pérdidas por efecto joule)  $I^2 R$ , este calor generado va de los devanados al aceite aislante, al tanque y finalmente al medio que lo rodea. El calor total generado y la eficiencia para disiparlo determina la temperatura final del devanado, esta temperatura final conjuntamente con el ciclo de carga del transformador determinan la carga que puede operar un transformador sin dañar excesivamente sus aislamientos.

Se emplean varios métodos para mejorar la eficiencia en la disipación de calor, como son: radiadores de enfriamiento, se emplea para aumentar el área de la superficie del tanque y de esta forma disipar en un área mayor. En caso necesario se instalan ventiladores cerca de los radiadores de manera que el aire circulante aumente la

capacidad de transferencia de calor. En otros casos puede ser usada circulación forzada de aceite, que transmite el calor de los devanados del transformador a la superficie del tanque en una forma mucho más rápida.

Los fabricantes usualmente diseñan un transformador para suministrar una cierta carga continua ( de acuerdo a su capacidad de placa) para ciertas condiciones específicas de operación, esta carga dará una vida normal esperada para los aislamientos y de aquí la del transformador.

El deterioro del aislamiento se presenta por la carga a cualquier valor sobre la nominal en donde son mas nocivos los calentamientos. El grado de deterioro se incrementa aproximadamente el doble por cada 5 a 10°C de incremento en la temperatura del conductor. Por otro lado es conveniente considerar que el deterioro de aislamiento es acumulativo, un transformador puede ser sobrecargado durante algunos periodos y en otros periodos operar con poca carga, el efecto combinado de estos ciclos puede ser tal que el deterioro puede ser retardado.

Por esta razón la disponibilidad de un transformador puede ser en ocasiones muy diferente a su capacidad de placa. En la gráfica se ilustra la variación de la carga de un transformador con relación a su capacidad de placa.

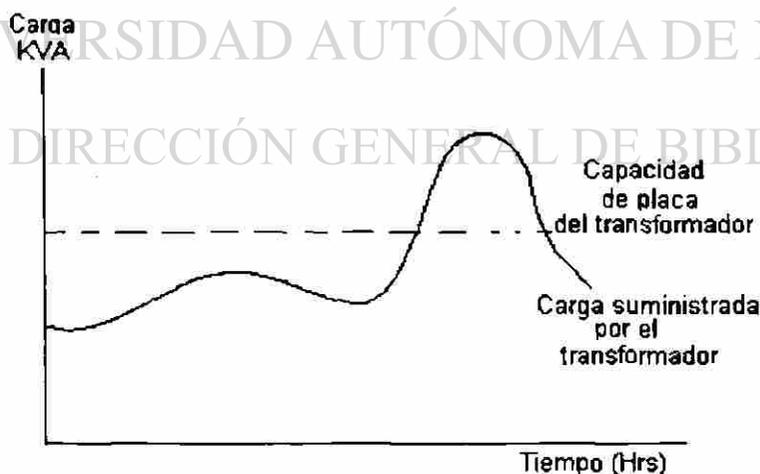


Fig. 4.3 Ciclo de carga del transformador

Un transformador usualmente no debe fallar cuando opera con una carga que exceda a su capacidad, con tal de que esta carga se mantenga en valores razonables, sin embargo, sobrecargas repetidas causan un daño acelerado en los transformadores y entonces el transformador puede fallar aún cuando se le apliquen cargas relativamente pequeñas o fallar debido a vibraciones o esfuerzos mecánicos cuando sea movido.

#### 4.1.3 Capacidad de carga de un transformador

La disponibilidad de carga de un transformador se puede definir como la carga pico que un transformador puede suministrar para un ciclo de carga específico, sin exceder los límites de calentamiento de los devanados.

La capacidad de carga de un transformador está determinada por el ciclo de carga y por las características del transformador.

##### Ciclo de carga del transformador

Se debe de conocer el ciclo de carga diario para el transformador de una subestación específica. Por ejemplo, cada subestación que proporciona servicio a una industria tiene un ciclo de carga variable, los bancos de transformadores para distribución, también tienen ciclos de carga variables.

Para propósitos de cálculo es conveniente convertir un ciclo de carga real a un ciclo de carga equivalente. Una carga equivalente para cualquier parte de un ciclo de carga diaria puede obtenerse usando la siguiente ecuación:

$$\text{Valor r.m.s de la carga} = \sqrt{(C_1^2 T_1 + C_2^2 T_2 + C_3^2 T_3 + \dots + C_n^2 T_n) / T_1 + T_2 + \dots T_n}$$

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n \Rightarrow$  Valores de las cargas

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_n \Rightarrow$  Tiempos en los cuales se presentan las cargas

La disponibilidad de carga del transformador requiere de los datos siguientes

Pérdidas en el núcleo ----- Watts

Pérdidas en el cobre a plena carga ----- Watts

Elevación de temperatura en los devanados a plena carga ----- °C

Elevación máxima de temperatura a plena carga ----- °C

Ciclo de carga diaria equivalente. ----- Watts

## Eficiencia de los transformadores

La mayoría de los transformadores que se emplean en el suministro de energía eléctrica, ya sea en subestaciones de gran potencia, ó en redes de distribución operan continuamente cada año, pero no continuamente entregando plena carga. Debido a esto es importante mantener las pérdidas en el núcleo tan bajas como sea posible usando en el diseño materiales magnéticos de alto grado, como por ejemplo, el acero de grano orientado.

Usar materiales de alta calidad magnética aumenta el costo inicial del transformador, sin embargo, para una condición de carga dada hay un diseño óptimo para el cual la suma de los intereses anuales y cargos por depreciación sobre el costo inicial, mas el costo anual de las pérdidas por energía es un mínimo, por tanto, la eficiencia a plena carga calculada en termino de las potencia de entrada y salida no representa el único criterio. Los conceptos de eficiencia diaria y eficiencia anual también son importantes, estos conceptos pueden ser expresados como sigue:

$$\text{Eficiencia a plena carga} = 1.0 - \frac{\text{Pérdidas}}{\text{Pérdidas} + \text{potencia de salida}}$$

$$\text{Eficiencia diaria} = 1.0 - \frac{\text{pérdidas diarias de energía}}{\text{Energía de salida} + \text{perdidas diarias de energía}}$$

$$\text{Eficiencia anual} = 1.0 - \frac{\text{Pérdidas de energía anuales}}{\text{Energía de salida anual} + \text{perdidas anuales de energía}}$$

### 4.1.4 Conexión de los transformadores

La conexión de dos o mas transformadores en paralelo se efectúa cuando sus primarios se conectan a la misma fuente de alimentación y sus secundarios a la misma carga.

Razones para la operación en paralelo de transformadores.-

Los transformadores pueden operar en paralelo por las siguientes razones:

- 1.- Para aumentar la capacidad de la subestación.
- 2.- Para dar flexibilidad de operación ( continuidad de servicio).
- 3.- Para repartir la carga que se tiene que alimentar.

Condiciones para la operación en paralelo de transformadores.-

Para que los transformadores operen correctamente en paralelo se deben cumplir los siguientes requisitos:

- 1.- Que tengan iguales voltajes en sus primarios y secundarios ( igual relación de transformación).
- 2.- Que tengan el mismo desplazamiento angular, o sea la misma conexión, es decir, si un transformador tiene una conexión  $\Delta$ —Y, el otro debe tener la misma conexión.
- 3.- Debe conectarse con la misma secuencia de fase.
- 4.- Que tengan similar porcentaje de impedancia.
- 5.- Deben tener la misma frecuencia de operación.

Antes de cerrar la cuchillas S, que ponen en paralelo los transformadores, se deben tener las siguientes precauciones:

- 1.- Unir los neutros mediante un cable.
- 2.- Verificar que no haya diferencia de potencial entre los puntos a conectar, para lo cual se emplea un voltímetro o una lámpara como se indica en la Fig.4.4 .

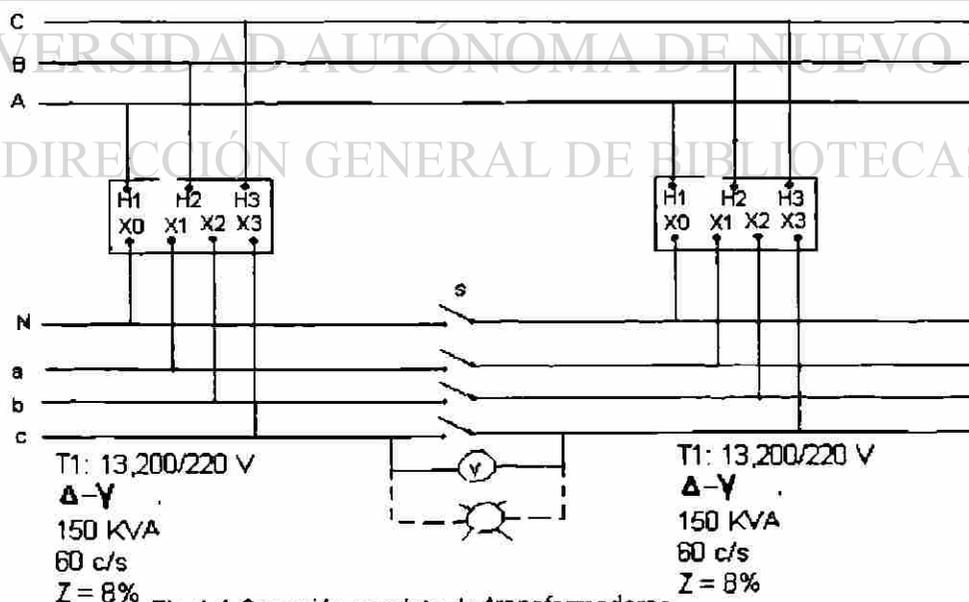


Fig 4.4 Conexión paralelo de transformadores

- 3.- Comprobar con un secuencímetro que tenga la misma secuencia de fase.
- 4.- Observar que los taps o cambiador de derivaciones tengan la misma posición.

### **Especificaciones para la compra de un transformador.-**

Las características más importantes que deben especificarse para la compra de un transformador son las siguientes:

- 1.- Capacidad en KVA
- 2.- Tensiones del primario y del secundario
- 3.- Número de fases
- 4.- Conexión del transformador trifásico ( $\Delta$ —Y, Y— $\Delta$ , Y—Y, etc. )
- 5.- Frecuencia de operación
- 6.- Localización de las boquillas ( en la parte superior, y al frente, o laterales).
- 7.- Tipo de tanque ( con garganta para conexión a ducto o convencional )
- 8.- Ganchos de sujeción
- 9.- Tipo de montaje ( base para montaje ).
- 10.- Tiempo de entrega y lugar donde debe entregarse.
- 11.- Pena por eficiencia (\$)

### **Conexión de transformadores monofásicos en bancos trifásicos**

En muchas subestaciones eléctricas es conveniente instalar transformadores monofásicos en conexión trifásica, en lugar de transformadores trifásicos.

Con lo que se obtienen las siguientes ventajas:

- 1). La carga se divide en los tres transformadores en partes iguales.
- 2). Se tiene continuidad de servicio, haciendo un banco de cuatro transformadores monofásicos; tres en operación normal y uno de reserva.

3). Se puede trabajar con tensiones muy elevadas (350, 400, 500 KV) debido a que las tres fases se encuentran separadas, no como en el caso de un transformador trifásico que se tienen en un mismo tanque.

La conexión en banco trifásico tiene algunas desventajas como las siguientes:

1). Es un poco más caro comprar tres transformadores monofásicos que uno trifásico.

2). Un banco de transformadores monofásicos en conexión trifásica ocupa mas espacio en la subestación que un transformador trifásico.

De lo anterior se puede tomar como norma que los bancos de transformadores monofásicos de potencia se emplean para transmitir grandes cantidades de energía con tensiones muy elevadas.

En la subestación tipo industrial (5000 KV, 23 KV) se emplean transformadores trifásicos individuales o en operación paralelo.

Para que operen correctamente los transformadores monofásicos conectados en bancos trifásicos, se deben cubrir los siguientes requisitos:

- 1). Que tengan igual capacidad (KVA).
- 2). Que tengan iguales tensiones en el primario y el secundario (igual relación de transformación).
- 3). Que tengan igual o aproximadamente igual porcentaje de impedancia.
- 4). Que tengan la misma polaridad.

Para que las condiciones anteriores se puedan cubrir en forma satisfactoria es recomendable que los transformadores que integran el banco sean de un mismo fabricante.

Las conexiones mas comunes de transformadores monofásicos en bancos trifásicos son:

- 1) Delta-Delta. ( $\Delta - \Delta$ ).
- 2) Delta-Estrella ( $\Delta - Y$ ).
- 3) Estrella-Estrella ( $Y - Y$ ).
- 4) Estrella-Delta ( $Y - \Delta$ ).

1) Conexión Delta-Delta.- La conexión  $\Delta - \Delta$  Fig.4.5 es poco usada ya que está limitada para alimentar cargas a tres hilos (motores trifásicos). Tiene la desventaja de que debe operar a tensiones relativamente bajas, (del orden de 23 KV), pero tiene la ventaja de que si algún transformador del banco trifásico falla, se puede seguir alimentando a la carga trifásica con dos transformadores empleando la conexión  $\Delta$  abierta -  $\Delta$  abierta.

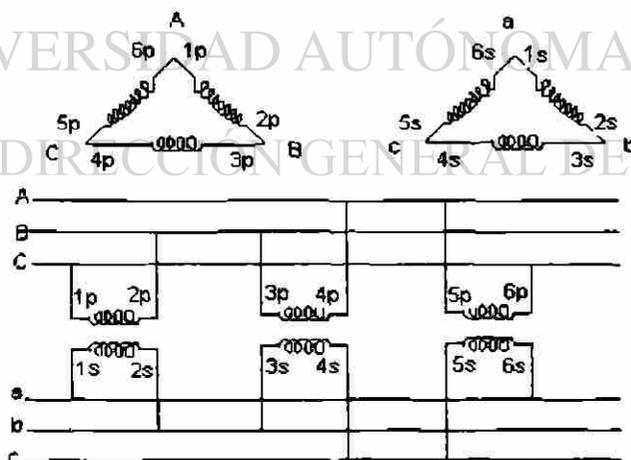


Fig.4.5 Conexión de transformadores en delta

La conexión  $\Delta$ abierta -  $\Delta$  abierta Fig.4.6, si falla un transformador es la siguiente:

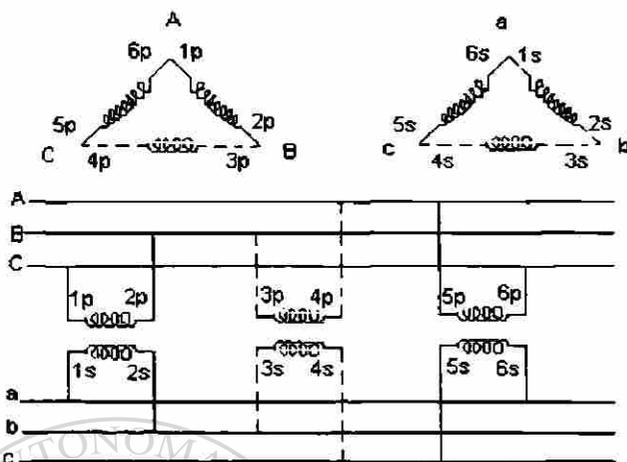


Fig.4.6 Conexión delta abierta

La potencia del banco es aproximadamente 60% de la potencia total.

2) Conexión Delta-Estrella.- La conexión  $\Delta$  - Y Fig. 4.7 es la más usada en las subestaciones industriales conectando la  $\Delta$  en el lado de alta tensión, y la Y en el lado de carga. Con esto se logra tener dos tensiones con el lado de carga. Una tensión entre líneas para alimentar cargas de fuerza (motores), y otra de línea a neutro para alimentar alumbrado.

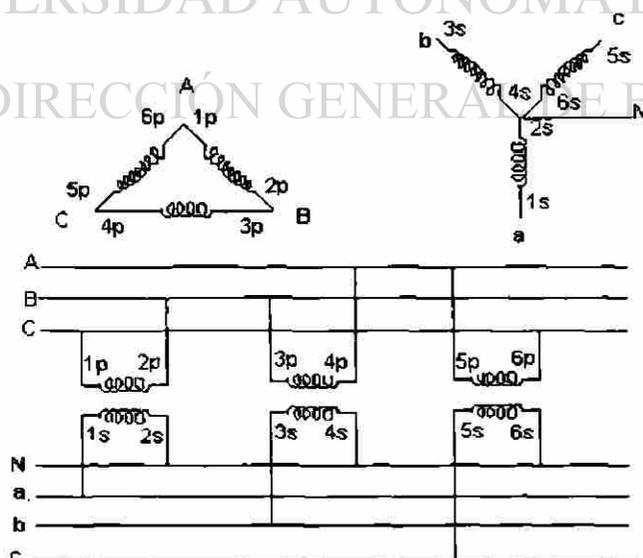


Fig.4.7 Conexión de transformadores en delta-estrella

3) Conexión Estrella-Estrella.- La conexión Y - Y es poco usada. Solo se emplea en las subestaciones donde se trabaja en muy alta tensión en el primario y en el secundario (mayores de 100 KV). En las subestaciones industriales prácticamente no tiene uso.

4) Conexión Estrella-Delta.- La conexión Y -  $\Delta$  tiene características contrarias a la  $\Delta$  - Y y es empleada para reducir la tensión y alimentar cargas trifásicas exclusivamente.

Ver apéndice A-6

#### 4.1.5 Capacitores para la corrección del factor de potencia

Como se sabe los motores de inducción en corriente alterna al igual que otros aparatos que operan bajo el principio de inducción electromagnética, requieren de una corriente de magnetización en sus circuitos, esta corriente de magnetización se encuentra  $90^\circ$  atrasada con respecto a la corriente activa que demanda el motor y que se puede considerar en fase con el voltaje.

Como estas corrientes son cantidades vectoriales, la resultante se le conoce como la corriente de línea que demanda el motor y que forma un ángulo  $\phi$  con respecto a la corriente activa. Como se vio en el capítulo 2 párrafo 2.4.2 el coseno de este ángulo se conoce como el **factor de potencia** y el valor de la potencia activa depende del valor de este ángulo.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Debido a que la corriente de magnetización en el motor se mantiene constante cualquiera que sea la carga, el factor de potencia de un motor varía con la carga, siendo menor cuando la carga disminuye.

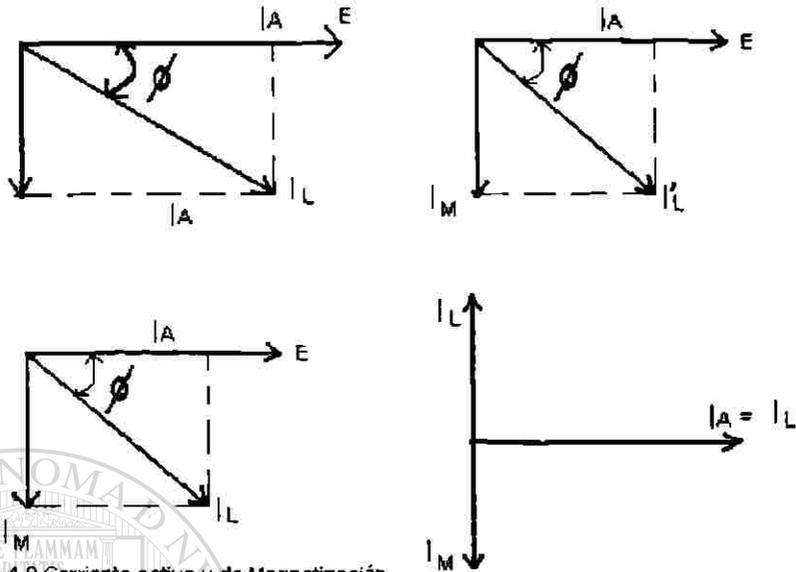


Fig.4.8 Corriente activa y de Magnetización

- IA = Corriente activa
- IM = Corriente de magnetización
- IL = Corriente de línea
- E = Voltaje de fase

$I^*L =$  Corriente del motor a media carga =  $I_L / 2$

Frecuentemente se emplean potencias en lugar de corrientes para la representación vectorial

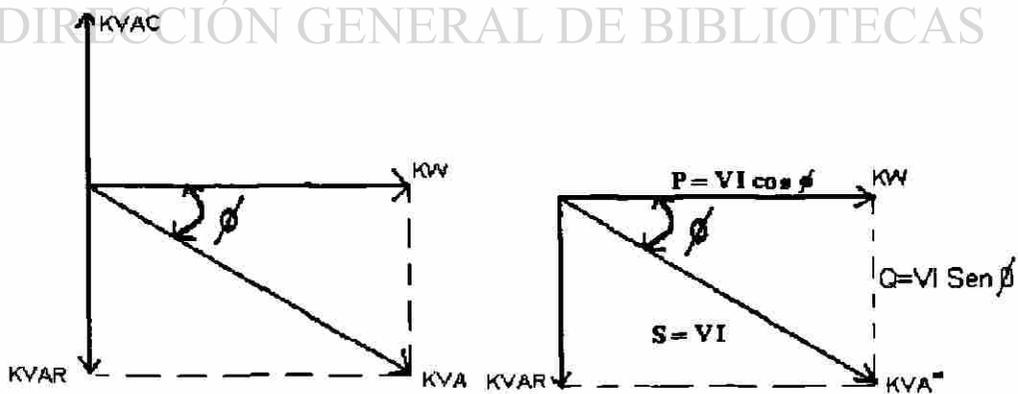


Fig.4.9 . Triangulo de potencia para circuito inductivo

KVA  $\Rightarrow$  Potencia aparente = KW / Cos  $\phi$

KW  $\Rightarrow$  Potencia activa

KVAR  $\Rightarrow$  Potencia reactiva ( inductiva) = KVA Sen  $\phi$

KVAC  $\Rightarrow$  Potencia del banco de capacitores KVAR - KVAR"

Donde KVA" = KVAR - KVAC

$\phi$   $\Rightarrow$  Angulo inicial

KVA"  $\Rightarrow$  Potencia aparente después de la corrección

Mientras el factor de potencia se encuentre más próximo a la unidad es mejor para la instalación, por lo tanto conviene tener este factor tan próximo a la unidad , con lo que además de cumplir con los requerimientos de C.F.E que establece un mínimo de 0.9 se tienen calibres de conductores que alimentan las cargas con un costo menor.

Los capacitores producen un efecto contrario al efecto reactivo, o sea una corriente adelantada  $90^\circ$  con respecto a la corriente activa y al voltaje, por lo que si se conecta junto al motor un condensador de capacidad adecuada de tal forma que contrarreste el efecto de la reactancia IM, el ángulo  $\phi$  se puede variar de tal forma que se ajuste a un valor conveniente.

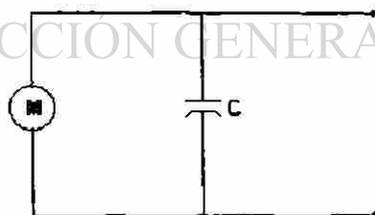


Fig. 4.10 . Condensador conectado a las terminales de un motor

Instalación de capacitores.- En las instalaciones de fuerza existen básicamente tres formas distintas de instalar capacitores para corrección del factor de potencia .

a).- Conexión del banco de capacitores en alta tensión como lo muestra la Fig. 4.11

Con este método se corrige el factor de potencia de toda una planta, ofrece las

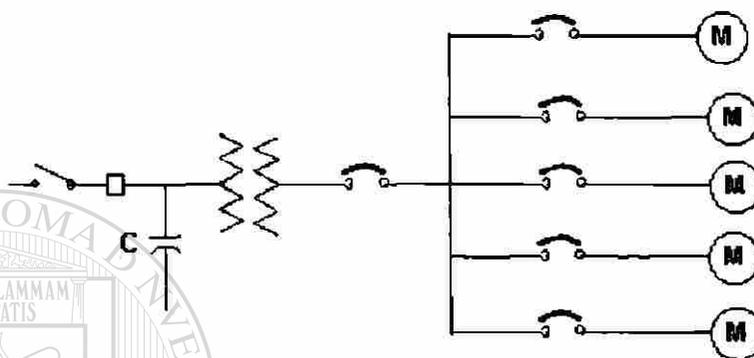


Fig.4.11. Condensador conectado en el lado de alta tensión

ventajas siguientes:

1).- Reduce el pago a C.F.E. por bajo factor de potencia

2).- El costo del banco de capacitores es menor debido a que es mas barato comprar

capacitores para alta tensión.

Entre las desventajas que se pueden tener son:

1) .- Requiere de mayor cuidado para su instalación, protección y operación.

2) .- No se tiene un ahorro por reducción en el calibre de los conductores en

alimentadores y circuitos derivados de motores instalados en el secundario del

transformador.

Este método se recomienda en instalaciones pequeñas.

b).- Conexión de capacitores en las terminales del motor.

Como se ha descrito la demanda de potencia reactiva de un motor de inducción varia con las condiciones de carga, disminuyendo apreciablemente en condiciones de baja carga. Por consiguiente, cuando se compensa individualmente este tipo de motores, el capacitor o banco de capacitores instalado no debe ajustarse a las condiciones de plena carga, ya que esto podría originar un exceso de potencia reactiva cuando se opera el motor en condiciones de baja carga o marcha en vacío.

Por otra parte, el tamaño del banco de capacitores también resulta limitado por el fenómeno de auto excitación del motor, que se puede originar en el momento de la desconexión. Cuando se desconecta un motor de inducción al que se le han instalado capacitores de potencia, la tensión entre bornes de conexión no baja rápidamente a cero, como sucede cuando se desconecta un motor sin capacitores. Esto es debido a que la corriente de descarga de los capacitores mantiene un cierto campo magnético en las bobinas del motor, induciéndose una tensión de auto excitación mientras el motor sigue girando por su propia inercia. Si los capacitores están excedidos en potencia reactiva,

---

esta tensión puede alcanzar valores considerablemente mas altos que la tensión nominal del motor, poniendo en peligro tanto al aislamiento del motor, como a los capacitores mismos.

Para evitar estos problemas, debe procurarse que las potencias del banco de capacitores no exceda a la potencia reactiva requerida por el motor para la marcha en vacío. Corrigiendo el factor de potencia en vacío a un valor próximo al 100%, puede obtenerse un factor de potencia a plena carga del orden del 95%, sin que se exceda en ningún momento la demanda reactiva del motor. Se han elaborado tablas que dan orientación sobre la potencia reactiva máxima del banco de capacitores, que puede

instalarse para compensar individualmente un motor trifásico de inducción, en función de su potencia en H.P. y la velocidad de sincronismo.

Desde un punto de seguridad industrial, es conveniente tener en cuenta la excitación de las tensiones de auto excitación en el motor para tomar las medidas convenientes y se eviten accidentes ya que el personal puede creer que no existe tensión, una vez que ha sido desconectado el motor y se corre el riesgo de que ocurran accidentes.

Cuando se pretende compensar individualmente un motor trifásico de inducción, cuya operación se efectúe por medio de un contactor tripolar, la conexión del capacitor, o banco de capacitores, puede efectuarse tal como se indica en la Fig.4.12

Con este tipo de conexión, los capacitores quedan protegidos con los mismos fusibles del motor.

Además no es necesario contar con las resistencias de descarga, ya que los capacitores se descargan a través del devanado del motor.

TABLA N° 4.1 (1)\*

Potencia reactiva máxima del banco de capacitores, para compensar motores trifásicos de inducción. Potencia reactiva en KVAR

Potencia del motor	Velocidad de sincronismo del motor, en RPM					
	3600	1800	1200	900	720	600
10	2.5	4	4	5	5	7.5
15	2.5	5	5	7.5	7.5	10
20	5	5	5	7.5	10	12.5
25	5	7.5	7.5	10	10	15
30	7.5	10	10	10	12.5	15
40	10	10	10	12.5	15	17.5
50	12.5	12.5	12.5	15	20	22.5
60	15	15	15	17.5	22.5	25
75	17.5	17.5	17.5	20	27.5	30
100	22.5	22.5	22.5	25	35	37.5
125	25	27.5	27.5	30	40	47.5
150	32.5	35	35	37.5	47.5	55
200	42.5	42.5	42.5	45	60	67.5

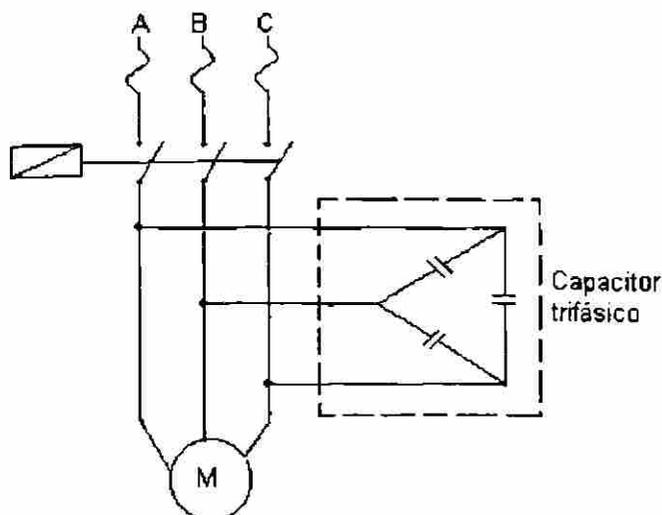


Fig.4.12 Conexión de un banco de Capacitores, acoplado en un motor de inducción trifásico.

Cuando el motor esta protegido con elementos térmicos, es conveniente tener la precaución de cambiarlos, ajustándolos a la nueva corriente que toma el motor con los capacitores, la cual debe ser mas baja que la del motor sin capacitores.

C) .- Compensación mixta.

En algunas instalaciones industriales en donde se instalan grandes motores y equipos que consumen grandes cantidades de potencia reactiva ( inductiva ), puede ser posible adoptar una combinación de las alternativas anteriores, que viene a ser una solución mixta, que consiste en compensar individualmente los aparatos de gran consumo de energía e instalar para el resto de la carga un solo banco, ya sea fijo o seccionado en partes desconectables localizado en el tablero de baja tensión.

#### 4.2. Interruptores

Un interruptor es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad en un circuito eléctrico.

Para el caso de la subestación en la escuela si la operación se efectúa sin carga (corriente), el interruptor recibe el nombre de desconectador o cuchilla desconectadora.

Si en cambio la operación de apertura o cierre la efectúa con carga ( corriente nominal ) o con corriente de corto circuito ( en caso de alguna perturbación ), el interruptor recibe el nombre de disyuntor o interruptor de potencia.

Los interruptores, en caso de apertura deben asegurar el aislamiento eléctrico del circuito.

#### **4.2.1. Interruptores manuales**

Son seccionadores reforzados que permiten el corte a su intensidad nominal

#### **4.2.2. Los interruptores y los arrancadores**

##### **4.2.2.1 Interruptor de potencia**

Es un aparato con un gran poder de corte. Su cierre es manual y se realiza por compresión y enclavamiento de un sistema de resortes. Este enclavamiento puede liberarse automáticamente en condiciones preestablecidas, lo que produce, por acción de los resortes, un corte particularmente rápido.

##### **4.2.2.2. Operación del contactor**

En un contactor por el contrario ni el cierre ni la apertura son manuales. Es la atracción de una bobina electromagnética lo que hace el cierre de los contactos y los mantiene en esa posición. El fin de esa atracción lleva consigo la apertura; en la escuela se cuenta con uno para la bomba de agua del llenado del tanque elevado.

Esta disposición permite el mando a distancia y la instalación de variados sistemas de protección que actúan siempre, en último caso por apertura del circuito de la bobina.:

- Arranque y parada del motor, ya sea a partir de la caja, o ya sea a partir del motor.
- Protección del motor.

- Protección del cable entre la caja y el motor.

Entre los dispositivos de protección y control en las instalaciones se tienen aquellos que deben satisfacer las normas y recomendaciones dadas para las instalaciones y diseño de los circuitos.

Se debe proveer de circuitos separados para alumbrado general, para contactos y aplicaciones especiales.

Las ramas de los circuitos con más de una salida no deben tener una carga que exceda al 50% de la capacidad de conducción.

Los ramales individuales de cada circuito.

El tamaño menor de conductor en alumbrado no debe ser menor del N°12

De acuerdo con la capacidad de carga de cada circuito se deben instalar tableros de distribución con tantos circuitos como sea necesario.

Algunos dispositivos con los que hay que contar

- 1).- Interruptores en caja de lámina.

Se conocen como interruptores de seguridad, son interruptores de navaja con puerta y palanca exterior para la operación del interruptor.

- 2).- Tableros de distribución

#### **4.3. Tableros Eléctricos.**

Estos tableros también son conocidos como centros de carga, y consisten de dos o mas interruptores de navaja con palanca, o con interruptores automáticos termo magnéticos.

Su función es alimentar, proteger, interrumpir y transferir circuitos primarios.

Se clasifican como de alta tensión y baja tensión.

Un tablero de baja tensión es aquel que trabaja a una tensión no mayor de 1000 volts en corriente alterna o no mas de 1500 volts de corriente continua.

Las tensiones nominales de corriente alterna para tableros de baja tensión son:

- 120 volts
- 240 volts
- 480 volts
- 550 volts

Las tensiones nominales de corriente continua para tableros de baja tensión son:

- 125 volts
- 250 volts
- 550 volts

Las corrientes nominales para tableros de baja tensión en corriente alterna o corriente continua son las siguientes:

600 Amper	3000 Amper
1200 Amper	4000 Amper
2000 Amper	5000 Amper

Tablero de alta tensión es aquel que trabaja a una tensión mayor de 1000 volts de corriente alterna o mayor de 1500 volts de corriente continua.

### **Tipos de tableros**

- Simple no blindado
- Simple blindado
- Duplex ( con pasillo intermedio)
- De escritorio
- Combinación de tipo escritorio con duplex o duplex ( blindado )

Las tensiones nominales de corriente alterna para tableros de alta tensión son:

- 1) 2400 volts
- 2) 4160 volts
- 3) 7200 volts
- 4) 13800 volts
- 5) 23000 volts
- 6) 34500 volts

Las corrientes nominales para tableros de alta tensión para corriente alterna o corriente continua son:

600 Amper	3000 Amper
1200 Amper	4000 Amper
2000 Amper	5000 Amper

#### Especificaciones y condiciones de servicio

Los tableros que utilizan aire como aislante y refrigerante deberán ser adecuados para operar en el interior hasta unos 1000 m.S.N.M. y a una temperatura más elevada, estas condiciones se consideran como especiales y se deben indicar al fabricante.

Condiciones especiales que se deben indicar:

- Si el tablero estará o no expuesto a la intemperie.
- Si el tablero va estar expuesto a salpicaduras o caídas de agua o lodo.
- Indicar la presencia de humos o vapores corrosivos.
- Indicar la presencia de vapores de agua.
- Indicar si hay presencia de vapores de aceite.

#### Fusibles.

Son elementos de protección que constan de un alambre o cinta de una aleación de plomo y estaño con un bajo punto de fusión, que se funde cuando se exceda el

límite para el cual fue diseñado interrumpiendo el circuito. Se fabrican para operación en dos tipos:

Fusibles de tapón, usados en casa habitación con capacidades de 10, 15, 20 y 30 amperes.

Tipo cartucho, que a su vez pueden ser tipo casquillo para capacidades de 3 a 60 amperes y tipo navaja para capacidades de 75 a 600 amperes, estos fusibles son renovables ya que se pueden reemplazar si se funde el elemento fusible, puede ser reemplazado. De acuerdo con sus características eléctricas los elementos fusibles pueden ser: De tipo normal y de acción retardada.

El tipo normal esta formado por cinta o alambre, el de acción retardada que tiene formas diversas para retardar el tiempo de fusión.

#### Interruptores termo magnéticos

Estos interruptores están diseñados para abrir el circuito en forma automática cuando ocurre una sobrecarga accionado por una combinación de un elemento térmico y un elemento magnético.

Operan desde el punto de vista de tiempo de apertura con curvas características de tiempo- corriente.

Los interruptores de seguridad para servicio normal, de navaja para fusible tipo cartucho, tiro sencillo en caja de usos generales. Se fabrican en 2 polos para 250 volts C.A. de 30 a 600 amperes, y en tres polos para 240 volts C.A. también de 30 a 600 amperes, en ambos casos las capacidades comerciales son : 30, 60, 100, 400 y 600 amperes.

Se fabrican también para servicio pesado de navajas para fusibles tipo cartucho, tiro sencillo, para usos generales hasta 600 volts máximo en corriente alterna.

Los interruptores termo magnéticos se fabrican según sus aplicaciones y capacidades para prestar servicio en:

a).- Tipo industrial - Se fabrican para distintas tensiones y capacidades de corriente como se muestra en la tabla N° 4.2

TABLA N°4.2 (1)\*

Tensión C.A.	Número de polos	Corriente en amperes
240 Volts C.A.	2	15 , 20 , 30 , 40 , 50 , 70 , 100
125/250 Volts	3	15 , 20 , 30 , 40 , 50 , 70 , 100
480 Volts C.A.	3	15 , 20 , 30 , 40 , 50 , 70 , 100
250 Volts C.D.		
600 Volts C.A.	2	15 , 20 , 30 , 40 , 50 , 70
250 Volts C.D.	3	15 , 20 , 30 , 40 , 50 , 70 , 100, 125 , 150.

Para 600 volts C.A. en tres polos dependiendo de la caja NEMA se fabrican en capacidades de corriente hasta 225, 400 y 1000 amperes.

### Centros de carga

Usados para distribución de corriente y protección de los circuitos de alumbrado

en residencias, oficinas, comercios, edificios de escuelas y pequeñas industrias, en los siguientes tipos como se ve en la tabla N°4.3.(1)\*

TABLA N°4.3 (1)*		
120 / 240		
Tipo de montaje	Número de circuitos	Capacidad en amperes
Sobreponer	2	40
Embutir		
Sobreponer	4	70
Embutir		
Sobreponer	8	100
Embutir		

Trifásico, 4 hilos con neutro sólido 120 / 240 volts.

Para 12 circuitos 100 amperes

Para 20 circuitos 100 amperes

Para 30 circuitos 100 amperes

Monofásico 3 hilos con neutro sólido 120 / 240 volts

Para 12 circuitos 100 amperes

Los interruptores termo magnéticos para estos centros de carga y tableros de alumbrado se fabrican en las siguientes capacidades que se muestran en la tabla

N° 4.4 (1)\*

TABLA N°4.4. (1)\*

Volts C.A.	Número de polos	Capacidad en amperes
120	1	15 , 20 , 30 , 50
120/240	2	15 , 20 , 30 , 50 , 70 , 100
240	3	15 , 20 , 30 , 50 , 70

Estos interruptores bajo condiciones severas de corto circuito o sobrecarga operan su protección magnética en 8/1000 de segundo

Bajo condiciones no severas y temporales de sobrecarga se efectúa el disparo térmico.

#### 4.3.1 Tableros de Distribución

Estos tableros son usados para la distribución de corriente y protección de circuitos de alumbrado y motores pequeños en edificios de escuelas, oficinas e industria en general ver tabla N° 4.5 (1\*)Y 4.6.(1)\*

TABLA N°4.5 (1)\*

Números de circuitos	Capacidad en amperes
14	100
20	100
30	200
42	200
Con interruptor general de dos polos	
14	70
20	100
30	200
42	200

TRIFÁSICOS, 3 FASES, 4 HILOS, NEUTRO, C.A.

TABLA N°4.6 (1)\*

Número de circuitos	Capacidad en amperes
14	100
20	100
30	100
42	200
Con interruptor general de 3 polos	
14	50
20	100
30	100
42	200

TABLA N° 4.7 (1)\*

APLICACIONES DE GABINETES SEGÚN NEMA	
NEMA 1 USOS GENERALES	Servicio interior, condiciones atmosféricas normales, metálica.
NEMA 2 A PRUEBA DE GOTEÓ	Servicio interior, ofrece protección contra goteo de líquidos corrosivos, las entradas de conduit requieren de conectores especiales tipo glándula.
NEMA 3 SERVICIO INTEMPERIE	Servicio exterior, protección contra aire húmedo, polvo y corrosión.
NEMA 3R A PRUEBA DE LLUVIA	Servicio exterior a prueba de lluvia, resistente a la corrosión, requiere de conectores especiales tipo glándula.
NEMA 4 A PRUEBA DE AGUA Y POLVO	Servicio exterior, contra salpicaduras de agua y chorro directo, de lamina metálica o gabinete fundido, soporte exteriores de montaje.
NEMA 5 A PRUEBA DE POLVO	Servicio interior, protección hermética contra polvo.
NEMA 7 A PRUEBA DE GASES EXPLOSIVOS	Servicio interior o exterior en atmósferas peligrosas por gases explosivos, gabinete fundido, requiere de conectores especiales, soportes exteriores de montaje
NEMA 9 A PRUEBA DE POLVOS EXPLOSIVOS	Servicio interior exterior en atmósferas peligrosas evite la entrada de polvos explosivos.
NEMA 12 SERVICIO INDUSTRIAL	Servicio interior, protección contra polvos, pelusas, fibras, goteo, salpicaduras, insectos, aceite, líquidos refrigerantes,

#### 4.4 Cuchilla fusible

La cuchilla fusible es un elemento de conexión y desconexión de circuitos eléctricos. Tiene dos funciones: como cuchilla desconectadora, por lo cual se conecta y desconecta, y como elemento de protección.

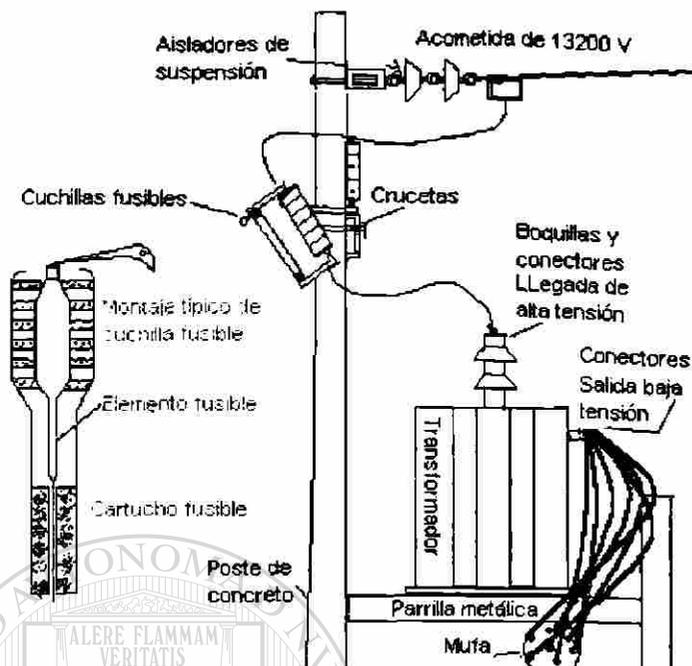
El elemento de protección lo constituye el dispositivo fusible, que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión. El dispositivo fusible se selecciona de acuerdo con el valor de corriente nominal que va a circular por él, pero los fabricantes tienen el correspondiente valor de corriente de ruptura para cualquier valor de corriente nominal.

Los elementos fusibles se construyen fundamentalmente de plata ( en casos especiales), cobre electrolítico con aleación de plata, o cobre aleado con estaño, existen tablas que nos indican la capacidad mínima recomendada para la protección de corto circuito de transformadores monofásicos y trifásicos para diferentes capacidades y voltajes de operación que son proporcionadas por fabricantes y distribuidores de equipo eléctrico.

Existen diferentes tipos de cuchillas fusibles, de acuerdo con el empleo que se les dé. Entre los principales tipos y características tenemos las siguientes por ser las de uso en la subestación en la escuela, para ver los detalles de las demás consultar (1)\*

La cuchilla desconectadora es un elemento que sirve para desconectar físicamente un circuito eléctrico como se observa en la Fig.4.13.

Por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede operar con carga, hasta ciertos límites.



**Fig.4.13 Cuchilla desconectadora para desconectar físicamente un circuito**

#### 4.5 Apartarrayos

Las sobretensiones que se presentan en las instalaciones eléctricas de un sistema pueden ser de dos tipos:

1. Sobretensiones de origen atmosférico

2. Sobretensiones por fallas en el sistema.

El apartarrayos es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico.

Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan al equipo al no estar protegido correctamente, para la protección del mismo se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Descargas directas sobre la instalación.
2. Descargas indirectas.

Nos ocuparemos de las descargas indirectas por presentarse con mayor frecuencia .

El apartarrayos, es un dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.

Su principio de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos explosores cuya separación está determinada de antemano de acuerdo con la tensión a la que va a operar.

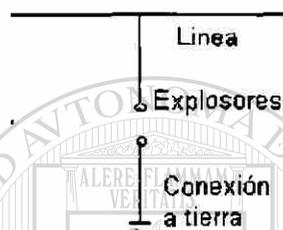


Fig.4.14 Conexión del apartarrayos

Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, basados en el principio general de operación: los más empleados son los tipo autovalvular y apartarrayos de resistencia variable.

El apartarrayo tipo autovalvular consiste de varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplea en sistemas que operan a grandes tensiones, y que representan una gran seguridad de operación .

El apartarrayos de resistencia variable funda su principio de operación en el principio general, es decir, con dos explosores, y se conecta en serie a una resistencia variable. Se emplea en tensiones medianas y tiene mucha aceptación en sistemas de distribución.

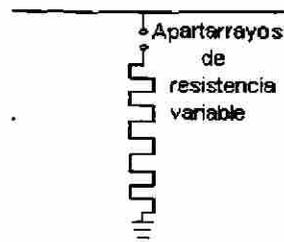


Fig.4.15 Apartarrayos de resistencia variable

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas atmosféricas, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas y equipos del sistema.

Las ondas que más se presentan son de  $1.5 \times 40$  microseg. ( onda americana) y  $1 \times 40$  microseg. (onda europea). Esto quiere decir que alcanza su valor de frente en 1.5 a 1 microseg. ( tiempo de frente de onda). La función del apartarrayos es cortar su valor máximo de onda ( aplanar la onda ).

Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para lo cual tiene un cierto radio de protección. Para dar mayor seguridad a las instalaciones contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.

La tensión a la que operan los apartarrayos se conoce como tensión de cebado del apartarrayo.

#### 4.6 Transformadores para instrumentos

Se denominan transformadores para instrumentos los que se emplean para alimentación de equipos de medición, control o protección. Los transformadores para instrumento se dividen en dos clases:

1. Transformadores de corriente.
2. Transformadores de potencial.

#### TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Se conoce como transformador de corriente a aquél cuya función principal es cambiar el valor de la corriente de uno más o menos elevado a otro con el cual se puedan alimentar instrumentos de medición, control o protección, como amperímetros, wáttmetros, instrumentos registradores, relevadores de sobre corriente, etc.

Su construcción es semejante a la de cualquier tipo de transformador, ya que fundamentalmente consiste de un devanado primario y un devanado secundario. La

capacidad de estos transformadores es muy baja, se determina sumando las capacidades de los instrumentos que se van a alimentar, y pueden ser 15, 30, 50, 60, 70, VA.

Estos transformadores son generalmente de tamaño reducido y el aislamiento que se emplea en su construcción tiene que ser de muy buena calidad, pudiendo ser en algunos casos resinas sintéticas (compound), aceite o líquidos no inflamables (pyranol, clorextol, etc).

Como estos transformadores normalmente van a estar conectados en sistemas trifásicos, las conexiones que pueden hacerse con ellos son las conexiones normales trifásicas entre transformadores (delta-delta, delta- estrella, etc.). Es muy importante en cualquier conexión trifásica que se hagan conectar correctamente los devanados de acuerdo con sus marcas de polaridad, y siempre conectar al lado secundario a tierra.

Hay transformadores de corriente que operan con corrientes relativamente bajas; estos transformadores pueden construirse sin devanado primario, ya que el primario lo constituye la línea a la que van a conectarse. En este caso a los transformadores se les denomina tipo dona.

La representación de un transformador de corriente en un diagrama unifilar es como lo muestra la Fig. 4.16.

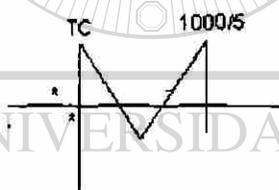


Fig.4.16 Diagrama unifilar de conexión de TC

Las relaciones de transformación son de diferentes valores, pero la corriente en el devanado secundario normalmente es de 5 amperes.

## TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Se denomina transformador de potencial aquél cuya función principal es transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente. Estos transformadores sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que requieran señal de voltaje.

Los transformadores de potencial se construyen con un devanado primario y otro secundario; su capacidad es baja, ya que se determina sumando las capacidades de los instrumentos de medición que se van a alimentar, y varían de 15 a 60 VA. Los aislamientos empleados son de muy buena calidad y son en general los mismos que se usan en la fabricación de los transformadores de corriente.

Se construyen para diferentes relaciones de transformación, pero el voltaje en el devanado secundario es normalmente 115 volts. Para sistemas trifásicos se conectan en cualquiera de las conexiones trifásicas conocidas, según las necesidades. Debe tenerse cuidado de que sus devanados estén conectados correctamente de acuerdo con sus marcas de polaridad.



Fig. 4.17 Representación de un transformador de potencial en un diagrama unifilar:

Los transformadores de instrumento tienen diferente precisión de acuerdo con el empleo que se les dé. A esta precisión se le denomina clase de precisión y se selecciona con la siguiente lista

#### CLASE DE PRECISIÓN

- 0.1 Los pertenecientes a esta clase son generalmente transformadores patrones empleados en laboratorios para calibración.
- 0.2 Los de esta clase pueden emplearse como transformadores patrones o para alimentar instrumentos que requieran mucha precisión, como son instrumentos registradores, controladores, aparatos integradores, etc.
- 0.5 Los transformadores pertenecientes a esta clase se emplean comúnmente para alimentar los instrumentos de medición normal, como son amperímetros, voltímetros, wáttmetros, vármetros, etc.
3. los transformadores para instrumento que pertenecen a esta clase son empleados normalmente para alimentar instrumentos de protección como son relevadores; la tolerancia en esta clase es de 2.5 al 10 %.

### Especificaciones para transformadores de instrumentos.

- 1) Transformador de corriente
  - Función que desempeñan
  - Relación de transformación ( corriente primaria ).
  - Tensión de operación.
  - Clase de operación y tolerancia
- 2) Transformador de potencial
  - Función a desempeñar.
  - Relación de transformación ( voltaje primario )
  - Colocación de las boquillas ( en caso de subestación a la intemperie)
  - Clase de precisión y tolerancia.

### Valores comerciales de transformadores de corriente.

Capacidades	de 0.6 a 50 VA
Precisión:	de 0,1 a 3 % de valor nominal.
Fabricación	Hasta 13.8 Kv en tipo seco; para mayores voltajes el dieléctrico es aceite u otro líquido semejante ( Pyranol o Chlorextol).

### Relaciones comerciales

.de transformación 10/5 , 25/5 , 100/5 , 800/5 , 1000/5

### Valores comerciales de transformadores de potencial.

Capacidades	de 0.6 a 50 VA
Precisión:	de 0,1 a 3 % de valor nominal.
Fabricación	Hasta 13.8 Kv en tipo seco; para mayores voltajes el dieléctrico es aceite u otro líquido semejante ( Pyranol o Chlorextol).

### Relaciones comerciales

.de transformación 220/115 , 480/115 , 750/115 , 1200/115 , 2400/115, 4160/115 , 7200/115 , 23000/115 , 34500/115.

## 4.7 Equipo de aire acondicionado

### Planteamiento determinístico

En el planteamiento determinístico se evalúa el consumo de energía por CVAA (calefacción, ventilación y aire acondicionado) a partir de principios y datos técnicos. Primero se calculan las cargas térmicas para calefacción o enfriamiento ambiental en el edificio; estas cargas dependen del programa de operación y de la puesta en punto de los termostatos, de la temperie o clima, de las ganancias y pérdidas de calor por radiación y conducción, de la intensidad del cambio de aire y de las ganancias de calor debidas a fuentes internas.

La escuela cuenta con aire acondicionado en sus aulas de 2 Ton. Con un consumo de 2.970 Kw por aparato de los cuales tiene acoplado un motor eléctrico para el ventilador y otro para el compresor.

El consumo de energía en la escuela por este concepto requiere hacer un análisis de los parámetros que intervienen en el rendimiento.

También se requiere analizar el ruido provocado por los aparatos de A/C

### Condiciones de comodidad

Factores que influyen en la comodidad.

La comodidad de las personas bajo el punto de vista del aire acondicionado, depende de cuatro factores primordiales, que son

- 3) temperatura del aire
- 4) Humedad del aire
- 5) Movimiento del aire
- 6) Pureza del aire

El comportamiento fisiológico del cuerpo humano demanda que la cantidad de calor interno producido por el cuerpo, sea igual a la cantidad de calor externo perdido.

El cuerpo humano tiene un sistema de control de temperatura para regular las pérdidas que ocurren por convección, radiación y evaporación. La proporción relativa de cada una depende de la cantidad de calor generado por el cuerpo, que a su vez depende de la actividad; también depende de la ropa . de la temperatura y condiciones del aire.

### 1.- Temperatura del aire

El control artificial de la temperatura del aire dentro de un espacio cerrado fue el primer intento para lograr la comodidad humana.

### 2.- Humedad relativa del aire

La evaporación del cuerpo humano se debe en gran parte a la baja humedad relativa del aire; las altas humedades la retardan.

Los excesos de la humedad relativa producen no solamente reacciones fisiológicas molestas, sino también afectan las propiedades de algunos materiales.

### 3.- Movimiento del aire

El movimiento del aire sobre el cuerpo humano incrementa la pérdida de calor y humedad y modifica la sensación de frío o calor.

### 4.- Pureza del aire

La composición química y física del aire es muy importante.

Poco interesa que aumente el CO<sub>2</sub>, o que disminuya el oxígeno debido a la combustión fisiológica, ya que con ventilación se resuelve el problema. La nulificación de olores requiere, sin embargo, mucha ventilación, o bien, la purificación del aire por medio de algún recurso artificial.

Nulificar partículas sólidas en el aire es de vital importancia no solo para la salud, sino porque disminuye los gastos de limpieza y mantenimiento.

El humo que molesta los ojos y la nariz, requiere una buena ventilación.

En ciertos casos es necesario excluir el polen, porque causa asma y molesta a los que padecen cierto tipo de alergia.

La contaminación ambiental es hoy en día uno de los grandes problemas a los que tiene que enfrentarse la humanidad.

### Temperatura efectiva

Cuando la humedad y el movimiento de aire se controlan adecuadamente, el índice de temperatura efectiva realmente mide la comodidad. Este índice se encuentra por medio de la carta de temperatura efectiva (5)\*

Factores que determinan la temperatura efectiva

La carta de temperatura efectiva (5)\*muestra en porcentajes, la cantidad de personas que se sienten cómodas en cada combinación , siempre habrá personas incómodas; sin embargo las normas de comodidad son para la mayoría.

### **Factores que pueden cambiar la temperatura efectiva**

A.- Aclimatación diferente ( la temperatura deseable en el verano y el invierno es muy diferente.

Temperatura deseable en invierno es de 67 a 71 °F ; en verano es de 69 a 73 °F.

La temperatura efectiva deseable y la humedad varían por lo general, según el individuo, país o región.

B.- Duración de la ocupación

La experiencia ha demostrado que mientras más poco tiempo se ocupe un volumen controlado debe haber un mayor cambio de temperatura; el cambio es con respecto a la temperatura exterior.

En la escuela se debe tener en cuenta esto ya que en algunos salones los estudiantes entran y salen sin haber un control de entrada y salida y perjudica a la eficiencia del equipo de aire acondicionado.

C.- Ropa

Algo de los puntos anteriores se solucionan despojándose o poniéndose ropa

La diferencia de peso de ropa de la mujer y la del hombre trae serios problemas para escoger la temperatura efectiva, pues por lo general, ellas visten mas ligero y requieren de mayor temperatura

D.- Edad y sexo

Las personas mayores de cuarenta años requieren, por lo general, 1 °F más de temperatura efectiva. Las mujeres requieren, por lo general, 1 °F más de temperatura efectiva que los hombres; sin embargo, las temperaturas de la carta de comodidad están consideradas para los hombres.

E.- Efecto de choque

Este efecto se debe a la entrada rápida del exterior a un lugar controlado. Este problema es más grave en verano. Para evitar el choque, en los pasillos o corredores se mantiene una temperatura efectiva media entre la exterior y la interior; sin embargo se ha demostrado que el choque no perjudica la salud de los que viven en lugares donde el aire acondicionado es indispensable y están acostumbrados a este tipo de cambios bruscos de temperatura.

#### F.- Actividad

Las recomendaciones para elegir una temperatura efectiva varían de acuerdo con la actividad.

#### G.- Calor radiado

Cuando hay mucha gente, en un salón, cine o teatro, el efecto del calor radiado por el cuerpo de una persona a otra requiere que se disminuya la temperatura efectiva. El calor radiado de una persona a muros o ventanas frías, requiere compensación. Aumentando la temperatura efectiva.

#### **Refrigeración**

Es la rama de la ciencia que trata del proceso de reducir y mantener más baja que su alrededor, la temperatura de un espacio dado o de un producto.

Ya que el calor absorbido se transfiere a otro cuerpo, es evidente que el proceso de refrigeración es opuesto al de calefacción.

#### **Carga de calor**

Es la cantidad de calor que debe retirarse del espacio por refrigerar, para reducir o mantener la temperatura deseada.

En la mayoría de los casos, la carga de calor es la suma del calor que se fuga al espacio refrigerado a través de paredes, rendijas, ranuras, etc., más el calor que produce algún producto por refrigerar o motores eléctricos, alumbrado, personas, etc.

#### Carga de refrigeración

En este caso lo dividimos en dos conceptos, a saber:

- I Carga de refrigeración tratándose de aire acondicionado para comodidad.
- II Carga de refrigeración tratándose de refrigeración industrial.

### **Carga de refrigeración tratándose de aire acondicionado para comodidad**

La cantidad de calor que debe removerse con el equipo de refrigeración, se le llama carga de refrigeración, y se debe principalmente a las siguientes ganancias de calor:

1.- Ganancia de calor debida a la transmisión a través de las barreras que pueda haber, tales como paredes, ventanas, puertas, techos, particiones y pisos, y que es ocasionada por la diferencia de temperatura entre los lados de la barrera.

2.- Ganancia de calor debido al efecto solar

a) El calor transmitido por radiación a través de cristales y absorbido en el interior del espacio.

b) El calor absorbido por las paredes o techos expuestos a los rayos solares y posteriormente transferidos al interior.

3.- Ganancia de calor debida al aire de infiltración

4.- Ganancia de calor debida a los ocupantes

5.- Ganancia de calor debida a máquinas, alumbrado o cualquier otro equipo que genere calor.

6.- Ganancia de calor debida al aire de ventilación

1.- Ganancia de calor debida a la transmisión a través de barreras

La ganancia de calor a través de barreras se calcula con la siguiente fórmula

$$Q_1 = U A ( t_e - t_i )$$

En la que :

$Q_1 \Rightarrow$  Carga de calor en Btu / h

$U \Rightarrow$  Coeficiente de transmisión de calor en Btu / hr - pie<sup>2</sup> - °F

$A \Rightarrow$  área neta en pies<sup>2</sup>

$t_e \Rightarrow$  Temperatura de diseño exterior en °F = 100 BS ( bulbo seco)

$t_i \Rightarrow$  Temperatura de diseño interior en °F = 80 BS

### **Carga de refrigeración tratándose de aire acondicionado para comodidad**

La cantidad de calor que debe removerse con el equipo de refrigeración, se le llama carga de refrigeración, y se debe principalmente a las siguientes ganancias de calor:

- 1.- Ganancia de calor debida a la transmisión a través de las barreras que pueda haber, tales como paredes, ventanas, puertas, techos, particiones y pisos, y que es ocasionada por la diferencia de temperatura entre los lados de la barrera.
- 2.- Ganancia de calor debido al efecto solar
  - a.) El calor transmitido por radiación a través de cristales y absorbido en el interior del espacio.
  - b.) El calor absorbido por las paredes o techos expuestos a los rayos solares y posteriormente transferidos al interior.
- 3.- Ganancia de calor debida al aire de infiltración
- 4.- Ganancia de calor debida a los ocupantes
- 5.- Ganancia de calor debida a máquinas, alumbrado o cualquier otro equipo que genere calor.
- 6.- Ganancia de calor debida al aire de ventilación

- 1.- Ganancia de calor debida a la transmisión a través de barreras

La ganancia de calor a través de barreras se calcula con la siguiente formula

$$Q_1 = U A ( t_e - t_i )$$

En la que :

$Q_1 \Rightarrow$  Carga de calor en Btu / h

$U \Rightarrow$  Coeficiente de transmisión de calor en Btu / hr - pie<sup>2</sup> - °F

$A \Rightarrow$  área neta en pies<sup>2</sup>

$t_e \Rightarrow$  Temperatura de diseño exterior en °F = 100 BS ( bulbo seco)

$t_i \Rightarrow$  Temperatura de diseño interior en °F = 80 BS

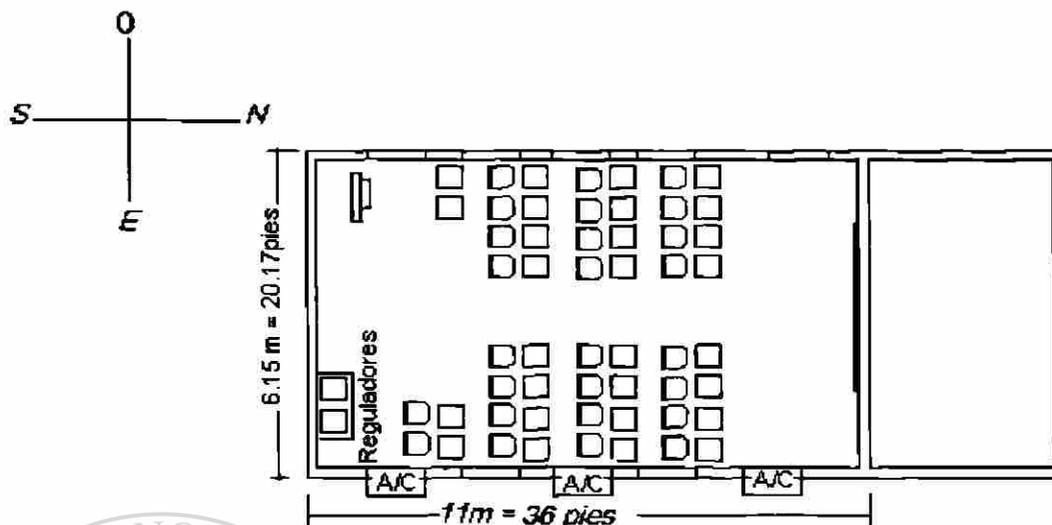


Fig.4.1B Vista superior del centro de cómputo

por lo general, la temperatura interior de diseño se considera entre 70°F y 80°F ( en el aire acondicionado ), y la temperatura exterior de diseño se selecciona de tablas no mostradas, según el lugar. La temperatura de bulbo seco exterior de diseño tiene, por lo general, su máximo a las 16.00 horas en verano.

La diferencia de temperaturas (  $t_e - t_i$  ) se afecta en ocasiones, debido al “efecto solar”, pero esta consideración es un método para tomar en cuenta esta carga, que muchas veces no se utiliza.

La Fig. 4.18 muestra el plano del salón del centro de cómputo en el cual hay que comprobar la eficiencia del acondicionamiento existente el cual se tomará como **referencia** para los demás salones, oficinas y bibliotecas. El espacio por acondicionar se calcula para 15 personas ( se hacen referencias de tablas que se localizan (5)\* ).

. a) Ganancia de calor por transmisión a través de barreras y por efecto solar

Fachada Oeste

Ancho 36 pies

Alto 8.52

Cristales

Ancho 3 pies

Alto 3 pies

Tiene una puerta sencilla de 3 X 6.5 pies, 5 marcos de cristal de 3X2,5 pies y el resto de la pared es concreto de 8 pulgadas de espesor, con 1/ 2 pulgada de yeso, con un coeficiente de transmisión  $U = 0.53 \text{ BTU/ h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

#### Fachada Este

Ancho 36 pies

Alto 8.52

#### Cristales

Ancho 3 pies

Alto 3 pies

Tiene 2 marcos de cristal de 3X2.5 pies donde se localizan los equipos A/C y el resto de la pared es concreto de 8 pulgadas de espesor, con 1/ 2 pulgada de yeso, con un coeficiente de transmisión  $U = 0.53 \text{ BTU/ h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

#### Fachada Sur

Ancho 20.17 pies

Alto 8.52

Pared de concreto de 8 pulgadas de espesor y 1/2 pulgada de yeso, cuyo factor de transmisión  $U = 0.53 \text{ Btu/ h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

#### Pared Norte

Adyacente a la pared N hay un salón no acondicionado cuya temperatura es  $90^\circ\text{F}$ , la pared tiene también un coeficiente de transmisión de calor  $U = 0.53 \text{ BTU/ h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

#### Piso

El piso es de 5 pulgadas de concreto.  $U = 0.46 \text{ Btu / h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ . Debajo del piso hay tierra común con una temperatura de  $80^\circ\text{F}$ .

#### Techo

El techo es de 4 pulgadas de concreto  $U = 0.46 \text{ Btu / h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$  y 5 pulgadas de sobretecho con  $U = 0.53 \text{ BTU/ h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

Equipo:

24 Computadoras

12 Lámparas de 75 w

2 Reguladores

Condiciones de diseño

Temperatura exterior 100°F (BS) y 80°F (BH) (bulbo húmedo)

Temperatura interior 80°F (BS) y 67°F (BH)

.a).- Ganancia de calor debida a transmisión a través de barreras y al efecto solar.

Fachada Oeste

Área total  $36 \times 8.52 = 306.72 \text{ pies}^2$

Área de cristales  $5 \times 3 \times 2.5 = 37.5 \text{ pies}^2$

Área de puertas  $1 \times 3 \times 6.5 = 19.50 \text{ pies}^2$

Factor U del muro :  $U = 0.53 \text{ BTU/ h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

Temperatura diferencial equivalente, tomada de la tabla IX-4 para concreto de 8 pulgadas, latitud norte, pared Oeste, color claro para mediodía y corregida para 20°F diferenciales: como la tabla esta basada en 15°F se le agrega la diferencia (20-15 )

$t_e = 2 + 5 = 7^\circ\text{F}$

$q_1 = 0.53 ( 306.72 - 37.5 - 19.50 ) \times 7 = 926.46 \text{ Btu / hr}$

como se menciona con anterioridad,  $q_1$  representa el calor ganado por transmisión a través de muros, más el ganado por el efecto solar.

El calor ganado en los cristales es :

Área =  $37.5 + 19.50 = 57 \text{ pies}^2$

$$U = 1.13 \text{ Btu/ hr-pie}^2\text{-}^\circ\text{F.}$$

Calor ganado por transmisión por diferencia de temperatura:

$$.q_2 = A U (t_e + t_i)$$

$$.q_2 = 37.5 \times 1.13 (100 - 80) = 1288.20 \text{ Btu / hr}$$

Calor ganado en los cristales por efecto solar:

$$.q_3 = q_3^1 \times f_2$$

$$q_3^1 = 165 \text{ Btu/ h-pie}^2 \quad \text{Tomada de la tabla 1X- 1 (5)*}$$

para latitud 30° norte, orientación Oeste, a mediodía, para agosto 24.

$f_2 = 0.56$  tomado de la tabla 1X-2 (5)\*debido a que el cristal está protegido con cornisa.

Luego

$$q_3^1 = 165 \times 0.56 \times 37.5 = 3465.00 \text{ Btu / hr}$$

$$Q_3^1 = q_1 + q_2 + q_3$$

$$Q_3^1 = 926.46 + 1288.20 + 3465.00 = 5679.66 \text{ Btu/hr}$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Fachada E

Ancho 36 pies

Alto 8.52

Cristales

Ancho 3 pies

Alto 2.5 pies

Área total  $36 \times 8.52 = 306.72 \text{ pies}^2$

Área de cristales  $2 \times 3 \times 2.5 = 15 \text{ pies}^2$

Puertas no hay

Factor U del muro =  $0.53 \text{ Btu / hr-pies}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

Temperatura diferencial equivalente, tomada de la tabla 1X-4 (5)\* para concreto de 8 pulgadas, latitud norte, pared E, color claro para mediodía y corregida para  $20^\circ\text{F}$  diferenciales:

$$.t_e \approx 6 + 5 = 11 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$q_1 = 0.53 ( 306.72 - 15 ) \times 11 = 1700.72 \text{ Btu / hr}$$

como se menciona con anterioridad,  $q_1$  representa el calor ganado por transmisión a través de muros, más el ganado por el efecto solar.

El calor ganado en los cristales es :

$$\text{Área} = 15 \text{ pies}^2$$

$$U = 1.13 \text{ Btu/ h-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}.$$

Calor ganado por transmisión por diferencia de temperatura:

$$.q_2 = A U ( t_e + t_i )$$

$$.q_2 = 15 \times 1 ( 100 - 80 ) \approx 300 \text{ Btu / hr}$$

Calor ganado en los cristales por efecto solar:

$$.q_3 = q_3^1 \times f_2$$

$$q_3^1 = 165 \text{ Btu/ h-pie}^2 \text{ Tomada de la tabla 1X- 1 (5)*}$$

para latitud  $30^\circ$  norte, orientación E, 8 de la mañana. para agosto 24.

$$.f_2 = 0.56 \text{ tomado de la tabla 1X-2 (5)*}$$

Luego

$$q_3^{\dot{}} = 165 \times 0.56 \times 15 = 1386.00 \text{ Btu / hr}$$

$$Q_3^{\dot{}} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$Q_3^{\dot{}} = 1700.72 + 300 + 1386.00 = 3386.72 \text{ Btu /hr}$$

Pared N

$$\text{Área total} \quad 20.17 \times 8.52 = 171.84 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U del muro} = 0.53 \text{ Btu / h - pies}^2 \text{ - } ^\circ\text{F}$$

Calor ganado a través del muro por transmisión debida a la diferencia de temperaturas

$$Q_1 = U A (t_e - t_i)$$

$$Q_1 = 171.84 \times 0.53 (90 - 80) = 910.79 \text{ Btu / hr}$$

Pared S

$$\text{Área total} \quad 20.17 \times 8.52 = 171.84 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U del muro} = 0.53 \text{ Btu / h - pies}^2 \text{ - } ^\circ\text{F}$$

Calor ganado a través del muro por transmisión debida a la diferencia de temperaturas

$$Q_1 = U A (t_e - t_i)$$

Temperatura diferencial equivalente, tomada de la tabla IX-4 (5)\* para concreto de 8 pulgadas, latitud norte, pared NW, color claro para mediodía y corregida para 20°F diferenciales:

$$t_e = 2 + 5 = 7 ^\circ\text{F}$$

$$q_1 = 0.53 (171.84) \times 7 = 637.52 \text{ Btu / hr}$$

como se mencionó con anterioridad,  $q_1$  representa el calor ganado por transmisión a través de muros, más el ganado por el efecto solar.

Piso

$$\text{Área total} \quad 36 \times 20.17 = 726.12 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U del piso} = 0.46 \text{ Btu / h - pies}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

$$\text{Temperatura del terreno} = 85 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_p = A U (t_e - t_i)$$

$$Q_p = 171.84 \times 0.46 (85 - 80) = 395.232 \text{ Btu / hr}$$

Techo

$$\text{Área total} \quad 36 \times 20.17 = 726.12 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U del techo} = 0.43 \text{ Btu / h - pies}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

$$\text{Temperatura exterior} = 100 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_t = A U (t_e - t_i)$$

$$Q_t = 171.84 \times 0.43 (100 - 80) = 1477.82 \text{ Btu / hr}$$

Calor ganado por transmisión debida a la diferencia de temperatura y el efecto solar:

$$Q_t = 5679.66 + 3386.72 + 910.79 + 637.52 + 395.232 + 1477.82 = 12487.74 \text{ Btu / hr}$$

b) Calor ganado por equipo misceláneo:

Equipo:

24 Computadoras

12 Lámparas de 75 w

## Condiciones de diseño

Temperatura exterior 100°F (BS) y 80°F (BH)

Temperatura interior 80°F (BS) y 67°F (BH)

1.- Computadoras Ver tabla 1X-8 (5)\* considerando 1/3 de carga por computadora y un promedio de 15 funcionando

Calor sensible.....15 x (3413/ 3 Btu/Kw instalado -hr) = 17065.00 Btu / hr

Calor latente.....= 0 Btu / hr

2.- Iluminación considerando 6 encendidas en el día

Calor sensible.....(6 x 0.075) x (3413 Btu / Kw instalado-hr) = 1535.85 Btu / hr

Entonces

Calor sensible total ..... = 18600.85 Btu / hr

Calor latente ..... = 0 Btu / hr

c) Calor ganado por los ocupantes

Usando la tabla 1X-7 o las Fig. 1X-34 y 1X-35 (5)\*, se tiene:

Temperatura interior 80°F (BS) y 67°F (BH), actividad ligera.

Calor sensible .....15 X 195 = 2925 Btu / hr

Calor latente .....15 X 205 = 3075 Btu / hr

d) Encontrar

1.- El aire requerido para la ventilación

Si se considera que se requiere 10 pie<sup>3</sup> / min-persona, se tiene:

$$V_t = 15 \times 10 = 150 \text{ Pies}^3 / \text{min}$$

$$\text{Cambios de aire por hora} = (150 \times 60) / (39.6 \times 20.17 \times 8.52) = 1.32$$

a. Ganancia de calor por infiltración del aire.

De la tabla V111 – 2 (5)\*

Vemos para 5 mph puerta de vidrio con ranura de 1/8" con buena instalación

ranura de 1/8 con fugas a través del marco tendremos un volumen de

$$3.2 \times 60 = 192.00 \text{ pie}^3 / \text{hr/ pie de ranura}$$

Para las ventanas y puerta Fachada Oeste

Las ventanas son selladas no hay infiltración

La puerta es de 3 X 6.5 ;  $2(3 + 6.5) = 19$  pies

$(19 \text{ pies}) (192.00 \text{ pie}^3 / \text{hr} / \text{pie de ranura}) = 3648.00 \text{ pie}^3 / \text{hr}$

Infiltración total =  $3648.00 \text{ pie}^3 / \text{hr}$

Por las paredes no hay infiltración, y las condiciones de diseño son:

Temperatura exterior  $100^\circ\text{F}$  (BS) y  $80^\circ\text{F}$  (BH)

Con la carta psicrométrica tenemos

Temperatura de rocío =  $T_w = 73^\circ\text{F}$

Humedad específica =  $W_e = 124$  granos / libra

Volumen específico =  $V_e = 14.54 \text{ pie}^3 / \text{lb}$

Temperatura interior  $80^\circ\text{F}$  (BS) y  $67^\circ\text{F}$  (BH)

Con la carta psicrométrica tenemos

Temperatura de rocío =  $T_w = 60.1^\circ\text{F}$

Humedad específica =  $W_i = 78.2$  granos / libra

Volumen específico =  $V_i = 13.84 \text{ pie}^3 / \text{lb}$

$M = V_t(\text{infiltración}) / V_e = (3648.00 \text{ pie}^3 / \text{h}) / 14.54 \text{ pie}^3 / \text{lb} = 250.89 \text{ lb} / \text{hr}$

Humedad ganada =  $(250.89 \text{ lb} / \text{hr}) (124 - 78.2) \text{ granos} / \text{libra} = 11490.94 \text{ granos} / \text{hr}$

Ganancia de calor latente =  $Q_L = (\text{Humedad ganada}) (1050 \text{ Btu} / \text{Lb}) / 7000$

$Q_L = (11490.94) (1050) / 7000 = 1723.64 \text{ Btu} / \text{hr}$

## 3.- Resumen de ganancia de calor

	Calor sensible	Calor latente
Transmisión y efecto solar	12487.74	
Equipo misceláneo	18600.85	
Ocupantes	2925	3075
Infiltración		1723.64
Total	34013.59 Btu / hr	4798.64 Btu / hr

## e) Calculemos

## 1.- La Relación de calor sensible (R.C.S. )

$$RCS = (\text{Calor sensible total}) / (\text{Calor sensible total} + \text{Calor latente})$$

$$RCS = 34013.59 / (34013.59 + 4798.64) = 0.87$$

La temperatura del aire de entrada varia en general, de 5°F a 20°F por debajo de la temperatura deseada.

La temperatura de aire de entrada debe ser, por regla general, 2°F por debajo de la temperatura del cuarto por cada pie entre el piso y el techo ( en nuestro caso es de 8.52 pies) .

$$\text{Temperatura de entrada a los difusores} = 80 - (8.52) ( 2 ) = 80 - 17.04 = 63^\circ\text{F}$$

## 2.- Mínima cantidad de aire suministrado

$$M = QS / C_p ( T_i - T_d )$$

CP = Calor específico a presión constante del aire

Ti =>Temperatura Interior

Td =>Temperatura Difusor

$$M = 34013.59 / ( 0.24 ) ( 80 - 63 ) = 8336.66 \text{ Lb / hr}$$

3.- La humedad específica y temperatura de bulbo húmedo del aire suministrado para conseguir las condiciones de diseño.

$$QL = M ( W_i - W_d ) ( 1050 / 7000 )$$

$$4798.64 = 8336,66 ( 78.2 - W_d ) ( 0,15 )$$

$$W_d = ( 8336,66 ( 78.2 ) ( 0.15 ) - 4798.64 ) / ( 0,15 ) ( 8336,66 ) = 74.36 \text{ granos / lb}$$

Nos vamos a ver la carta psicrométrica con 63°F BS y 74.46 de humedad con el cruce obtenemos:

$$.t_{bh} = 60.05 \text{ °F}$$

$$.h = 26.8 \text{ Btu / lb}$$

$$.v = 13.4$$

4.- El aire suministrado por el ventilador en  $\text{pie}^3 / \text{min}$

$$V = M v / 60$$

$$V = ( 8336,66 ) ( 13.4 ) / 60 = 1861.85 \text{ pie}^3 / \text{min}$$

5.- Capacidad del acondicionador

— Cuando el aire de ventilación se toma del exterior

$$Mv = ( \text{Volumen requerido de aire para los ocupantes} ) ( 60 ) / \text{volumen específico ( v )}$$

$$Mv = \text{Cantidad de aire de ventilación en lb / hr}$$

$$Mv = ( 150 ) ( 60 ) / ( 14.54 )$$

$$Mv = 618.98 \text{ lb / hr}$$

$$Mr = 8336,66 - 618.98 = 7717.68 \text{ lb / hr}$$

Condiciones de la mezcla del aire fresco y el aire recirculado

$$Mv ( t_e ) + Mr ( t_i ) = M t$$

$$( 618.98 ) ( 100 ) + ( 7717.68 ) ( 80 ) = 8336,66 t$$

$$t = 81.48 \text{ °F} \quad \Rightarrow \text{Temperatura equivalente}$$

$$M_v (h_e) + M_r (h_i) = M h$$

$$(618.98)(43.7) + (7717.68)(31.3) = 8336.66 h$$

$$h = 32.22 \text{ Btu / lb}$$

por lo tanto el calor  $q_1$

$$q_1 = (8336.66)(32.22 - 27) = 43522.99 \text{ Btu /hr}$$

$$1 \text{HP} = 42.4 \text{ Btu / min}; \text{ por lo tanto}$$

$$\text{Hp requeridos} = (43522.99) / (60)(42.4) = 17.10 \text{ HP}$$

$$1 \text{Hp} = 0.746 \text{ Kwatts}$$

$$(17.10)(0.746) = 12.75 \text{ KW}$$

$$\text{KW instalados en el centro de cómputo} = (3)(2970) / 1000 = 8.91 \text{ KW}$$

$$\text{Diferencia} = 12.75 - 8.91 = 3.84 \text{ KW}; \text{ Equivalente a } 3.84 / 2.970 = 1.29 \text{ aparatos}$$

#### 4.8 Alumbrado

La escuela cuenta con lámparas tubulares de 75 y 39 Watts tipo fluorescente en su edificio; el consumo por este concepto es bajo comparativamente con el de A/C, pero al respecto, existen en el mercado lámparas economizadoras con mayor eficiencia con las que podría hacerse una prueba en un salón y ver los pro y contra respecto a la iluminación, contraste, estética, etc.. Si los resultados son favorables en todos los aspectos se podrá llegar a disminuir la energía por este concepto hasta en un 60% del consumo actual que es el 9.5%, lo que traería un ahorro del consumo de  $(1405.36)(0.60) = 843.21 \text{ KW-h}$  que en pesos promedio por mes serían \$647.74 y quedarían en promedio  $1405.36 - (1405.36)(0.60) = 562.14 \text{ KW-h}$  con un costo de \$431.82 para más detalles ver el capítulo 5.1.1 correspondiente a la auditoría energética.

#### 4.9 Equipo de laboratorio para análisis de carbón

Analizador de azufre

horno Felisa

Horno thermolyne

Balanza

Computadora

Consumos en el capítulo 5.1.1

#### 4.10 Equipo del centro de cómputo

24 Computadoras

2 Reguladores

1 Impresora

# Capítulo 5

## REVISIÓN ENERGÉTICA

### 5.1 Administración de la energía y revisión energética

La revisión energética es la metodología del examen de una instalación o sistema para identificar las posibilidades de incrementar el uso eficiente de la energía (eléctrica, térmica, etc.). El sistema puede ser una casa, un establecimiento comercial, o una planta industrial u otro lugar donde se consuma energía con determinado propósito.

El propósito del consumo de Energía en la Escuela Superior de Ingeniería es dar servicio a la institución respecto al apoyo y comodidad requeridos para el desarrollo en sus labores tanto de los alumnos como de los maestros.

Las tablas 5.1 a 5.1e y 5.2 contienen el registro detallado del equipo eléctrico en las diferentes áreas de la Escuela. La primera columna de estas tablas menciona el área específica donde se encuentra el equipo. También se muestra, en la segunda columna el promedio de tiempo que cada equipo funciona en un día hábil típico. La última columna contiene un resumen de la energía eléctrica consumido en uno de estos días. Esta información es muy importante para determinar exactamente las áreas de oportunidad que se tienen con respecto al ahorro de energía y fue obtenida efectuando recorridos por las instalaciones y levantando censos con los usuarios de cada departamento.

Tabla 5.1a Registro de equipo

Lugar		Lamparas			Aire acondicionado y calefaccion	Equipo de computo	Otros	Total en KW-h
		39 w	40 w	75 w	2970			
Entrada, oficinas de ingeniería, pasillos	Número	56		4	4	3		
	Promedio horas funcionando	6		6	10	600 x 8 hr		
	KWatts-h/día	13104	0	1800	116800	1440		135.144
Biblioteca de ingeniería	Número	0		12	2		1	
	Promedio horas funcionando	0	0	6	10		Copiadora 168 watts	
	KWatts-h/día	0	0	5400	59400		168	64968
Salon de consulta y oficina de mesa directiva	Número	2		4	1			
	Promedio horas funcionando	6	0		1			
	KWatts-h/día	468		300	2970			3738
Centro de computo	Número			12	3	24		
	Promedio horas funcionando		0	8	10	Com. 2 reguladores de 3KVA al 70%		
	KWatts-h/día			7200	89100	115200		211.5
Cafeteria	Número	12			1 A. Humedo	2		
	Promedio horas funcionando	8			R,30	Refrigeradores		
	KWatts-h/día	3744			250	11936		15.93
Oficina de aparatos topográficos	Número	6						
	Promedio horas funcionando	2						
	KWatts-h/día	468						0.468
Aula n°1	Número	12			1			
	Promedio horas funcionando	4			6			
	KWatts-h/día	1872			17820			19.692
Aula n°2	Número	20			1			
	Promedio horas funcionando	5			6			
	KWatts-h/día	3900			17820			21.72
Biblioteca EBURR	Número	16			2		1	
	Promedio horas funcionando	8			8		Copiadora	
	KWatts-h/día	4992			47520		168	52.512
Pasillos, oficina de deporte	Número	10						
	Promedio horas funcionando	3						
	KWatts-h/día	1170						1.17
Aula n° 3	Número			8	1		2	
	Promedio horas funcionando	0		3	2		Abanicos de cielo	
	KWatts-h/día	0		1800	5940		559.5	8.2995

Tabla 5.1b Registro de equipo

Lugar		Lamparas			Aire acondicionado y calefaccion	Equipo de computo	Otros	Total en KW-h
		39 w	40 w	75 w	2970			
Aula N°4	Número			6	1			
	Promedio horas funcionando	0		5	6			
	KWatts-h/dia	0		2250	17820			20.07
Aula N°5	Número			6	1			
	Promedio horas funcionando	0		5	6			
	KWatts-h/dia	0		2250	17820			20.07
Andadores, pasillos y baños planta baja	Número	40						
	Promedio horas funcionando	4						
	KWatts-h/dia	6240						6.24
Aula N°6	Número			6	1			
	Promedio horas funcionando	0	0	5	6			
	KWatts-h/dia	0	0	2250	17820			20.07
Aula N°7	Número			12	2			
	Promedio horas funcionando			5	6			
	KWatts-h/dia			4500	35640			40.14
Gimnasio deportivo	Número	18						
	Promedio horas funcionando	2						
	KWatts-h/dia	1404						
Taller mecánico	Número	18						
	Promedio horas funcionando	2						
	KWatts-h/dia	1404						1.404
Muestreo preparación de carbón	Número	26						
	Promedio horas funcionando	6				Horno, compresor, molino		
	KWatts-h/dia	6084				4661		10.765
Taller de soldadura	Número	18						
	Promedio horas funcionando	2						
	KWatts-h/dia	1404						1.404
Taller eléctrico y electrónico	Número	26			1			
	Promedio horas funcionando	2			A. Humedo R 30			
	KWatts-h/dia	2028			250			2.278
Almacén scrap	Número	26						
	Promedio horas funcionando	1						
	KWatts-h/dia	1014						1.014

Tabla 5.1c

## Registro de equipo

Lugar		Lamparas			Aire acondicionado y calefaccion 2970	Equipo de computo	Otros	Total en KW-h
		39 w	40 w	75 w				
Aula N° 8	Número			6				
	Promedio horas funcionando			4				
	KWatts-h/día			1800			1.8	
Aula N° 9	Número			12	1	3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando			4	6			
	KWatts-h/día			3600	17820		21.42	
Aula N° 10	Número			6		3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando			4				
	KWatts-h/día			1800			1.8	
Andadores, pasillos y baños 2° piso	Número	16		2		3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando	4		4				
	KWatts-h/día	2496		600			3.096	
Aula N° 11	Número			6	1	3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando			4	A.humedo			
	KWatts-h/día			1800			1.8	
Aula N° 12	Número			12		3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando			4				
	KWatts-h/día			3600			3.6	
Aula N° 13	Número	8			1			
	Promedio horas funcionando	4			3			
	KWatts-h/día	1248			8910		10.158	
Aula N° 14	Número	8			1			
	Promedio horas funcionando	4			3			
	KWatts-h/día	1248			8910		10.158	
Aula N° 15	Número	8			1			
	Promedio horas funcionando	4			3			
	KWatts-h/día	1248			8910		10.158	
Aula N° 16	Número			6	1	3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando			2	3			
	KWatts-h/día			900	8910		9.81	
Aula N° 17	Número			12	2	3 de 20 w		
	Promedio horas funcionando			2	3			
	KWatts-h/día			1800	17820		19.62	

Tabla 5.1d

## Registro de equipo

Lugar		Lamparas			Aire acón. y calef. 2970 w/aparato	Equipo de computo	Otros	Total en KW-h
		39 w	40 w	75 w	2970			
Aula N° 18	Número	24			2	18		
	Promedio horas funcionando	2			6			
	KWatts-h/día	1872			35640			37.512
Aula N° 19	Número	16			2	17	4 de 20 w	
	Promedio horas funcionando	4			6			
	KWatts-h/día	2496			35600			38.096
Aula N° 20	Número	16			2		4 de 20 w	
	Promedio horas funcionando	4			6			
	KWatts-h/día	2496			35640			38.136
Andadores y pasillos	Número	30						
	Promedio horas funcionando	3						
	KWatts-h/día	3510						3.51
Sala de conferencias	Número				3			
	Promedio horas funcionando		esporádico		1			
	KWatts-h/día				8910			8.91
Aula N° 21	Número	4		8	2			
	Promedio horas funcionando	4			4			
	KWatts-h/día	624			23760			24.384
Aula N° 22	Número	4		8	1			
	Promedio horas funcionando	4			4			
	KWatts-h/día	624			11880			12.504
Laboratorio de fisico quimica	Número	32				3		
	Promedio horas funcionando		Portala mp.			5.2Kw		
	KWatts-h/día							0
Laboratorio de preparacion mecánica	Número	72						
	Promedio horas funcionando		esporádico					
	KWatts-h/día							0
Oficina de preparacion mecánica	Número	14						
	Promedio horas funcionando	0						
	KWatts-h/día	0						0
Andadores, pasillos y estacionamiento	Número	14					12 de 20 w	
	Promedio horas funcionando	4						
	KWatts-h/día	2184						2.184

Tabla 5.1e

Registro de equipo

Lugar		Lamparas			Aire accon. y calef. 2970w/aparato	Equipo de computo	Otros	Total en KW-h
		39 w	40 w	75 w	2970			
Oficinas de la preparatoria EBURR	Número	8		20	4	9	300	
	Promedio horas funcionando	8		8	10		8	
	KWatts-h/dia	2496		12000	118800		2400	135.696
Lamparas de alumbrado exterior de 120V, 220V	Número						9 canchas	
	Promedio horas funcionando							
	KWatts-h/dia							0
Bomba de agua/ baños	Número						1 HP 746 w	
	Promedio horas funcionando							
	KWatts-h/dia							0
Bomba de agua /riego	Número						1 HP746 w	
	Promedio horas funcionando							
	KWatts-h/dia							0
	Número							
	Promedio horas funcionando							
	KWatts-h/dia							0

Tabla 5.2

Equipo de laboratorio

Nombre del equipo	Modo de funcionamiento	Consumo diario en KW
Analizador de azufre y calorímetro	4475 watts 1550°C generalmente se trabaja 700°C durante 17 Hr/día y a 1350°C durante 7 Hr/día	61.64
Horno felisa	Temperatura max. De trabajo 220°C, se trabaja generalmente a 110°C	7.62
Horno thermolyne	Consumo 4400 watts a 1200°C se maneja a 750°C 6Hr/día de lunes a viernes ( 5 días )	13
Impresora	Minimo consumo	
Balanza	Minimo consumo	
Computadora		
A/C Miniesplit	Dos modelo MHH 18P16, 230 V, monofásico. Capacidad de enfriamiento 4640Kcal/h, 5.2 Kw, 18400 BTU/h, ventilador de 83 watts, 0.39 Amper	96
Lamparas de 39 Watts	8 x 12 horas	3.74
Consumo total en el laboratorio		182

### 5.1.1 Auditoría energética

Forma parte de un programa de administración de la energía, se puede emprender, y con frecuencia así es, cuando no existe un programa formal para la administración de la energía.

En casos mas complejos la ausencia de un programa formal de administración de la energía suele ser una deficiencia grave. En tales casos , una de las recomendaciones surgidas de la auditoría energética será establecer un programa de administración de la energía.

Dicho programa contendrá listas o gráficas que muestren claramente la línea de conducta que ha de seguirse para alcanzar los objetivos.

### 5.1.2 Administración de la energía

Es la metodología para organizar los recursos financieros, técnicos y humanos para elevar la eficiencia con la que se usa la energía en un sistema o instalación. La administración energética comúnmente abarca el llevar registros acerca del consumo de energía y el funcionamiento del equipo, el reemplazo o modificación de elementos y sistemas ineficientes.

La tabla 5.3 contiene las condiciones que se encuentran los equipos y elementos que componen a la instalación eléctrica en la Escuela.

El programa 1 hace referencia a la inspección mensual con las observaciones y recomendaciones en el equipo o elemento eléctrico de la instalación eléctrica.

La fig. 5.1 muestra el diagrama unifilar de la instalación eléctrica existente.

La tabla 5.4 indica los calibres de conductores existentes en las diferentes áreas.

La tabla 5.5 nos muestra las cargas conectadas a las diferentes áreas, así como la corriente a plena carga por sección.

La tabla 5.6 se toma en consideración una demanda máxima registrada en 2 años y se encuentra el porcentaje de carga que demanda por sección y la carga conectada.

La tabla 5.7 muestra las pérdidas mensuales de energía en los conductores y su costo.

Tabla 5.3

Lista de comprobación de equipo								
	Condiciones en que se encuentran los elementos en la instalación eléctrica de la Escuela							
	Alumbrado	Aire Acondicionado	Contactos	Apagadores	Ventanas	Registros Eléctricos	Tableros y centros de carga	Cables eléctricos
Oficinas de Ingeniería	R	B*	R	R	B N			
Biblioteca Ingeniería	B	B*	R*	R	B N		R	
Centro de computo Ingeniería	B	B A	B F*	B	B N			
Aulas Ingeniería	R F	B*	R	R	B N		antiguos, oxidados, recalentados	
Talleres de ingeniería	B	NO HAY	F	F	B		antiguos, oxidados, recalentados	
Laboratorio de Carbón	B	B	B	B	B		R	
Patios de Ingeniería	B C					B	R	R*
Oficina EBURR	B	B	R	R	B			
Centro de computo EBURR	B	B	R	R	B			
Aulas EBURR	B	B*	R	R	B			
Patios de EBURR	B C							
Subestación	F	Es necesario sacar el centro de distribución del salon de dibujo y si es necesario reemplazarlo por uno nuevo por lo cual				Se requiere hacer un cuarto para distribuir los diferentes circuitos y que tenga acceso personal autorizado		

A=&gt; Alto ruido

B=&gt; Bueno

C=&gt; Falta canalización

M=&gt; Malo

R=&gt; Regular

N=&gt; No recomendable p/aire acondicionado

\* -&gt; Tierra de aparatos no conectadas

F=&gt; faltan

### Programa 1

#### Programa de inspección mensual de la instalación eléctrica en la Escuela Superior de Ingeniería

Equipo	Observación	Recomendación
Subestación eléctrica	El interruptor general tiene una capacidad inferior a la recomendada de acuerdo a los cálculos, no tienen identificación los interruptores de cada circuito y su ubicación en caja no es estética, la cerca perimetral muy restringida,	Construir a un lado un cuarto dedicado al centro de control de todas las secciones de la escuela e identificar cada uno de los circuitos de acuerdo a su ubicación.
Alumbrado, contactos, interruptores, de salones y oficinas	Algunos protectores difusores de las barras tienen suciedad, algunas no encienden, faltan lámparas, interruptores muy antiguos y deteriorados.	Elaborar programa de inspección y mantto., solicitar refacciones con tiempo, cambiar por económicas donde no afecte la iluminación y la estética
Aire acondicionado	El cable de alimentación es de un calibre muy justo, la toma de tierra no esta conectada, y el interruptor está muy cerca de cada aparato.	El calibre mínimo recomendado es el 12 y la toma de tierra mínimo debe de ser el mismo calibre
Líneas subterráneas	Algunas muy deterioradas por las hormigas y tapadas con tierra, sobrecargadas, conectadas de otros circuitos, falta la línea de tierra	Cambiar por otras en buen estado, e independizar circuitos. línea de tierra para cada circuito
Líneas aéreas	Conectan a muchos circuitos	Independizar circuitos
Centros de carga	Muy antiguos, ventanillas abiertas sin algún interruptor, barras con reconocimiento de sobrecarga, faltan tornillos, cajas oxidadas	Cambiar en su mayoría

Fig.5.1

Diagrama unifilar de la instalación eléctrica en la Escuela Superior de Ingeniería

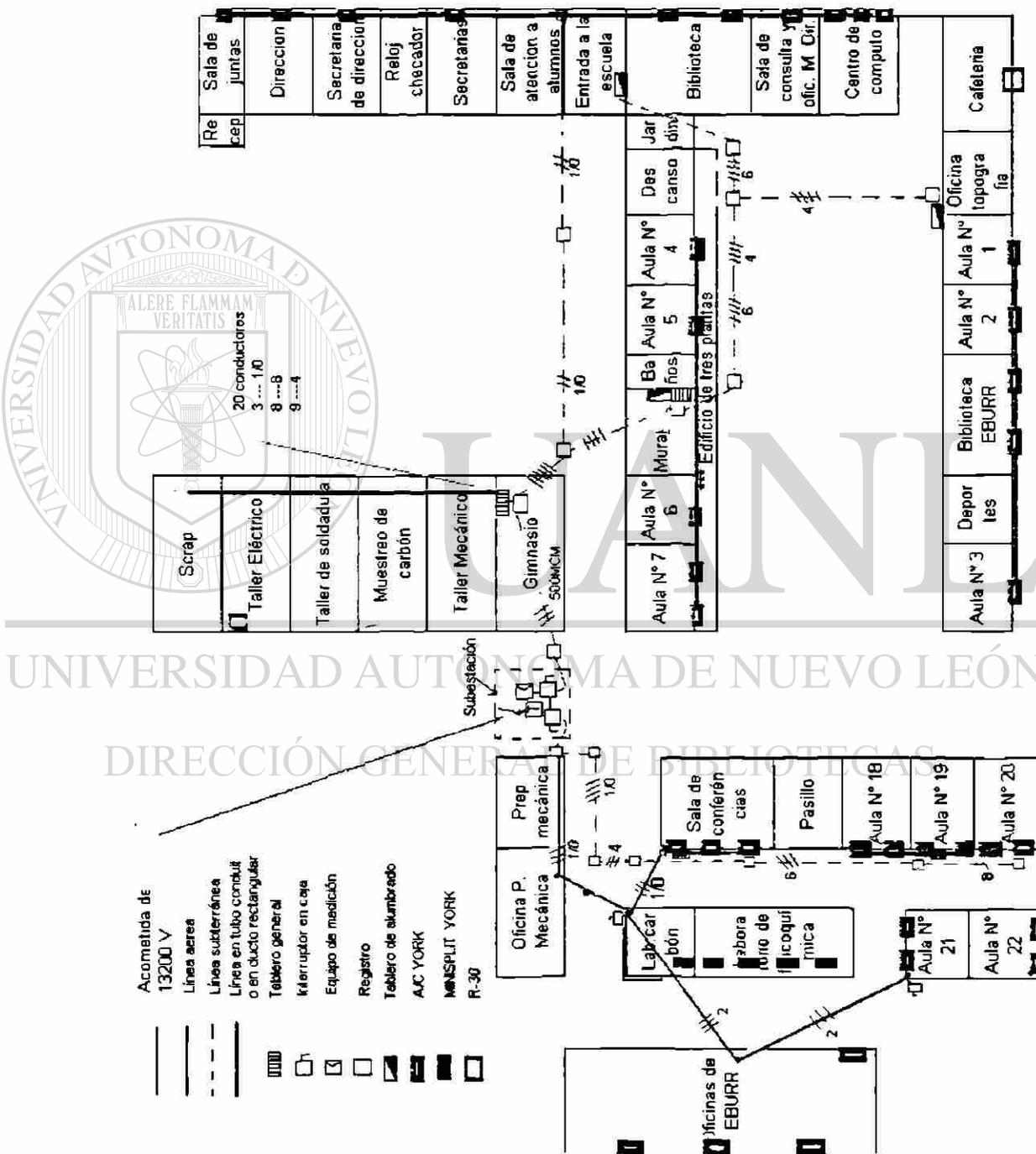


Tabla 5.4

		Calibre de cables eléctricos existentes										Subestación
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Area	Oficinas de Ingeniería, Biblioteca, Centro de computo	Aulas Biblioteca EBURR, Cafeteria	Aulas compartidas de la 4 a la 17	Talleres	Sala de conferencias	Centro de computo EBURR	Lab. de Carbon	Laboratorio de Físico Química	Aulas 21, 22	Oficinas de la EBURR	Aulas Nuevas, antes Preparación Mecánica	Alimentador
	1/0	4	400 MCM	3-1/0 8-8 9-4	4	1/0 Común	1/0 Común	1/0 Común	2 Común	2 Común		500 MCM

Tabla 5.5  
Cargas conectadas a los circuitos por Secciones en KW

Concepto	Corriente a plena carga por sección en Amper											Total de carga conectada en KW
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Aire acondicionado	29	18	38	1	9	18	11	15	12	12	15	178
	132	82	172	4.5	41	81.8	50	68.2	55	55	68	
Alumbrado	7	4	5	4	2	3	8	3	1	3	2	42
	32	18	23	18	9	14	36	14	5	14	9	
Alumbrado de Canchas y otros	1	1		1	2					1	1	7
	5	5		5	9					5	5	
Carga total												227
Corriente total												662
												$I = 227 / (1.73 \times 220) (0.9) = 661.9$

Concepto	Cálculo del conductor con aislamiento THW por sección											
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Aire acondicionado	2/0	2	4/0	12	6	2	6	4	4	4	4	
	8	10	10	10	12	12	8	12	12	12	12	
Alumbrado de Canchas	12	12		12	12							
Alimentador												2X500

Tabla 5.6

% de Cargas en los circuitos por Sección en KW, tomando en consideración una demanda máxima registrada en 2 años

Concepto	Carga por sección en KW											Total de carga conectada en KW
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Aire acondicionado	16	10.28	22	0.34	10.28	8.42			3.4	6.5		
Alumbrado	22	13.87	29.7	0.46	13.87	11.367			4.59	8.7		104.557
Alumbrado de Canchas y otros	2	0.7	2.8	1.1		0.5			0.7	1		
Carga total	2.7	0.94	3.78	1.48		0.67			0.945	1.35		11.865
Corriente total	0.94					8				1		13.09
						10.8				1.35		129.512
	$I = 129.512 / (1.73) (220) (0.9) = 378.1$ Amper											378.1

	Corriente en amper											
	Calibre del conductor con aislamiento THW por sección											
Aire acondicionado	100	63	135	2.1	63	51.7			20.9	39.5		
Alumbrado	1/0	4	3/0	12	4	6			10	8		
Alumbrado de Canchas	12.3	4.3	17.2	6.7		3			4.3	6.1		
Alimentador	12	12	12	12		12			12	12		
	4.3					49.1						
						6						
												2 X 4/0 o 750



### 5.1.2.1 Facturas o cuentas por el servicio de energía eléctrica

#### Definición de los conceptos en el recibo de energía eléctrica y proyectos eléctricos

**Carga instalada.**- Es la suma de las potencias nominales de los aparatos y equipos que se encuentran conectados en una área determinada de la instalación y se expresa generalmente en KVA ó KW.

**Demanda.**- es la potencia que consume la carga, medida por lo general en intervalos de tiempo ( por ejemplo intervalos de 1 hora ) expresada en KW ó KVA.

**Densidad de carga.**- Es el cociente de la carga y el área de la instalación considerada, se expresa en  $KVA/m^2$  y para los propósitos de planeación de una instalación eléctrica se dan tablas con valores típicos para cierto tipo de instalaciones eléctricas.

**Demanda máxima.**- Es la máxima demanda que se tiene en una instalación o en un sistema durante un periodo de tiempo especificado por lo general en KW.

**Factor de carga.**- En la mayoría de los casos la carga no es constante durante el año o durante un periodo de tiempo especificado considerado como representativo, ya que por ejemplo en las instalaciones industriales la demanda de energía eléctrica puede variar de acuerdo con el volumen de producción que se tenga de manera que resulta

conveniente definir lo que se conoce como factor de carga :

**F. C** = Valor promedio anual de la carga / Máximo valor de la carga en un año

**Factor de demanda.**- Es el cociente de la demanda máxima de un sistema y las cargas instaladas en el mismo.

**F.D** = Demanda máxima ( en KW ) / Carga instalada ( en KW )

**Factor de diversidad.**- Es el cociente de las sumas de las demandas máximas individuales en las distintas partes de un sistema o la instalación y la demanda máxima del sistema o instalación.

**F.d** = Suma de las demandas máximas individuales / Demanda máxima del sistema

**Factor de simultaneidad.**- Es una cantidad menor o igual a la unidad y se obtiene como el recíproco del factor de diversidad.

**F.S** = 1 / Factor de diversidad

Tabla 5.8

INDICADORES										CONCEPTO				
Año	Mes	Dem.Max Kw	Consumo Kwh	KVAH	% F.P	% F.C	\$ Energía	Demanda %	2%Med.B T \$	Bono F.P \$	Subtotal	I.V.A.	TOTAL	
2001	Ene-Feb	85	13286	5420	94.93	22.46	5629.34	4648.72	205.55	73.38	10483.61	1572.54	12056.15	
	Feb-Mar	55	9920	3520	94.24	24.24	4805.94	3777.85	171.67	96.30	8659.16	1298.87	9958.03	
	Mar-Abr	64	10080	3840	93.45	21.88	4625.73	3819.33	168.91	77.53	8536.44	1280.47	9816.91	
	Abr-May	77	11520	4960	91.85	18.89	5226.98	5032.4	205.17	52.32	10412.23	1561.83	11974.06	
	May-Jun.	77	11520	4960	91.85	18.89	5226.98	5032.4	205.17	52.32	10412.23	1561.83	11974.06	
	Jun.-Jul.	85	15680	6080	93.24	25.62	6992.14	4969.73	239.23	109.81	12091.29	1813.69	13904.98	
	Jul.-Ago.	66	12160	4320	94.23	27.42	5273.84	3436.62	174.21	97.73	8786.94	1318.04	10104.98	
	Ago-Sep.	87	12800	6720	88.54	18.03	5442.97	5457.41	218	-111.18	11229.56	1684.43	12913.99	
	Sep.-Oct.	120	38400	12320	95.22	41.67	16227.13	7071.72	465.98	332.71	23432.12	3514.82	26946.94	
	Oct.-Nov.	85	12960	5280	92.61	21.91	5491.22	4534.66	200.51	71.58	10154.81	1523.22	11678.03	
	Nov.-Dic.	80	14400	4960	94.55	25	6210.97	4511.02	214.44	131.24	10805.19	1620.78	12425.97	
	<b>Promedio</b>		<b>80.09</b>	<b>14793.27</b>	<b>5670.91</b>	<b>93.16</b>	<b>24.18</b>	<b>6468.48</b>	<b>4753.81</b>	<b>224.44</b>	<b>89.43</b>	<b>11363.96</b>	<b>1704.59</b>	<b>13068.56</b>
2002	Dic.-Ene	44	7680	3040	92.98	25	3377.1	2399.8	115.52	47.13	5845.29	876.79	6722.08	
	Ene-Feb.	66	14240	4800	94.76	29	6312.46	4026.28	206.77	137.09	10408.42	1561.26	11969.68	
	Feb.-Mar.	66	14720	5280	94.13	30	6433.11	4050.02	209.66	117.62	10575.17	1586.26	12161.45	
	Mar.-Abr.	66	9280	4480	90.06	22	4016.87	3336.49	147.06	0.00	7500.42	1125.06	8625.48	
	Abr-May.	135	25920	9920	93.39	24	11495.12	8608.15	402.06	184.54	20320.79	3048.12	23368.91	
<b>Promedio</b>		<b>75.67</b>	<b>13893.33</b>	<b>5413.33</b>	<b>92.86</b>	<b>24.82</b>	<b>6143.61</b>	<b>4575.52</b>	<b>214.37</b>	<b>89.78</b>	<b>10843.72</b>	<b>1626.56</b>	<b>12470.28</b>	
2002	Jun-Jul.													

Cambio de tarifa de la OM a la HM

Tabla 5.9  
% de Cargas en los circuitos por Sección en KW, tomando en consideración una demanda máxima registrada en 2 años

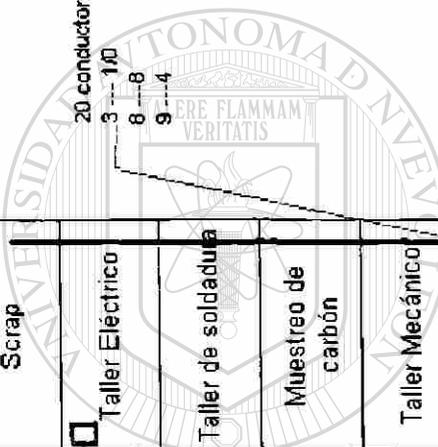
Concepto	Carga por sección en KW											Total de carga conectada en
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Aire acondicionada	16	10.28	22	0.34		10.28	8.42		3.4	6.5		77.22
Alumbrado	22	13.87	29.7	0.46		13.87	11.367		4.59	8.7		8.8
Alumbrado de Canchas	2	0.7	2.8	1.1			0.5		0.7	1		9.7
Carga total	2.7	0.94	3.78	1.48			0.67		0.945	1.35		95.72
Corriente total	0.7						8			1		279.4
	0.94						10.8			1.35		
$I = 95.72 / (1.73) (0.9) = 279.4 \text{ Amper}$												

	Corriente en amper											2 x 500
	Calibre del conductor con aislamiento THW por sección											
Aire acondicionada	100	63	135	2.1		63	51.7		20.9	39.5		
Alumbrado	1/0	4	3/0	12		4	6		10	8		
Alumbrado de Canchas	12.3	4.3	17.2	6.7			3		4.3	6.1		
Alimentador	12	12	12	12			12		12	12		
	4.3						49.1					
							6					

Tabla 5.10  
Prorrateo de la energía en %

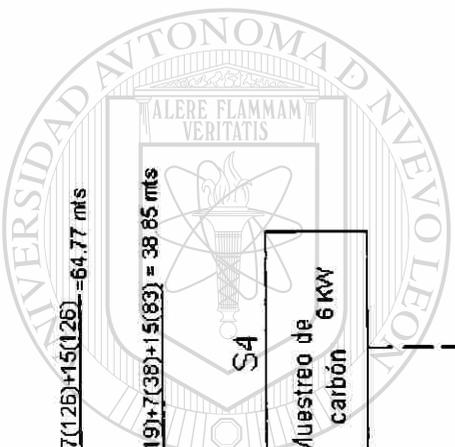
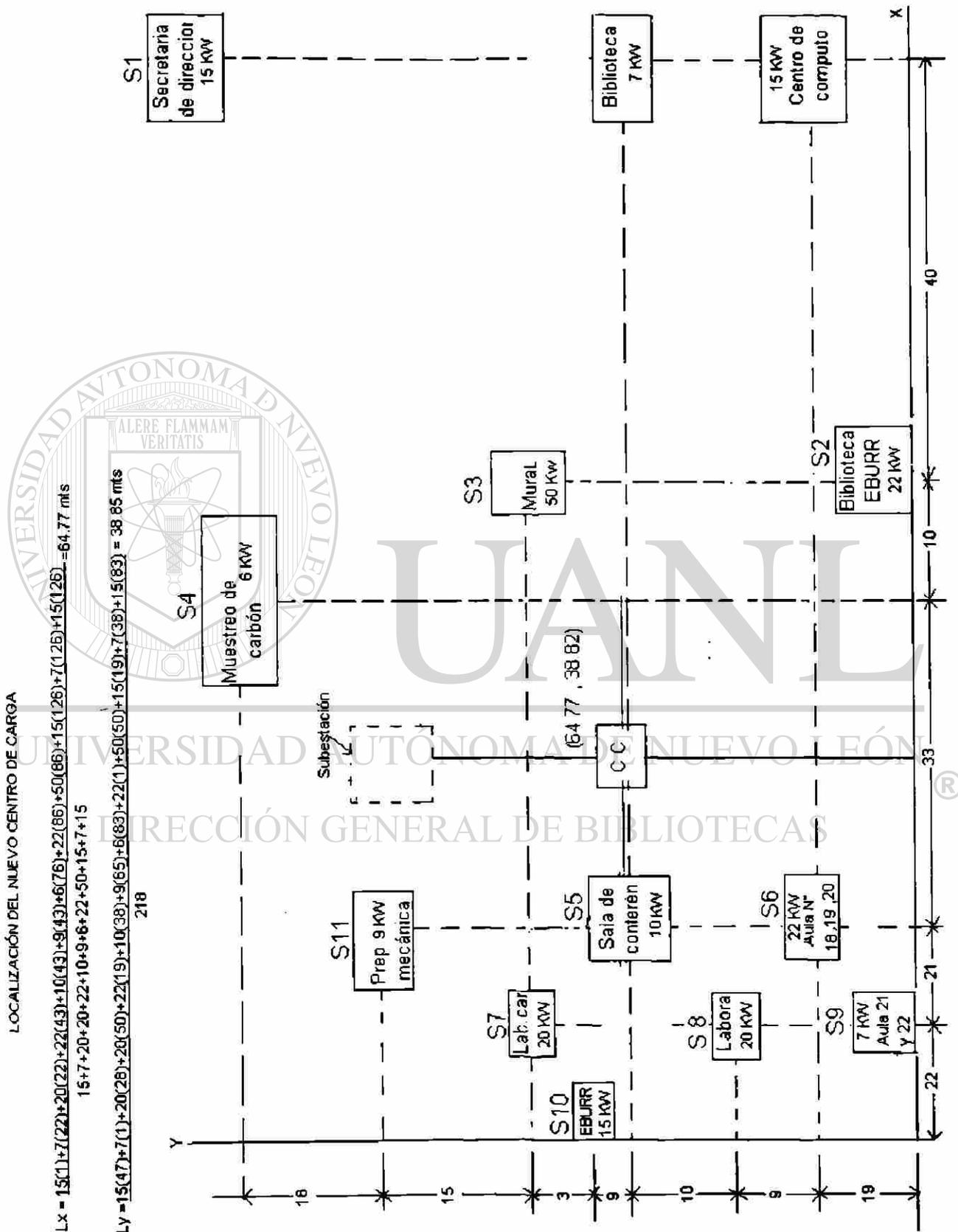
		EBURR					Escuela Superior de Ingeniería				
Sección Circuito	Aire acondicionado	Alumbrado y otros	Computación	Sección	Aire acondicionado	Alumbrado	Computación	Hornos			
S10	6.5	1	0.6	S1	16	2	2				
S3	11	1.4		S3	11	1.4					
S2,S6,S9	24	2.1	2	S7	8.42	0.5		8			
				S5							
				S4	0.34	1.1					
				S8							
Totales en %	42.14	4.5	2.6		35.76	5	2	8			
100%		49.24				50.76					

Fig 5.2



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Fig 5.3



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 5.11

Cálculo de las pérdidas mensuales de energía en los conductores y su costo sin considerar el alumbrado										
Circuito	Calibre	Ohms/pie	Ohms/mto	Longitud en metros	R total	Corriente	Perd. Instan. en Kwatts	tiempo promedio o Hr	perdida de energía	
S1,1	2	0.000185	0.0006068	70	0.084952	65	0.3589222	10	3.589222	
S1,2	2	0.000185	0.0006068	70	0.084952	65				
S2	4	0.000292	0.00095776	80	0.153242	63	0.60821591	10	6.082159	
S3	4/0	0.000058	0.00019024	40	0.015219	135	0.27736992	10	2.773699	
S4	1/0	0.000116	0.00038048	20	0.015219	8	0.000974029	10	0.00974	
S5	4	0.000292	0.00095776	50	0.095776	45	0.1939464	10	1.939464	
S6	2	0.000185	0.0006068	65	0.078884	81.8	0.527831776	10	5.278318	
S7	6	0.000465	0.0015252	50	0.15252	50	0.3813	10	3.813	
S8	4	0.000292	0.00095776	60	0.114931	68.2	0.534572595	10	5.345726	
S9	4	0.000292	0.00095776	85	0.162819	55	0.49252808	10	4.925281	
S10	4	0.000292	0.00095776	75	0.143684	55	0.4345836	10	4.345836	
S11	4	0.000292	0.00095776	10	0.019155	3	0.000172397	10	0.001724	
Alimentad or	2X600 MCM	0.0000204	6.6912E-05	5	0.000669	306	0.06265372	10	0.626537	
Pérdidas totales									38.73071	
Pérdidas mes									852.0755	
Precio unitario									0.3312	
Costo perdidas mensual									282.2074	

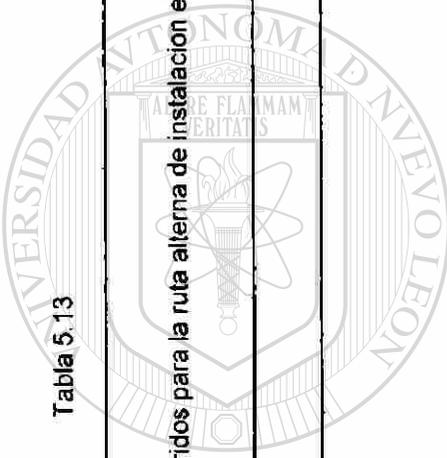
Tabla 5.12  
Cableado para A/C a las diferentes secciones de la Escuela

Circuito	Long. en Mto.	N° Cond.	Cantidad	Calibre AWG o MCM	Precio/Mto Mca Cobrex	Costo Cable	Sec.	N° Tubo	Diametro del Tubo Conduit	Precio/Mto de Tubo C	Can. Tub. Conduit	Costo/Tubería
Oficinas de Ingeniería	75	3	225	4	12.4	2790	S1	1TCL1	1"	25	75	1875
Biblioteca y centro de cómputo	120	3	360	2	21.58	7768.8	S1	1TCL2	1 1/4"	20.54	120	2464.8
Biblioteca EBURR, Aulas, Cafetería	130	3	390	2	21.58	8416.2	S2	2TCL1	1 1/4"	20.54	130	2670.2
Aulas compartidas Sección 3	55	3	165	300	74.8	12342	S3	3TCL1	3"	147.6	55	8118
Talleres y Muestreo de Carbón	25	3	75	6	8.77	657.75	S4	4TCL1	1"	25	25	625
Sala de conferencias	50	3	150	6	8.77	1315.5	S5	5TCL1	1"	25	50	1250
Centro de cómputo EBURR	70	3	210	1/0	37.4	7854	S6	6TCL1	1 1/2"	64.33	70	4503.1
Laboratorio de Carbón	60	3	180	2	21.58	3884.4	S7	7TCL1	1 1/4"	20.54	60	1232.4
Laboratorio de Físico Química	70	3	210	2	21.58	4531.8	S8	8TCL1	1 1/4"	20.54	70	1437.8
Aulas S-9	85	3	255	8	4	1020	S9	9TCL1	3/4"	17	85	1445
Oficinas de EBURR	110	3	330	4	12.4	4092	S10	10TCL1	1"	25	110	2750
Aulas nuevas antes preparación mecánica	25	3	75	4	12.4	930	S11	11TCL1	1"	25	25	625
Total						55602.5			Tubería conduit			28998.3
Mano de obra						38921.7						20297.41
T. Mat. y m de o						94524.2			Sin I.V.A			49293.71

Tabla 5.13

Costos de los cambios requeridos para la ruta alterna de instalación eléctrica

Concepto	Cant.	P.U	Total
Cable electrico	Tabla 5.12		94524.2
Tablero de control (pz)	1	10000	10000
Centros de carga	4	750	3000
Conexiones Electricas.	24	1200	28800
Tubo.conduit	Tabla 5.12		49293.7
Excavación de Zanjas ( mts)	226	50	11300
Material y mano de obra de Registros	11	350	3850
Construcción de Cuarto de control	1	10000	10000
<b>Total</b>			<b>210767.9</b>



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 5.2 Análisis del uso eficiente de la energía

### 5.2.1 Identificación de las posibilidades de ahorro de la energía:

Tabla 5-14

Porcentaje de energía ahorrada como resultado de implementar las recomendaciones de auditoría energética en 172 edificios no habitacionales (10)*				
Categoría del edificio	Instalación		Fuente	
	Ahorro (%)	Tamaño de la muestra	Ahorro (%)	Tamaño de la muestra
Escuela elemental	24	72	21	72
Escuela de bachillerato	30	38	28	37
Oficinas grandes	23	37	21	24
Hospital	21	13	17	10
Centro comunitario	56	3	23	18
Hotel	25	4	24	4
Correccional	7	4	5	4
Oficinas pequeñas	33	1	30	1
Centro comercial	11	1	11	1
Multifamiliar	44	1	43	1

La electricidad se contabiliza a 3413 Btu/KW-h para la energía de una instalación, y como 11500 Btu/KW-h para la energía de la fuente (incluyendo pérdidas por generación, transmisión y distribución)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Cálculo de consumo de energía en iluminación y CVAA en la escuela

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Análisis simple e identificación de oportunidades obvias de ahorrar energía:

Examinar registros del consumo eléctrico: las variaciones estacionales en el consumo de energía es un indicio acerca de las fracciones del consumo destinadas a la calefacción y aire acondicionado (ver tabla registro de equipo y tabla de prorrateo de la energía) en las cual se observa lo siguiente:

Como el consumo depende de las variaciones estacionales se hizo un cálculo en por % del total consumido por los diferentes conceptos arrojándonos los valores indicados a continuación.

Tabla 5.15

	A/C y calefacción	Alumbrado	Computación	Otros
Esc. Superior de Ingeniería	35.76 %	5.0 %	2.0 %	8 %
EBUUR	42.14 %	4.5 %	2.6%	
Total	77.90 %	9.5 %	4.6 %	8 %

Los procedimientos estandarizados hacen posible que las auditorias sean efectuadas con rapidez por técnicos relativamente poco calificados.

### 5.2.2 Identificación de los mayores consumidores de energía

Los mayores sistemas consumidores de energía en edificios comerciales usualmente son los de alumbrado y los de climatización o calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire ( CVAA).

Los sistemas de alumbrado suelen ser un buen punto de partida para analizar la energía en edificios comerciales, ya que son los mas notorios consumidores de energía, generalmente resultan de fácil acceso y pueden ofrecer buenas oportunidades para lograr el ahorro.

La acumulación de suciedad en los luminarias eléctricos puede reducir significativamente la producción de luz. Tales luminarias se deben limpiar con regularidad, e inspeccionarse conforme a un programa de aseo. Las lámparas pierden eficiencia conforme se acercan al final de su vida útil o duración nominal. La eficiencia luminica se puede mantener en niveles aceptables reemplazando las lámparas en grupos antes de que alcancen el termino de su duración. Esta práctica también reduce los altos costos de mantenimiento que significa la sustitución continua de lámparas deterioradas por cualquier motivo, además existen en el mercado lámparas economizadoras las cuales emiten la misma cantidad de luz con menos Watts, las cuales se recomiendan para algunos lugares donde no afecte el contraste y la estética del local o edificio.

En la tabla N° 5.16 se presentan niveles de iluminancia ( o iluminación) apropiados para diversos tipos de actividades, y factores de ponderación para elegir el nivel de "pie-bujía" dentro de un intervalo de iluminancia.

Tabla 5-16

Categoría	Nivel de iluminación ( pie-bujía)	Tipo de actividad	
A	2-3-5	Áreas públicas con iluminaciones oscuras	
B	5-7-5-10	Orientaciones simples para visitas breves.	
C	10-15-20	Áreas de trabajo donde solo ocasionalmente se realizan tareas visuales.	
D	20-30-50	Realización de tareas visuales de alto contraste o gran tamaño: por ejemplo, lectura de material impreso, originales mecanografiados, manuscritos a tinta y xerografía aceptable; trabajo mecánico ordinario de banco y en máquina; inspección ordinaria; ensamble basto o preliminar.	
E	50-75-100	Realización de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño: por ejemplo, lectura de manuscritos a lápiz de grado mediano y de material impreso o reproducido deficientemente; trabajo mecánico semifino de banco y en máquina; inspección minuciosa; ensamble semifino.	
F	100-150-200	Ejecución de tareas visuales de banco contraste y tamaño muy pequeño; por ejemplo, lectura de manuscritos a lápiz de grado duro o de material muy deficientemente reproducido; inspección muy minuciosa.	
G	200-300-500	Realización de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño durante un periodo prolongado; por ejemplo, ensamble fino; inspección muy minuciosa; trabajo mecánico fino de banco y en máquina.	
H	500-750-1000	Realización de tareas muy prolongadas y extenuantes; por ejemplo, la inspección sumamente minuciosa; trabajo mecánico extrafino de banco y en máquina; ensamble extrafino.	
I	1000-1500-2000	Ejecución de tareas visuales muy especiales de contraste extremadamente bajo y tamaño sumamente pequeño: por ejemplo, procedimientos quirúrgicos	
<b>Factores de ponderación</b>			
Características del trabajador o de la tarea (años)	-1	0	+1
Edad del trabajador (años)	Menos de 40	40-65	Más de 65
Rapidez y/o exactitud	Triviales	Importantes	Criticas
Reflectancia del entorno de la tarea	Mayor que 70%	30-70%	Menos que 30%

Para determinar un nivel de iluminación ( en pie-bujía) dentro de un intervalo determinado, obténgase el factor de ponderación por característica de trabajador o de tarea, y súmense los factores para obtener una calificación o puntuación. Si la suma es de -3 o -2, úsese el nivel mínimo ( en pie-bujía); si es de -1, 0 o bien 1, úsese el nivel intermedio; si es de 2 o 3, úsese el nivel mas alto.

El análisis de los sistemas de CVAA en un edificio comercial es más complejo y requiere de más tiempo y esfuerzo que los sistemas de alumbrado.

En ocasiones es difícil determinar la fracción del consumo energético de un edificio dedicada a la operación de sus sistemas de climatización o CVAA. Los planteamientos de este problema se pueden clasificar como determinísticos o estadísticos referirse al capítulo 4 párrafo 7 para el planteamiento determinístico.

Como se observa en la tabla 5.15 el mayor consumo lo tenemos en el aire acondicionado y calefacción por lo cual se requiere una mayor atención para hacer más eficiente estos equipos, y fijarnos la meta de disminuir el consumo de energía por este concepto en un 15 % o más lo que nos conduce si tomamos como referencia el consumo promedio del año 14793.27 KW-H de acuerdo al registro de los indicadores tendremos un consumo disminuido en 2218.99 KW-H con un costo promedio sin IVA de \$ 1704.59 mensuales que en el año sumaría un total de \$ 20455.12.

Para lograr llevar a cabo el objetivo es necesario hacer algunas remodelaciones en los mayores consumidores en lo que respecta a ventanas , puertas y cristales como son:

---

El centro de computo

Oficinas de dirección

Biblioteca

Salones

Ya que el análisis de referencia que se llevo a cabo en el capítulo 4 párrafo 7 nos demuestra que se consume más energía al tener mayor ventilación exterior y transferencia de calor al interior, por lo que se requiere disminuir las fugas por ranuras, puertas abiertas, y la transferencia de calor por cristales de tipo común, la tabla 5.17 que se muestra a continuación muestra las recomendaciones surgidas en la inspección.

**Tabla 5.17**  
**Recomendaciones en los mayores consumidores de energía**

	Cristales	Puertas	Indicaciones	
Centro de computo	Cambiar al tipo de protección especial incluyendo fugas	Colocar puertas dobles	No jugar Sentarse Cerrar puerta Mayor luz natural No fumar	
Oficinas de dirección	Cambiar al tipo de protección especial incluyendo fugas	Colocar puertas dobles	No jugar Sentarse Cerrar puerta Mayor luz natural No fumar	
Biblioteca	Cambiar al tipo de protección especial incluyendo fugas	Colocar puertas dobles	No jugar Sentarse Cerrar puerta Luz natural No fumar	
Salones	Mantener cerrados		No jugar Sentarse Cerrar puerta Luz natural No fumar	

Tabla 5-18

Valores recomendados de flujo de aire externo para diversas aplicaciones	
<b>1. Edificios de oficina</b>	
Área de trabajo	5 pcm/persona
Áreas para fumar	15 pcm/persona
Salones	5 pcm/persona
Cafetería	5 pcm/persona
Salas de conferencia	15 pcm/persona
Consultorios	5 pcm/persona
Sanitarios	10 cambios (de aire)/h
Vestíbulos	0
Espacios desocupados	0
<b>2. Tiendas de menudeo</b>	
Áreas comerciales	6 pcm/persona
Planta baja muy concurrida (menos de 5000 pie <sup>2</sup> con puerta al exterior sencilla o doble)	0
Espacios no ocupados	0
<b>3. Edificios de culto religioso</b>	
Salones de oración	5 pcm/persona
Salas de reunión	10 pcm/persona
Espacios no ocupados	0

.pcm=> pie cúbico por minuto ( pie<sup>3</sup> /min. ).

### 5.2.3 Planteamiento estadístico para el cálculo del consumo de energía

El planteamiento estadístico para el cálculo del consumo energético por CVAA implican el análisis de registros de consumo de energía. En un método estadístico común el consumo de energía se analiza como una función del clima.

Es más fácil de aplicar, y el que probablemente debe de intentarse primero, consiste en calcular el consumo energético para los demás usos ( alumbrado, equipo de oficina, etc) y restarlo del consumo total; lo que resulte será el consumo de energía por climatización como se trató en el párrafo anterior 5.2.2.

### 5.3 Resumen de costos

#### 5.3.1 Presentación de resultados

Pérdida de energía actual por mes en los conductores.....\$233.86 (Tabla 5.7 )

Pérdida de energía con la ruta alterna por mes en los conductores.....\$282.20  
(Tabla 5.11 )

Diferencia = 233.86 – 282.20 = - \$48.34

Como podemos observar, el costo de las pérdidas en los conductores, se incrementaría en \$48.34 por mes. Ya que el **centro de carga**, se movió a un lado de la subestación y no fue considerado de acuerdo al cálculo de localización por que resultaría de mas costo los trabajos a efectuarse; interferiría en la arquitectura del edificio, movimiento de los alumnos y maestros. Estas pérdidas serán contrarrestadas con una operación más flexible, sin alterar otras secciones. No se dependerá de otros circuitos, y puesto que el consumo y costo depende de las estaciones del año como lo muestran las tarifas y los indicadores de demanda y consumo, estas serán inferiores en un momento dado a las calculadas actualmente con su consecuente ahorro.

Se considero el cambio de cables para el aire acondicionado por ser el equipo de mas consumo ya que en algunas partes esta conectado de otras secciones y deteriorado.

También es necesario contar con nuevos centros de carga para independizar circuitos A/C y que solamente las personas autorizadas sean las que tengan acceso para restablecer o interrumpir circuitos. Estos deben ser localizados en una parte exterior a los salones ya que los actuales son individuales y cualquier persona los mueve sin tomar precaución alguna al riesgo de accidente.

Los costos por estos conceptos están resumidos en la tabla de **(costos de los cambios requeridos para la ruta alterna de la instalación eléctrica)** que resultaron de la inspección a la instalación eléctrica.

Los costos requeridos para la remodelación en el centro de cómputo, oficinas de dirección, y biblioteca se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 5.19**

**Pesos (\$) requeridos para la remodelación en las instalaciones indicadas**

Concepto	Centro de computo	Oficinas de dirección	Biblioteca	Total
Cambiar cristales al tipo de protección especial	4000	30000	15000	49000
Colocar puertas dobles	5000	10000	5000	20000
Total				\$69000

### 5.3.2 Informe financiero

Costos por cambios en la ruta alterna de instalación eléctrica = 210767.90

Costo por remodelación en los mayores consumidores = 69000.00

La justificación de esta inversión es de acuerdo a los beneficios que se obtienen en la instalación y el mejor servicio que prestaría la misma en el futuro, y el consecuente ahorro y recuperación de la inversión.

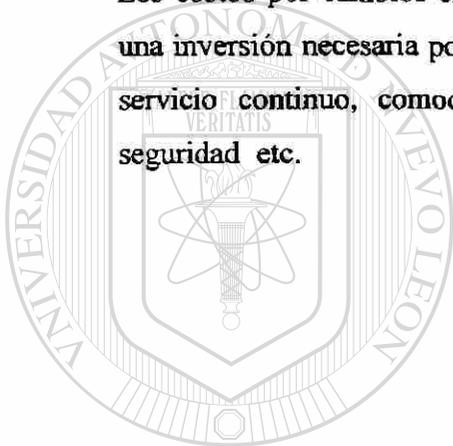
Como se observa en la tabla 5.15 el mayor consumo lo tenemos en el aire acondicionado y calefacción por lo cual se requiere una mayor atención para hacer mas eficiente estos equipos, y fijarnos la meta de disminuir el consumo de energía por este concepto en un 15 % o más **aprovechando la flexibilidad de operación en la instalación por la remodelación** lo que nos conduce si tomamos como referencia el consumo promedio del año 14793.27 KW-H de acuerdo al registro de los indicadores tabla 5.8 tendremos un  $(14793.27 - 0.15 \times 14793.27) = 12574.28$

consumo disminuido en 2218.99 KW-H con un costo promedio sin IVA de 2218.99 x 11363.96 / 14793.27 = \$ 1704.59 mensuales que en el año sumaría un total de \$ 20455.12

Recuperación de la inversión por remodelación => 69000 / 20455.12 => 3.40 Años

De acuerdo al aumento de la productividad y los ahorros en el costo de energía se calcula que en 3.4 años es posible recuperar el costo de la inversión.

Los costos por cambios en la ruta alterna de la instalación eléctrica \$210767.90 es una inversión necesaria por los beneficios primarios requeridos como la flexibilidad, servicio continuo, comodidad, reducción de probabilidad de accidente y falla, seguridad etc.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# Capítulo 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Introducción

La elección de las distintas partes de una red eléctrica se hace de tal modo que los desprendimientos de calor a lo largo del servicio, sean bastantes débiles para que se disipen sin ningún riesgo.

Si la selección no ha sido adecuada algunas partes de la red soportaran intensidades de corriente más elevadas que aquellas para las que habían sido previstas: existirá entonces sobrecarga, que someterá a los aislantes a temperaturas elevadas. Por lo tanto se afectan sus cualidades, lo que podrá provocar el incidente de establecer un contacto directo entre dos fases o entre fase y tierra en una red con neutro a tierra. Tales incidentes pueden provocar el incendio de los cables y como consecuencia el deterioro de la instalación.

Con respecto a los interruptores se trata del arco que salta entre los dos extremos de un corte sobre un conductor y que conserva así, a pesar de este corte, el paso de una corriente. Lo que puede ser suficiente para provocar un incendio.

Por lo tanto es necesario considerar, medidas preventivas, para evitar su aparición, y disponer de protecciones para contener el fenómeno inmediatamente.

Usar materiales de buena calidad aumenta el costo inicial de la instalación, sin embargo, para una condición de carga dada hay un diseño óptimo para el cual la suma de los intereses anuales y cargos por depreciación sobre el costo inicial, más el costo anual de las pérdidas por energía es un mínimo, por tanto, la eficiencia a plena carga calculada en término de la potencia de entrada y salida (consumida) no representa el único criterio. Los conceptos de eficiencia diaria y eficiencia anual también son importantes.

$$\text{Eficiencia diaria} = 1.0 - \frac{\text{pérdidas diarias de energía}}{\text{Energía de salida} + \text{perdidas diarias de energía}}$$

$$\text{Eficiencia anual} = 1.0 - \frac{\text{Pérdidas de energía anuales}}{\text{Energía de salida anual} + \text{perdidas anuales de energía}}$$

$$\text{Energía de salida anual} + \text{perdidas anuales de energía}$$

## 6.2 Conclusiones

Se debe de llevar a cabo la inversión para cambiar la ruta de la instalación actual y modificar las condiciones existentes en las áreas de mayor consumo energético y así obtener diferentes beneficios tomando en cuenta los indicadores de la tabla 5.8, los programas de inspección , así como contar con formatos de información para el seguimiento y control de las medidas de ahorro de energía, revisar continuamente los pronósticos de carga y utilización de equipo, comparar los resultados con los planes, y fijando nuevas metas en el incremento de la productividad de la energía en un 10% o 15 % dando las libertades y el poder a la o las personas involucradas en dicha tarea sin que esto altere el funcionamiento de la Escuela Superior de Ingeniería.

### **Beneficios**

**Flexibilidad** para la operación de cualquier circuito

**Aislar** cada circuito para alguna reparación, en forma independiente.

**Reducción** de probabilidad de accidentes

**Retorno** a tierra mas eficiente

**Control** de carga mas efectiva

**Servicio** más continuo

**Reducción** de probabilidad de falla global.

**Mayor comodidad**

**Mayor eficiencia energética**

## 6.3 Recomendaciones

En la escuela es necesario que se lleve a cabo un proceso administrativo que conduzca a un buen control de la energía. Para tal efecto es necesario contar con el deseo de mejorar las condiciones ya existentes en lo que respecta al control de la energía considerando las restricciones o limitaciones que se impongan, así como decidir los métodos y procedimientos para llevarlos a cabo. Es necesario hacer una inversión por

los beneficios primarios requeridos en la instalación como la flexibilidad, servicio continuo, comodidad, reducción de probabilidad de accidente y falla, seguridad, por lo que es indispensable buscar con mas decisión, formas técnicas que permitan mejorarla para un servicio optimo y que incida en un ahorro.

Lo puramente técnico no basta; hace falta generar las prácticas operacionales, actitudes, motivación, y hacer del conocimiento al personal y alumnos que hagan posible sostener permanentemente los bajos consumos energéticos asociados.

También se pueden obtener ahorros sustanciales a través del rediseño de equipo, y mejoras parciales en los mismos.

El enfoque debe de estar dirigido a la flexibilidad, servicio continuo, comodidad, reducción de probabilidad de accidente y falla, seguridad, más que en un ahorro indiscriminado, hacia el ahorro económico no solo mejorando el balance energético, sino con miras de mejorar beneficios en un futuro próximo.

Para llevar a cabo la organización en esta tarea, es necesario asignar la persona o personas con las habilidades, responsabilidades, a las condiciones de trabajo que somete ocupar dicha tarea.

#### **Aportación**

---

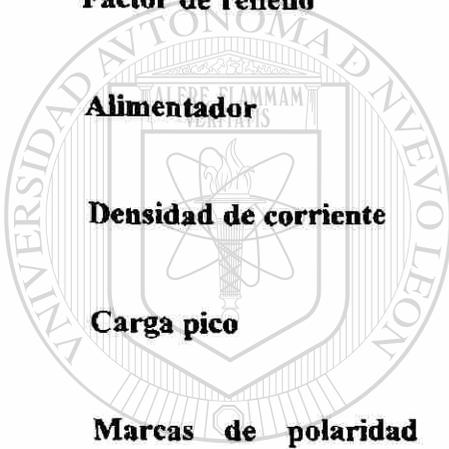
Una base útil de referencia mediante la cual se midan las variaciones del consumo de energía mensual y anual permanentemente, sin dejar de utilizar en forma optima, la instalación ni que esto altere las condiciones de operación de los equipos para lo que fueron seleccionados.

## Bibliografía

- (1).- Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales , Enriquez Harper
- (2).-Manual Standard del Ingeniero electricista, Tomo 1 A.E. Knowlton
- (3).-Información obtenida a través de folletos de CFE. Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica ( FIDE ) año 5 Num.22 Ene- Mar. 1997, Año 7 Num.29 Oct-Dic.1998
- (4).-Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Willam D. Stevenson , Mc. Graw Hill
- (5).-Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración , Eduardo Hernández Goribar. Ed.Ingramex
- (6).-Manual de Mantenimiento Industrial – Tomo 2
- (7).-www.CFE matico.com.Micr
- (8).-www. Dirind.com/htmls/electrica/2a/luz.html
- (9).-www.ith.mx/revista- -ith/numero-2/r02-ruido.htm  
www.samsung.com.ar/productos/aire

## GLOSARIO

<b>Energía .-</b>	Capacidad de un sistema para realizar un trabajo
<b>Resonante</b>	Fenómeno que se presenta cuando la reactancia inductiva iguala a la reactancia capacitiva en un circuito eléctrico
<b>Régimen permanente</b>	Estado estable de un sistema
<b>Factor de relleno</b>	Relación que guarda el área de los conductores y el área del tubo conduit que los contiene
<b>Alimentador</b>	Conductor que alimenta a todo el sistema eléctrico
<b>Densidad de corriente</b>	Cantidad de corriente por sección transversal unitaria de un conductor
<b>Carga pico</b>	Carga máxima registrada en un determinado tiempo
<b>Marcas de polaridad</b>	Indicación para las secuencias de conexión de transformadores
<b>Transformador tipo dona</b>	Aparato para transferir señal de corriente
<b>Humedad relativa</b>	Relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura correspondiente
<b>Temperatura de bulbo seco</b>	Es la que se mide con un termómetro ordinario ( medida del calor sensible del aire)
<b>Temperatura de bulbo húmedo</b>	Es la que indica la cantidad de calor total contenida en el aire



## AUTOBIOGRAFÍA

### ING. VALENTIN ZAVALA BERNAL

El autor de la presente tesis, titulada “Reingeniería de la Instalación Eléctrica en la Escuela Superior de Ingeniería”, aspira a obtener el grado de maestro en Ciencias de la Ingeniería eléctrica con Especialidad en Sistemas Eléctricos Potencia., nace el 25 de enero de 1956 en Cloete Coahuila, su nombre ,Valentín Zavala Bernal, hijo de Agapito Zavala Salazar (+) y la Sra. Ciria Bernal Campirano (+), estudia la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista con Especialidad en Electricidad y Electrónica en la Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Coahuila, de 1981 a 1982; labora en la empresa General de Telecomunicaciones Electrónicas, S.A. como proyectista, de 1983 a 1984 como Supervisor de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico en la empresa A.H.M.S.A., de 1985 a 1991 como supervisor, jefe y subgerente de Mantenimiento Mecánico y Eléctrico en la empresa MICARE, toma diferentes cursos para aplicación laboral como son Desarrollo de habilidades del Supervisor, Administración de Mantenimiento, aspectos Básicos de Productividad, Como persona Física Ha dado servicio de Instalaciones Eléctricas a diferentes empresas mineras y maquiladoras, como son Fluorita de México, G.T.E., T.P.P., Carbonifera de San Patricio, I.M.M.S.A., obtiene el Grado de Maestro en Ciencias de la Administración en la especialidad de Producción y Calidad en la Universidad Autónoma de Nuevo León en Mayo del 2000.

De 1988 a la fecha es catedrático de 19 horas en la Escuela de Minería hoy Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila.

# Apéndice

## Matemáticas básicas

### A.1 Números complejos

#### Números reales

El cuerpo de los números reales se compone de los correspondientes a los números racionales e irracionales. El conjunto de los números reales se puede poner en correspondencia biunívoca con el conjunto de los puntos de una recta que se llama eje real; es decir, cada punto de la recta representa un único número real y cualquier número real se representa por un único punto de la recta, como muestra la Fig. A.1.1. La suma, resta, multiplicación y división de dos números reales es otro número real. La raíz cuadrada de un número real positivo es también otro número real; Pero si es negativo, su raíz cuadrada no es un número real o bien no corresponde a ningún punto de la citada recta.



Fig. A1.1 Eje real

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS Números imaginarios

La raíz cuadrada de un número real negativo es un número imaginario; por ejemplo, son números imaginarios  $\sqrt{-1}$ ,  $\sqrt{-2}$ ,  $\sqrt{-5}$ ,  $\sqrt{-16}$ , etc.

Si hacemos  $j = \sqrt{-1}$ , que se llama unidad imaginaria, se puede escribir,  $\sqrt{-2} = j\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{-4} = j2$ ,  $\sqrt{-5} = j\sqrt{5}$ ,  $\sqrt{-16} = j4$ , etc. Las sucesivas potencias de la unidad imaginaria son

$$j^2 = -1, \quad j^3 = j^2 j = (-1)j = -j, \quad j^4 = (j^2)^2 = 1, \quad j^5 = j, \quad \dots$$

El conjunto de los números imaginarios se puede poner en correspondencia biunívoca con el conjunto de los puntos de otra recta, que se llama eje imaginario, como se muestra en la Fig. A.1.2.

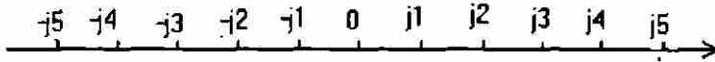


Fig. A.1.2 Eje imaginario

La elección de la palabra imaginario es muy desafortunada, pues estos tienen tanta existencia física como los reales. El vocablo significa, exclusivamente, que los números imaginarios no se pueden representar por un punto en el eje de los números reales.

### Notación de números complejos

Un número complejo  $z$  es de la forma  $x + jy$ , en donde  $x$  e  $y$  son números reales y  $j = \sqrt{-1}$ . En un número complejo  $x + jy$  la primera componente,  $x$  se llama parte real y la segunda,  $jy$  parte imaginaria. Si la parte real es nula,  $x = 0$ , el número complejo se reduce a un número imaginario (puro) y se representa por un punto sobre el eje imaginario. Análogamente, si la que es nula es la parte imaginaria,  $y = 0$ , el número complejo se reduce a un número real y se representa por un punto del eje real. Por consiguiente, el conjunto de los números reales tiene como subconjunto al de los números reales y al de los imaginarios.

La condición suficiente y necesaria para que dos números complejos,  $a + jb$  y  $c + jd$ , sean iguales es que  $a = c$  y  $b = d$ .

Si se traza el eje real perpendicular al eje imaginario como se representa en la Fig.A.1.3 siendo 0 el punto de intersección llamado origen, el conjunto de los números complejos se puede poner en correspondencia biunívoca con el conjunto de puntos del plano complejo así formado. En la Fig.A.1.3. se han situados cinco números complejos.

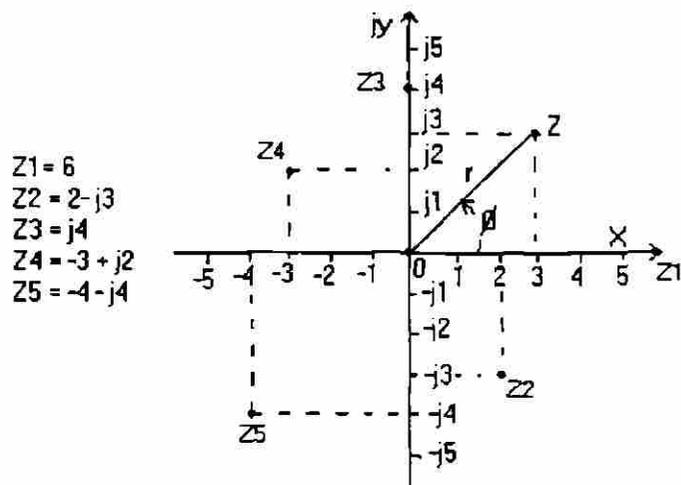


Fig. A.1.3 Plano complejo

### Distintas formas de expresar un número complejo

En la Fig. A.1.3  $x = r \cos \varphi$ ,  $y = r \sin \varphi$ , con lo que el número complejo  $z$  es

$$z = x + jy = r(\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

En donde la expresión  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  se llama módulo de  $z$ , y el ángulo  $\varphi = \arctan y/x$  recibe el nombre de argumento de  $z$ .

La fórmula de Euler,  $e^{j\varphi} = (\cos \varphi + j \sin \varphi)$ , permite expresar en otra forma, que se llama exponencial, un número complejo.

$$z = r \cos \varphi + j r \sin \varphi = r e^{j\varphi}$$

En circuitos es muy frecuente emplear la forma polar o de Steinmetz de un número complejo  $z$  y se suele escribir así:

$$r \angle \varphi$$

En donde  $\varphi$  se mide en grados o en radianes.

A continuación se resumen las cuatro formas de representar un número complejo; el empleo de una u otra depende, fundamentalmente, de la operación que se trate de efectuar.

Forma binómica  $z = x + jy$ ,

Forma polar o de Steinmetz  $z = r \angle \varphi$

Forma trigonométrica  $z = r(\cos \varphi + j \sin \varphi)$  forma exponencial  $z = r e^{j\varphi}$

### Conjugado de un número complejo

El conjugado de un número complejo  $z = x + jy$  es el complejo  $z^* = x - jy$ , por ejemplo, son números complejos conjugados los pares :

$$3 - j2 \quad 3 + j2$$

$$-5 + j4 \quad -5 - j4$$

en forma polar, el conjugado de  $z = r \angle \varphi$  es  $z^* = r \angle -\varphi$ . Como  $\text{Cos}(-\varphi) = \text{cos}(\varphi)$  y  $\text{Sen}(-\varphi) = -\text{Sen} \varphi$ , el conjugado de  $z = r (\text{Cos} \varphi + j \text{Sen} \varphi)$  es  $z^* = r (\text{Cos} \varphi - j \text{Sen} \varphi)$ . por ejemplo, el conjugado de  $z = 7 \angle 30^\circ$  es  $z^* = 7 \angle -30^\circ$

En el plano complejo, el conjugado  $z^*$  de un número complejo  $z$  es siempre el simétrico de  $z$  respecto del eje real, como se muestra en la Fig. A.1.4 .

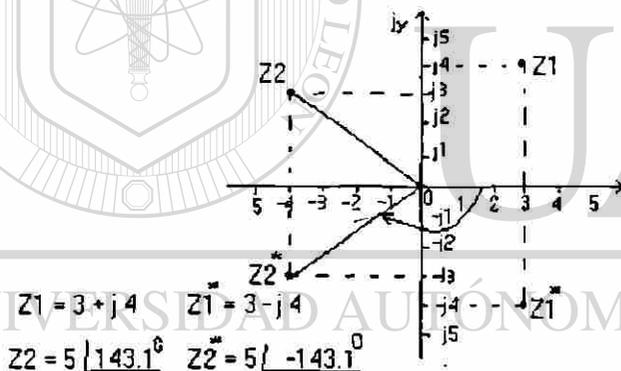


Fig. A.1.4 Números complejos y sus conjugados

Por consiguiente, las cuatro formas de escribir un número complejo  $z$  y su conjugado correspondiente son:

$$\begin{array}{llll}
 Z = x + jy & z = r \angle \varphi & z = r e^{j\varphi} & z = r (\text{Cos} \varphi + j \text{Sen} \varphi) \\
 z^* = x - jy & z^* = r \angle -\varphi & z^* = r e^{-j\varphi} & z^* = r (\text{Cos} \varphi - j \text{Sen} \varphi) .
 \end{array}$$

### Suma y resta de números complejo

Para sumar ( restar) dos números complejos se suman (restan ) sus partes reales y sus partes imaginarias independientemente. En la práctica, para sumar ( restar ) complejos) lo mas cómodo es escribirlos en forma binómica.

Ejemplo .- Sean los complejos  $Z_1 = 5 - j 2$  y  $Z_2 = -3 - j 8$  . Entonces,

$$Z_1 + Z_2 = (5 - 3) + j (-2 - 8) = 2 - j 10$$

$$Z_2 - Z_1 = (-3 - 5) + j (-8 + 2) = -8 - j 6$$

### Multiplicación de números complejos

El producto de dos números complejos, escritos en forma exponencial, se deduce inmediatamente de las propiedades de la potenciación.

$Z_1 Z_2 = (r_1 e^{j\phi_1}) (r_2 e^{j\phi_2}) = r_1 r_2 e^{j(\phi_1 + \phi_2)}$  si los complejos se escriben en forma polar es evidente que

$$Z_1 Z_2 = (r_1 \angle \phi_1) (r_2 \angle \phi_2) = r_1 r_2 \angle \phi_1 + \phi_2$$

por ultimo, si los complejos vienen dados en forma binómica se multiplican como si fueran polinomios.

$$\begin{aligned} Z_1 Z_2 &= (x_1 + j y_1) (x_2 + j y_2) = x_1 x_2 + j x_1 y_2 + j y_1 x_2 + j^2 y_1 y_2 \\ &= (x_1 x_2 - y_1 y_2) + j (x_1 y_2 + y_1 x_2) \end{aligned}$$

Ejemplo Si  $Z_1 = 5 e^{j\pi/3}$  y  $Z_2 = 2 e^{-j\pi/6}$ , resulta  $Z_1 Z_2 = (5 e^{j\pi/3})(2 e^{-j\pi/6})$   
 $= 10 e^{j\pi/6}$

Ejemplo Si  $Z_1 = 2 \angle 30^\circ$  y  $Z_2 = 5 \angle -45^\circ$ , resulta  $Z_1 Z_2 = (2 \angle 30^\circ) (5 \angle -45^\circ)$   
 $= 10 \angle -15^\circ$

Ejemplo Si  $Z_1 = 2 + j3$  y  $Z_2 = -1 - j3$ , resulta  $Z_1 Z_2 = (2 + j3) (-1 - j3) = 7 - j9$ .

### División de números complejos

El cociente de dos números complejos, escritos en forma exponencial, se deduce inmediatamente de las propiedades de potenciación.

$$Z_1 / Z_2 = (r_1 e^{j\phi_1}) / (r_2 e^{j\phi_2}) = (r_1 / r_2) e^{j(\phi_1 - \phi_2)}$$

Si los complejos se escriben en forma polar es evidente que

$$Z_1 / Z_2 = (r_1 \angle \phi_1) / (r_2 \angle \phi_2) = (r_1 / r_2) \angle \phi_1 - \phi_2$$

Por último, si los complejos vienen dados en forma binómica se multiplica el numerador y el denominador por el conjugado del denominador.

$$\begin{aligned} Z_1 / Z_2 &= (x_1 + jy_1) (x_2 - jy_2) / (x_2 + jy_2) (x_2 - jy_2) = \\ &= ((x_1 x_2 + y_1 y_2) + j(y_1 x_2 - y_2 x_1)) / (x_2^2 + y_2^2) \end{aligned}$$

ejemplo Sean  $Z_1 = 4 e^{j\pi/3}$  y  $Z_2 = 2 e^{j\pi/6}$ , resulta  $Z_1/Z_2 = 4 e^{j\pi/3} / 2 e^{j\pi/6}$   
 $= 2 e^{j\pi/6}$

Ejemplo Sean  $Z_1 = 8 \angle -30^\circ$  y  $Z_2 = 2 \angle -60^\circ$ , resulta  $Z_1 / Z_2 = (8 \angle -30^\circ) / (2 \angle -60^\circ)$   
 $= 4 \angle 30^\circ$

Ejemplo Sean  $Z_1 = 4 - j5$  y  $Z_2 = 1 + j2$ , resulta

$$Z_1 / Z_2 = (4 - j5) (1 - j2) / (1 + j2) (1 - j2) = (-6 - j13) / 5$$

### Raíz de un número complejo

Cualquier número complejo dado de la forma  $z = r e^{j\phi}$  equivale a escribir

$$Z = r e^{j(\phi + 2\pi n)}, \text{ con } n = 0, +1, +2, \dots \text{ Análogamente, } Z = r \angle \phi \text{ es equivalente a } Z = r \angle (\phi + n360^\circ). \text{ Por consiguiente,}$$

$$Z = r e^{j\varphi} = r e^{j(\varphi + 2\pi n)} \text{ y } \sqrt[k]{z} = (\sqrt[k]{r}) (e^{j(\varphi + 2\pi n)/k})$$

$$Z = r \angle \varphi = r \angle (\varphi + n360^\circ). \text{ y } \sqrt[k]{z} = \sqrt[k]{r} \angle (\varphi + n360^\circ) / k$$

Dando a  $k$  los valores  $0, 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ , se deducen las  $k$  raíces distintas que posee un número complejo.

Ejemplo Si  $Z = 8 \angle 60^\circ$ , se deduce que  $\sqrt[3]{z} = \sqrt[3]{8} \angle (60^\circ + n360^\circ) / 3$

$\sqrt[3]{z} = 2 \angle (20^\circ + n120^\circ)$ . Como  $n$  se le pueden dar los valores  $0, 1$  y  $2$  se obtienen las tres raíces  $2 \angle 20^\circ$ ,  $2 \angle 140^\circ$ , y  $2 \angle 260^\circ$

Ejemplo Hallar las raíces de la unidad (real).

Como  $1 = 1 e^{j2\pi n}$ , se tiene  $\sqrt[5]{1} = \sqrt[5]{1} e^{j2\pi n/5}$ . Como  $n$  se le pueden dar los valores  $0, 1, 2, 3, 4$ , las cinco raíces quintas son  $1 \angle 0^\circ$ ,  $1 \angle 72^\circ$ ,  $1 \angle 144^\circ$ ,  $1 \angle 216^\circ$  y  $1 \angle 288^\circ$ .

### Logaritmo de un número complejo

El logaritmo neperiano o natural de un número complejo se halla muy fácilmente si este se escribe en forma exponencial.

$$\ln z = \ln r e^{j(\varphi + 2\pi n)} = \ln r + \ln e^{j(\varphi + 2\pi n)} = \ln r + j(\varphi + 2\pi n)$$

El resultado que se obtiene, pues, no es único. Se llama valor principal del logaritmo al que corresponde a  $n = 0$ , y es el que se considera con más frecuencia.

Ejemplo Si  $Z = 3 e^{j\pi/6}$ , se deduce  $\ln z = \ln z e^{j\pi/6} = \ln 3 + j\pi/6 = 1.099 + j 0.523$ .

En la notación fasorial, la tensión, la intensidad de corriente y la impedancia son números complejos. Las formas de expresión más frecuentes de estas magnitudes son la binómica y la polar. Es necesario pasar rápidamente de una forma, ya que lo más cómodo para multiplicar y dividir complejos es escribirlos en forma polar y, en cambio, para sumarlos o restarlos lo mejor es hacerlo en forma binómica.

Para estas conversiones, es muy aconsejable manejar con soltura una calculadora con estas funciones.

A-2

Ejemplo En el circuito mostrado en la Fig.A.2.1 . El factor de potencia es atrasado

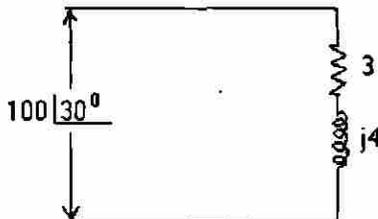


Fig.A.2.1 Circuito serie de CA

se desea corregir el factor de potencia a 0.9 atrasado, obtener el valor en VAR del capacitor requerido para esta corrección e indique la nueva potencia aparente con la corrección.

La corriente resultante es :  $I = V / Z$

$$Z = 3 + j4 = 5 \angle 53.1^\circ \quad I = 100 \angle 30^\circ / 5 \angle 53.1^\circ = 20 \angle -23.1^\circ$$

$$P = I^2 R = (20)^2 (3) = 1200 \text{ Watts} , \quad \text{Cos } 53.1^\circ = 0.6$$

$$Q = I^2 X = (20)^2 (4) = 1600 \text{ VAR}$$

$$S = I^2 Z = (20)^2 (5) = 2000$$

Las potencias a factor de potencia 0.6 atrasado se indican en el triangulo de potencia de la fig. A.2.2 .

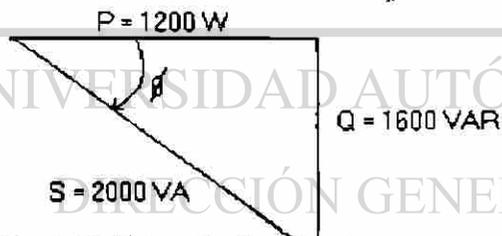


Fig. A.2.2 Triangulo de potencia

Manteniendo la potencia activa constante. El ángulo correspondiente al factor de potencia es :  $\phi'' = \text{arc Cos } 0.9 = 26^\circ$

La potencia reactiva es :

$$Q = S'' \text{ Cos } \phi''$$

$$S'' = P / \text{Cos} \phi'' = 1200 / 0.9 = 1333 \text{ VA}$$

$$Q'' = 1333 \text{ Sen} \phi'' = 585 \text{ VAR}$$

Los volts amper del capacitor son:

$$Q_c = Q - Q'' = 1600 - 585 = 1015 \text{ VAR}$$

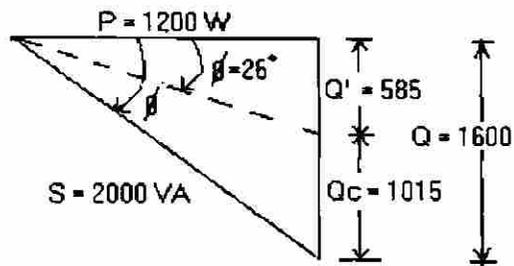
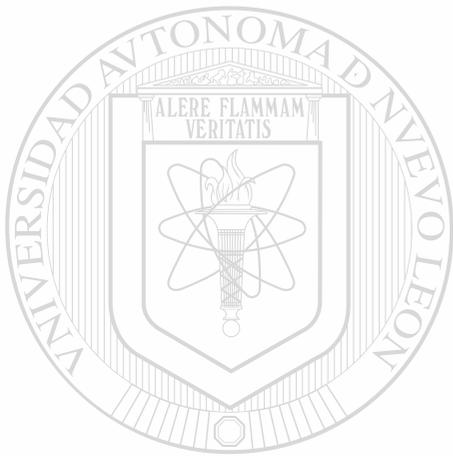


Fig. A.2.3 Triangulo de potencia con la corrección



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

A-3

Ejemplo.- Calcular la caída de voltaje en el circuito derivado de un motor de 2Hp, monofásico, a 115 volts, que tiene una longitud de conductor del punto de alimentación al punto de conexión del motor de 25 m el conductor es de cobre.

Solución:

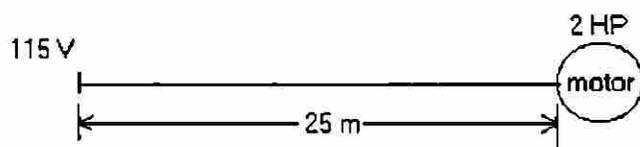


Fig. A.3.1 Circuito unifilar monofásico

Para un motor monofásico de 2 HP, 1800 R.P.M a 115 Volts, y considerando una sobrecarga del 25%

$$I_{pc} = 24 \text{ Amper}$$

$$1.25 I_{pc} = 1.25 \times 24 = 30 \text{ Amper}$$

de la tabla de calibres ( para 2 conductores en tubo conduit ) encontramos Calibre

No 10 A.W.G.

Para un conductor No 10, tenemos  $A = 5.26 \text{ mm}^2$ .

La caída de voltaje en porciento es:

$$.e\% = 4 \times 25 \times 24 / 115 \times 5.26 = 4 \%$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## A-4

Ejemplo supongamos que  $P = 10 \text{ HP}$ ,  $\text{Cos } \varphi = 0.85$ ,  $\eta = 0.85$ ,  $V = 220$

$$I = P / (\sqrt{3} V \text{ Cos } \varphi \eta) = 746 \times 10 / (\sqrt{3} \times 220 \times 0.85 \times 0.85)$$

$$I = 27 \text{ Amper.}$$

Al buscar en la tabla la corriente del cálculo y esta no es exacta se pasa al valor inmediato superior de la corriente y se cuadra a la izquierda con el calibre A.W.G. o M.C.M. dándonos el No del calibre

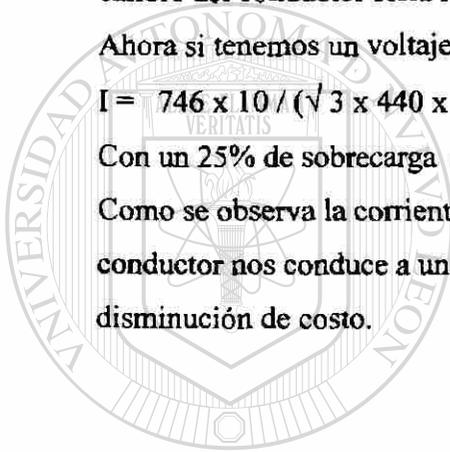
Utilizando la tabla y considerando un 25% de sobrecarga ( 33.725 Amper) el calibre del conductor seria No 8

Ahora si tenemos un voltaje de 440 volts la corriente será

$$I = 746 \times 10 / (\sqrt{3} \times 440 \times 0.85 \times 0.85) = 13.5 \text{ Amper.}$$

Con un 25% de sobrecarga (16.62 Amper) tenemos un conductor calibre No 12 .

Como se observa la corriente disminuye a la mitad que al seleccionar un conductor nos conduce a un calibre de conductor mas delgado con su respectivo disminución de costo.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A-5

Ejemplo.- Un alimentador trifásico de tres conductores tipo TW, de 100 m de longitud, debe de transmitir una carga de 75 KW a 216 volts entre fases con una frecuencia de 60 HZ y un factor de potencia de 0.8, atrasado. Los conductores deberán ir dentro de un tubo conduit de acero. Calcular el calibre de los conductores y el tubo conduit, si se desea que la caída de voltaje no exceda el 2%.

- c) Considerando únicamente la resistencia.
- d) Tomando en cuenta la resistencia y la reactancia.

Solución:

- a) Considerando sólo la resistencia

La corriente que demanda la carga es:

$$I = P / (\sqrt{3} E_f \cos \phi) = 75 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 216 \times 0.80) = 250 \text{ Amper}$$

La caída de tensión máxima permisible se encuentra de la formula para un alimentador trifásico,

$$e = (2\sqrt{3}) (L I / A E_f) \%$$

La sección del conductor para una caída de tensión máxima de 2% se calcula despejando de la formula anterior.

$$A = (2\sqrt{3}) (L I / E_f e\%) \text{ mm}^2$$

$$A = (2\sqrt{3}) (100 \times 250 / 216 \times 2) = 200 \text{ mm}^2$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

De la tabla de conductores, para  $A = 200 \text{ mm}^2$

Conductor No 400 M.C.M

Corriente permisible para 3 conductores de 400 M.C.M. en tubo conduit =280 A

Tubo conduit: 76 mm ( 3 pulg).

b) La caída de voltaje total considerando la reactancia es ;

$$e = \sqrt{(R I)^2 + (X_L I)^2}$$

La caída de tensión por fase es:

$$.e\% = (e / E) \times 100$$

$$E = (E_f / \sqrt{3}) = 216 / \sqrt{3}$$

$$.e = e\% E / 100 = 2 \times 124.7 / 100 = 2.5 \text{ volts}$$

Para una corriente,  $I = 280 \text{ A}$ . Conductor de 400 M.C.M;

De la tabla de reactancias, para 400 M.C.M. ( tres conductores en tubo ),

$X_L = 0.029 \text{ ohm}/100 \text{ pies}$ .

Para 100 m (328 pies), y un factor de corrección de 1.25

$$0.029 \text{ ——— } 1000$$

$$X \text{ ——— } 328$$

$$.X = (328 / 1000) \times 0.029 \times 1.25 = 0.012 \text{ ohm}$$

La resistencia para un conductor de 0.012- Ohm de reactancia, tendrá que ser de:

$$e = \sqrt{(R I)^2 + (X I)^2}$$

despejando R tenemos

$$R = \sqrt{(e)^2 - (X I)^2} / I$$

Al sustituir valores tenemos:

$$R = \sqrt{(2.5)^2 - (0.012 \times 250)^2} / 250 = \sqrt{6.25 - 9} / 250$$

La raíz cuadrada es negativa, daría un resistencia imaginaria. Por lo que es necesario disminuir el valor de XL. Pero como X es constante, se puede cambiar el valor de I colocando dos conductores en paralelo por fase. De esta forma cada fase lleva dos conductores, cada uno con una corriente de 125 Amper.

La resistencia del conductor es ahora:

$$R = \sqrt{(e)^2 - (X I)^2} / I$$

$$R = \sqrt{(2.5)^2 - (0.012 \times 125)^2} / 125 = 0.015 \text{ ohm} / 100 \text{ m}$$

Para calcular la sección del conductor, es necesario calcular los ohm/1000 pies,

$$0.015 \text{ ohm ——— } 328 \text{ pies}$$

$$R = 1000 \times 0.015 / 328 = 0.045 \text{ ohm} / 1000 \text{ pies}$$

$$R \text{ ——— } 1000$$

De la tabla de resistencia para conductores conductor,300 M.C.M

6 conductores de 300 M.C.M. en tubo conduit de 101 mm ( 4" ).

A-6

**Ejemplo.- 5.1** Se tienen tres transformadores monofásicos con las siguientes

características:

Transformador 1	Transformador 2	Transformador 3
30 KVA	50 KVA	20 KVA
23 000/127 V	23 000/127 V	23 000/127 V
50 c/s	50 c/s	50 c/s

Se conecta en un banco  $\Delta$  - Y trifásico.

- Diga la potencia del banco.
- La relación de transformación del banco.
- Las tensiones en el primario y secundario.

Solución:

- La potencia del banco trifásico es la suma de las potencias de cada transformador.

$$P_{\text{banco}} = 50 + 30 + 20 = 120 \text{ KVA.}$$

- La relación de transformación del banco es la relación de transformación de cada transformador, es decir, la relación es

$$\frac{23\ 000}{127} = 181$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

- La tensión en el primario,

$$\text{Conexión } \Delta \quad V_f = V_L$$

En el secundario,

de línea a neutro, 127 volt.

$$\text{Voltaje de línea, } V_L = 127 \times \sqrt{3}$$

**TARIFA 9 Servicio para Bombeo de Agua para Riego Agrícola en BAJA TENSION**

Rango	Ene/02	Feb/02	Mar/02	Abr/02	May/02	Jun/02	Jul/02	Ago/02	Sep/02	Oct/02	Nov/02	Dic/02
Esc-1	0,2520	0,2530	0,2540	0,2550	0,2560	0,2570	0,2580	0,2590	0,2600	0,2610	0,2620	0,2630
Esc-2	0,3100	0,3120	0,3140	0,3160	0,3180	0,3200	0,3220	0,3240	0,3260	0,3280	0,3300	0,3320
Esc-3	0,3420	0,3440	0,3460	0,3480	0,3500	0,3520	0,3540	0,3560	0,3580	0,3600	0,3620	0,3640
Adicional	0,3760	0,3780	0,3800	0,3820	0,3840	0,3860	0,3880	0,3900	0,3920	0,3940	0,3960	0,3980
Factor	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526

A-7

**TARIFA 9M Servicio para Bombeo de Agua para Riego Agrícola en ALTA TENSION**

Rango	Ene/02	Feb/02	Mar/02	Abr/02	May/02	Jun/02	Jul/02	Ago/02	Sep/02	Oct/02	Nov/02	Dic/02
Esc-1	0,2540	0,2550	0,2560	0,2570	0,2580	0,2590	0,2600	0,2610	0,2620	0,2630	0,2640	0,2650
Esc-2	0,3140	0,3160	0,3180	0,3200	0,3220	0,3240	0,3260	0,3280	0,3300	0,3320	0,3340	0,3360
Esc-3	0,3450	0,3470	0,3490	0,3510	0,3530	0,3550	0,3570	0,3590	0,3610	0,3630	0,3650	0,3670
Adicional	0,3790	0,3810	0,3830	0,3850	0,3870	0,3890	0,3910	0,3930	0,3950	0,3970	0,3990	0,4010
Factor	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526	1,00526

**TARIFA 0M Ordinaria para Servicio General en Media Tensión con Demanda Menor a 100 kW**

Dic/01	Ene/02	Feb/02	Mar/02	Abr/02	May/02	Jun/02	Jul/02	Ago/02	Sep/02	Oct/02	Nov/02	Dic/02
kW	57,97	58,86	58,61	57,74	60,25	61,68	63,93	66,15	66,20	67,08	69,43	
kWH	0,437	0,444	0,442	0,436	0,455	0,466	0,483	0,500	0,500	0,507	0,525	
Factor	1,0242	0,9579	0,9958	0,9740	1,0434	1,0238	1,0365	1,0347	1,0007	1,0133	1,0351	

**TARIFA HIM Horaria para Servicio General en Media Tension con Demanda de 100 kW o Mas.**

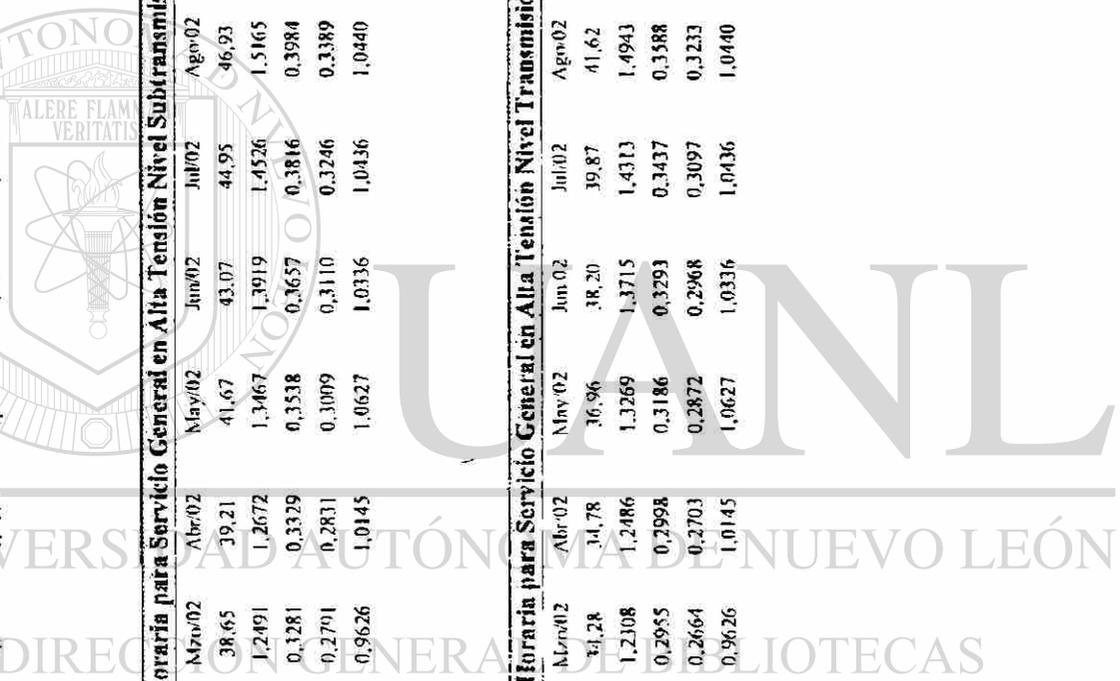
	Dic:01	Ene:02	Feb:02	Mar:02	Abr:02	May:02	Jun:02	Jul:02	Ago:02	Sep:02	Oct:02	Nov:02	Dic:02
D.F	60.06	60.98	60.72	59.14	59.81	62.41	63.90	66.23	68.53	68.58	69.49	71.93	
kWh Pico	1.1403	1.1578	1.1529	1.1229	1.1157	1.1850	1.2132	1.2575	1.3011	1.3020	1.3191	1.3656	
kWh Interm.	0.3667	0.3723	0.3707	0.3611	0.3652	0.3810	0.3901	0.4043	0.4181	0.4186	0.4242	0.4391	
kWh Base	0.3003	0.3049	0.3016	0.2957	0.2991	0.3121	0.3195	0.3312	0.3427	0.3429	0.3475	0.3597	
Factor	1.0242	0.9579	0.9958	0.9740	1.0114	1.0434	1.0238	1.0365	1.0347	1.0007	1.0133	1.0351	

**TARIFA HIS Horaria para Servicio General en Alta Tension Nivel Subtransmision**

	Dic:01	Ene:02	Feb:02	Mar:02	Abr:02	May:02	Jun:02	Jul:02	Ago:02	Sep:02	Oct:02	Nov:02	Dic:02
D.F	40.39	40.36	40.15	38.65	39.21	41.67	43.07	44.95	46.93	46.90	47.76	49.89	
kWh Pico	1.3051	1.3043	1.2976	1.2491	1.2672	1.3467	1.3919	1.4526	1.5165	1.5156	1.5435	1.6125	
kWh Interm.	0.3427	0.3425	0.3408	0.3281	0.3329	0.3538	0.3657	0.3816	0.3984	0.3982	0.4055	0.4236	
kWh Base	0.2916	0.2914	0.2899	0.2791	0.2831	0.3099	0.3110	0.3246	0.3389	0.3387	0.3449	0.3603	
Factor	1.0348	0.9428	0.9949	0.9626	1.0145	1.0627	1.0336	1.0436	1.0440	0.9994	1.0184	1.0447	

**TARIFA IIT Horaria para Servicio General en Alta Tension Nivel Transmision**

	Dic:01	Ene:02	Feb:02	Mar:02	Abr:02	May:02	Jun:02	Jul:02	Ago:02	Sep:02	Oct:02	Nov:02	Dic:02
D.F	35.81	35.79	35.61	34.28	34.78	36.96	38.20	39.87	41.62	41.60	42.37	44.26	
kWh Pico	1.2860	1.2852	1.2786	1.2308	1.2486	1.3269	1.3715	1.4313	1.4943	1.4934	1.5209	1.5889	
kWh Interm.	0.3088	0.3086	0.3070	0.2955	0.2998	0.3186	0.3293	0.3437	0.3588	0.3586	0.3652	0.3815	
kWh Base	0.2784	0.2782	0.2768	0.2664	0.2703	0.2872	0.2968	0.3097	0.3233	0.3211	0.3290	0.3437	
Factor	1.0348	0.9428	0.9949	0.9626	1.0145	1.0627	1.0336	1.0436	1.0440	0.9994	1.0184	1.0447	



**TARIFA HSL Horaria para Servicio General en Alta Tensión Nivel Subtransmisión de larga utilización**

	Dic/01	Ene/02	Feb/02	Mzo/02	Abr/02	May/02	Jun/02	Jul/02	Ago/02	Sep/02	Oct/02	Nov/02	Dic/02
D.F.	60.58	60.54	60.23	57.98	58.82	62.51	64.61	67.43	70.40	70.36	71.65	74.85	
kWh Pico	0.9226	0.9221	0.9174	0.8831	0.8959	0.9521	0.9841	1.0270	1.0722	1.0716	1.0913	1.1401	
kWh Interm.	0.3281	0.3279	0.3262	0.3140	0.3186	0.3386	0.3500	0.3653	0.3814	0.3812	0.3882	0.4056	
kWh Base	0.2916	0.2914	0.2899	0.2791	0.2831	0.3009	0.3110	0.3246	0.3389	0.3387	0.3449	0.3603	
Factor	1.0348	0.9428	0.9949	0.9626	1.0145	1.0627	1.0336	1.0436	1.0440	0.9994	1.0184	1.0447	

**TARIFA HTL Horaria para Servicio General en Alta Tensión Nivel Transmisión de larga utilización**

	Dic/01	Ene/02	Feb/02	Mzo/02	Abr/02	May/02	Jun/02	Jul/02	Ago/02	Sep/02	Oct/02	Nov/02	Dic/02
D.F.	53.73	53.69	53.42	51.42	52.17	55.44	57.30	59.80	62.43	62.39	63.54	66.38	
kWh Pico	0.9049	0.9043	0.8997	0.8661	0.8787	0.9338	0.9652	1.0073	1.0516	1.0510	1.0703	1.1181	
kWh Interm.	0.3024	0.3022	0.3007	0.2895	0.2937	0.3121	0.3226	0.3367	0.3515	0.3513	0.3578	0.3738	
kWh Base	0.2784	0.2782	0.2768	0.2664	0.2703	0.2872	0.2968	0.3097	0.3233	0.3231	0.3290	0.3437	
Factor	1.03480	0.9428	0.9949	0.9626	1.0145	1.0627	1.0336	1.043600	1.0440	0.9994	1.0184	1.0447	

**TARIFA HTL Horaria para Servicio General en Alta Tensión Nivel Transmisión de larga utilización 400 kV**

	Dic/01	Ene/02	Feb/02	Mzo/02	Abr/02	May/02	Jun/02	Jul/02	Ago/02	Sep/02	Oct/02	Nov/02	Dic/02
D.F.	51.69	51.65	51.39	49.47	50.19	53.33	55.12	57.53	60.06	60.03	61.13	63.86	
kWh Pico	0.8823	0.8817	0.8772	0.8444	0.8567	0.9105	0.9411	0.9821	1.0253	1.0247	1.0435	1.0901	
kWh Interm.	0.3006	0.3004	0.2989	0.2877	0.2919	0.3102	0.3206	0.3347	0.3494	0.3492	0.3557	0.3716	
kWh Base	0.2770	0.2768	0.2754	0.2651	0.2689	0.2858	0.2954	0.3082	0.3217	0.3215	0.3274	0.3420	
Factor	1.0348	0.9428	0.9949	0.9626	1.0145	1.0627	1.0336	1.043600	1.0440	0.9994	1.0184	1.0447	

## Tablas de consulta

Cap.	Pag.
3.1 Dimensiones de los conductores eléctricos desnudos	28
3.2 Temperatura máxima de operación a régimen permanente de los conductores en baja tensión	31
3.3 Factores multiplicadores para convertir resistencia con C.C. a resistencia con C.A. de 50 y 60 Hz	33
3.4 Capacidad de corriente de conductores de Cu. Basada en una temperatura ambiente de 30°C	34
3.5 Tamaño de tubo conduit	35
3.6 Resistencia de conductores en ohm/ 1000 pie	41
4.1 Potencia reactiva máxima del banco de capacitores para compensar motores trifásicos de inducción	72
4.2 Capacidad en amper de interruptores termomagnéticos	
4.3 Capacidad en amper de interruptores termomagnéticos	79
4.4 Capacidad en amper de interruptores termomagnéticos	80
4.5 Capacidad en amper de interruptores termomagnéticos	81
4.6 Capacidad en amper de interruptores termomagnéticos	
4.7 Aplicación de gabinetes según NEMA	82
5.1 Registro de equipo en la Escuela Superior de Ingeniería	108
5.2 Registro de equipo de Laboratorio	112
5.3 Listado de comprobación de equipo	114
5.4 Calibre de cables existentes	117
5.5 Cargas conectadas a los circuitos por secciones en KW	118
5.6 % de carga en los circuitos por sección en KW	119

5.7	Cálculo de las pérdidas mensuales de energía en los conductores y su costo sin modificación	120
5.8	Indicadores del recibo de C.F.E.	122
5.9	% de carga en los circuitos por sección en KW tomando en consideración una demanda máxima registrada	123
5.10	Prorrateso de la energía de la Escuela Superior de Ingeniería y la E.B.U.R.R.	124
5.11	Cálculo de las pérdidas mensuales de energía en los conductores y su costo modificado	127
5.12	Alambrado para A/C a las secciones de la Escuela	128
5.13	Costo de los cambios requeridos para la ruta alterna de la instalación eléctrica	129
5.14	Identificación de las posibilidades de ahorro de la energía	130
5.15	% de carga para diferentes equipos en la Escuela Superior de ingeniería y la E.B.U.R.R.	131
5.16	Nivel de iluminación de acuerdo al tipo de actividad	132
5.17	Recomendaciones en los mayores consumidores de energía	134
5.18	Valor recomendado de flujo de aire externo en diversas aplicaciones	135
5.19	\$ requeridos para la remodelación en las instalaciones indicadas	137

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



