

103
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DE CURVAS DE DEMANDA INDUSTRIAL,
PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE LA ENERGIA
ELECTRICA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

LUIS EDUARDO MUÑOZ BECERRA

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Juan Vicente Leduc Rubio



México, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**"ANALISIS DE CURVAS DE DEMANDA INDUSTRIAL, PARA OPTIMIZAR EL
CONSUMO DE LA ENERGIA ELECTRICA"**

INDICE

INTRODUCCION

- 1.- PROBLEMAS DE GENERACION DE CURVAS DE DEMANDA**
- 2.- ANALISIS DE CURVAS DE DEMANDA**
- 3.- SOLUCION DE PROGRAMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA
EN HORAS PICO**
- 4.- LIMITACIONES DE LA PRODUCCION EN HORAS PICO.**
- 5.- EJEMPLOS Y CONCLUSIONES**

**OBJETIVO : SE ANALIZARA UN PROCESO, EN ESTE CASO TEXTIL, Y SE
VERA SI SE SIGUEN LAS REGLAS DE ARRANQUE DE MOTORES,
DISEÑO DE SUBESTACIONES Y EQUIPO EN GENERAL,
DEPENDIENDO DEL PROCESO. SE LOGRARA UNA MEJOR
RELACION DE UNIDADES DE PRODUCCION POR
KILOWATTS/HORAS.**

INTRODUCCION

INTRODUCCION

En la actualidad, el ritmo de expansión de la economía de los países, tanto desarrollados como los subdesarrollados, se basa en una gran parte, en la producción de sus industrias; en donde ambos productores tienen que competir con sus productos, tanto en calidad como en precio.

Estas son unas de las razones por las cuales las empresas hoy en día tienen que cuidar sus factores productivos, dando una mayor importancia en la forma en que se racionaliza el consumo de energía, poniendo especial interés en fabricar productos con una mayor calidad, con el fin de competir con el mercado, así como el ahorro en la producción por un mayor control de calidad, evitando el regreso del producto para un mejor acabado.

En algunos países, donde no poseen los medios necesarios para abastecer el consumo en horas críticas, se ven obligados en controlar el consumo de la energía eléctrica, con medidas como las tarifas altas, y en el peor de los casos, el corte de la energía eléctrica. Es por eso que el ahorro de energía es de vital importancia, tanto para la compañía suministradora, así como para las industrias. Estas últimas pueden lograrlo con el solo hecho de mejorar algunos de sus hábitos de producción y planeación.

En el presente trabajo se pretende dar una visión a esos problemas que para algunas personas pasan desapercibidos, y que si fueran tomados en cuenta, se lograría un sistema productivo más uniforme y económico.

1.1 DESCRIPCION DE CURVAS DE DEMANDA INDUSTRIAL

Para conocer los problemas y necesidades que los diferentes sectores consumidores, habrá que clasificarlos.

I.1.1 CLASIFICACION DE LA CARGA.

La clasificación del sistema eléctrico se hará de acuerdo a diferentes características que posee la carga:

	MV _a / Km ²
URBANA CENTRAL -----	40 a 1000
URBANA -----	5 a 40
SEGUN LA ZONA SEMI-URBANA -----	3 a 5
RURAL -----	< 3

Según que le de el usuario :



Algunos de los conceptos más importantes para referirnos a la carga se describen a continuación:

DEMANDA :

La demanda de una instalación eléctrica es la carga en las terminales receptoras, tomada en un intervalo de tiempo.

DEMANDA MAXIMA:

Se le conoce a la demanda instantánea mayor, que se presenta en una carga, en un periodo de trabajo previamente establecido

FACTOR DE DEMANDA:

El factor de demanda en un intervalo de tiempo, es la relación entre la demanda máxima y su carga total instalada.

FACTOR DE UTILIZACION:

Es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema, y es un indicador de la relación de la capacidad sistema que está siendo utilizado durante el pico de carga en intervalos de tiempo.

FACTOR DE DIVERSIDAD:

Es la sumatoria de las demandas máximas individuales y las demandas máximas del conjunto.

En cualquier proyecto, ya que aún que las cargas sean de un mismo tipo, los hábitos y costumbres impidieran que sus demandas coincidan en el tiempo.

FACTOR DE COINCIDENCIA:

Este factor es muy importante en la planeación de un sistema, ya que será, esta demanda máxima la que se deberá de aplicar para situaciones de selección adecuado del equipo eléctrico (cables, transformadores, etc).

TASAS DE CRECIMIENTO

Una de las características más importantes que deben de ser consideradas en la planeación de un sistema de distribución es su tasa de crecimiento. El crecimiento de carga en general es atribuido a diversos factores, tales como nuevas áreas que se anexan al sistema; nuevos consumidores que se suman al sistema de

carga actual, y por lo tanto se deberá tener en cuenta el diseño y planeación para este tipo de circunstancias.

Gran parte de estas tasas funcionan en base de datos estadísticos que se han detallado en el comportamiento del sistema en un año.

I.2 TARIFAS

El criterio que se usa para la clasificación de las cargas de la Compañía de Luz y Fuerza y / o la Comisión Federal de Electricidad, es a través de las tarifas que varían dependiendo del consumidor. En la siguiente tabla se da la clasificación de las tarifas que actualmente se aplican en el país.

TABLA 1.1

TARIFA No.1	SERVICIO DOMESTICO
TARIFA No.1A	SERVICIO DOMESTICO EN CLIMA MUY CALIDO
TARIFA No.2	SERVICIO GENERAL HASTA 25 KW DE DEMANDA
TARIFA No.3	SERVICIO GENERAL PARA MAS DE 25 KW DE DEMANDA
TARIFA No.4	SERVICIO PARA MOLINOS DE NIXTAMAL
TARIFA No.5	SERVICIO DE ALUMBRADO PUBLICO
TARIFA No.6	SERVICIO DE BOMBEO DE AGUAS POTABLES Y NEGROS
TARIFA No.7	SERVICIO TEMPORAL
TARIFA No.8	SERVICIO GENERAL EN ALTA PRESION.
TARIFA No.9	SERVICIO PARA BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO
TARIFA No.10	SERVICIOS DE ALTA TENSION PARA REVENTA.

TARIFA No.11

SERVICIO EN ALTA TENSION PARA
EXPLOTACION Y BENEFICIO DE MINERALES.

TARIFA No.12

SERVICIO GENERAL PARA 5000KW O MAS, DE
DEMANDA EN TENSION DE 66 KW O SUPERIORES

I.3 CAPACIDAD DE GENERACION ELECTRICA DEL PAIS

Los siguientes datos corresponde a información de como se organiza la Comisión Federal de Electricidad para la generación de electricidad; para satisfacer el consumo interno del país.

Esta información corresponde a una serie de tablas básicas que son manejadas a nivel registro de dicha compañía paraestatal.

TABLA I.2

POTENCIA INSTALADA EN MW.

AÑO	HIDROELECTRICA	TERMOELECTRICA	TOTAL
1982	6550	1180	18390
1983	6532	12472	19004
1984	6532	12868	19360
1985	6532	14275	20807
1986	6532	14734	21266
1987	7546	15599	23145

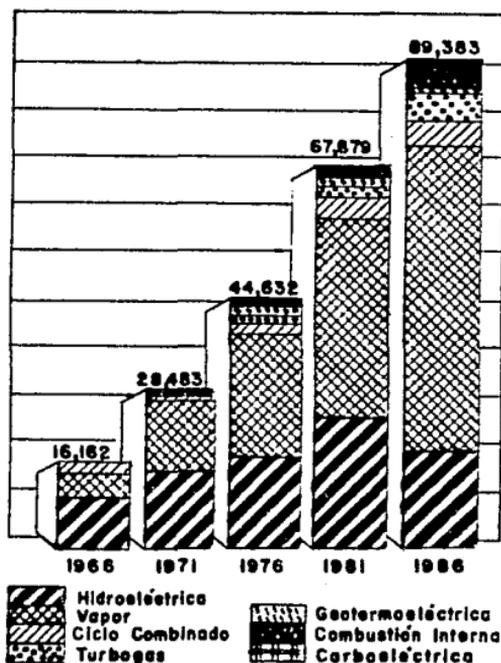
TABLA 1.3.

GENERACION BRUTA EN GWh.

ANO	HIDROELECTRICA	TERMoeLECTRICA	TOTAL
1982	22729	50496	73225
1983	20583	54248	74831
1984	23448	56059	79507
1985	26087	59265	85352
1986	19876	69507	89383
1987	18200	78110	96310

Generación de Energía Eléctrica Bruta en el Sector Eléctrico Nacional

Millones de KWH



Capacidad Instalada en el Sector Eléctrico MW

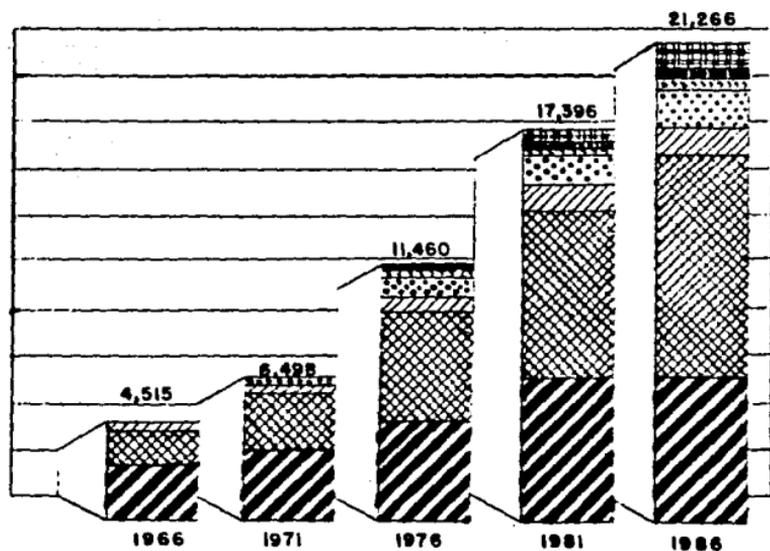


Fig.3 CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA ANUAL DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

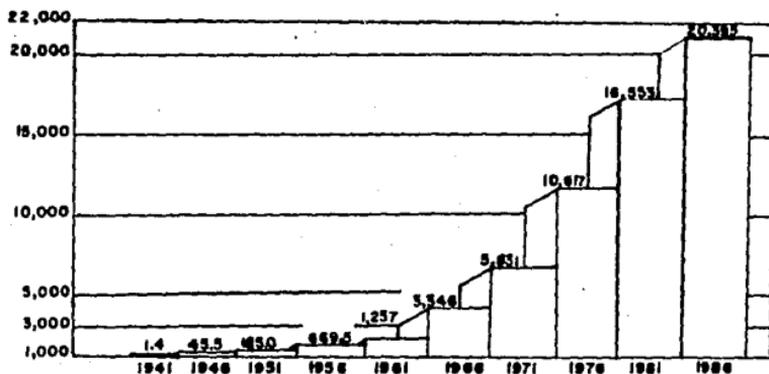
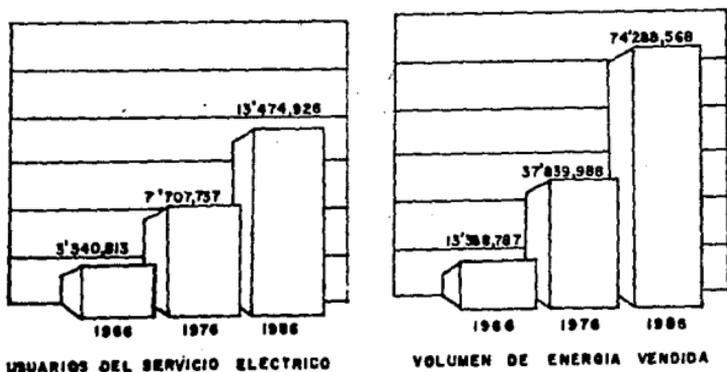


Fig.4 NUMERO DE USUARIOS y ENERGIA VENDIDA AL SECTOR NACIONAL



I.4 CONFIGURACION DE SISTEMAS

El objetivo de mencionar las diferentes configuraciones que puede tener los sistemas de distribución, es solo para conocer las características tanto funcionales como por sus componentes, así la ventaja o desventaja que implica el uso o selección de alguna de ellas.

I.4.A RADIAL SIMPLE.

Simplicidad adecuada para carga de hasta 1000 KVa. Capacidad reducida al aprovechar la diversidad de las cargas de la planta.

Altas corrientes de corto circuito

Interruptores de alta capacidad y alta corriente.

Alimentadores largos y costosos.

Mala regulación debida a la caída de voltaje.

Baja eficiencia debida a las pérdidas en los alimentadores.

costo 140 % del sistema No. 2

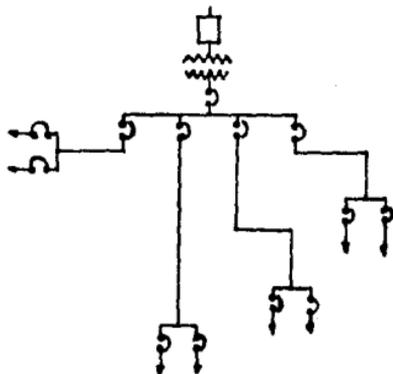


fig. 4

I.4.B RADIAL CON CENTRO DE POTENCIA

Características:

- Es el sistema más económico arriba de 1000 KVa .
- Los alimentadores son cortos, debido a la colocación de cada centro de potencia inmediata al centro de carga. En ocasiones se ponen éstos sobre plataforma arriba del nivel de la fábrica.
- Bajas corrientes de corto circuito.
- Equipo interruptor de baja interrupción y baja corriente normal.
- buena regulación de voltaje.
- Pérdidas moderadas.
- Mala continuidad: Un fallo del interruptor principal significa la interrupción total.
- Tardanza en restaurar el servicio en caso de falla en una estación.
- Poca flexibilidad.

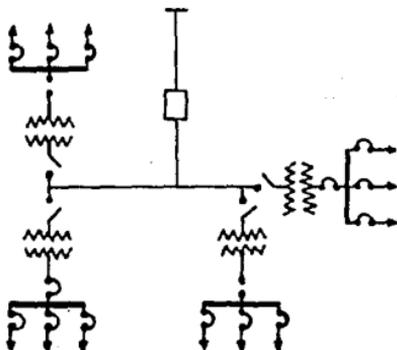


Fig.5

I.4.C SISTEMA RADIAL SELECTIVO EN PRIMARIO.

Características:

- Continuidad aceptable. Al fallar un alimentador se puede cambiar la carga rápidamente al otro. Cada uno de sus circuitos primarios deben de tener capacidad para el total de la carga.
- En caso de fallo de un transformador, la unidad se desconecta rápidamente y se restaura el servicio dejando fuera una parte de la fábrica.
- Todas la ventajas del sistema No.2
- Su costo es 10% mayor que el esquema No.2 pero su flexibilidad es mayor.

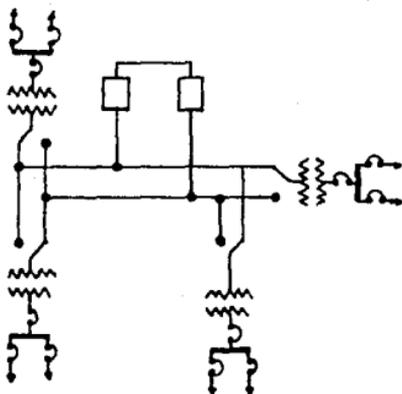


fig.6

I.4.D. RADIAL SELECTIVO EN SECUNDARIO

Características:

- Permite pronta restauración del servicio por defectos del alimentador primario o en el transformador.
- Mejor continuidad que en el No.2 ó en el No.3 .
- El fallo en un transformador no interrumpe por largo tiempo ninguna alimentación, ya que la carga pasa al otro mediante el interruptor de amarre. Cada transformador debe poder llevar la carga de la estación.

Esto hace este arreglo 55% más costoso que el No.2

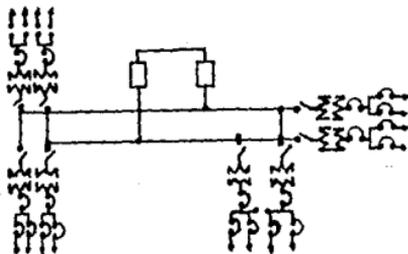


fig. 7

I.4.E RED AUTOMÁTICA

Características:

- Alimentación no interrumpida a la carga.
- Alta eficiencia y regulación.
- Operación automática en caso de falla de transformador o alimentador primario: la carga se transfiere a otros transformadores o a otro alimentador mediante el anillo secundario.
- No requiere exceso de capacidad transformadora.
- Maneja el arranque de motores grandes con menos variación de voltaje.
- Parpadeo del alumbrado mínimo.
- Bajas pérdidas
- No se adapta a sistemas superficialmente extensos por el costo del anillo secundario(55% mas costoso que el No. 2)

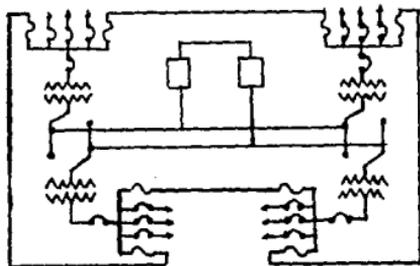


fig. 8

I.4.F ANILLO DE ALTA TENSION

Características:

- Este sistema tiene la ventaja sobre el radial simple de que pueda aislarse una sección de cable defectuosa y reanudar el servicio en el resto del sistema mientras se lleva a cabo la reparación. Es posible, sin embargo, que el fallo no se localice pronto y entonces la interrupción general es larga.
- Para evitar esta contingencia, puede dotarse a los interruptores con protección direccional de tal manera que la seccionalización del tramo defectuoso sea automática.
- Esto eleva el costo del sistema desproporcionadamente con la relación a la ventaja ganada. Por otro lado, si los interruptores y protecciones seccionalizantes, el sistema sólo es más peligroso y con mayor corriente de corto circuito que el No. 2

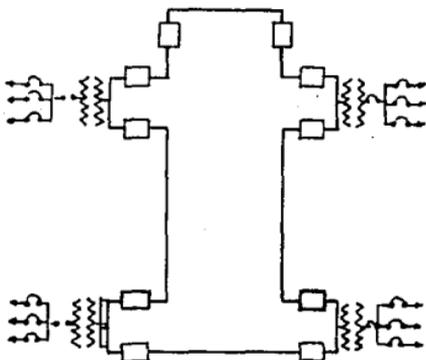


fig. 9

CAPITULO I
PROBLEMAS DE GENERACION EN
"HORAS PICO"

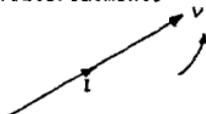
1.1 CLASIFICACION DE LAS CARGAS EN CUANTO A SUS CARACTERISTICAS

Cuando una carga está conectada a una red eléctrica, una corriente I fluirá en ésta. En términos generales podemos distinguir tres tipos de cargas:

1.1.A RESISTIVA

Un horno de funcionamiento eléctrico, un radiador, una lámpara incandescente de luz, etc. son todas ellas ejemplos de cargas resistivas; tales cargas son referidas como si tuvieran cierta resistencia R , expresada en Ω .

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con el voltaje; por lo tanto si el voltaje y la corriente están en fase se tendrá vectorialmente



donde la potencia de la resistencia en watts será:

$P = VI = RI^2 = V^2/R$; donde dependiendo del tiempo en que la energía es consumida se pagará cierto número de KWh.

1.1.B CAPACITIVA

El capacitor es el segundo tipo de carga el cual figura en un circuito. La capacitancia es designada por C , y es expresada en Farads F .

En un circuito capacitivo no existe consumo de energía, aún si hay una corriente circulando; no obstante el capacitor genera potencia reactiva expresada en volts-amperes reactivos.

Del valor del capacitor podrá calcular la potencia reactiva:

$$Q = 2CV \text{ -----} (1)$$

1.1.C INDUCTIVA

Las cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde está presentes los bobinados, como por ejemplo los motores, transformadores, etc.

En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con el voltaje, ya que está retrasada 90° grados eléctricos.

En un circuito puramente inductivo la potencia activa es nula. No existe consumo de energía a pesar de que la corriente ha fluido, la inductancia consume potencia reactiva, usualmente expresadas en volts-amperes o Var.

Un circuito inductivo puro no existe, al menos en la práctica; los alambres conductores de la bobina tienen cierta resistencia y por lo tanto se tienen pérdidas en los circuitos magnéticos, sin embargo puede decirse que la inductancia consume una pequeña cantidad de energía activa.

1.1.D CARGAS COMBINADAS

En realidad las cargas no están constituidas solamente por resistencias, capacitores, inductancias, pues en la realidad estas tres cargas coexisten con frecuencia. La diversidad de las cargas son usualmente abastecidas directamente de la red principal de suministro eléctrico, estas cargas se describen siendo conectadas en paralelo.

Un elemento común en este caso es la fuente de voltaje, que es tomada desde el inicio del diagrama fasorial. La corriente total es la suma vectorial de las corrientes parciales.

En algunos casos el circuito puede ser colocado en serie. El inicio del diagrama fasorial con elemento común, y en este caso con la corriente.

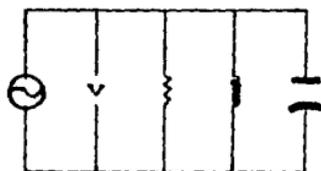


FIG. 11. CIRCUITO PARALELO

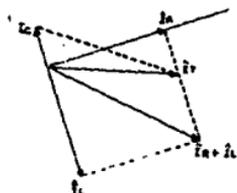


FIG. 12. DIAGRAMA DEL VOLTAGE PARALELO

1.2. DIFERENTES TIPOS DE POTENCIA.

1.2.A. POTENCIA ACTIVA

La potencia activa es la que consume una resistencia, expresada en watts (P)

1.2.B. POTENCIA REACTIVA

Los motores, transformadores y aquellos dispositivos que hacen uso del efecto del campo magnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva es utilizada para la generación del campo magnético. Esta potencia reactiva está 90º grados desfasados de la potencia activa. (Q).

1.2.C POTENCIA APARENTE

El producto de la corriente y el voltaje es llamada potencia aparente y es también la resultante de la suma de los vectores gráficos de la potencia activa y la potencia reactiva. (S).

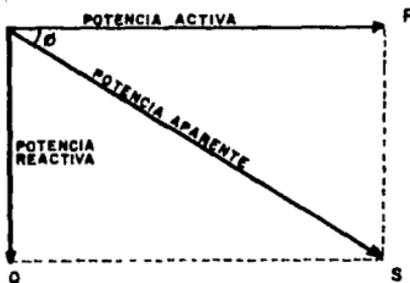


fig. 1.3

1.3 ECUACIONES DEL FACTOR DEL POTENCIA

Se pueden emplear las siguientes fórmulas cuando kw, kvar y kva se substituyen por sus respectivas corrientes:

$$KVA = (KW) + (KVAR) \text{ -----(2)}$$

$$KVAR = (KVA) - (KW) \text{ -----(3)}$$

$$KW = (KVA) - (KVAR) \text{ -----(4)}$$

Otra definición de factor de potencia, la cual es generalmente más útil, es la relación de kw o potencia de trabajo a los kva totales o potencia aparente, esto es:

$$F.P. = KW / KVA \text{ -----(5)}$$

$$KVA = KW / F.P. \text{ -----(6)}$$

$$KW = KVA * F.P. \text{ -----(7)}$$

Dicho de esta manera, el factor de potencia en una planta industrial será el factor por el cual debe de multiplicarse la potencia aparente para obtener la potencia de trabajo.

Por otro lado, el factor de potencia, puede ser expresada como una función de la potencia reactiva y activa, esto es:

$$F.P. = P / \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ -----(8)}$$

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \text{ -----(9)}$$

1.4 MEDICION DEL FACTOR DE POTENCIA

El método más simple es medir la potencia (con un wattmetro), y la corriente así como el voltaje (en una sola fase).

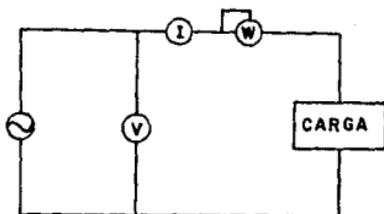


fig.1.4 MEDIDA DEL F.P. ($\cos\phi$) EN UN CIRCUITO DE UNA SOLA FASE

Entonces se tiene que

$$\cos \theta = P/W / V \cdot I = P / (V \cdot I) = P / S \text{ ----- (10)}$$

1.5 MEDICION DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN CIRCUITO BALANCEADO (3 ϕ)

1.5.A. METODO DE LOS DOS WATTMETROS

En un circuito trifásico balanceado, dos wattmetros puede ser conectados de acuerdo al siguiente diagrama:

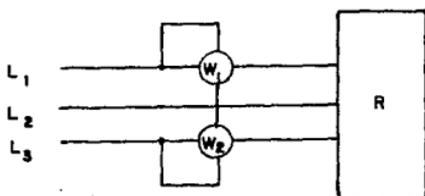


fig.1.5 METODO DE LOS DOS WATTMETROS

Realizando las conexiones en forma correcta, de tal forma, que si un instrumento deflexiona en dirección equivocada, las conexiones de la bobina deben de ser intercambiadas y las lecturas tomadas como un valor negativo. La suma de W1 y W2 dan la potencia disipadas en las cargas, las relaciones de esas dos lecturas resultan con el retraso del voltaje:

$$\text{Tg } \phi = \sqrt{3} (W1-W2) / (W1+W2) \text{ ----- (11)}$$

$$\text{COS } \phi = 1 / \sqrt{4(1+\text{Tg } \phi^2)} \text{ ----- (12)}$$

1.5.B. USO DEL FACTORIMETRO DE TRES FASES.

El principio es idéntico al usado para el medidor de una sola fase. La bobina de corriente es conectada a una sola fase, las dos bobinas móviles son conectadas entre ésta fase y las otras dos. En ésta forma ambos circuitos son resistivos cuando el cambio de fase entre los voltajes en el sistema trifásico es usado. El factorímetro indicará un factor de potencia inductivo o capacitivo (cos ϕ) dependiendo de la secuencia de fase (dirección de rotación).

1.6 MEDICION DE TRES FASES CON CIRCUITO DESBALANCEADO.

En tal circuito, el cos ϕ es diferente en cada fase, y para medirlo es necesario el medir separadamente, en cada fase de la carga la corriente, potencia y voltaje.

Si el neutro de la carga es conectada en estrella (Δ), será inaccesible y la medición es imposible de hacerse. En forma similar, si la carga conectada en delta y las fases no pueden ser desconectadas para la medición, es imposible el medir el factor de potencia.

Sin embargo, para la carga total de la red es posible el medir las potencias activa y reactiva y de esos valores el obtener el valor promedio del factor de potencia.

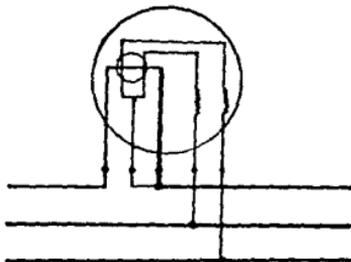


FIG 1.6 DIAGRAMA DE UN MEDIDOR DE ENERGIA REACTIVA

1.7 MEDIDAS PARA TOMAR UN BUEN FACTOR DE POTENCIA.

Las desventajas de que la carga consume la mayor potencia reactiva ocasionará muchos problemas, además del económico. Estas costosas desventajas pueden situarse en las siguientes categorías:

1.- Las que aumentan las pérdidas por el efecto Joule, las cuales son funciones del cuadrado de la corriente. Por ejemplos:

- Los cables entre el medidor y el usuario.
- Embobinado de los transformadores de distribución.
- Dispositivos de operación y protección.

2.- Un aumento de la caída del voltaje, resultando un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); éstas cargas sufren una reducción en su potencia de salida.

- Las instalaciones no pueden ser utilizadas a su máxima capacidad, resultando altos costos de depreciación, esto es particularmente el los transformadores de distribución.

Esas desventajas afectan al productor y al distribuidor de la energía eléctrica.

Es completamente comprensible, sin embargo, que se debe de penalizar al usuario "malo", haciendo que él mismo pague más por su electricidad.

Una carga consume la mayor potencia reactiva y un factor de potencia más bajo, es un fenómeno eléctrico que puede suceder en condiciones estables.

Para una potencia consumida constante, el factor de potencia más bajo, la potencia aparente será más alta y así más alta la cantidad de corriente en la red.

Con un factor de potencia de 0.5, la cantidad de corriente por la carga, será dos veces la corriente útil.

Con un factor de potencia de 0.9, la cantidad de corriente sera 10% más alta que la útil.

Para una potencia constante, la cantidad de corriente en la red se incrementará en la medida que el factor de potencia disminuya. Esto significa que los transformadores y los cables de distribución estarán sobrecargados y que las pérdidas en ellos se incrementarán (en proporción al cuadrado de la corriente).

Esto por supuesto es real en todos los puntos de la red. (alto y bajo voltaje).

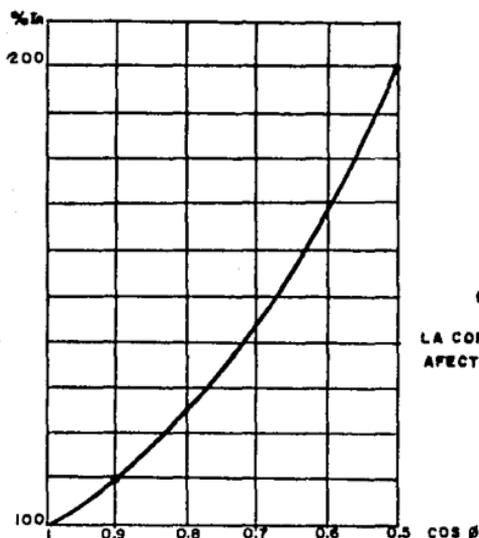


Fig. 1.7

LA CORRIENTE NOMINAL ES AFECTADA POR EL $\cos \phi$

1.8 CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

El especial cuidado del factor de potencia, reditúa en un ahorro de dinero, tanto por consumo, como por ahorro de equipo.

Objetivo: Transformadores, equipo de soldar, hornos de inducción, lámparas de descarga (fluorescentes, de vapor de sodio, de mercurio, etc.); consumen potencia reactiva-inductiva, como lo hacen los motores eléctricos. Esta potencia debe de ser generada en algún lugar. Esta es la razón para instalar capacitores o algún método de corrección de f.p. (motores sincrónicos de acuerdo con ϕ).

Los capacitores prácticamente no consumen potencia activa, y pueden producir energía reactiva localmente, compensando así la potencia reactiva-inductiva, consumida por las máquinas antes mencionadas, individualmente o en grupos. Para una potencia activa constante, la potencia reactiva transmitida para éste grupo de

cargas (la carga inductiva y el capacitor) puede así ser reducida, el f.p. en la red, habrá sido mejorado ó corregido.

PRINCIPIO DE COMPENSACION.

Considérese una carga inductiva demandando una corriente

I_1 , la cual retrasa al voltaje por un ángulo. Esta corriente I es usada para calcular la potencia aparente. Se ha visto también, que ésta corriente puede ser descompuesta en una componente en fase con el voltaje I_W , y una componente 90° fuera de fase con el voltaje. Ver el siguiente diagrama fasorial.

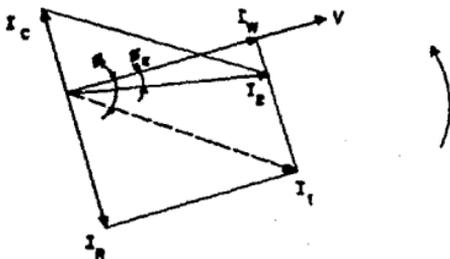


fig. 1.8 PRINCIPIO DE COMPENSACION

Se puede escribir ésto como la suma del vector : $I_1 = I_W + I_R$

Si un capacitor es conectado en paralelo, suministrará una corriente I_C que está en oposición de fase con la otra y la corriente resultante será : $I_R - I_C$, así la corriente reactiva habrá sido reducida significativamente.

La corriente resultante principal I_2 , ha sido también reducida, tanto como el ángulo de fase ϕ .

El consumo de energía reactiva ha sido grandemente reducido (y si $I_C = I_R$ la potencia reactiva será igual a cero).

Otro método de trabajar, es el triángulo de potencias, el cual algunas veces es usado para demostrar la influencia de la capacidad. Las gráficas son solamente ilustrativas, no giran.

Un concepto para entender el factor de potencia es el siguiente: Es un efecto simple, basado en el hecho en que la corriente requerida por los motores de inducción, resistencias, etc., pueden clasificarse como sigue:

1.8.a CORRIENTE PRODUCTORA DE ENERGIA

Es la corriente productora de energía ó de trabajo; es la que se convierte en energía útil, como la de un movimiento giratorio; tal como la de un torno, etc.

- CORRIENTE MAGNETIZANTE (KVAR)

La corriente magnetizante ó conocida también como carente de watts, reactiva ó corriente sin trabajo, la cual se requiere para producir el flujo necesario para la operación de dispositivos de inducción.

Sin la corriente magnetizante, la energía no podría fluir a través del núcleo de un transformador, ó a través del espacio de aire de un motor de inducción.

1.8.b LECTURA DE LA CORRIENTE

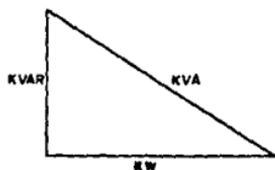
La corriente total que se lee sobre un amperímetro en un circuito determinado, se forma generalmente la fuerza magnetizante y la que produce energía.

La unidad de los volts-amperes totales ó la energía aparente en el kilovolt-amperes (Kva).

La mayoría de los sistemas de energía de corriente alterna, requieren tanto de los KW como los Kvar. La adición de una

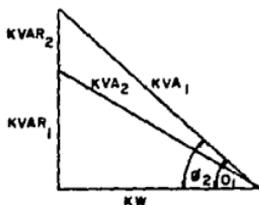
corriente de Kvar y una de Kw debe de seguir un principio geométrico por lo que la corriente por medio de la relación de un triángulo rectángulo, como sigue:

fig. 1.10



Cuando un capacitor es conectado en paralelo con la carga inductiva genera energía, la cual reduce la carga inductiva requerida.

fig. 1.11



1.9 DETERMINACION DEL RANGO DEL CAPACITOR

Esta determinación puede ser hecha con cálculos simples y también es posible usar tablas o nomogramas.

El siguiente nomograma facilita el cálculo para la potencia en vares necesaria para aumentar la potencia.

Factor de potencia resultado caso 2													
070	075	080	082	085	087	090	092	094	095	098	099	100	101
020	288	401	415	419	428	433	441	446	451	457	457	462	470
025	285	399	312	317	325	332	338	345	350	354	354	360	367
030	218	230	243	248	256	262	263	279	281	285	284	297	318
035	168	179	193	198	206	212	219	225	231	237	236	247	268
040	127	141	154	159	167	172	180	186	191	196	196	208	229
042	114	128	141	146	154	159	168	174	180	184	187	195	216
044	102	116	129	134	142	147	158	162	167	171	175	183	204
048	091	105	118	123	131	136	145	150	154	160	164	172	193
048	080	095	108	113	120	126	133	140	147	149	154	161	182
050	071	085	098	103	111	118	125	131	137	142	144	152	173
052	062	076	089	094	102	108	118	122	128	131	135	143	164
054	053	068	081	086	094	099	107	113	119	123	126	135	156
058	046	060	073	078	086	091	100	105	112	115	118	127	148
058	038	052	065	070	078	085	092	099	104	107	111	119	140
060	031	045	058	064	071	078	085	091	098	101	105	113	134
062	024	038	051	057	064	070	078	084	090	093	097	106	128
064	018	032	045	050	058	063	072	077	083	087	090	099	120
068	012	026	039	044	052	057	065	071	077	081	085	093	114
069	006	020	033	038	046	051	059	065	071	075	077	087	108
070	--	014	027	032	040	045	053	059	066	069	073	081	102
072	--	008	021	027	034	040	048	054	060	063	067	076	096
074	--	003	016	021	028	035	042	048	055	058	062	070	090
076	--	--	010	018	024	029	037	043	049	052	056	065	085
078	--	--	005	010	018	024	031	038	044	047	051	059	080
080	--	--	--	005	013	018	026	032	039	042	046	054	075
082	--	--	--	--	008	013	021	027	034	037	040	049	069
084	--	--	--	--	003	009	018	022	028	032	035	044	064
086	--	--	--	--	--	003	011	017	023	026	030	039	059
088	--	--	--	--	--	--	008	015	018	021	025	033	054
090	--	--	--	--	--	--	--	006	012	015	019	027	048
092	--	--	--	--	--	--	--	--	006	009	013	022	042
094	--	--	--	--	--	--	--	--	--	003	007	016	038
096	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	008	028
098	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	021

TABLA I.1 TABLA PARA CALCULAR EL FACTOR DE POTENCIA

1.10 FACTOR DE POTENCIA EN PLANTAS INDUSTRIALES

Para cualquier planta industrial es de suma importancia el mantener un valor adecuado del factor de potencia, pues así se tendrán menos penalizaciones por parte de la compañía suministradora por bajo factor de potencia.

De acuerdo con los estudios realizados por la Comisión Federal de Electricidad, Instituto Mexicano del Petróleo e Instituto de Investigaciones Electricas, y que fueron presentadas en el seminario sobre el uso eficiente de la energía industrial en Noviembre de 1982. Los valores típicos de factor de potencia para diferentes tipos de industrias se muestran en la siguiente tabla:

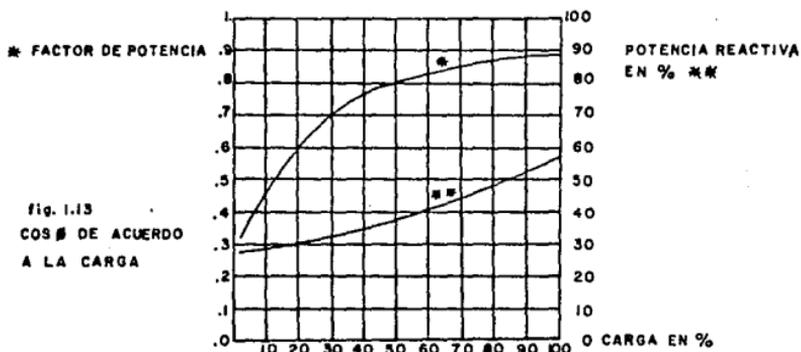
TABLA 1.2

INDUSTRIA	PAGOS DE F.P. %
Automotriz	75 - 80
Cervecera	75 - 80
Cementera	80 - 85
Química	65 - 75
Mina de carbón	65 - 80
Del vestido	35 - 60
Rec. electrolíticos	65 - 70
Fundición	75 - 80
Forja	70 - 80
Hospitales	75 - 80
Fabrica de maquinaria	60 - 65
Maquilado	65 - 70
Edificio de oficinas	80 - 85
Bombeo de Petróleo	40 - 60
Fabrica de pinturas	55 - 65
Plásticos	55 - 70
Troquelado	60 - 70
Textiles	65 - 70

La Secretaría de Comercio establece que el usuario de energía eléctrica debe mantener el factor de potencia en un rango de 0.85 ó más durante cualquier periodo de facturación.

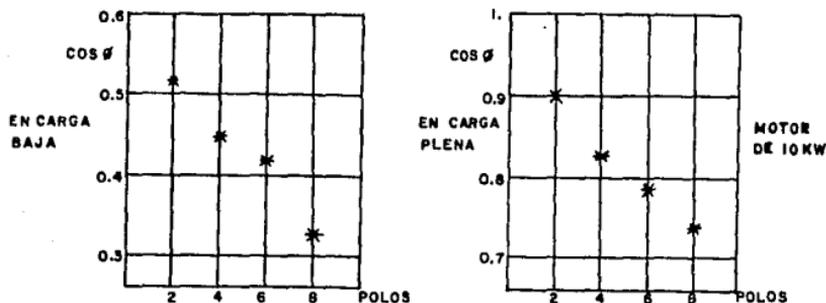
1.11 FACTOR DE POTENCIA EN MOTORES ASINCRONOS.

Además de la potencia activa, al motor asíncrono también requiere potencia reactiva para la magnetización de los bobinados. Esta potencia reactiva es prácticamente independiente de la carga del motor. Ello supone que la relación entre la potencia activa y la potencia reactiva, disminuye con la carga y que el factor de potencia también disminuye.



Al mismo tiempo, un aumento de corriente de magnetización obtenido por el aumento de voltaje aplicado, conducirá en una disminución del f.p. Por otro lado para valor de potencia iguales, un motor operando en baja velocidad demandará una corriente de magnetización alta, en relación con un motor de alta velocidad. El motor de baja velocidad tendrá, un bajo f.p. con relación con un motor de alta velocidad. Por ejemplo considérese un motor de 10 Kw:

FIG. 1.18
 COS ϕ DE UN MOTOR COMO UN FUNCION DEL NUMERO DE POLOS Y SU CARGA.



1.12 INSTALACION DE CAPACITORES.

Analícese el caso de una pequeña industria, que puede ser como sigue: El propietario quiere incrementar sus beneficios instalando un capacitor. Un mes después de haberlo instalado, se da cuenta que su f.p. ha disminuido de 0.44 a 0.18. La pregunta obligada es ¿Que ha sucedido?. Durante las horas de trabajo el capacitor de 50 Kvar ciertamente ha mejorado el f.p. PERO DURANTE LAS HORAS RESULTANTES, POR EJEMPLO, 16 HORAS AL DIA, HA PERMANECIDO CONECTADO Y GENERANDO POTENCIA REACTIVA, LO CUAL ES UN ERROR QUE SE DEBE DE TENER EN CUENTA: DESCONECTAR LOS CAPACITORES CUANDO NO ESTEN EN SERVICIO PARA ELIMINAR ESTE EXCEDENTE DE POTENCIA REACTIVA.

-No olvidar que algunos de los medidores de la energía reactiva, miden tanto la energía capacitiva como la energía inductiva.

La última meta en la corrección del f.p. es reducir ó eliminar el costo de la energía reactiva en la factura de la compañía de luz. Para hacer esto es necesario el distribuir las unidades

capacitivas dependiendo su utilización, en el lado del usuario del medidor de potencia.

Cuatro tipos de instalación pueden distinguirse a continuación:

- Compensación individual.
- Compensación en grupo.
- Compensación central.
- Compensación combinada.

Cada una de las instalaciones citadas anteriormente corresponden a una aplicación específica:

COMPENSACION CENTRAL

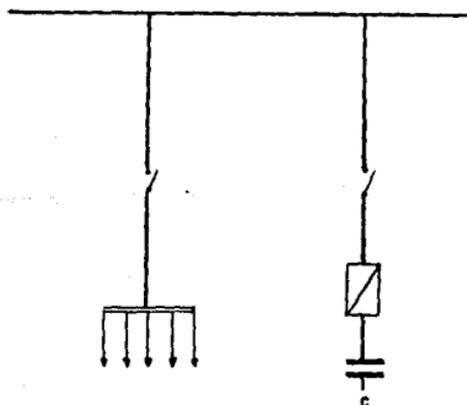
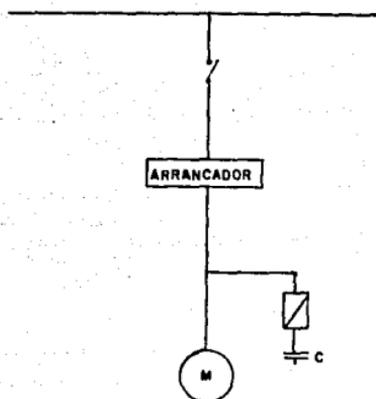
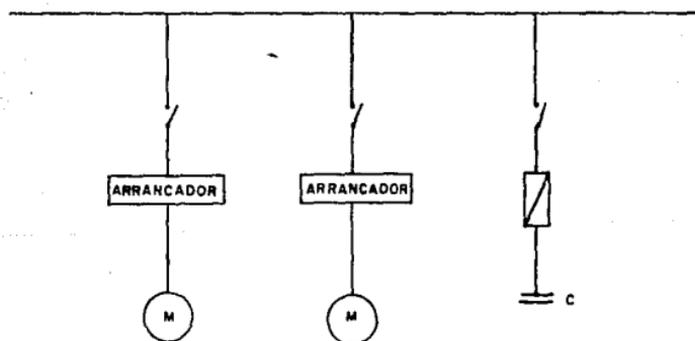


Fig. 1.14 COMPENSACION CENTRAL



COMPENSACION INIVIDUAL.

fig. 1.15



COMPENSACION EN GRUPO.

fig. 1.16

1.13 COMPENSACION DE MOTOR INDIVIDUAL

La compensación de motor individual es particularmente útil para motores de inducción. Las siguientes ventajas son obtenidas:

- Instalando los capacitores cerca de la carga, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño de la red.
- El arrancador para el motor, puede servir también como interruptor para el capacitor, eliminando así el costo del dispositivo de control del capacitor solo.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, no son necesarios controles complementarios.
- Los capacitores son puestos en servicio sólo cuando el motor está trabajando.

A) CONEXION DE CAPACITORES PARA MOTORES DE INDUCCION CON ARRANQUE DIRECTO

Existen tres formas de hacer ésta conexión:

1.13.a) Después de la protección térmica del motor. El capacitor es conectado simultáneamente con el motor. Sólo la potencia activa pasará a través de la protección del motor, y su valor debe por lo tanto, ser reducido adecuadamente.

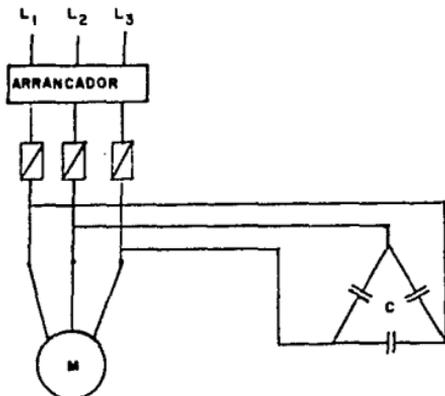
La potencia reactiva necesaria para el motor es alimentada directamente del capacitor.

1.13.b) Antes de la protección térmica del motor y con energización del capacitor y del motor simultáneamente. El valor de la protección térmica del motor, no debe de ser reducida, éste método es útil para conseguir compensación en una planta existente de bajo costo.

1.13.c Conexión permanente de capacitores en una red de carga. El valor de protección térmica del motor no será reducida, esta instalación requiere protección con fusibles y un interruptor para el capacitor.

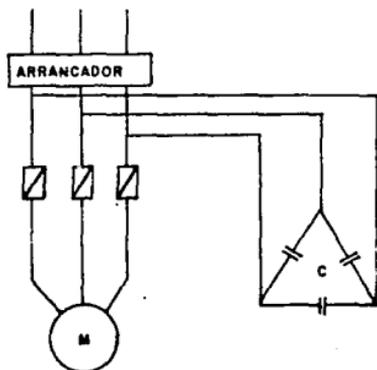
CONEXION DESPUES DE PROTECCION TERMICA

FIG 1.18



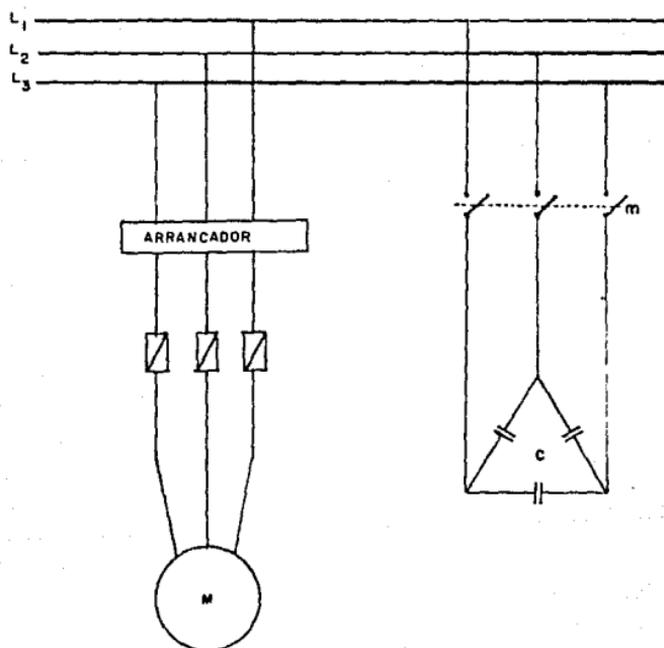
CONEXION ANTES DE LA PROTECCION TERMICA

FIGURA 1.19



CONEXION PERMANENTE

FIG 1.20



1.14 PERDIDAS EN LOS CABLES

Para la misma potencia activa transmitida en mejora en el factor de potencia significa una reducción de la corriente principal.

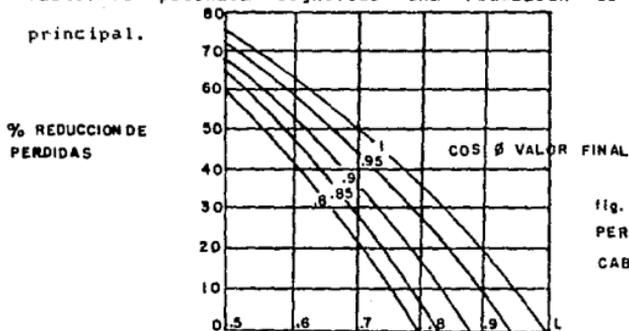


Fig. 1.21
PERDIDA EN
CABLES

Para un cable dado, las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente; para mejorar el factor de potencia de un valor inicial $\cos \theta_1$, un valor final $\cos \theta_2$, las pérdidas I^2R en watts pueden ser reducidas por el factor:

$$K = (1 - (\cos \theta_1 / \cos \theta_2)) \times 100 \text{ en } \% \dots\dots\dots (13)$$

Así se puede observar que existe una mejora en el $\cos \theta$ de 0.6 a 0.8 y se reducen las pérdidas en un 44 %, y una mejora del 0.6 al 1.0 que implican una reducción del 64 %.

Aunque estos son bien conocidos, poca atención es dada para las posibles mejoras en la economía.

1.15 PERDIDAS EN UN TRANSFORMADOR

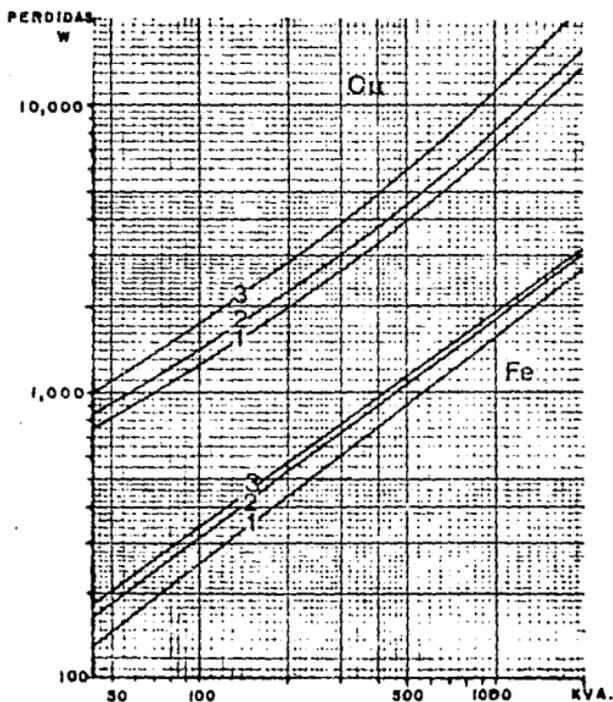
Las pérdidas en un transformador son dos clases diferentes:

- Pérdidas en el entrehierro (núcleo).
- Pérdidas en el cobre (embobinado).

Las pérdidas en el núcleo corresponden aproximadamente a la potencia disipada en el transformador, bajo condiciones sin carga.

Las pérdidas en el cobre varían en el cuadrado de la corriente y están directamente relacionadas con el factor de potencia.

Las pérdidas totales son iguales a las pérdidas en el núcleo más las pérdidas en el cobre, y a plena carga, corregido por la relación al cuadrado de las potencias a la carga dada dividida por la potencia a plena carga.



- 3-TRANSFORMADOR CON PERDIDAS NORMALES
- 2-TRANSFORMADOR CON PERDIDAS BAJAS
- 1-TRANSFORMADOR CON PERDIDAS EXTRABAJAS

fig. 1.22

VALORES DE LAS PERDIDAS DEL NUCLEO Y ENBOBINADO DE LOS TRANSFORMADORES EN FUNCION DE SU SALIDA NOMINAL

1.16 CAIDA DE VOLTAJE EN UN TRANSFORMADOR

Un transformador tiene una resistencia secundaria, y la inductancia (de fuga) sobre el primario y el secundario. Con el factor de potencia bajo, la caída de voltajes es más alto. Si el circuito es capacitivo, el voltaje de salida del transformador se incrementará.

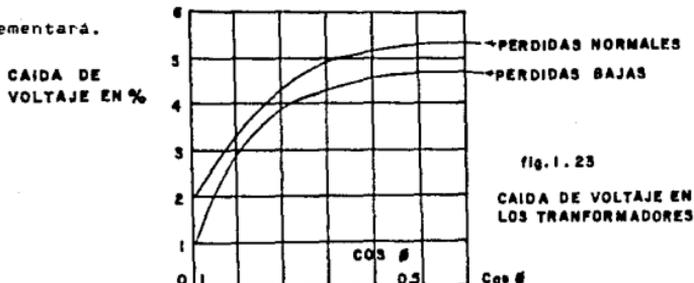


fig.1.23

CAIDA DE VOLTAJE EN LOS TRANSFORMADORES

1.17 CAIDA DE VOLTAJE Y CAPACIDAD MÁXIMA DE CABLES

Una línea de transmisión está eléctricamente construida por una resistencia y una inductancia en serie. (cerca de 0.4 a 0.9 μH y $\times \text{m}$).

La caída de voltaje en tal línea de transmisión, a través del cual una corriente con ángulo de fase θ fluye, la primer aproximación es dada a continuación: $\Delta v = I (R \cos \theta + \omega L \sin \theta)$

Para una red trifásica en donde la caída de voltaje máxima permitida es en $n\%$, la potencia máxima transmitida es:

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta \text{ -----(14)}$$

$$V = nV/\sqrt{3} \text{ -----(15)}$$

$$\text{La cual da } P = n^2 V^2 / (R + \omega l \operatorname{tg} \theta) \text{ -----(16)}$$

En la práctica el valor de n está entre el 5 y 10 %.

Iniciando de $\cos \theta = 0.4$ la capacidad de la línea aumenta casi linealmente hasta el valor de $\cos \theta = 0.8$, de ahí aumenta aún más

rapidamente. Como puede notarse, puede ser doblada cuando mejoramos el $\cos \phi$ de 0.65 a 1.0

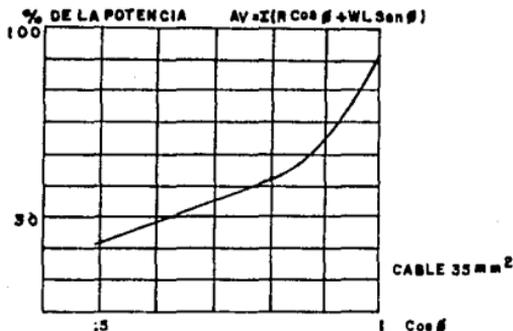


Fig. 1.24 CAIDA DE VOLTAJE EN CABLES

1.18 COSTO DE LA ENERGIA

Para proporcionar la potencia reactiva en los cables principales y a través de transformadores de alto voltaje, la compañía suministradora también debe de generar su potencia reactiva en sus máquinas.

Esto significa que las máquinas deben de ser sobredimensionadas o que los capacitores de potencia para alto voltaje deben de ser instalados. Es por ésta razón que las compañías de electricidad cobran tarifas más altas cuando el factor de potencia es bajo.

Existen varios sistemas

1.18.a CONOCIENDO LA POTENCIA REACTIVA.

El medidor instalado en el inmueble del usuario indica:

- La energía activa usada (KWH)
- La energía reactiva usada (KvarH).

De lo que se deduce:

$$\cos \theta = \text{KWH} / \sqrt{(\text{kWH}^2 + \text{KvarH}^2)} \quad \text{-----(17)}$$

$$\text{Tg } \theta = \text{KvarH} / \text{KWH} \quad \text{-----(18)}$$

Algunos países se refiere al valor de $\cos \theta$, otros al $\text{Tg } \theta$ para penalizar con cantidades, si el $\cos \theta$ es menor que cierto valor. Una bonificación es dada algunas veces si el $\cos \theta$ excede de un valor dado. Normalmente 0.9, sin embargo en México no es aplicable.

Esto significa que a más bajo factor de potencia el usuario tiene que pagar más por cada kWh usado.

1.18. b CONOCIENDO LA POTENCIA

El sistema instalado en el inmueble del usuario comprende:

- Medición de energía activa usada (KWH).
- Medición en la potencia aparente (Kva).

Es necesario el conocer el periodo durante el cual la fábrica está en operación, con el fin de determinar el $\cos \theta$, el cual está hecho para referencia en las fórmulas precedentes.

1.18.c EJEMPLO DE CALCULO (CANADA).

La cantidad mensual indicada:

Consumo: 28400 KWH Potencia Aparente : 199 Kva

Si la fábrica está trabajando 168 horas por mes, la energía aparente es calculada: $199 \times 168 = 33,430 \text{ kvaH}$.

calculando $\cos \theta = 28400 / 33430 = 0.85$

Para el mismo consumo (Kwh), el más bajo f.p. la más alta potencia aparente.

La gráfica siguiente muestra, para una unidad de potencia(kw), la evolución de los valores de la potencia aparente (kva) y la potencia reactiva (kvar) de acuerdo al valor de $\cos \phi$.

- Muestra que un factor de potencia pobre, conduce a un considerable incremento en los valores de las potencias aparente y reactiva con las inevitables consecuencias, tanto financieras como de desgaste de equipo.

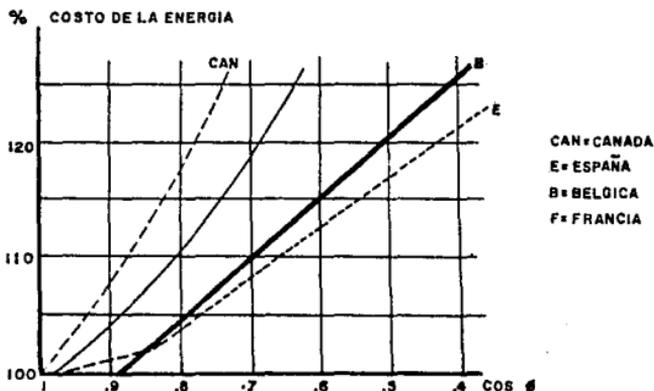


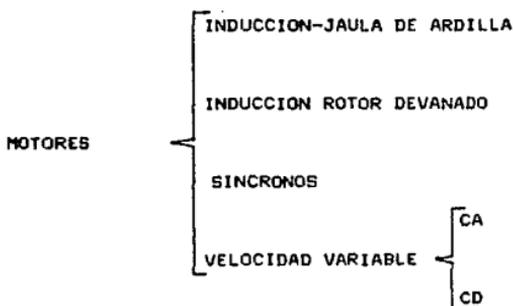
fig.1.25 PRECIO POR KWH COMO UNA FUNCION DEL $\cos \phi$ EN DIFERENTES PAISES

Como se vio anteriormente una de las causas por la que se afectado el f.p., es el consumo de potencia reactiva y activa de motores y transformadores.

Los motores son los principales consumidores de ésta energía en las industrias. Es por ésta razón que a continuación se da una breve descripción de los motores.

1.19 CLASIFICACION DE LOS MOTORES,

Los motores eléctricos transforman energía eléctrica en energía mecánica, por lo que su aplicación está definida por las características que imponen los requerimientos de la carga mecánica. Por esto el problema de aplicación de motores se basa en cálculos mecánicos que utilizan las leyes fundamentales de ésta ciencia.



El motor de jaula de ardilla no tiene devanado de alambre en el rotor. De acuerdo con los estándares NEMA, los motores de c.a. deberán llevar anotado en su placa de datos una letra de código como clave para mostrar los Kva por Hp que demanda el rotor cuando está bloqueado. La velocidad de éste tipo de motor depende

del número de polos del devanado del motor. En 60 ciclos un motor de 2 polos opera aproximadamente a 3450 RPM, uno de 4 polos de 1725, a 6 polos tiene 1150 RPM. Las placas del motor son generalmente marcadas con velocidades en plena carga, pero frecuentemente son referidos por sus velocidades "síncronas" (3600, 1800, 1200 RPM).

$$RPM_s = (120 \times f) / np \text{ -----(19)}$$

$$RPM_a = RPM_s - S \text{ -----(20)}$$

Donde : RPMs = velocidad sincrónica f = frecuencia

RPMa = velocidad asincrónica np= número de polos

S = deslizamiento

1.19.a PAR DE UN MOTOR

Por ésta fuerza "giratoria" ó de "contorsión" del motor usualmente medidas en libras-pie. Excepto cuando el motor es acelerado a alcanzar su velocidad, el par es relacionado con la potencia del motor por la fórmula siguiente:

$$\text{Par en lbs-pie} = (Hp \times 5252) / RPM \text{ -----(21)}$$

El motor de inducción de rotor devanado puede duplicar las características de cualquier motor de jaula de ardilla con excepción de los de la clase C. Las ventajas rotativas pueden enumerarse a continuación:

JAUJA DE ARDILLA

VENTAJAS

- 1.- Menor costo inicial.
- 2.- Construcción de un rotor más simple.
- 3.- Requiere de espacio más reducido.
- 4.- No produce chispas.

5.- No necesita de aparatos de control para el rotor.

DESVENTAJAS

1.- Alta corriente de arranque.

2.- El par de arranque de un motor está fijo.

3.- Para reducir la corriente de arranque se emplean aparatos costosos y que reducen mucho el par de arranque como el autotransformador.

4.- Velocidad fija.

5.- Para arranque repetidos requiere una clase especial.

ROTOR DEVANADO

VENTAJAS

1.- Pueden arrancar con carga tomando una corriente de arranque no mayor a la de plena carga.

2.- El control del estator es un simple interruptor.

3.- Se puede operar a velocidad reducida teniendo como límite a aquella a la cual la regulación sea mala.

4.- Se puede disponer de un par máximo de arranque cuando se necesite.

5.- Puede arrancarse repetidamente con mucho menor calentamiento que el de la jaula de ardilla, debido a que las pérdidas en el rotor se disipan en parte en la resistencia de arranque exterior al rotor, sin elevar la temperatura interior del motor.

DESVENTAJAS

1.- Costo inicial más alto que el de la jaula de ardilla, aunque el control es más barato que un autotransformador para éste.

2.- Necesidad de control del rotor.

3.- Ocupa más espacio.

4.- construcción más complicada del rotor, reparación más cara.

5.- Produce chispas en el colector.

Cuando el arranque es con cargas bajas e infrecuentemente, y la carga opera a velocidad constante y no hay restricciones a cerca de perturbaciones en la línea, el motor de inducción de jaula de ardilla es el indicado.

Cuando hay arranques con cargas pesadas o demasiado frecuentes y las líneas de alimentación son afectadas por disturbios, el motor de rotor de devanado es preferible.

APLICACIONES ESPECIALES

Además del uso normal, los motores de rotor devanado pueden ser usados como cambiadores de frecuencia. Esto es, si se alimenta el estator a voltaje y frecuencia normales, y se hace girar el rotor desde el exterior, se tiene en los anillos colectores un voltaje y una frecuencia que dependen de la velocidad y sentido de rotación. Operando éstas condiciones se tiene lo que se llama cambiador de frecuencia, el cual tiene bastante aplicación en la industria de trabajos en metal ó en madera y en general donde se requieren generadores que no excedan 100 Kw.

La frecuencia se obtiene:

$(\text{Polos} \times \text{RPM}) / 120 \times \text{la frecuencia normal} \text{-----}(22)$

A continuación se muestran frecuencias obtenidas en 60 ciclos en la línea, girando el motor en sentido contrario:

TABLA 2.2

VELOCIDAD	POLOS				
	RPM	2	4	6	8
3600	120	180	240	300	360
1800	90	120	130	180	210
1200	80	100	120	140	160
900	75	90	105	120	135

Una parte de la potencia generada por un cambiador de frecuencias de inducción, es transferidas del primario por efecto de transformador. La otra parte viene de la fuente de energía mecánica que produce la rotación.

1.19.b MOTORES SINCRONOS

Los motores síncronos se usan para mover cargas a velocidad constante debido a las siguientes ventajas:

- 1.- **CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.** Los Kva reactivos de un motor síncrono son menos costosos que los capacitores.
- 2.- **ALTA EFICIENCIA.** La eficiencia del motor síncrono es la 3^a mayor que la del motor de inducción, debido a la ausencia de deslizamiento y corriente de excitación. Las pérdidas de c.d. son de 1/2 a 1/5 de las del rotor de motor de inducción.
- 3.- **POSIBILIDAD DE FRENADO DINAMICO.** Este consiste en mantener el campo alimentado con el estator abierto, de tal manera que la reacción de las corrientes parásitas frenen el motor.

Las características especiales de arranque no perjudican la eficiencia a carga normal como el motor de inducción de alto deslizamiento.

En la especificación de motores síncronos intervienen las siguientes características:

1.- PAR A ROTOR BLOQUEADO

Es el par mínimo que desarrolla estando parado, en todas posiciones del rotor, cuando el estator está alimentado a frecuencias y voltajes nominales.

2.- PAR A SINCRONISMO

Este es el máximo par bajo el cual el motor puede llevar su carga a velocidades de sincronismo, cuando con voltaje y frecuencia normales se aplica excitación en el campo. El valor nominal de éste par es el que se desarrolla como motor de inducción a 95 % de la velocidad de sincronismo, a frecuencia y voltajes normales. Esta cantidad es útil para propósitos de comparación cuando no se conoce la inercia de la carga.

3.- PAR DE SALIDA

Este par es el máximo que el motor puede sostener durante un minuto a velocidad síncrona, con voltaje, frecuencia y excitación normales.

1.19.c APLICACION DE MOTORES SINCRONOS

ALTA VELOCIDAD (>500 rpm)

Molinos de hule, ventiladores, bombas, compresores centrifugas y recíprocas.

BAJA VELOCIDAD (< 500 RPM)

Laminadoras, molino de bolas, generadores de galvanoplastia, etc.

CLASIFICACION DE CARGAS SEGUN SU EFECTO EN EL ARRANQUE DE MOTORES SINCRONOS

TIPO	WR ²	PAR		EJEMPLOS
		ESTATICO	MARCHA A P. CARGA	
1	alto	bajo	bajo	Serras de banda, cortadores de tractor.
2	alto	bajo	alto	Cargas centrifugas, Ventiladores grandes (de trueno, por ejemplo).
3	alto	bajo	alto	Molinos de harina, Molinos de papel.
4	bajo	alto	alto	Molinos de trilo, Batidores de papel, Molinos de trilo o bolas para cemento.
5	bajo	bajo	bajo	Máquinas accionadas sin carga como compresores de aire o Jordans en fabricas de papel.
6	bajo	bajo	alto	Bombas centrifugas o ventiladores de fuerza alta o mediana.

TABLA 1.4

CARACTERISTICAS DE MOTORES SINCRONOS

(EN % DE LOS VALORES DE PLENA CARGA)

MOTOR	No. DE POLOS	PAR DE ARRANQUE	PAR DE SINCR.	PAR DE SALIDA	CORRIENTE DE ARRANQUE
DE APLICACION GENERAL					
FP = 1.0	4	110	110	150	550 750
	6-14	110	110	175	550 750
FP = 0.8	4	125	125	200	500 700
	6-14	125	125	250	500 700
MOTORES GRANDES DE ALTA VELOCIDAD					
514 a 1200 rpm					
FP = 1.0	4-14	110	110	150	550 750
	600 HP y mayores	4-14	85	85	150
FP = 0.8	4-14	110	110	200	500 700
	600 HP y mayores	4-14	85	200	500 700
MOTORES DE BAJA VELOCIDAD					
450 rpm y menores					
FP = 1.0	-	40	40	150	275 500
	-	40	40	200	275 500
Motores para compresores					
-	40	70	140	275 500	

TABLA 1.5

Aquellas aplicaciones que requieren alto par de arranque, combinado con baja corriente de arranque, serán cubiertas con motores "especiales de alto par".

Los motores sincronicos son generalmente arrancados con el circuito de campo en corto circuito, en serie con la resistencia de descarga.

Pleno voltaje ó voltaje reducido, es aplicado al estator, produciéndose el par de arranque del rotor en campo y en el devanado amortiguador cuando existe éste.

1.19.d. MOTORES DE VELOCIDAD VARIABLE C.D.

El control de los motores de c.d. mediante voltaje aplicado, conocido como "Sistema Ward Leonard" sirven para aquellas aplicaciones que requieren velocidades en proporciones de 10 a 1 hasta 40:1. El campo más común para éste control es la industria textil y papelería. El número de aplicaciones de éstos sistemas tiende a aumentar debido a la precisión de control que permite.

Este método se emplea en su forma más simple:

- 1.- Un generador de corriente directa movido a velocidad constante (generalmente una unidad motor-generador).
- 2.- Uno ó más motores de corriente directa, cuyas armaduras pueden ser alimentadas por el mismo generador.
- 3.- Una fuente de corriente directa para la excitación de los campos del generador y de los motores (generalmente por un excitador directamente conectado).
- 4.- Equipo de control para arrancar, parar y modificar la velocidad de los motores, así como la protección para sobrecarga y bajo voltaje.

Un diagrama esquemático del conjunto es como sigue:

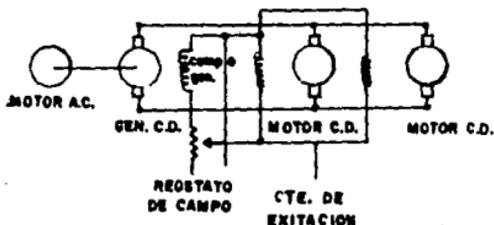
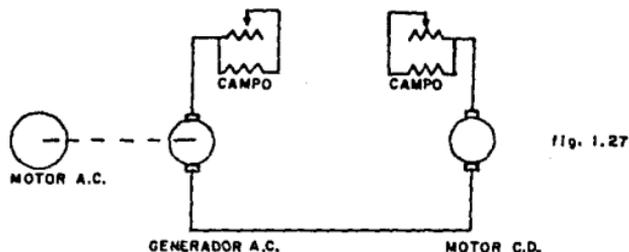


Fig. 1.26

El sistema giratorio de c.d. a un voltaje variable puede emplear generador y motor en serie, simplificando entonces considerablemente la instalación, ya que desaparece entonces la fuente separada de c.d. para la excitación. El diagrama simplificado el que sigue:



Esta conexión, posee alto par de arranque del motor serie de corriente directa con reostato ajustado de 1/10 de la velocidad máxima, el par de arranque puede ser 5 ó 6 veces el de plena carga.

El tamaño del reostato es el factor que limita el tamaño que el sistema serie puede construirse económicamente (hasta 15 Hp aproximadamente).

El sistema serie se aplica a cargas que requieren alto par de arranque.

El sistema convencional (motor-generador, shunt, excitación separada se puede obtener todos los tamaños y puede permitir una variación de velocidad de 40 a 1 debido a que variando el voltajes se obtiene 10:1 y con el ajuste de campo de 4:1.

El sistema serie solo permite variación total de 10:1 aunque en operaciones de pequeña duración puede alcanzarse una relación de 20:1.

CAPITULO II

DESCRIPCION DE CURVAS DE DEMANDA

2.1 ANALISIS DE CURVAS DE DEMANDA

El objetivo de las curvas de demanda, es saber como varia el consumo eléctrico conforme transcurre el tiempo, resultando una información de gran utilidad, sobretodo cuando se desea ahorrar energía eléctrica, ó programar expansiones de consumos futuros, pudiéndose observar problemas derivados por malos hábitos en el arranque de la carga, ó problemas, que muy pocas industrias toman en cuenta, que son los de tipo sindical que básicamente se reducen en una forma incorrecta de administrar los recursos humanos, existiendo vicios tales como el horario de los alimentos se realizan en una sola hora, de tal forma que toda una industria puede ser paralizada durante media hora, en perjuicio del consumo de energía, es tal es el caso de la industria patrón que en éste trabajo se menciona.

Este tipo de problema así como otros de carácter administrativo, podrán salir a relucir por medio de un adecuado estudio de la carga.

Lo anterior se puede lograr registrando los consumos de los kilowatts que se consumen en un determinado tiempo, prefijado anteriormente, pudiendo ser en lapsos de una hora, ó de intervalos de tiempo menores para que la información resulte más precisa.

Este control no sólo se debe de realizar en la industria, sino también lo lleva a cabo la Comisión Federal de Electricidad, para en un momento dado saber como se comporta la carga en un lugar determinado, con el objeto de satisfacer las demandas críticas, así como, el estudio para nuevas plantas generadoras, toda la

información se realiza en forma estadística, para que sea de total interés, tanto en actividades actuales, como futuras, a continuación se muestran algunas curvas de demanda registradas por computadora, y proporcionadas por la Comisión Federal de Electricidad.

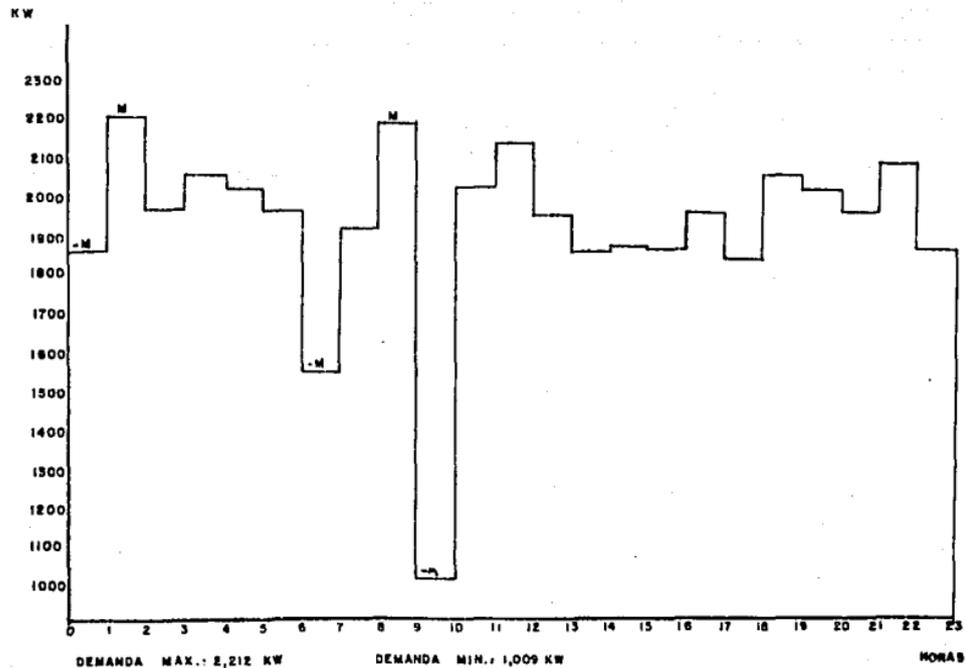


Fig. 2.1 CURVA DE DEMANDA DE LA INDUSTRIA PATRON

Con el objeto de demostrar la utilidad de las curvas de demanda, se procedió a realizar mediciones en la industria patrón, en los aparatos de medición suministrados por la compañía suministradora, para posteriormente graficarla conforme transcurre el tiempo.

Las mediciones fueron realizadas en condiciones normales de operación en un día escogido al azar, correspondiente al 10 de julio de 1990.

La gráfica muestra un consumo de 1924 Kw, siendo la demanda máxima de 2212 Kw, y de 1009 Kw la mínima.

Se puede observar claramente en la gráfica los puntos marcados por: La letra M representará que se consideran los "picos" de demanda, siendo, contrariamente, las disminuciones de consumo las denotadas con la M- .

El objetivo primordial de esta curva, es precisamente, que el consumo se comporte de un manera más estable, gráficamente se entenderá que la curva se comporte lo más lineal posible, esto es, atenuar los "picos" tanto de consumo como los producidos por una disminución de consumo. En la gráfica se puede observar, que entre las 8 y 9 de la mañana, que el consumo decrece hasta un valor cercano a la mitad de la demanda media y que corresponde a la hora de desayuno, por lo tanto, aquí se puede observar un problema de tipo sindical, que se puede resolver mediante el escalonamiento del horario de desayunar, seccionándolo en tres horarios, con diferencias de entre 15 y 25 minutos entre ellos, es por ésto que se considera una medida sindical, realizando éste escalonamiento de la hora de desayuno, se calcula sacar de

servicio sólo el 35% aproximadamente del total de las máquinas por cada media hora, obteniéndose ventajas tanto en el consumo, benéfico para atenuar la demanda máxima, así como para reducir los picos de consumo.

Entre las 6 y las 7 de la mañana se puede ver otro "pico" inverso, y que se considera un problema de tipo de administración de los recursos humanos, pues, en este horario se realiza el cambio de turno, en donde los oficiales de la maquinaria suelen parar las actividades mucho antes que su hora de salida, para preparar sus cosas así como también cambiarse de ropa, perdiéndose tiempo de producción así como energía (vapor y eléctrica).

En los otros cambios de turnos (23 hrs, 16 hrs) no se registra este problema, pues los picos no son tan severos, debiéndose sencillamente, a que tanto el primer turno, así como el segundo, cuentan con jefes de departamento, que suelen exigir la cabal entrega del turno, resultando el problema cuando se entrega del tercero al primero y debiéndose que en el tercer turno no existen los jefes de departamento, habiendo solo un jefe de planta, que no puede controlar la cabal entrega del turno.

Para este caso se propone que también el tercer turno cuenten con jefes de departamento, así como, entregar los turnos con maquinaria trabajando a su capacidad nominal, al siguiente turno, para evitar los "picos". Estas son sólo medidas que implican únicamente la implantación de políticas de disciplina y no un gasto para la empresa; que conducirá a ésta a un importante

ahorro, tanto en energía como en la duración del equipo por paros
inecesarios.

CAPITULO III
LIMITACION DE LA PRODUCCION EN
" HORAS PICO "

3.1 LIMITACION DE LA PRODUCCION EN LAS HORAS PICO

En el capítulo anterior se realizó un estudio de curvas de demanda pues resultan ser de gran importancia para la planeación, tanto en la producción en la industrias, como la expansión del equipo de la compañía suministradora, para asegurar la continuidad de sus servicios; por ejemplo, para atenuar las curvas de demanda que registran la CFE, a nivel industrial, se pueden establecer medidas que ayuden a racionalizar el consumo de energía; como en el caso de Japón, Alemania, Inglaterra, en donde cuentan con incentivos tales como: La tarifa especial nocturna, consisten en dar energía eléctrica más barata, con ésta medida se ayuda en desahogar la curvas de demanda en horas pico.

Con ésta medida en algunos países, se recurre al bombeo nocturno de agua para llenar las presas y así poder generar energía eléctrica cuando ésta se requiera.

La compañía suministradora, en un momento dado debe de decidir sus prioridades de carga. Donde las de mayor urgencia son alimentadas en primer término, tales como: Hospitales, vías de comunicación (teléfono, telégrafo, radio, televisión, etc), transporte, oficinas gubernamentales, bancos, comercios, casa habitación etc.; y donde la compañía suministradora puede exigir en circunstancias especiales, el sector industrial el adecuado uso de la energía eléctrica así como el cuidado de su demanda máxima, de tal forma, por ejemplo:

En la tarifa No. 8 el Kw de demanda máxima es de \$20,375.89, siendo el precio de Kw de tarifa ordinaria de \$78.4035.

Para reducir el consumo de Kw de tarifa de demanda máxima es de suma importancia el arranque de motores de una forma adecuada, así como seleccionar el arrancador adecuado y el tipo de arranque que requiera cada carga dada sus características de corriente de arranque, par, etc.

3.1.a ARRANCADORES

Los motores pueden ser dañados o reducida su vida efectiva, cuando se encuentran sometidos a una corriente constante ligeramente mayor que su corriente de plena carga o factor de servicio. Dañando el material aislante y el devanado del motor, pueden también ocurrir con corrientes extremadamente elevadas pero de corta duración como es el caso del corto circuito y fallas a tierra. Toda corriente en exceso a la de plena carga, puede ser clasificada como sobrecorriente. Sin embargo, en general, debe de hacerse una distinción basada en la magnitud de la sobrecorriente y en el equipo que va a protegerse.

Una sobrecorriente originada por corto circuito o tierra, es mucho más elevada que las corrientes de rotor bloqueado. En equipo utilizado para proteger cualquier daño debido a este tipo de sobrecorriente, debe protegerse, no sólo al motor, también a los conductores del circuito y el controlador del motor.

3.1.b. PROTECCION POR SOBRECORRIENTE

La función del dispositivo protector de la sobrecorriente es la de proteger a los conductores y circuitos derivados del motor, los aparatos de control, así como al motor mismo de los cortos circuitos y tierras. Los dispositivos más comunes para la protección son los interruptores termomagnéticos y los fusibles.

El dispositivo para la protección de corto circuito, podrá llevar la corriente inicial del motor, pero éste dispositivo no llevara calibración que exceda el 250 % de la corriente de plena carga cuando no haya una letra o clave de rotor bloqueado del motor; ó de 150 a 250 % de la corriente de plena carga, dependiendo de la letra clave que lleva el motor. Cuando no tenga la capacidad suficiente para llevar la corriente de arranque del motor puede aumentarse su calibración, pero en ningún caso se exceda el 400 % de la corriente en plena carga.

3.1.c SOBRECARGAS

El efecto de sobrecarga es una elevación de temperatura en el devanado del motor. Mientras mayor sea la sobrecarga más rápidamente se incrementará la temperatura, a punto tal que dañe los aislamientos del motor así como su lubricación.

La relación entre sobrecarga y tiempo se ilustra a continuación:

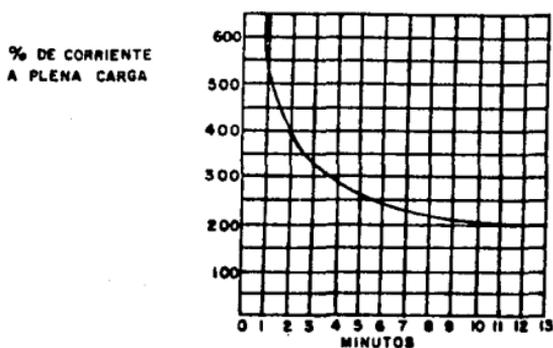


fig. 3.1 CURVA DE CALENTAMIENTO DEL MOTOR

3.1.d. ARRANQUE MAGNETICO

Un alto porcentaje de aplicaciones requieren que el controlador tenga la suficiente capacidad de operación desde localizaciones apartadas ó que tengan una operación automática en respuesta a señales que le lleguen desde algún dispositivo piloto, tales como termostatos, interruptores de flotador ó presión, etc.

el principio de operación que distingue un arrancador magnético a un manual, es el uso del electroimán, que consiste en una bobina de alambre devanada en un núcleo de hierro. Cuando la corriente se envía a través de la bobina se produce un fuerte campo magnético que atrae la barra de hierro llamada armadura. Con el control manual, se debe de montar el arrancador de tal manera que sea accesible al operador. En infinidad de industrias se encuentra en su mayoría el uso de motores de corriente alterna.

tabla de métodos de arranque para motores de C.A.

MOTOR		ARRANCADOR	MÉTODO	OPERACION	CLASE	OBSERVA- CIÓN
TIPO	FASES					
Inducción Jaula de Ardilla	Monofásico	A Tensión Plena	_____	Manual	2510	Baja Tensión
			_____	Magnético	8536	
	Trifásico	A Tensión Plena	_____	Manual	2510	Baja Tensión
			_____	Magnético	8536	
			Comb. con Int. de Fusibles	Magnético	8538	
			Comb. con Int. Termomag.		8539	
			Reversible		8736	
			_____	Magnético	8198	
		A Tensión Reducida	Por Resistencia Primaria	Magnético	8547	Baja Tensión
			Por Autotransformador	Manual	2605	
	Magnético			8606		
	Por Reactor		Magnético	8924		
	Estrella - Delta Desenado Bipartido 2 - Velocidades	CAMBIO DE CONEXIONES DE LOS DEVANADOS DEL MOTOR	Magnético	8730	Baja Tensión	
			8640			
			8810			
Rotor Desenado	Trifásico	Control Secundario	Por Resistencia Secundaria	Magnético	8550	Baja Tensión
Síncrono	Trifásico	A Tensión Plena	_____	Magnético	8198	A.T. en Aire
			_____		8820	
		A Tensión Reducida	Por Resistencia Primaria		8821	Baja Tensión
Por Autotransformador		8822				

TABLA 3.1

3.1.e COMPONENTES DE UN ARRANCADOR

- 1.- Contactos.
- 2.- Cámara de arqueo
- 3.- Armadura
- 4.- Núcleo.
- 5.- Bobina
- 6.- Relevador de sobrecarga.

3.1.f MANTENIMIENTO DE UN ARRANCADOR

Para mantener en buenas condiciones un arrancador, es necesario revisar periódicamente (mínimo 2 veces por año) las siguientes partes:

Contactos, pantallas de arqueo, bobina, contactos del núcleo magnético, limpieza general.

PARTES DE REPUESTO DE UN ARRANCADOR:

Bobina, contactos, resortes y elementos térmicos.

3.2 PLANEACION DE LA PRODUCCION

Un gran número de empresas mantienen sus diferentes departamentos trabajando en forma continúa, y a toda su capacidad, sin importar que exista un exceso de materia para el siguiente departamento en la llamada línea de producción.

Referente a esto existen formas de planear la producción con métodos tales como el llamado "cero inventario" y que básicamente expone, que entre un departamento y otro no existan excedentes de producto, de tal forma que el ritmo de producción sea continuo.

Por ejemplo, supongase 2 departamentos, el A y el B, donde la dirección de producción es de A a B, es decir, A le suministra producto a B; si la capacidad de producción de B es 500 unidades

por cada 24 horas, éstas mismas unidades deberá suministrar el departamento A más un pequeño excedente de garantía por si se tuviera error de producción, de tal manera sólo circulan en los departamentos, el producto que será terminado, sin tener excesos en los demás departamentos.

Con ésta visión el tiempo de trabajo empleado por las máquinas, así como por los trabajadores será el mínimo, pudiéndose recortar tiempos de operación de maquinaria, y con esto ultimo se logrará una planeación para un eficiente programa de mantenimiento.

Otra de las estrategias que suelen seguirse, es la llevar un control estricto de la calidad del producto, para que éste no retorne a los diferentes departamentos por un acabado defectuoso, y ahorrando así energía eléctrica, mano de obra y materia prima.

Una solución alternativa para la planeación de la producción, es calcular por medios estadísticos, la relación que guarda la producción vs. energía eléctrica consumida. Resultando un indicador muy útil, pues así se puede descubrir oportunamente cuando la producción es anómala, pues observando lo producido y lo consumido se verá cuan eficiente es la política de producción así como la planeación.

3.3 ARRANQUE DE UN MOTOR

Un motor asíncrono jaula de ardilla puede ser comparado eléctricamente hablando con un transformador con el secundario en corto circuito. El resultado es una corriente absorbida (de arranque) muchas veces más alta que su valor de carga.

Para motores de baja potencia, éste exceso de corriente es tan corta en el tiempo que el motor puede resistirlo.

Para potencias altas el voltaje de arranque es reducido, ya sea por acoplamiento estrella de los devanados de arranque, en el caso de motores de media potencia conectándolos entonces en delta.

Para potencias altas, resistencias en serie son usadas por el motor. Esta forma de arranque tiene la desventaja de reducir el par de arranque. Un autotransformador de arranque es usado para contrarrestar ésta desventaja.

3.3.a. AUTO-EXCITACION

Cuando un motor es desconectado, la energía cinética del motor y la carga puede ser transformada en energía eléctrica si los circuitos son cerrados.

Esto puede ocurrir con motores de jaula de ardilla asíncronos.

Un capacitor de valor suficiente conectado a las terminales del estator de un motor síncrono ó asíncrono cuyo rotor puede causar auto excitación de la máquina.

3.3.b MOTOR DE ARRANQUE DIRECTO.

Tómese el caso en que el capacitor para la corrección del factor de potencia es conectada directamente al motor.

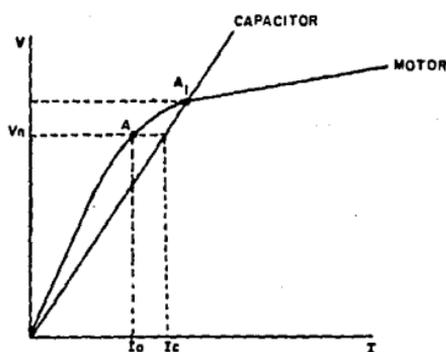
El punto de trabajo del motor sin carga (A) ocurre justo antes de la región de saturación. Que corresponde al voltaje nominal (V_n) y la corriente sin carga (I_0). (ver fig 1-4).

Supongase que el capacitor elegido para mejorar el factor de potencia compensa al menos la corriente sin carga. Déjese que ésta corriente sea lo(más grande que I_0) al voltaje V_n .

En el caso de auto-excitación con un interruptor común, el voltaje asumirá inmediatamente el valor dado por A_1 , el punto de intersección de las dos curvas características.

Habrà un sobrevoltaje significativo. En este instante las pérdidas en el cobre y del hierro del motor, demandará energía y también tendrá una acción de frenado en el rotor. Solamente si hay una pequeña inercia, será el sobrevoltaje de corta duración porque durante la caída lenta del rotor, el voltaje disminuirá rápidamente. En la práctica este problema puede ser resuelto asegurando que la corriente del capacitor sea igual o más pequeña que la corriente de magnetización del motor. En valor común es el cercano al 90 % de la corriente sin carga.

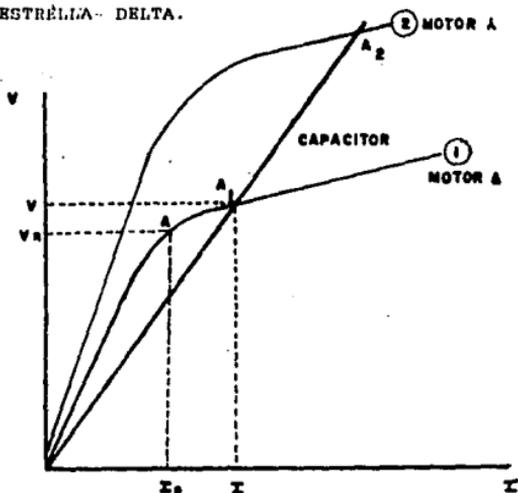
FIG. 3.2 CURVA DE MAGNETIZACION DE UN MOTOR CON UN CAPACITOR CONECTADO EN PARALELO.



El sobrevoltaje antes discutido puede ser aún más significativo si tenemos un motor con arreglo de arranque estrella-delta que después de conectarlo a la red se deja conectado a través de los devanados de la conexión estrella. La curva de magnetización para la conexión estrella sigue la curva 2 y la intersección de las curvas características para el motor y el capacitor, A2, corresponde al voltaje de 2.5 a 3 veces el voltaje V_n .

Para evitar éste problema, uno debe usar un arrancador estrella-delta que cuando este en la posición "paro" tenga tres devanados completamente aislados, sin conexiones entre ellos mismos o con la red.

fig. 1.3 CURVA DE MAGNETIZACION DE UN MOTOR CON ARREGLO DE ARRANQUE ESTRELLA- DELTA.



CAPITULO IV

SOLUCION DE PROGRAMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN LAS "HORAS PICO"

SOLUCIONES DE PROGRAMACION DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN LAS HORAS PICO

Vista ya la problemática que resulta de analizar las curvas de demanda, sólo resta dar soluciones prácticas a los problemas planteados.

4.1 MEDIDAS QUE PUEDE TOMAR LA INDUSTRIA PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.

El objetivo de éste capítulo, es dar información, así como posibles soluciones a los diferentes problemas que representa el uso de la energía eléctrica.

4.1.1 ALUMBRADO

El alumbrado deberá de utilizarse sólo cuando las condiciones de luminosidad así lo requieran y apagarlo cuando no sea necesario.

Otra de las medidas sería cambiar el alumbrado incandescente a fluorescente, pues de tal manera se obtiene un importante ahorro de energía eléctrica, con la misma iluminación.

a continuación se muestran las tablas comparativas de las características de ambos alumbrados.

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUMENS.

INCANDESCENTE		FLUORESCENTE	
POTENCIA ELEC. EN WATTS.	FLUJO LUMINOSO EN LUMENS	POTENCIA ELEC. EN WATTS.	FLUJO LUMINOSO EN LUMENS
15	135	LUZ BLANCA	
25	240	6	180
40	400	8	300
60	640	15	615
75	940	20	800
100	1380	30	1450
150	2280	40	2100
200	3220	65	2100
300	5250	100	3350
500	8500	LUZ DE DIA	
750	15300	6	155
1000	21000	8	250
1500	34000	15	495
2000	41600	20	730
		30	1200
		40	1700
		65	1800
		100	3350

Por ejemplo:

Si se tuvieran 350 focos incandescentes de 100 watts c/u, según la tabla se tendría 1380 lumens c/u, con un total de 483,000 lumens totales y consumiendo una potencia de 35 Kw.

Si la intensidad luminosa del alumbrador fluorescente es de 3350 lumen por cada 100 watts, implica el obtener los mismos 483,000 lumens con sólo 14.42 Kw, que implica sólo el 41% de la potencia en Kw del alumbrado incandescente y con la misma intensidad lumínica.

De ésta manera se obtiene un importante ahorro de energía eléctrica.

4.1.b FACTOR DE POTENCIA

La demanda de potencia reactiva varía con las condiciones de carga, disminuyendo en forma apreciable cuando se observan condiciones de baja carga.

Corrigiendo el factor de potencia se logra básicamente:

- a) Reducir el pago de la compañía suministradora por concepto de bajo factor de potencia.
- b) Dependiendo de la ubicación de los capacitores se podrá ahorrar calibre de cable.
- c) Reducción del pago de energía facturada, por altos consumos de corriente.

4.1.c. MOTORES DE CAPACIDAD ADECUADA.

Este aspecto es de mucha importancia, ya que una gran cantidad de empresas no tienen en cuenta el problema que se genera por el mal cálculo de motores.

El objetivo y la importancia de éste punto, se reduce a calcular la potencia adecuada de los motores, de acuerdo a la

carga a manejar, más un porcentaje de la capacidad del motor como reserva a condiciones de alguna posible sobrecarga, y suele ser aproximadamente un 10 %. En caso de poner un motor de potencia muy sobrada, el factor de potencia se verá disminuído por el aumento de potencia inductiva.

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 que se encuentra atrazada 90° respecto a la corriente activa que demanda el motor. Dado éstas corrientes son cantidades vectoriales, la resultante como se conoce a la corriente de línea que demanda el motor y que forma un ángulo ϕ con respecto a la corriente activa .

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

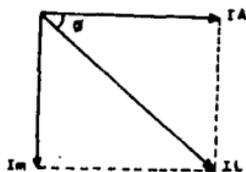


fig. 4.1

f.p. EN UN MOTOR A PLENA CARGA

De lo anterior se desprende, que si se tiene la corriente de magnetización constante y la carga es menor, implica tener un f.p. menor por lo tanto habrá que tomar especial atención a la capacidad de los motores de inducción.

f.p. EN UN MOTOR A BAJA CARGA

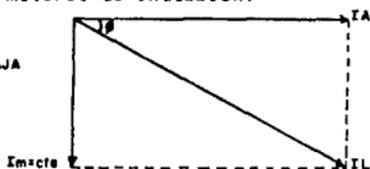


fig. 4.2

4.1.d. CABLES

Controlando el problema que representa el factor de potencia, la selección adecuada del sistema de iluminación así como el cálculo adecuado de la capacidad de los motores, se verá un considerable ahorro, derivado de la disminución de la corriente de línea que la carga consume, por lo tanto se tendrá también un ahorro tanto en la capacidad de la subestación, así como de los cables alimentadores. A continuación se describen los factores que deben de tomarse en cuenta para la óptima selección de los cables.

Para lograr esto será pertinente considerar aspectos tales como:

AGENTES MECANICOS.

La mayor parte de los ataques mecánicos que sufre un conductor se deben a agentes externos como lo es al desempaque, manejo e instalación, que pueden afectar las características del conductor, por lo que es necesario prevenir el deterioro por agentes externos, usando las técnicas adecuadas para el manejo e inserción de los cables en las canalizaciones.

Los agentes que pueden afectar mecánicamente a un conductor se pueden dividir en cuatro clases:

A) PRESION MECANICA : Se puede presentar en el manejo de los cables por su paso ó colocación de objetos pesados sobre éstos, su efecto puede ser la deformación permanente del aislamiento, disminuyendo el espesor del aislamiento; y apareciendo fisuras que pueden provocar fallos eléctricos futuros.

B) ABRASION : Es un fenómeno que se presenta al cablear sobre canalizaciones, cuando los conductores son sometidos a escoriaciones debidas a rebabas ó rebordes punzocortantes durante el manejo del cable.

C) ELONGACION: El reglamento de Obras Instalaciones Eléctricas marca que no debe de haber dos curvas de 90º en una trayectoria unitaria de tubería, cuando se tiene un número mayor de curvas se puede presentar el fenómeno de elongación.

Los conductor de cobre se debe de tener la precaución que la tensión no exceda de 7 Kg/mm^2 , ya que corre el riesgo de alargar el propio metal, creándose un aumento de la resistencia eléctrica, por la disminución de la sección del conductor.

D) DOBLEZ A 1802 : El problema se presenta principalmente por el mal manejo del material de tal forma que las moléculas del aislamiento que se encuentra en el exterior se encuentran sometidas a la tensión, y las que se encuentran en la parte interior a la compresión, éste fenómeno se conoce como la formación de cocas.

AGENTES QUÍMICOS.

Un conductor se ve sujeto a ataques por agentes químicos, que pueden ser diversos, y que dependen de los contaminantes que se encuentran en el lugar de la instalación.

Estos agente químicos se pueden dividir en cuatro tipo generales: agua-humedad, hidrocarburos, ácidos, álcalis.

Por lo general, no es posible eliminar en su totalidad los contaminantes de una instalación eléctrica, lo que es necesario el empleo de los conductores eléctricos que resistan los diferentes contaminantes en cada instalación eléctrica.

Las fallas por agentes químicos en los conductores se manifiestan como una disminución del espesor del aislamiento, como lo son las grietas con trazos de sulfatación en el aislamiento, o por oxidación en el aislamiento, el caso típico que se manifiesta con el desprendimiento en forma de cáscara ó escamas.

En la siguiente tabla, se indican algunas de las propiedades de los aislamientos, a la acción de los contaminantes más comunes.

TABLA 41

TIPO COMERCIAL	ALCALIS	ACIDOS	HUMEDAD	HIDROCARBUROS
TW	MUY BUENO	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO
VINANEL 900	MUY BUENO	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO
VINANEL NYLON	MUY BUENO	EXCELENTE	EXCELENTE	INERTE
VULCANEL EP	MUY BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR
VULCANEL XLP	MUY BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR

- AGENTES ELECTRICOS

Dende el punto de vista eléctrico, la habilidad de los conductores de baja tensión se mide por la rigidez dieléctrica del aislamiento, que es la que determina las condiciones de operación, manteniendo la diferencia de potencial dentro de los límites de seguridad, permite soportar sobrecargas transitorias e impulsos provocados por cortos circuitos.

Normalmente se expresa la rigidez dieléctrica en Kv/mm.

Difícilmente un cable de baja tensión falla, (600 V, que es la tensión máxima), por causas eléctricas, en la mayoría de los casos fallan por fenómenos térmicos provocados por sobretensiones sostenidas, o deficiencias en los sistemas de protección en caso de corto circuito.

4.1.e SELECCION DEL CALIBRE DE CONDUCTORES DE BAJA TENSION.

Se seleccionan tomando en cuenta los siguientes factores:

1. Capacidad de conducción de la corriente.
2. Caída de voltaje.

Estos dos factores se consideran por separado para un análisis, pero se consideran simultáneamente para la elección de un conductor: como es posible que los resultados de la elección de un conductor difieren considerando estos factores, entonces se

debe de tomar como bueno el que resulte de mayor sección, ya que de ésta manera el conductor se comportará satisfactoriamente desde el punto de vista de caída de voltaje y cumplirá los requerimientos de capacidad de corriente.

4.1.f CALCULO DE CONDUCTORES POR CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE

La capacidad de conducción de un conductor (capacidad) se encuentra limitada por los siguientes factores:

- Conductividad del metal conductor.
- Capacidad térmica del aislamiento.

Desde el punto de vista conductividad se ha elaborado tablas que dan la resistencia eléctrica de los conductores de cobre, factor que es muy importante, en virtud que determina las pérdidas de potencia eléctrica al paso de la corriente según la fórmula de la ley de Joule, que dice: $W = RI^2$, donde R= resistencia eléctrica, I= corriente eléctrica, W = Potencia.

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

Por otra parte, se sabe que los conductores tienen una resistencia que varía con la temperatura, y los datos de resistencia están dados a una temperatura a 60°C, por lo que al calcular la resistencia del conductor a cualquier otra temperatura se debe corregir mediante la fórmula:

$$R_t = R_{60} [1 + \alpha(T-60)] \quad \text{-----(23)}$$

Donde: R_t = Resistencia a la temperatura deseada, T = temperatura considerada, α = coeficiente de corrección en ohms/cº. (en el caso del cobre, su valor es 0.00385).

El cálculo del conductor de acuerdo con su capacidad de conducción de corriente, considerando el efecto térmico; se establece una analogía con la ley de Ohm para circuitos eléctricos, que expresa la caída de voltaje en un circuito (V) cuando circule una corriente (I) a través de una resistencia (R).

$$V = RI \quad \text{-----} (24)$$

Se tiene una ecuación para un medio en el cual está circulando calor y que establece que un incremento de temperatura es igual al calor circundante en el medio multiplicado por la resistencia térmica del mismo y que expresa como:

$$\Delta T = R_m \cdot W \quad \text{-----} (24')$$

Donde ΔT = Incremento o caída de temperatura en $^{\circ}C$.

W = Calor circundante en Watts /m.

R_m = Resistencia térmica del medio en $^{\circ}C\text{-m} / \text{watt}$

Suponiendo el caso de un conductor aislado dentro de un tubo conduit y que la temperatura T_a ambiente es menor que la producida por el conductor T_c , entonces el calor fluye del conductor hacia el medio ambiente, pasando por su aislamiento, el aire contenido en el tubo y en el tubo mismo. Cada uno de estos tendrá una resistencia al paso del calor de acuerdo de sus características propias.

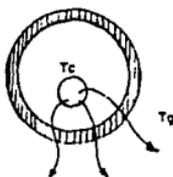


fig. 4.3

La variación de temperatura desde el punto más caliente hasta el punto más frío está dada por :

$$\Delta T = T_c - T_a \text{ -----(25)}$$

En el calor que produce el conductor es exclusivamente el debido a efecto Joule:

$$W = RI^2 \text{ watts/m -----(26)}$$

Donde : R= Resistencia del conductor en ohms/m.

I= Corriente que circula por el conductor en amperes.

La resistencia térmica R_x es la suma de las resistencias térmicas de los distintos medios desde el punto más caliente hasta el punto más frío.

$$R_x = R_{x1} + R_{x2} + \dots + R_{xn} = \sum_{i=1}^n R_{xi} \text{ -----(27)}$$

Si se sustituyen 25, 26 y 27 en 24' se tiene:

$$T_c - T_a = (RI^2) \cdot \sum R_{xi} = RI^2 \cdot R_x \text{ -----(28)}$$

De la expresión anterior se puede despejar la corriente I, que representa el valor admisible de la corriente del conductor.

$$I = \sqrt{(T_c - T_a) / (R \cdot R_x)} \text{ -----(29)}$$

Si se expresa la resistencia del conductor como $R = \rho \cdot l / S$

Donde ρ = resistividad en ohm-m/mm²

l = longitud en m

S = sección en mm²

Por lo tanto la ecuación queda como

$$I = \sqrt{4(T_c - T_a) / (\rho \cdot R)} \text{ -----(30)}$$

Con la ecuación 29 ó 30 se pueden prefiar la temperatura de operación deseada y calcular la corriente admisible en un conductor de calibre determinado.

4.1.g CALCULO DE CONDUCTORES POR CAIDA DE VOLTAJE

No basta calcular los conductores con corriente únicamente, es decir, seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circula en 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% de caída de voltaje en instalaciones residenciales y 3 ó 4 % en instalaciones industriales).

Para estar seguro de que la caída de voltaje no excede esos valores es necesario el calcular las caídas de voltaje en los circuitos derivados y en los alimentadores.

En las fórmulas que se desarrollarán a continuación se empleará la siguiente nomenclatura:

W= Potencia en watts I= corriente en amperes por conductor

Ef = Voltaje entre fases En = voltaje de línea a neutro.

cos θ = factor de potencia R=Resistencia del conductor en ohms

= Resistividad del cobre 1/58 (ohms-m/mm²)= 1/50.

L= longitud del conductor en metros. S= sección del conductor

e= caída de voltaje de fase a neutro en volts.

ef = Caída de voltaje entre fases en volts.

e% = Caída de voltaje en porciento

e% = (e#100) / En = (ef#100) / Ef -----(31)

SISTEMA MONOFASICO

La potencia que consumen la carga es:

W= En ICos θ -----(32)

I= W/ (En cos θ) -----(33)

La caída de voltaje por resistencia del conductor es:

$$e = 2RI \quad \text{-----} (34)$$

La resistencia del conductor es

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{1/50 L}{S} \quad \text{-----} (35)$$

De donde :

$$e = \frac{1}{25} (LI/S)$$

$$e\% = (LI/25S) * (100/En) = 4IL/EnS \quad \text{-----} (36)$$

SISTEMA TRIFASICO TRES HILOS

La potencia que consume la carga trifásica es:

$$W = \sqrt{3} E_f I \cos \theta \quad \text{-----} (37)$$

$$I = W/(\sqrt{3} E_f \cos \theta) \quad \text{-----} (38)$$

La caída de voltaje entre fases:

$$e_f = \sqrt{3} R I \quad \text{pero:}$$

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{(1/50) L}{S} \quad \text{-----} (39)$$

El porcentaje de la caída de voltaje es :

$$e\% = e_f/E_f * 100$$

$$e\% = (\sqrt{3} L / (50 S E_f)) * 100 \quad \text{-----} (40)$$

$$e_f\% = (2\sqrt{3} LI) / SE_f \quad \text{-----} (41)$$

SISTEMA TRIFASICO CUATRO HILOS

La potencia que se consume la carga trifásica es:

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

$$I = W/(\sqrt{3} E_f \cos \theta) = W/ (3 E_n \cos \theta) \quad \text{-----} (42)$$

La caída de voltaje entre fases será:

$$e_f = \sqrt{3} R I = (\sqrt{3} LI)/(50 S)$$

$$e\% = (\sqrt{3} LI)/(50 S E_f) * 100 = (2\sqrt{3} IL)/(S E_f) \quad \text{-----} (43)$$

La caída de voltaje al neutro es :

$$e = R I = LI / (50 S)$$

$$e\% = \frac{e}{E_n} \cdot 100 = \left(\frac{I L}{50 E_n} \right) \cdot 100$$

$$e\% = \frac{2LI}{50 E_n} \quad \text{-----(44)}$$

4.1.H CAIDA DE VOLTAJE

En los conductores electricos se tiene resistencia, es decir, la caida de voltaje es por resistencia y reactancia.

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

Sea E_n = Voltaje al principio del conductor

E_n' = Voltaje al final del conductor

e = Caída de voltaje en el conductor por reactancia y resistencia

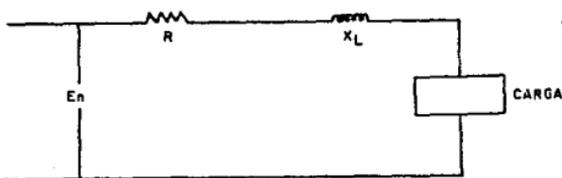


fig. 4.9

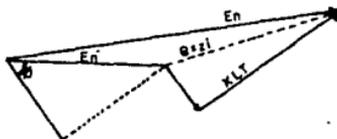


fig. 4.10

$$\bar{E}_n = \bar{E}_n' + \bar{R}I + j \bar{X}_L I$$

$$E_n = \sqrt{((E_n' \cos \theta + RI)^2 + (E_n' \operatorname{sen} \theta + XI)^2)}$$

Expresado en magnitud:

$$| E_n | = | E_n' | + | RI + X_L I | = | E_n' | + | ZI |$$

$$| ZI | = e = \sqrt{((RI)^2 + (X_L I)^2)}$$

$$E_n' = | E_n | - e$$

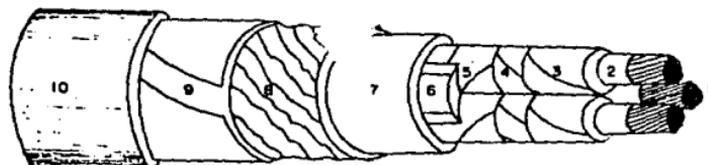
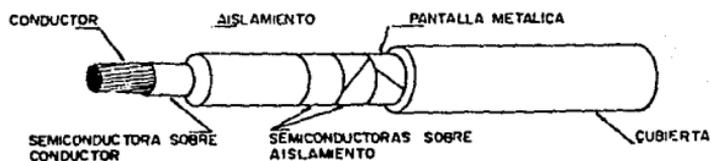
La caída de voltaje total por resistencia y reactancia es :

$$e = \sqrt{((RI)^2 + (X_L I)^2)} \text{ -----(45)}$$

4.1.i CABLES ALIMENTADORES

La función primordial de los cables alimentadores es la de transmitir la potencia eléctrica a una intensidad y tensión establecida durante un intervalo de tiempo. Es por ello que sus elementos constructivos adecuados para éstas tres funciones son:

- 1.- El conductor, por el cual fluye la corriente eléctrica.
- 2.- La cubierta, que está encargada de la protección contra el ataque del tiempo y agentes externos.
- 3.- El aislamiento, que se encarga de aplicar el voltaje aplicado. Según las características del uso del cable se podrá agregar uno más.
- 4.- La pantalla eléctrica, para el control del campo eléctrico.



- 1.- CONDUCTOR DE COBRE O ALUMINIO
- 2.- SEMICUBIERTA SOBRE EL CONDUCTOR.
- 3.- AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO
- 4.- SEMICONDUCTOR SOBRE EL AISLAMIENTO
- 5.- PANTALLA METALICA (CINTA DE COBRE)
- 6.- RELLENOS (PAPEL).
- 7.- CUBIERTA DE PLOMO.
- 8.- CAMA DE YUTE
- 9.- ARMADURA DE FLEJE DE ACERO.
- 10.- CUBIERTA EXTERIOR (POLIETILENO NEGRO).

Los aislamientos para los conductores, el diseñador deberá tener las características de cada uno, de entre la gran variedad que existe.

EL CALIBRE

La dimensión necesaria a dar un conductor de energía eléctrica, es su área seccional, comúnmente se da en mm^2 , siendo las áreas más usuales las mostradas a continuación:

**CAPACIDAD DE CONDUCCION DE
CORRIENTE PERMISIBLE EN CONDUCTORES
DE COBRE AISLADOS**

No mas de tres con factores instalados en conducto directamente enterrados o un conductor en aire (Basados en temperatura ambiente de 30°C)

VALORES EN AMPERES

SECCION NOMINAL EN MM ²	CALIBRE AWG KCM	60°C TIPOS RW, T TW, UF	75°C		85°C		90°C		110°C		125°C		200°C		
			TIPOS FEM, RH, RHW, RHH, THW, THWN, XHHW, USE, ZW		TIPOS V, MI		TIPOS TA, TBS, SA, AVB, SIS, FEP, FEPR, RHH, THWN, XHHW		TIPOS AVA, AVL		TIPOS A1, A1A		TIPOS AA, AEP, FEPS, PFA		
			EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS
2.00	14	15	30	15	30	15	30	25	30	35	40	30	40	30	45
3.31	12	20	35	20	35	20	40	30	40	45	50	40	50	40	55
5.25	10	30	40	30	40	40	40	40	45	45	55	50	50	50	70
8.17	8	40	45	45	45	45	40	40	40	40	45	45	45	45	100
13.30	6	50	50	50	50	50	50	100	70	100	100	100	120	85	130
21.14	4	70	100	85	120	90	120	120	90	120	120	160	115	170	180
26.67	3	90	120	100	140	100	140	150	100	150	130	160	130	190	210
33.62	2	95	140	115	170	120	160	180	120	180	130	210	145	220	240
42.41	1	110	160	130	190	140	210	210	140	210	160	245	170	260	280
53.49	0	125	190	150	240	150	240	240	150	240	170	275	200	300	320
67.43	00	145	220	175	260	180	270	270	180	270	210	320	230	350	370
85.01	000	165	260	200	310	210	310	310	210	310	240	370	260	410	430
107.20	0000	195	300	230	360	230	360	360	230	360	270	440	310	470	510
127	250	215	340	250	420	270	420	420	270	420	310	490	330	530	-
152	300	240	370	280	440	300	440	440	300	440	340	530	380	590	-
177	350	260	420	310	500	320	500	500	320	500	370	570	420	650	-
203	400	280	450	330	540	340	540	540	340	540	400	600	450	710	-
229	450	320	500	360	600	370	600	600	370	600	450	660	500	810	-
254	500	360	550	390	660	400	660	660	400	660	500	720	550	910	-
280	550	400	600	420	720	430	720	720	430	720	550	790	600	1000	-
305	600	450	680	460	800	460	800	800	460	800	600	870	650	1090	-
331	650	470	730	520	870	470	870	870	470	870	650	940	700	1180	-
356	700	490	780	540	930	490	930	930	490	930	700	1000	750	1270	-
382	750	510	830	560	1000	510	1000	1000	510	1000	750	1060	800	1360	-
407	800	530	880	580	1070	530	1070	1070	530	1070	800	1120	850	1450	-
433	850	550	930	600	1140	550	1140	1140	550	1140	850	1180	900	1540	-
458	900	570	980	620	1210	570	1210	1210	570	1210	900	1240	950	1630	-
484	950	590	1030	640	1280	590	1280	1280	590	1280	950	1300	1000	1720	-
509	1000	610	1080	660	1350	610	1350	1350	610	1350	1000	1360	1050	1810	-

Basado en NF C 1978, Art. 310 Tablas 316, 317, 318, 319

TABLA 4.1

CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE PERMISIBLE EN CONDUCTORES DE COBRE AISLADOS

No mas de tres conductores instalados en conduit o directamente enterrados o un conductor en aire (Basadas en temperatura ambiente de 30°C)

VALORES EN AMPERES

SECCION NOMINAL EN MM ²	CALIBRE AWG KCM	60°C		75°C		85°C		90°C		110°C		125°C		200°C	
		TIPOS RULW, T TW, UF		TIPOS FEPW, RH, RHW, RHH, THW, THWN, XHHW, USE, ZW		TIPOS V, MI		TIPOS TA, TBS, SA, AVB, SIS, FEP, FEPR, RHH, THW, XHHW		TIPOS AVA, AVL		TIPOS AI, AIA		TIPOS A, AA, FEP, FEPR, PFA	
		EN CONDUIT CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE	EN CONDUIT, CABLE O DI- RECTAMENTE ENTERRADOS	AI AIRE
2.08	14	15	20	15	20	21	25	30	35	40	30	40	30	45	
3.31	12	20	27	20	27	28	33	40	45	50	40	50	40	55	
5.26	10	30	40	30	40	41	48	60	65	75	60	75	60	75	
8.17	8	40	55	45	60	61	70	85	90	105	85	105	90	100	
13.30	6	50	65	65	80	81	100	120	130	150	120	150	120	150	
21.15	4	70	90	95	120	121	150	180	190	220	180	220	180	220	
28.67	3	80	100	105	130	131	160	190	200	230	200	230	200	230	
33.62	2	95	120	125	150	151	180	210	220	250	220	250	220	250	
42.41	1	110	140	145	170	171	210	240	250	280	250	280	250	280	
53.49	0	125	155	160	190	191	230	260	270	300	270	300	270	300	
67.43	00	145	180	185	220	221	260	290	300	330	300	330	300	330	
85.01	000	165	200	205	240	241	280	310	320	350	320	350	320	350	
107.20	0000	195	240	245	280	281	320	350	360	400	360	400	360	400	
177	250	215	240	255	400	401	420	470	480	490	470	500	470	500	
240	300	240	275	285	440	441	460	510	520	530	510	540	510	540	
317	350	260	300	310	460	461	480	530	540	550	530	560	530	560	
403	400	280	320	330	480	481	500	550	560	570	550	580	550	580	
523	450	320	360	370	520	521	540	600	610	620	600	630	600	630	
684	500	350	400	410	560	561	580	640	650	660	640	670	640	670	
906	550	380	440	450	600	601	620	680	690	700	680	710	680	710	
1200	600	400	470	480	640	641	660	720	730	740	720	750	720	750	
1580	650	430	500	510	680	681	700	760	770	780	760	790	760	790	
2080	700	450	530	540	720	721	740	800	810	820	800	830	800	830	
2730	750	470	560	570	760	761	780	840	850	860	840	870	840	870	
3550	800	490	580	590	800	801	820	880	890	900	880	910	880	910	
4680	850	510	600	610	840	841	860	920	930	940	920	950	920	950	
6150	900	530	620	630	880	881	900	960	970	980	960	990	960	990	
8050	1000	550	640	650	920	921	940	1000	1010	1020	1000	1030	1000	1030	

Basados en IEC 1078, A1, 210, 215, 316, 317, 318, 319

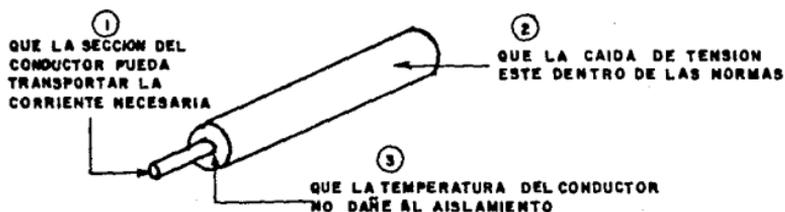
TABLA 4.1

4.2 SELECCION Y CALCULO DE CABLES

Factores a considerar para el calculo del calibre mínimo.

Primeramente se tiene que aclarar que el calibre mínimo para una instalación no es siempre el más económico, por ello se analizará a continuación la selección de calibres mínimos.

Los principales factores que se deben de considerar al calcular el calibre mínimo de un conductor de baja tensión son:



Es vital considerar los tres aspectos a la vez, por que en caso contrario se pueden ocasionar los siguientes problemas:

1.- Si la selección del cobre es menor:

- El conductor tendrá una mayor resistencia eléctrica aumentando las pérdidas de energía.

- El conductor tendrá una mayor temperatura de operación, aumentando una vez más la resistencia eléctrica y deteriorando el aislamiento.

- Caída de tensión en la línea, mayor a la permitida, lo que puede afectar la operación en el punto de carga y dañar los equipos.

2.- Si no se protege el aislamiento:

- El aislamiento sufrirá deterioro por alta temperatura, aumentando el riesgo de fugas de corriente y cortos circuitos.
- Disminuirá la vida útil del conductor.

3.- Si no se cuida que la caída de tensión sea la adecuada:

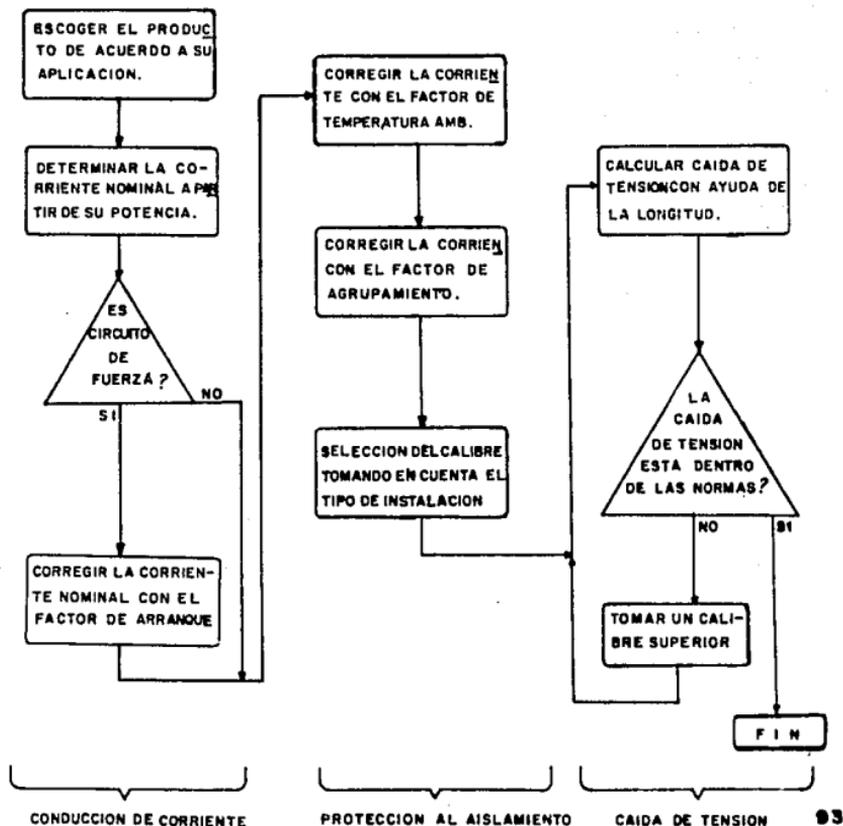
- Los conductores y el circuito trabajarán fuera de normas.
- Pueden dañarse los equipos alimentadores ó no dar el servicio adecuado.

DATOS NECESARIOS PARA EL CALCULO:

- Potencia en Hp ó en Kw; del equipo a alimentar.
- Voltaje de alimentación : 115 V, 440V, 220V, etc.
- Tipo de corriente: directa ó alterna 1Ø, 2Ø, 3Ø.
- Eficiencia del equipo a alimentar.
- Factor de potencia del equipo a alimentar.
- Tipo de instalación: Al aire libre, en conduit, en charola, directamente enterrado, etc.
- Tipo de servicio: 24 horas al día, arranque y paro continuo, servicio nocturno, etc.
- Temperatura ambiente: La más caliente en verano, ó la de recámara (si tiene una máquina que disipe mucho calor).
- Tipo de circuito: Alimentador ó derivado: las NTIE-81 permite un 3% de caída de voltaje y un 5% para el conjunto del alimentador + el derivado.
- Longitud de la instalación: Para calcular la caída de tensión.

PROCEDIMIENTO GENERAL DE CALCULO

La forma como se deben de manejar los datos anteriores para obtener un cálculo correcto del calibre del conductor que se resume en el siguiente diagrama:



Conviene comentar que el diagrama de flujo anterior, (en la parte inferior) se distinguen una vez más los factores básicos en el cálculo de calibres. Para facilitar el entendimiento de este diagrama seguir el sentido de las flechas.

4.3 ESTUDIOS ECONOMICOS PARA EL AHORRO DE DINERO EN LAS INSTALACIONES ELECTRICAS.

A) IMPORTANCIA DE SABER COMO AHORRAR

Es muy común que se busquen por todos los medios la reducción de los costos para incrementar la utilidades y generalmente se opta por comprar materiales económicos, que resultan de una calidad dudosa.

Sin embargo al pensar en una instalación que vaya a ser confiable y duradera a la vez económica, no se puede pensar en adquirir conductores eléctricos baratos, porque aunque su costo inicial sea menor, su utilización provoca que su instalación sea riesgosa, molesta, por las averías que cause, efimera porque no durará muchos años trabajando y costosa por las pérdidas ocasionadas por los calentamiento excesivos.

Así al emplear conductores de mala calidad, no significa un ahorro real, ya que aunque se paguen menos por adquirirla, se pagará más por utilizarla, ya que los problemas que ocasionan representan pérdidas económicas (por reparaciones ó reinstalación).

Para el objetivo que aquí se persigue se describirá a continuación diferentes tipos de ahorro.

4.3.a CAMBIO DE TIPO DE PRODUCTO

Los fabricantes de conductores tienen diferentes productos para un mismo fin, pero en condiciones diferentes de trabajo; pudiendo seleccionar el conductor entre éstos diferentes productos para algún objetivo a perseguir, así como las características especificadas por los cálculos.

Por ejemplo, los conductores de la marca Condumex, los productos que se manejan en instalaciones residenciales domesticas e industriales (de baja tensión), son los alambres y cables TW antillama 60° C (tipo TW) y los cables Vinanel antillama 90° C (tipo THW).

Es bien sabido que los productos TW son más económicos, porque están diseñados para resistir solamente temperaturas de 60° C en el conductor, mientras que los productos vina el tienen un precio mayor que los TW en un 5.4% del calibre 2 al 6 AWG y en un 18% del calibre 6 al 14 AWG y un 27 % más desde el 8 al 2 AWG. Estas comparaciones no son del todo aplicables, ya que se piensa en reducir el calibre al usar conductores Vinanel de calibre inferior, como sería el caso del conductor TW#8 contra un cable Vinanel #10 etc.

CALIBRE	COSTO ADICIONAL VINANEL VS. TW(%)	AMPACIDAD ADICIONAL PROMEDIO
14	18.9	58%
12	18.4	55%
10	17	45%
8	17.4	44%
6	5.4	27.00%
4	5.4	28.50%

TABLA 4.2 COSTOS Y AMPACIDADES EN CABLES (%)

Estas comparaciones no son del todo aplicables, ya que se piensa en reducir el calibre al usar conductores Vinanel de calibre inferior como sería el caso del conductor TW#8 contra un cable Vinanel # 10 etc.

TABLA 43 CALIBRES VS. CARACTERÍSTICAS.

COMPARACION	DIFERENCIA DE PRECIO	DIFERENCIA
		DE CAPACIDAD (A)
TW#12 VS VAL#14	28.8 AHORRO	5
TW#10 VS VAL#12	28.2 AHORRO	0
TW#8 VS VAL#10	33.6 AHORRO	0
TW#6 VS VAL#8	30.2 AHORRO	5.1
TW#4 VS VAL#6	17.4 AHORRO	5
TW#2 VS VAL#4	16.6 AHORRO	5

Con este tipo de comparación se puede observar que los vinaneles de un calibre inferior son en promedio un 25 % más baratos, mientras que la diferencia en la capacidad de conducción es cuando mucho 10 amperes y cuando mucho de 0 a 5 amperes a favor de los productos TW por lo cual son muchos los casos en que pueden sustituirse por un TW antillama 90° de un calibre inferior, y por lo tanto se reducirá el costo en un 25 %.

Sin embargo se debe de considerar otro aspecto: la caída de tensión. Si se instala un calibre más delgado para una mínima cantidad de amperes, la caída de tensión se incrementará y se debe tener cuidado de no exceder el 3% para circuitos derivados y un 5% para el conjunto alimentador según la norma NTE-81; por eso se debe de tener cuidado en no exceder estas normas. En

conclusión, se podrá instalar conductores vinanel 90 por TW antillama 60, considerando los siguiente detalles:

A) Si la temperatura ambiente del sitio mencionado es mayor que 40º C, puede instalarse el vinanel de calibre inferior sin riesgos, revisando la caída de tensión en el circuito.

b) Si la temperatura ambiente de instalación es menor a 40º C se puede instalar los conductores vinanel de calibre inferior siempre y cuando el primer calculo realizado con conductores TW demuestre que dicho conductor tenga 5 amperes de sobra con respecto a la corriente del circuito y revisando la caída de tensión.

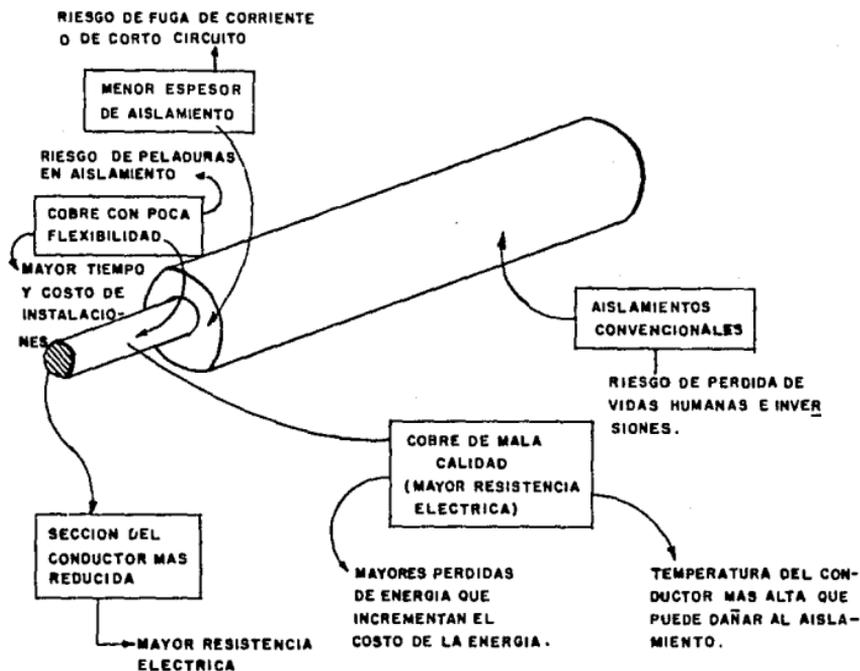
c) Si la caída de la tensión calculada con conductores de TW es del 2% para circuitos derivados ó del 3.14% para el conjunto alimentador, puede utilizarse el conductor Vinanel del calibre inferior sin problemas de caída de tensión.

d) Este tipo de reducción no es válido para salidas de contactos, porque está normalizado el uso del calibre 12, ni en alumbrado en casas habitación donde ésta normalización es del calibre 14.

4.3.b AHORRO POR CAMBIO DE MARCA.

Las restituciones que se deben de tomar en cuenta para un cambio de marca, es cumpliendo los requisitos que se muestran en el siguiente cuadro ilustrativo.

Fig. 4.15 PROBLEMAS OCASIONADOS POR CONDUCTORES DE MALA CALIDAD



aunque todos estos problemas son graves de por sí; únicamente se tomara uno para justificar en términos económicos la compra de un conductor de buena calidad: El incremento de la resistencia eléctrica.

La diferencia de la energía que se consume y la que se paga, viene dada por la energía disipada en forma de calor, la cual depende de la resistencia eléctrica del conductor. Los conductores de buena calidad tienen la menor resistencia eléctrica y evitan el desperdicio de energía como calor disipado.

Para hacer esta cuestión más ilustrativa se propone el siguiente ejemplo:

Para una longitud de 100 m se considerarán dos tipos de conductores:

ALAMBRE THW # 12	RESISTENCIA A 60°C
Producto de buena calidad	0.006151 Ω /m
Producto de dudosa calidad	0.007178 Ω /m

Como la longitud es de 100 se tiene: $(0.007178 - 0.006151)100 = 0.1027$.

Así se ve que el conductor de dudosa calidad tiene una resistencia adicional de 0.1027 Ω /m, la cual genera mayores pérdidas, calculando éstas pérdidas de solo 25 amperes se tiene:

$$W = I^2 R = (25)^2 (0.1027) = 64.1875W.$$

Considerando la instalación como de operación constante se tiene:

$$64.1875 \times 24 \text{ hrs/día} \times 30 \text{ días/mes} = 46.229 \text{ Kwh/mes}$$

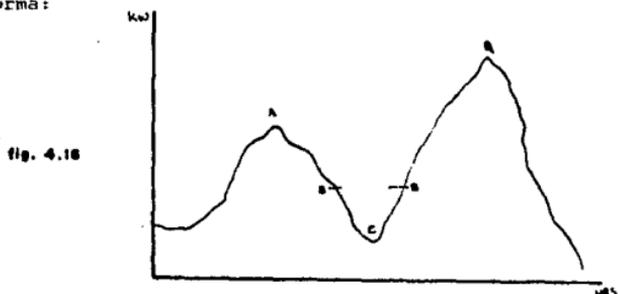
Si la tarifa #8 es aplicada se tiene que el costo por Kw es de \$101.92. Implica que el costo de la energía adicional desperdiciada por un conductor de dudosa calidad:

$$46.229 \times 101.92 = 4709.62128 \text{ \$/mes.}$$

Por lo anterior, si se desea ahorrar, es conveniente seleccionar el tipo y calidad adecuada del conductor para los cálculos dados y las normalizaciones.

4.4 AHORROS POR ANALISIS DE CURVAS DE DEMANDA

Supongáse que se tiene una curva de demanda de cualquier forma:



Donde los puntos "A" representan picos de demanda. A el punto marcado con la letra "B" se considerará como demanda promedio, y la letra "C" corresponderá al valor de mínimo consumo.

Planteando lo anterior, se considerará que el sistema alcanzará el equilibrio entre el consumo vs. tiempo, cuando los "picos" de la curva de demanda tiendan a ser mas atenuados, es decir, que se hagan menos severos. Esto podrá lograrse básicamente con la información que esta curva reditúa y atacando los problemas de consumo con una buena planeación del funcionamiento del sistema eléctrico en cuestión.

Algunas medidas preventivas que se pueden tomar para controlar este problema se enumeran a continuación.

1. Optimo diseño de subestaciones.
- 2.- Optimo diseño de alumbrado.
- 3.- Selección y cálculo adecuado de cables alimentadores así como equipo.

- 4.- Adecuada capacidad de los motores.
- 5.- Arranque de motores.
- 6.- Programación adecuada en el sistema de producción.
- 7.- Cuidado de que la frecuencia tenga su valor correcto (60 ciclos por segundo).

Para los incisos 1,2,3. se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

CAPACIDAD

En general cada sistema eléctrico debe de estar diseñado para satisfacer la demanda de los servicios presentes, y también considerarse el pronóstico de carga para instalaciones futuras; ésta medida es conveniente y necesaria en algunos casos debido a que el uso de la electricidad tiende a incrementarse en las industrias, comercios, e inclusive en edificios, y se debe de contar con la demanda necesaria así como la instalación adecuada.

FLEXIBILIDAD

Dependiendo del tipo de instalación eléctrica de que se trate, (industria, residencial ó comercial se deberá proyectar para que tenga flexibilidad adecuada para la distribución de circuitos, así como el entubado y la distribución de circuitos con su respectivo alambrado, es decir, las tuberías, los canales, ductos y alimentación en general, tengan una localización tal que permita hacer cambios ó modificaciones a la instalación, sin que ésto no represente problemas técnicos ó gastos excesivos.

ACCESIBILIDAD

A cualquier instalación debe de proyectarse de tal forma que sea accesible para su instalación y servicios en general.

CONFIABILIDAD

Dependiendo de la naturaleza de la instalación, varía el grado de seguridad en el suministro de la energía eléctrica, entendiéndose esto, desde el punto de vista planeación, como la probabilidad de que esté en un determinado tiempo, (estimado por lo general en forma anual), dentro de servicio, en forma independiente de la confiabilidad que se tenga en el suministro de la energía eléctrica.

ARRANQUE DE MOTORES.

Para no crear "picos" en la curva de demanda, es de suma importancia un arranque escalonado de los motores, esto es evitando las sobredemandas momentáneas de las cargas, consiguiéndose de diferentes maneras, como en los arranques industriales, asignándoles un determinado instante para arrancar cada máquina; escalonando la hora de los alimentos así como la entrega de turnos.

De lo anterior se desprende la importancia de cuidar la capacidad de los motores para no disminuir el factor de potencia, y por lo tanto evitando el consumo extra de corriente por deficiencias del f.p.

4.4.c.ARRANQUE ESCALONADO DE CARGAS

Puede lograrse controlando el horario de arranque de las máquinas, así como también el horario de alimentos que sea escalonado. Así pues implantando tiempos de arranque por máquina se verán disminuidos los picos de demanda que tanto desbalancean cualquier circuito eléctrico.

4.4.d CONTROL DE FRECUENCIA ELECTRICA

Algunas ocasiones la compañía suministradora no manda la frecuencia eléctrica correcta (60 ciclos p/seg) de tal manera que al tenerse cargas en funcionamiento, éstas se vuelven irregulares, como es el caso de los motores que varía la velocidad conforme varía la frecuencia, pero éste no es el problema verdadero, pues si se mantiene con la frecuencia un poco más baja, el consumo de la corriente será más alto, por esta razón es recomendable el instalar frecuencímetros con el objeto de saber si se tiene deficiencia en la frecuencia para reportarla oportunamente a la compañía suministradora para ahorrar energía que no se debería de consumir.

4.4.e BALANCE DE CARGAS

Se deberá tener el suficiente cuidado de mantener el balanceo de cargas, pues en caso contrario, existirán muchas pérdidas por el calentamiento (efecto Joule) y paralelamente a éste problema se incurre en el envejecimiento del aislamiento, devanado de transformadores, etc.

4.5 DESCRIPCION DE UN PROCESO TEXTIL

IMPORTANCIA ECONOMICA DE LA PRODUCCION

En cualquier empresa es deseable el producir al menor costo posible, para esto, la industria establece diferentes objetivos así como las diferentes estrategias para lograr éstos, pudiendo ser para la producción, administración, planeación, etc. Pero pocas son las empresas donde prestan una especial atención a los factores eléctricos, en donde un buen diseño del equipo, mantenimiento óptimo así como el uso correcto del sistema

eléctrico, conduce un inminente y significativo ahorro a cualquier empresa, tanto, monetario como de tiempo.

Para lograr lo anterior, será necesario, el conocer bien el proceso de fabricación, pues haciéndolo se podrá estructurar óptimamente la línea de producción a seguir, acomodar los procesos para el ahorro de energía eléctrica, así como para un buen programa de mantenimiento, que es de suma importancia para eliminar tiempos muertos de producción.

4.5.A. PROCESO TEXTIL

El proceso textil depende del producto que se desea fabricar, pues hay telas con diferentes características de compuestos de algodón y poliéster, para diferentes usos como son la franela, toalla, tela para sábanas, etc.

A continuación se describe brevemente un proceso generalizado.

- A) **PLANEACION.**- En base al producto que se desea fabricar, se traza la línea de producción y maquinaria requerida, costos y tiempo.
- B) **COMPRA DEL ALGODON.**- Obtención de materia prima de buena calidad.
- C) **HILADO.**- Proceso intermedio entre el algodón de paco y el hilo en carretes.
- D) **TEJIDO.**- Obtención de la tela usando como materia prima el hilo y por medios de los telares.
- E) **ALMACEN DE CRUDOS.**- En ésta parte es donde comienza, para propósito de este trabajo, el proceso y de ahí parte para el inicio del acabado textil de ésta empresa.

F) CHAMUSCADO Y DESCOLADO. Eliminación de fibrillas e hiladuras sueltas, así como el lavado de gomas impregnadas en la tela.

G) REPOSO.- En fosas de reposo, se retiene la tela para remover los engomantes.

H) DUPONT.- En éste proceso la tela es pasada por una serie de lavaderos para la eliminación de grasas, cascanillas de algodón y el sobrante de las gomas, aplicando dicho lavado sustancias tales como sosa cáustica y el agua oxigenada en soluciones diluidas.

I) SATURADOR DE SOSA.- Cajas de reposo en donde la tela permanece entre 45 y 60 minutos expuesta a vapor saturado, en donde al agua oxigenada comienza a desprender oxígeno que hace la tela se decolore para dejarla blanca.

J) LAVADERO.- Lavado de sosa y almidones.

K) SATURADOR DE PEROXIDO DE OXIGENO.- Mismo objetivo que el saturador de sosa.

L) BLANQUEO.- Proceso final de la eliminación de impurezas, y crudo.

M) LAVADERO.- Enjuague final.

N) SECADO Y ENROLLADO.

Ñ) TINTORERIA.- En este departamento es aplicada a la tela un material colorante afin a la tela para que se tiña, posteriormente se pasa a un presecado con base de quemadores de gas donde se elimina la humedad entre un 60 y 70 %, el secado final se alcanza en tambores de vapor. La tela entra a una cámara de polimerizado, donde con temperaturas mayores a 600 C se termofija el color.

O) PAD STEAM (impregnar - vaporizar).- Eliminación de colorante no fijado en la fibra a base de lavaderos (10).

P) ESTAMPE.- Es la aplicación de colores en formas y figuras bajo diseño; aquí también se termofija el color a base de una cámara de temperatura.

Q) ENRRAMADO.- Aquí se le da el ancho y el tacto agradable a la tela a base de materiales grasas, humectantes y desinfectantes.

R) SANFORIZADO.- Proceso a base de temperatura y presión, donde se evita el encogimiento.

S) TORCULADO.- Proceso donde a base de unos rodillos con una muy alta presión y con temperatura dan brillo y suavidad al tejido así como un planchado.

T) DOBLADORAS.- Empaquetado de mercancías.

U) ALMACEN

V) EMBARQUES.- Distribución.

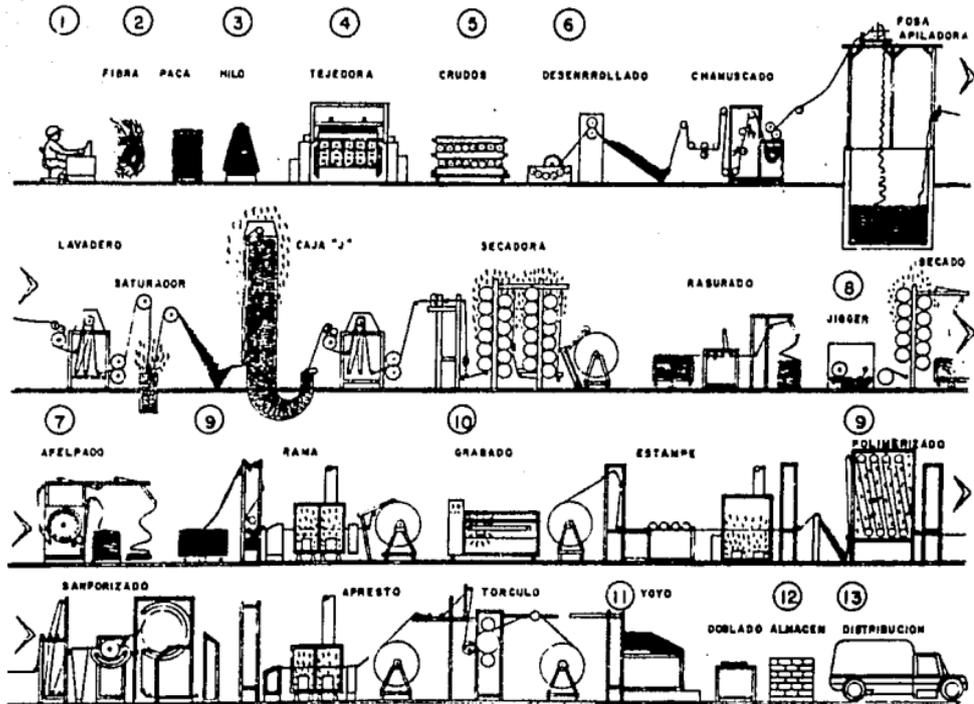


fig. 4.17 DIAGRAMA DE PROCESO

4.6 ASPECTOS TECNICOS DE LA PLANTA

La industria textil descrita anteriormente, es una planta de procesos continuos debido a sus necesidades de producción; repartiendo su tiempo de labores en tres turnos con cerca de 500 trabajadores distribuidos en éstos.

En ésta factoría, por ser del ramo textil, sus procesos requieren del uso del vapor en un 80 % del proceso total, lo cual obliga a generar vapor, y para que resulte más provechoso, se cuenta con permiso por parte de la Comisión Federal de Electricidad, para generar electricidad.

4.6.a SISTEMA ELECTRICO

La fabrica tiene una acometida, por su parte de la compañía suministradora, de 23 Kv. con tarifa # 8.

Después de la acometida se cuenta con una subestación eléctrica con un banco de dos transformadores conectados en paralelo con un total de 1000 Kva instalados, con 23000 V en el primario y 440/220 en el secundario, con protección de dos juegos de fusibles protectores de capacidad de 25A. (ver esquema)

De un 100 % del consumo eléctrico de dicha industria, el 60 % está alimentado por la Compañía de Luz y Fuerza, y el otro 40 % por la planta de fuerza.

4.6.b. PRESENTACION DE DATOS.

Los datos presentados a continuación son los consumos obtenidos tanto por la Compañía de Luz así como de la planta de fuerza.

Periodo comprendido de enero a junio en el año en curso:

TABLA 4.5

MES	CIA. DE LUZ Kw	PLANTA DE FZA.Kw
Ene	399000	164600
Feb	352800	202000
Mar	416600	241600
Abr	341400	171000
May	391800	226900
Jun	417600	229000

Sacando promedios de consumo al mes:

Planta de fuerza: 205,850 kw.

compañía de luz: 369,856 Kw

El consumo anterior expresado en porciento:

Compañía de Luz: 64.3% Planta de fuerza:35.75%

DATOS DE LAS CALDERAS

La planta de fuerza tiene tres calderas capaces de desarrollar 13.600 Kg de vapor por hora cada una; a la salida se encuentran dos turbogeneradores, de 625 Kw y otro de 700 Kw.

De un 100% de vapor producido el 10% es utilizado en la misma planta con propósitos de sobrecalentamiento de combustible.

La frecuencia mínima y máxima del sistema es controlada con la velocidad de los turbogeneradores, y donde aproximadamente el Kw producido en la planta de fuerza tiene un costo de 800 pesos.

Parte de éste ejemplo consiste en dar una idea de como cambian los valores característicos de consumo de energía al variar parámetros tales como el factor de potencia.

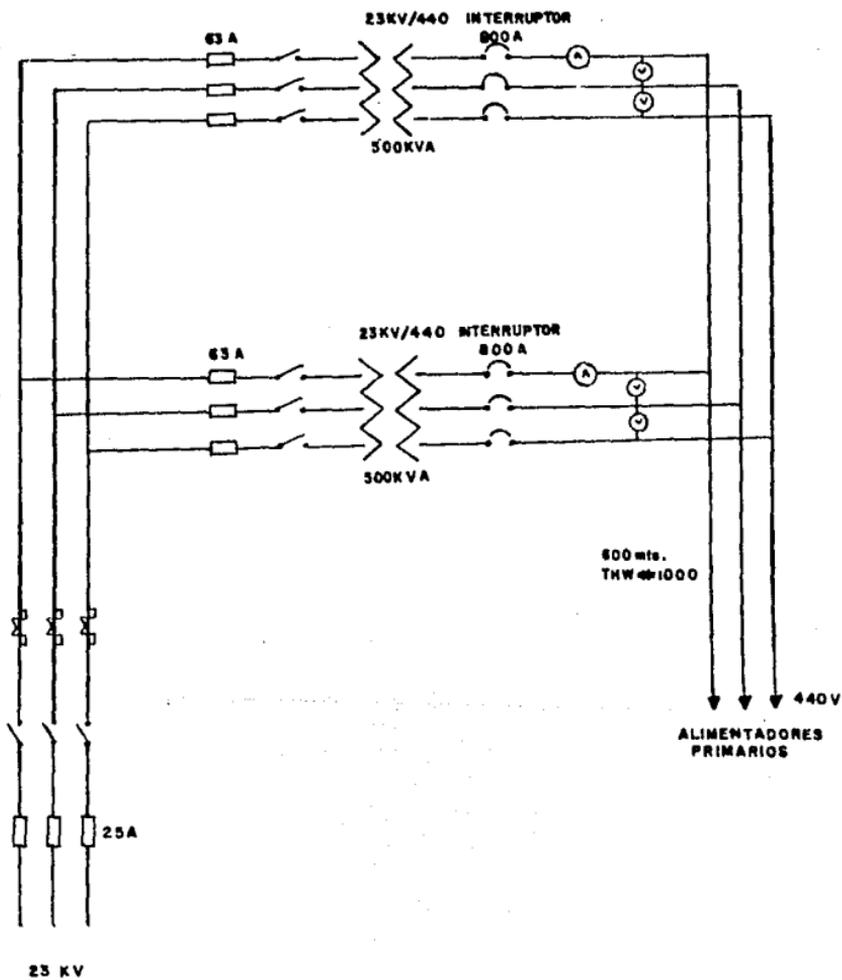


fig. 4.16 SISTEMA ELECTRICO DE LA PLANTA (C.L.F.)

TABLA 4.6

CARGA REAL CONECTADA KW/H :	F.P.	I	KVAS QUE TIENE QUE ALIMENTAR EL TRANSF. PARA C.P.	KVAS UTILIZADOS EN EL ARREGLO %	KVAS DISPONIBLE	KVAR PARA EL F.P.
485	0.7	910.21	692.85	69.28	30.72	194 ↓ 140 ↓ 63 ↓ 72 ↓ 77 ↓ 101
485	0.75	849.53	646.64	64.66	35.34	
485	0.85	749.59	570.58	57.05	42.95	
485	0.89	714.59	544	54.4	45.6	
485	0.95	670.68	510.52	51.05	48.95	
485	.98	650.15	494.89	49.48	50.52	
485	1	637.15	485	48.5	51.95	

NOTA:

El costo aproximado por kvar es de \$34,230.00

4.6 ANALISIS DE RECIBO DE LA COMPAÑIA DE LUZ Y FUERZA.

La obtención de un punto óptimo, entre el consumo de energía eléctrica, mano de obra y uso de maquinaria, conduce a un inminente ahorro de costo de producción.

Si se sabe que entre otros factores de una buena planeación, estriba conducir adecuadamente todos los factores que intervienen en la producción de un determinado artículo, y darle a cada uno de ellos su debida importancia; se incurrirá a denotar algunos factores que muy pocas empresas controlan, es por eso a continuación se describe a detalle un recibo de la compañía que es objeto de nuestro estudio, denotando la forma en que la compañía suministradora lleva a cabo sus cálculos, pues conociendo el proceso de cobro, puede en un momento dado reeditar un ahorro por un cobro indebido ó conocer el consumo hecho para la verificación de control de la energía eléctrica.

Para dar una idea del consumo de energía es necesario el conocer la línea de producción, y está mencionada a continuación anexando los consumos.

ALMACEN 0 CHAMUSCADORAS 10 FOSAS DE REPOSO 10 DUPONT 37
FOSAS DE BLANQUEO 8 SECADORA 14 CORTADORA DE ORILLAS 6
PROCTOR 14 MERCERIZADO 76 CHAMUSCADORA DE POLIESTER 2
RASURADORA 3 AFELPADORAS 40 TERMOSOL 66 PAD STFAM 82
ESTAMPE 89 POLIMERIZADO 16 RAMADO 110 SANFORIZADO 18
TORCULADO 35 ALMACEN 0 EMBARQUES 0.

Capacidad instalada 726 Kw

En la ruta de proceso descrita anteriormente, se consume un total de 360 Kw/día por parte de la compañía suministradora, y 250 por parte de la planta de fuerza.

El costo aproximado de kilowatt generado por la planta de fuerza es de 800 pesos, siendo el de la compañía de luz de 101.92.

El consumo mensual de la planta de fuerza es aproximadamente de 34.308 Kilowatts.

El consumo correspondiente a la Cia. de luz es de 384.000Kw; los valores anteriores es una media mensual de los consumos obtenidos a la primera mitad del año en curso.

COMPANIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. (en liquidacion)

NUMERO DE CUENTA		DE OC		CARGO DE CONSUMO	
45	10	260	1050	3	023724
NO. DE MEDIDA: 14612 (C.C. 45) CONSTANTES DE BOMBA: 1.24 FASES: 270V. ALTA TENSION: 110V.				CARGO: 45' 814,075 MAY 16' 651,732 5' 833,306 50' 109,130 26,142 7' 553,472	
90	5-17	A	90	5-17	B
922461	534	1174	600.000	384000 KWH	852 KW
922461		1470	.600	852 KW	952 KVARH
DEMANDA CONTRATADA				302 KW	
623040	4732	5137	600.000	242400 KVARH	
CARGO POR BANDO FACTOR DE POTENCIA I.V.A.					
FCA DE TEJIDOS					
					MONTOS POR PAGAR: \$103'733,768

Fig. 4.19 RECIBO C.L.F.

4.6.a EXPLICACION DEL RECIBO DE LA COMPANIA DE LUZ Y FUERZA

El presente recibo, a parte de ser el último, se eligió por tener todos los conceptos de cobro (penalización, aumento de tarifa, adeudo, etc.). El periodo de consumo es como sigue: del 17 de mayo al 14 de junio.

Demanda de Kw en el periodo: 384,000 Kw-h.

Se divide la demanda entre el número de días de consumo:

$384,000/29 = 13714.2826$ Kw diarios, siendo de demanda máxima 852 Kw.

De mayo se tienen 31 días, por lo tanto la demanda diaria (13714.2826) se multiplica por 31 = 425146 Kw.

De junio se tienen 30 días, por lo tanto se multiplica por la demanda diaria: $13714.2826 * 30 = 411,432$ Kw.

El consumo de mayo estará dado por la siguiente manera:

Mayo, del 17 al 28 que se registra un incremento a la tarifa por lo tanto son 12 días de mayo, $(425146.4) * (76.4935) = 35,332,966$ Kw.

De demanda máxima se tiene $(852) * (15,673.76) = 13,354,044$

Por concepto de mayo se tiene un total de 46,687,010. se divide entre 31 días que tiene mayo para saber el costo por día: 1,506,032.6. Esta por el número de días correspondiente a mayo que son 12 se tiene : 16,556,358 por concepto de mayo, antes del aumento.

Ahora se procede a calcular los días de mayo después del aumento:

$425146.4 * \text{tarifa nueva } (101.92) = 43,330,921$. (costo de todo el mes de mayo con el aumento de tarifa).

Costo de la demanda máxima más su respectivo aumento : $(852 * 20,375.89) = 17,360,258$, que es el costo del mes de mayo por concepto de demanda máxima más incremento.

Sumando los consumos, tanto antes del incremento, así como el correspondiente a tarifa máxima del mes de mayo se tiene:

60,691,179 por lo tanto éste será el consumo de todo el mes, y si sólo interesan los 12 días, se procede a dividir el total entre 31 días que tiene mayo para calcular el consumo en el periodo después del aumento: $60,691,179 / 31 = 1,957,780$ por día y a tres días (después del aumento) = 5,873,339.9.

Del mismo modo es calculando el mes de junio.

junio tiene 30 días * 13714.4 411.432 * tarifa
 $411.432 * 101.92 = 41,931,926$.

Por concepto de demanda máxima: $852 * 20,375.89$
 $59,292,184 / 30 = 1,976,437$ (que es el precio por día) como se tienen 14 días se obtiene : $1,976,437 * 14 = \underline{27,670,116}$.

Sumando los tres totales anteriores se tiene:

$16,566,358 + 5,873,339 + 27,670,114 = \$ \underline{50,110,011.00}$

Calculando el factor de potencia:

Los Kvarh = 242,400 divididos entre los Kwh se obtiene:

$242,400 / 384,000 = (0.63125) \tan^{-1} = \cos(32.26) = 0.8456144$

Esto implica tener un factor de potencia abajo de lo permitido por la compañía suministradora, por lo tanto la compañía se hace acreedora a un cargo por éste concepto: el importe monetario se calcula por la siguiente fórmula:

$PENALIZACION = (\$ \text{Importe de la factura} \times 0.85 / \text{f.p. obtenido} - (50,109,130 \times 0.85) / 0.84 = (\text{esta fórmula da el total más penalización})$

Esto es = 50,369,272, se procede a restar el importe de la factura con el objeto de que sólo quede la penalización:

$\$ 50,369,272 - \$ 50,109,130 = 260,142.47$ de recargo.

El consumo total más la penalización por bajo factor de potencia más el IVA dará el total de facturación:

$\$ 50,109,130 + \$ 260,142.47 = \$ 50,369,272 + 15\% \text{ (IVA)} =$
 $\$ 57,924,662.80$

Como se tenía un adeudo anterior de \$ 45,815,075.00 y sumando al total anterior se tiene $\$ 57,924,662.80 + \$ 45,815,075.00 =$
 $\$ 103,739,737.80$

Que corresponde al total facturado por la Compañía de Luz.

4.7 MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA

En el análisis del recibo de la Compañía de Luz y Fuerza se pudo apreciar un cargo por bajo factor de potencia, pues el mínimo permitido por la compañía suministradora es de 0.95, y en éste periodo de facturación se obtuvo de 0.84, y por ese concepto

se pagaron 260.000 pesos más el IVA de sobrecargo, es pues de esperarse, que controlando el factor de potencia se podrá obtener un considerable ahorro tanto monetario como la vida útil del equipo, pues por un bajo factor de potencia se incrementa el consumo de la corriente.

Potencia instalada : 726 Kw (valor promedio)

F.P. original: 0.84 F.P. final: 0.85

De las tablas de selección de capacitores se tienen para éstos valores un factor de 0.03 que deberá ser multiplicado por los Kw (726), dará el valor del banco de capacitores a usar:

$726 \times 0.03 = 21.78 \text{ Kvar}$; valor comercial: 25 Kvar

El costo aproximado por Kvar es aproximadamente de 34,230.00, que implica un costo total para el banco de capacitores para aumentar el F.P. a 0.85 de \$ 855,750.00

En donde el costo de los capacitores queda totalmente amortizado en 3.3 meses, después de éste tiempo, los capacitores reeditarán ganancia.

4.8 NOTAS PARA LA INSTALACION DE CAPACITORES

Al conectar los capacitores a los transformadores, motores individuales ó grupos de cargas inductivas, debe de tenerse ciertas precauciones, tales como no excederse de la capacidad de los capacitores, pues pueden provocarse, sobrevoltajes transitorios que pudieran ser perjudiciales para los aislamientos de los aparatos.

Una regla práctica es no colocar capacitores mayores de 2/3 de la capacidad de los transformadores en Kva. Esto es:

$$\text{Varc} < 2/3 \text{ Kva}$$

Como es un hecho que es posible producir corrientes armónicas arriba del 35 % de la corriente normal; los Códigos y Reglamentos establecen éste factor para la selección de interruptores, elementos térmicos y conductores.

Para la aplicación individual de capacitores a los aparatos inductivos es conveniente el guiarse por la siguiente tabla, donde se preve para los transformadores ó aparatos inductivos similares, una capacidad del 15 al 20 % de los Iva, y para motores del 20 al 25 % de los Hp.

TABLA 4.7

.- TABLA PARA LA APLICACION INDIVIDUAL DE CAPACITORES EN MOTORES Y TRANSFORMADORES

TRANSFORMADORES O SIMILARES		MOTORES (PAR DE ARRANQUE Y CORRIENTE NORMALES)			
KVA	KVAR _c	C.P.	4 POLOS	8 POLOS	12 POLOS
		O H.P.	KVAR _c		
30	4.5 - 6	40	7.5 - 10	10 - 13	15 - 20
45	7 - 10	50	10 - 12	13 - 18	20 - 25
50	7.5 - 10	50	12 - 15	15 - 20	20 - 30
75	12.5 - 15	75	15 - 20	20 - 25	30 - 40
112.5	20 - 25	100	20 - 25	25 - 30	40 - 50
150	25 - 30	125	25 - 30	30 - 40	50 - 55
200	35 - 40	150	30 - 35	40 - 45	55 - 60
300	45 - 60	200	35 - 40	45 - 50	60 - 70
400	50 - 90	250	40 - 50	50 - 65	70 - 80
500	60 - 100	300	50 - 60	65 - 70	80 - 90
750	110 - 150	350	60 - 65	70 - 80	90 - 100
1000	150 - 200	400	65 - 70	80 - 90	100 - 110
1500	200 - 300	450	70 - 75	90 - 95	110 - 120
		500	75 - 80	95 - 100	120 - 130

B) CONEXION DE CAPACITORES PARA MOTORES DE INDUCCION EQUIPADOS CON ARRANCADORES ESTRELLA-DELTA.

Conociendo el antecedente de que un capacitor no debe de estar permanentemente conectado al motor en posición estrella, es necesario usar el circuito de la figura 1.20 ó conectar los capacitores en forma monofásica y en paralelo con los devanados del motor, de tal forma que los capacitores sean conmutados de estrella a delta, simultáneamente con los devanados del motor.

C) RANGO DEL CAPACITOR.

La compensación individual de motores no es generalmente utilizada para los valores de los motores sean menores de 10 Kw (13.4 Hp).

1.- El valor del motor expresado en Hp es multiplicado por 1/3 para dar el rango del capacitor en Kvar, ó 40 % del valor en Kw, también puede ser tomado. Por ejemplo: Un motor de 30 Hp deberá ser compensado con 10 Kvar; un motor de 50 Kw deberá ser compensado con 20 Kvar.

2.- La corriente capacitiva no debe de exceder el 90% de la corriente sin carga. La corriente sin carga en hojas de datos ó catálogos de los fabricantes.

Puede también ser medida directamente de un motor sin carga.

Una buena estimación es usualmente obtenida tomando 1/3 de la corriente nominal. Ejemplo : Un motor trifásico de 11 Kw, alimenta una red de 380 V.a 50 Hz. La corriente sin carga es 7.5A. La corriente capacitiva igual a $0.9 * 7.5A = 6.75 A$.

Valor del capacitor: $(\sqrt{3} VI)/1000$

3.- La evolución del $\cos \theta$ puede ser examinada cuando las características del motor sean conocidas; Ejemplo : 150 Hp., 110 Kw., 1435 RPM., 50 hz. $V = 380/660$, $I = 207/119 A$, $\cos \theta = 0.86$

Potencia aparente : $P_a = \sqrt{3} VI = (1.73)(380)(0.86) = 136.2 \text{ Kva.}$

Potencia activa: $P = P_a \cos \theta = 136.2 * 0.86 = 117 \text{ Kw}$

Pérdidas del motor: $P = 117 - 100 = 17 \text{ Kw.}$

Salida : $110/117 = 0.94$

Potencia reactiva absorvida: 380 V

$$P_r = P_x \text{ tg } \theta = 69.4 \text{ Kvar.}$$

Dibujo de la gráfica: para 117 Kw (ordenada), tenemos 69.4 (abscisa), unanse este punto con el origen y da que $\cos \theta = 0.8$ (encontrado en la misma forma). ver H3

Si un valor de $\cos \theta = 0.85$ es requerido en ésta carga, triángulos nuevos son dibujados (línea punteada).

Si necesitan 25 Kvar capacitivos, para ello, se puede entonces checar que $\cos \theta$ a 80% de la carga es igual a 0.9 v a 0.94 a 100%. ver H4 q11

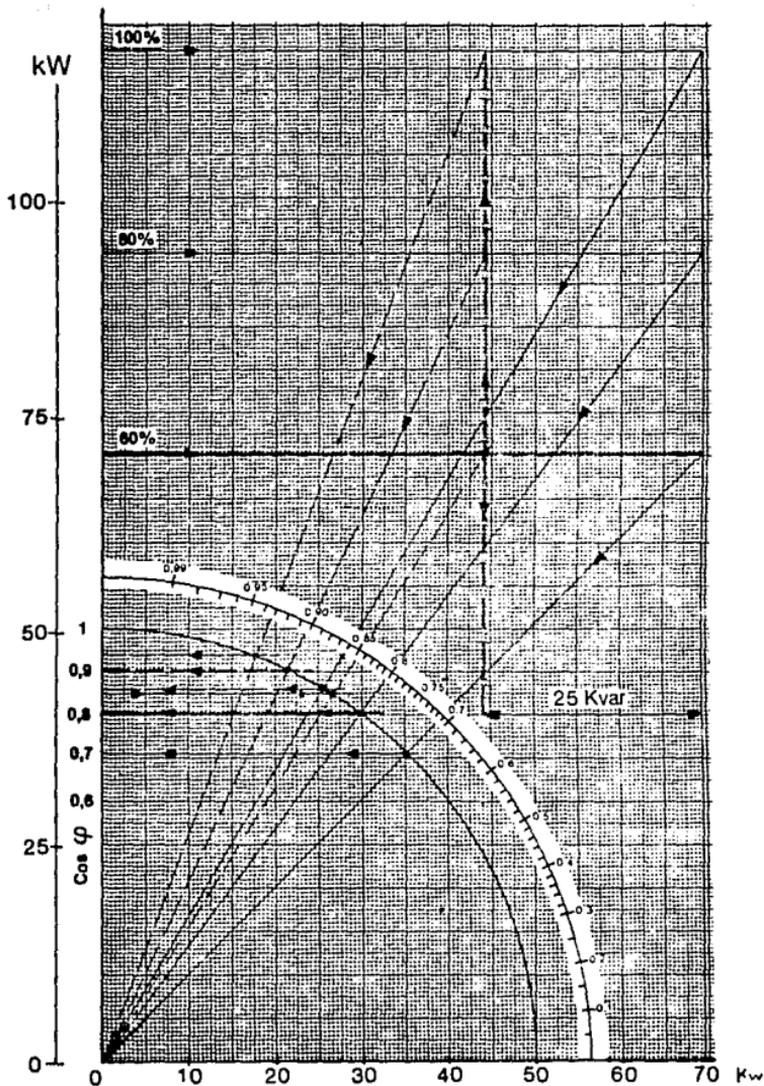


Fig. 4-19 Ejemplo que proporciona compensación para un motor de 110 Kw. y verificación del Cos φ

4. De éste ejemplo se puede tomar como regla, que cuando el $\cos \phi$ del motor está funcionando a carga 4/4 esta compensando a 0.97/0.98.

Ejemplo: Motor : 75 KW, 4 polos, $\cos \phi = 0.87$, 45.2 Kvar, para valores de $\cos \phi = 0.97$, 19 Kvar se tiene que instalar 42.5 - 19 = 23.5 Kvar.

5.- Uso de tabla:

TABLA 4.0

KW	2 POLES	4 POLES	6 POLES	8 POLES
3	0.6	1.4	1.5	2.3
4	1	1.6	2	2.4
5.5	1.5	2.3	3	3.5
7.5	2.2	3	4.4	5
11	2.9	6	6	7.2
15	4.2	7	7.8	8.8
18.5	4.7	7	8.5	11.5
22	5.6	8.1	11.2	12.5
30	7.9	10.7	14	15
37	9.4	13.4	15.5	18.5
45	10.1	17	19	22
55	12	19	23	29
75	12.5	23.5	32	39
90	17	27	37	46

VALOR DEL CAPACITOR PARA COMPENSACION DE UN MOTOR TRIFASICO

4.0 COMPENSACION DE UN TRANSFORMADOR INDIVIDUAL

La carga de un transformador de distribución es generalmente desconocida, varía y puede ser cero (por ejemplo durante la noche), y la compensación de potencia reactiva es por lo tanto usualmente limitada a la potencia consumida por el mismo transformador.

Esta potencia reactiva varía con el tipo de transformador. Si el medidor de Kvar es sensible a la corriente inductiva y capacitiva el valor del capacitor, para ser instalado en el transformador, debe de ser determinado con cuidado.

Una regla general, es elegir un valor entre 1.5 y 2.5 del valor nominal del transformador.

Si el medidor de Kvar es solo sensible a la corriente inductiva y capacitiva el valor del capacitor es usualmente escogido entre el 4 y el 6 % del valor nominal del transformador, para evitar problemas de resonancia con las armónicas uno debe de checar que la frecuencia de resonancia entre la inductancia de fuga y el capacitor de compensación este lo suficientemente alejada de las frecuencias armónicas más comunes (3^{ra}, 5^{ta}, 7^{ma}, etc.).

La frecuencia de resonancia puede ser calculada de la siguiente forma:

$$f = f_0 \left(\sqrt{P_{cc}/Q} \right) \quad (46)$$

En donde f = Frecuencia de resonancia.

f_0 = Frecuencia fundamental del sistema.

P_{cc} = Potencia de corto circuito del transformador

Q = Potencia del capacitor.

Si la frecuencia obtenida está muy cercana a la de la armónica, el valor del rango del capacitor deberá ser modificado.

4.8.a VENTAJAS Y DESVENTAJAS CON DIFERENTES COMPENSACIONES

METODO DE COMPENSACION	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Individual	Aplica a los dispositivos bajo condiciones de carga continuas, cada uno conectado a un capacitor de valor apropiado.	<ul style="list-style-type: none"> • Kvar producido en el punto • Reducción de pérdidas de línea y caídas de voltaje. • Ahorro de un dispositivo de conmutación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de los capacitores pequeños separado, más que un capacitor individual del valor total equivalente. • Factor de utilización del capacitor para dispositivos no conectados con frecuencia.
En grupo	Dispositivos separados son conectados a un capacitor común con su propio interruptor. El capacitor es usado de acuerdo a las veces en que las cargas están en uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los costos de inversión de capital para capacitores • Pérdidas y caídas de voltaje reducidas en las líneas de distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carga no atendida sobre las líneas de alimentación principales.
Central	Producción de potencia en un punto solamente. En casos sencillos, el banco es conectado en el inicio y desconectado al final del trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor utilización de la capacidad de los capacitores. • Supervisión fácil • Control automático puede considerarse. • Mejoría general del nivel de voltaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carga no atendida sobre la fuente principal y las líneas de distribución.
Combinado	Compensación individual de dispositivos de carga muy grandes. Compensación central o de grupo para otros dispositivos.		

Cuando la potencia reactiva necesaria es variable, la compensación central frecuentemente involucra bancos automáticos de capacitores.

Compensación central es siempre usada para mejorar el factor de potencia en instalaciones existentes.

CAPITULO V
EJEMPLO Y CONCLUSIONES

5.1 SELECCION DE CABLES ALIMENTADORES

Como se puede observar en la tabla anterior, variando el factor de potencia, se tendrán diferentes demandas de corriente, es por ésta razón, que se debe de poner especial atención el mantener el f.p. lo más alto que se pueda tener, pues no sólo se evitan penalizaciones por parte de la compañía suministradora por bajo factor de potencia, sino que también se reduce el consumo de la potencia, implicando un ahorro de energía eléctrica, así como el tamaño del equipo de distribución y el de suministro, incluyendo los cable alimentadores.

Para determinar el calibre óptimo, a continuación se hará un análisis considerando la caída de voltaje y teniendo en cuenta la reactancia, distancia, para la compañía sujeta a estudio:

EJEMPLO:

Se tiene en la práctica en consumo de 500 Kw, a 60 ciclos, sistema 3 ϕ , 4 hilos, f.p. inicial de 0.7, voltaje : 440 V. Los cables deberan de tener una longitud de 100 m se desea una caída de voltaje máxima de 2%. ¿ Que calibre se debe utilizar?

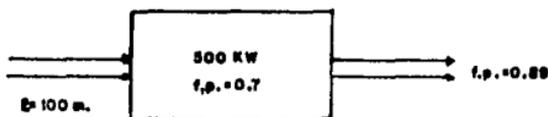


fig. 5.1

A) CALCULO DE LA CORRIENTE QUE DEMANDA LA CARGA:

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot E \cdot \cos \theta) = 500,000 / ((1.73)(440)(0.7)) = 938.36 \text{ A}$$

B) CALCULO DE VOLTAJE PARA UN ALIMENTADOR 3ϕ (CAIDA).

La selección del conductor deberá tener que cumplir con un máximo de 2 % de caída de voltaje:

De esta forma cada fase llevará 2 conductores, cada uno con una corriente de 469 A.

Ahora cada fase llevará 2 conductores con una resistencia:

$$R = \sqrt{((E)^2 - (X_L)^2) / I} \Rightarrow \sqrt{((5.086)^2 - (0.009184 * 469)^2 / 469)}$$

$$R = 0.00576 \Omega \text{ para } 100 \text{ m.}$$

Para calcular la sección del conductor es necesario calcular la reactancia:

$$0.00576 \text{ --- } 328 \text{ pies} = 0.0175 \Omega / 1000 \text{ pies}$$

$$R \text{ --- } 1000$$

De la tabla de conductores (sección) se tendrá:

Total de 6 cables calibre 600 MCM (304.00 mm²). Esto es 2 cables 750 MCM en paralelo a fase.

Para ver las ventajas de una mejora de f.p. se cambiara de 0.7 a 0.89 y se vuelve a calcular el calibre del cable:

$$I = 590.43 \text{ A}$$

- CAIDA DE VOLTAJE - Para el 2 % máximo: S = 232 mm² que corresponde a un calibre 500 MCM. \Rightarrow 3 conductores 500 MCM a 295A.

$e = (I^2 R) / 100 = 2 * 440 / 100 = 8.8 \text{ V}$, para el una corriente de 590.5 A y con 500 MCM $X_L = 0.028 \Omega / 1000 \text{ pies}$

$$S1 \quad 1000 \text{ --- } 0.028 \quad X_L \quad 0.009184 \Omega$$

$$328 \text{ --- } X_L$$

$$A \text{ partir de } S = (243 LI) / (E^2 (E^2)) =$$

$$S = (2 \times (1.73)(100)(938)) / ((440)(2)) = 368.8 \text{ mm}^2$$

De la tabla para sección anterior se tiene un conductor calibre 700 MCM; esto es 3 conductores calibre 750 MCM para una corriente de 938 A \pm θ .

Caída de voltaje por fase $e = (e\% E) / 100 = (2\% 440) / 100 = 8.88 \text{ V}$ para una corriente de 938 A y conductores 700 MCM se busca en la tabla la X_L (reactiva). (Tabla 34)

$$X_L = 0.028 \Omega / 1000 \Rightarrow \text{En } 100 \text{ m } 328 \text{ pico}$$

$$\begin{array}{l} \text{SI} \quad 1000 \text{ --- } 0.028 \quad X_L = 0.009148 \Omega \\ \quad 328 \text{ --- } X_L \end{array}$$

Si los conductores viajaran en un medio metálico, se multiplicarse los valores por 1.25, porque aumenta la resistencia un 25%.

En este ejemplo se considera que los cables viajan en ductos de cemento, y por lo tanto, se omitira la multiplicación por 1.25.

La resistencia de un cable de 0.009184 de reactancia tendrá que ser :

$$e = \sqrt{(RI)^2 + (XI)^2} \Rightarrow R = \sqrt{((e)^2 - (XI)^2) / I}$$

$$R = \sqrt{((5.086)^2 - [(0.009184)(938)]^2) / 938} = R = \text{Raiz imaginaria}$$

La raíz cuadrada imaginaria significa una resistencia imaginaria, por lo que es necesario disminuir el valor de XI, pero como X es constante, lo único que se puede modificar es la I, metiendo 2 conductores por fase en paralelo.

Resistencia para un cable de 0.009184 Ω de X_L será:

R = Resistencia imaginaria por lo tanto de tendrán 2 conductores por fase; y R = 0.014938 Ω para los 100 m

Reactancia al neutro de un sistema trifásico de tres hilos en un ducto no magnético, para una frecuencia de 60 c/s, y un voltaje neutro 600 volts.

Calibre AWG NOM	Resist. Ω / 1000' 60 °C.	Reactancia Ω / 1000'	
		mínima	máxima.
14	3.0		
12	1.87		
10	1.38		
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	0.056	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
2000	0.00612	0.027	0.038

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 ducto 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, ó en mánzulas en galerías de conductores.
- 4.- Para 50 ciclos, los valores de la reactancia deben multiplicarse por 5/6.

TABLA 5-1

$$0.014938 \frac{\text{---}}{\text{---}} 320 \text{ \# m} \Rightarrow R = 0.04648 \text{ \Omega/1000 pies}$$

$$R \frac{\text{---}}{\text{---}} 1000$$

=> Calibre 250 => instalación de 6 cables calibre 250 entre tres fases en trinchera o ducto de cuando separado.

CONCLUSIONES

Para f.p. 0.89 se maneja una corriente de 590 A repartidos en 6 cables de calibre 250 MCM.

Para un f.p. = 0.7 se maneja una corriente de 938 A repartidos en 6 conductores calibre 600 MCM. Esto implica un ahorro:

$$A \text{ 250 MCM} = 126.644 \text{ mm}^2$$

$$A \text{ 600 MCM} = 303.999 \text{ mm}^2$$

$$303.999 \frac{\text{---}}{\text{---}} 100 = 41.65 \% \text{ de ahorro}$$

$$126.644 \frac{\text{---}}{\text{---}} \times$$

En área de la sección transversal

5.2 LA SUBESTACION ELECTRICA

Es un conjunto de elementos que sirven para transformar las características de la energía eléctrica (voltaje, corriente) ó bien para transformar la energía eléctrica de c.a. a c.d.

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

CLASIFICACION DE LAS SUBESTACIONES.

1.- Por su función que desempeñan:

- a) Elevadoras (para que aumenten su tensión).
- b) Reductoras (Reducen la tensión).
- c) De enlace (para interconectar líneas).

d) Rectificadores (para convertir ca en cd).

2.- Por su construcción:

a) Tipo intemperie (para operación en el exterior).

b) Tipo interior (para operación bajo techo).

c) Tipo blindada (para operación interior ó exterior).

5.2.a ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA SUBESTACION

1.- Transformador

2.- Interruptor

3.- Restaurador

4.- Cuchilla fusible

5.- Cuchilla desconectora

6.- Apartarayos

7.- Transformador de instrumento (potencial y corriente)

8.- Red de tierras.

9.- Estructura

10.- Tablero de control

11.- Equipo de filtrado y protección de aceite

12.- Alumbrado y herrajes.

La distribución industrial hace llegar la energía de un alimentador o generador a un voltaje menor ó igual a 15 Kv. hasta los puntos donde se utiliza, a las tensiones adecuadas para la fuerza y alumbrado. Cuando la potencia se recibe en un alimentador de subtransmisión a 69 Kv, 34.5 ó 23 Kv existe una subestación intemperie unitaria ó convencional entre la línea y el sistema de distribución industrial.

Para potencias superiores a 1000 Kva. no es económico bajar el voltaje de subtransmisión al de utilización directamente, ni

tampoco generar este último a menos que la carga sea excepcionalmente concentrada.

El costo de conductores de distribución a voltajes entre 2.4 y 13.2 Kv para plantas con densidad de carga hasta 300 Va/m² es generalmente un 15 % del que requiere la distribución a 480 V.

El equipo interruptor de alta corriente es también más costoso que el de un voltaje un tanto mayor pero de menor corriente y capacidad interruptiva.

La distribución con centros de potencia tiene corrientes de corto circuito bastantes razonables debido a la mayor reactancia en serie.

La carga de alumbrado incandescente requiere 120 V usualmente y se alimenta de los alimentadores a 480 V en los puntos adecuados mediante pequeños "centros de distribución" que consiste en un pequeño transformador monofásico acoplado a un gabinete que aloja al bus de 120 V, con su interruptor principal y los interruptores en los ramales.

Los interruptores usados son muy compactos e incorporan protección de sobrecorriente.

Cuando hay pequeña fuerza ó alumbrado fluorescente a 220 V, el transformador de alumbrado es 3Ø de 480 V a 220 V y se pueden tener circuitos monofásicos y trifásicos a partir del centro de distribución.

El costo de transformador de alumbrado es pagado por la economía en conductores largos de 208/120 ó 240/120 volts. Otras economías son la reducción de pérdidas y la reducción de capacidad del centro de potencia por la diversidad.

El costo por Kva de centro de potencia con secundario en delta suele ser menor que cuando se utiliza conexión estrella. Esta última es ventajosa porque permite conexión de neutro a tierra, pero hay que considerar que con éstas características pueden necesitarse algunos dispositivos de control con protección de sobrecorriente las tres fases, lo cual no es normal.

El costo por Kva de centro de potencia es mínimo entre 500 y 1500 Kva por lo cual es conveniente el localizar centros de ésta capacidad, inmediatos a los centros de carga. El Kva de centro de potencia de 480 V es el 33 % más económico que a 220 V, por lo que aquel voltaje es más usual. Desde el punto de vista de conexión a tierra la siguiente práctica es recomendable.

1.- Si hay subestación, el secundario debe de ser estrella con neutro a tierra, para proporcionar protección a tierra en el sistema de distribución en el lado de alta tensión y el primario en delta. Los primarios de los centros de potencia serían entonces en delta.

2.- Cuando hay generador, este suele ser estrella, y se debe de conectar el neutro de una de las maquinas a tierra. La conexión directa puede ocasionar fallos a tierra, una corriente de corto circuito mayor que la que el generador resiste mecánicamente, por lo cual se recomienda conectar el neutro a tierra través de una resistencia adecuada que limite la corriente a un valor permisible.

3.- En sistemas con alimentadores largos a 440 V el secundario que los alimenta más convenientemente es estrella con neutro a tierra.

4.- Cuando se lleva el voltaje de distribución hasta los centros de carga, como es la práctica más económica, ahí se efectúa la transformación mediante un centro de potencia de los cuales parten alimentadores cortos a 480 V. El secundario en delta es más económico en dichos centros.

5.- Cuando los alimentadores a 480 V se interconectan formando una red, la conexión a tierra es necesaria y puede hacerse mediante un transformador especial en zigzag ó en estrella - delta.

El neutro a tierra en los sistemas es convenientes por las siguientes razones:

A) Los fallos a tierra provocan interrupción inmediata y, con un arreglo selectivo, el ramal afectado es el único que se desconecta y la zona del daño se define.

B) Cuando no se tiene neutro a tierra, al ocurrir un fallo a tierra no hay operación alguna. Una de las esquinas de la delta, queda a tierra, con lo cual el aislamiento a tierra de sistema, soporta el 73 % del sobrevoltaje, el cual es probable que ocasione un segundo fallo. La corriente a tierra tiene la impedancia de los fallos en serie, y aunque el voltaje es 73% mayor, puede resultar con una intensidad no suficiente para provocar operación hasta causar una mayor destrucción. Al ocurrir la operación, se pueden tener dos circuitos afectados que atender.

C) Cuando se selecciona no tener tierra, un fallo puede sostenerse sin interrupción hasta investigar en los días de descanso de la planta, si se ha desarrollado un disturbio ó falla

y proceder a su reparación. La localización puede ser bastante dilatada.

5.3 CALCULO DEL TRANSFORMADOR

Con el antecedente de las fórmulas para encontrar el factor de demanda, el factor de diversidad, sólo resta considerar la fórmula para calcular los Kva del transformador afectado por los factores de corrección.

$$Kvat = \text{carga instalada} \frac{\text{suma de las demandas máximas}}{\text{Demanda máxima resultante}}$$

-CALCULO.- Se desea saber la capacidad que debe tener un transformador para la subestación. Se pretende alimentar una carga, en base a la distribución de carga que presenta la compañía sujeta a estudio:

MOTORES	ALUMBRADO	CARGA VARIA
389 Kw	102 kw.	51.3 kw.
457 kVA	157 kVA	79.3 Kw

Total de carga instalada: 548.3 Kw = 645 Kva

Factores de corrección:

Para el alumbrado se tiene factor de demanda = 1

Factor de diversidad = 1

Para los motores

Factor de demanda = 0.8

Factor de diversidad = 1.25

Para la carga varia se tiene factor de demanda = 0.5

Factor de diversidad = 1

Cálculo de los Kvat para el alumbrado:

$$157 \times 1/1 = 157 Kva$$

Calculo de los Kvat de los motores:

$$457 \cdot 0.8/1.25 = 292.4 \text{ Kvat}$$

Calculo de los Kvat debida a la carga varia:

$$79.3 \cdot 0.5/1 = 39.7 \text{ Kvat}$$

Sumando los Kva de las tres cargas se tiene : $Kvat_{total}: 489.05 \text{Kva}$

Los 489.05 se considera la demanda máxima no resultante (ver fig 5.1 y 5.2).

El siguiente paso es obtener el factor de diversidad resultante para lo cual se debe proceder a graficar la demanda y el tiempo para cada carga obteniendo por lo tanto la resultante. ver fig 5.3

De la gráfica se obtiene :

Demanda máxima resultante 687.3 Kva. (de tabla).

Suma de las demandas máximas: 489.05 Kva

Factor de densidad resultante: $687.3/489.05 = 1.4053$

Por lo tanto la capacidad del transformador en Kva a instalar en la subestacion receptora debe de ser :

$$Kvat = 687.35 \cdot 1/1.4053 = 489.08 \text{ Kva}$$

por razones de flexibilidad y por consiguiente, con seguridad del suministro a la carga, se recomienda la instalación de dos transformadores 300 Kva considerando que la carga no tendrá expansión a futuro.

Con esto queda demostrado que la capacidad ociosa que cuenta la subestacion de la compañía en estudio, por tener el doble de la capacidad para alimentar a la carga que se cuenta, ocasiona por la cual aumenta la corriente de excitacion.

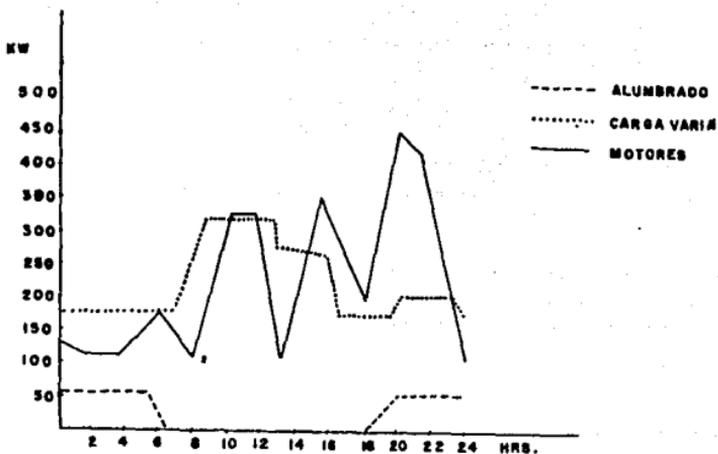


Fig. 5-2 DEMANDA Vs. TIEMPO

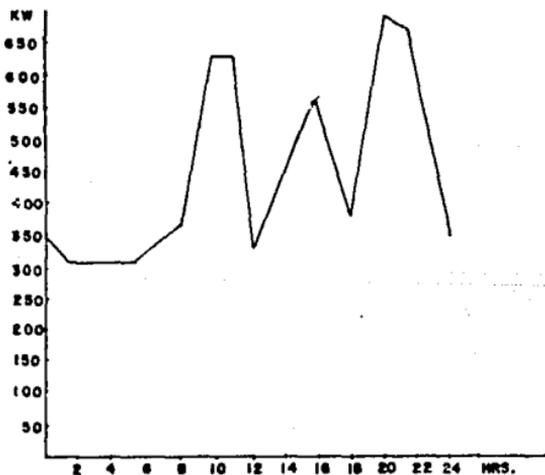


Fig. 5.3 DEMANDA RESULTANTE Vs. TIEMPO

CONCLUSIONES

En la actualidad es bien conocida la problemática a la que se enfrentan, tanto, las industrias, así como la compañía suministradora, el uso y racionalización de la energía eléctrica.

Ambos sectores necesitan de estudios de consumo eléctrico, con el fin de obtener un mejor manejo de la energía eléctrica; para lograrlo es indispensable recabar información del comportamiento de la carga, información necesaria tanto para la industria, así como a la compañía suministradora, para determinar problemas de consumo ó uso irracional de la energía eléctrica; así poner en práctica medidas ó políticas que ayuden a frenar el "derroche" que existe de energía, en gran parte de las industrias.

Esta información será obtenida a partir de una curva de demanda, resultado de las lecturas horarias del consumo de la carga.

Con ésta información se puede disponer, según el proceso, de soluciones prácticas tales como:

- 1.- Arranque escalonado de cargas.
- 2.- Contar con un buen factor de potencia, preferentemente arriba de 0.85, para que el consumo eléctrico sea menor para las cargas a alimentar; si no se cuenta con el factor de potencia adecuado, será muy conveniente el calcular un banco de capacitores, que al fin de cuentas quedara amortizado su costo en los primeros meses de uso.
3. Someter a la industria en cuestión, a políticas que ayuden a ahorrar energía eléctrica, con medidas tan sencillas como el de apagar los alumbrados cuando los niveles de iluminación no lo

requieran, así como de prenderlo no antes que las condiciones de iluminación lo requieran.

5.- Distribución escalonada de las horas de alimentos, con el objeto de que la carga arranque y pare progresivamente.

6.- Implementar un adecuado programa de capacitación, pues por este conducto el trabajador sabrá con más precisión el manejo más eficiente de la maquinaria a su cargo, así como la forma de proceder cuando se sucite un fallo ó imprevisto, así como las medidas de seguridad a seguir para la continuidad de la operación de la maquinaria.

7.- Cálculo correcto del equipo eléctrico, para no incurrir gastos excesivos por equipo sobredimensionado: (esto es, de acuerdo al proceso y no de acuerdo con la capacidad instalada).

8.- Tener niveles de voltaje adecuados y frecuencia correcta, y de acuerdo con las características del equipo para que operen óptimamente, de acuerdo con sus especificaciones de fabricación, trayendo como beneficio la disminución de las pérdidas y mejora del factor de potencia, reduciendo el tamaño del equipo eléctrico.

En este trabajo se dió la pauta a seguir para tener un considerable ahorro de energía eléctrica; poniendo especial interés a la descripción de aquellos equipos y aspectos que resultan revelantes para el óptimo consumo de la energía eléctrica, y mostrando instrumentos de análisis, tales como el manejo de las curvas de demanda para conseguir dicha información que hará que los objetivos económicos perseguidos se logren.

requieran, así como de prenderlo no antes que las condiciones de iluminación lo requieran.

5.- Distribución escalonada de las horas de alimentos, con el objeto de que la carga arranque y pare progresivamente.

6.- Implementar un adecuado programa de capacitación, pues por este conducto el trabajador sabrá con más precisión el manejo más eficiente de la maquinaria a su cargo, así como la forma de proceder cuando se sucite un fallo ó imprevisto, así como las medidas de seguridad a seguir para la continuidad de la operación de la maquinaria.

7.- Cálculo correcto del equipo eléctrico, para no incurrir gastos excesivos por equipo sobredimensionado; (esto es, de acuerdo al proceso y no de acuerdo con la capacidad instalada).

8.- Tener niveles de voltaje adecuados y frecuencia correcta, y de acuerdo con las características del equipo para que operen óptimamente, de acuerdo con sus especificaciones de fabricación, trayendo como beneficio la disminución de las pérdidas y mejora del factor de potencia, reduciendo el tamaño del equipo eléctrico.

En éste trabajo se dió pauta la seguir para tener un considerable ahorro de energía eléctrica; poniendo especial interés a la descripción de aquellos equipos y aspectos que resultan revelantes para el óptimo consumo de la energía eléctrica, y mostrando instrumentos de análisis, tales como el manejo de las curvas de demanda para conseguir dicha información que hará que los objetivos económicos perseguidos se realicen.

Sin perder de vista aquellos equipos que resultan clave, tal es el caso de los motores, factor de potencia, cables alimentadores.

Pues seleccionando este equipo de manera adecuada, se prevé que cualquier industria puede lograr importantes ahorros, tal es el caso de la industria sometida a consideración en el presente trabajo, la cual paga en promedio 70 millones de pesos mensualmente, y considerando los puntos anteriormente expuestos, se puede lograr ahorros de entre el 15 y 20 % de energía, traduciéndose éstos porcentajes en dinero se tiene que el ahorro fluctúa entre 10.5 millones y 14 millones de pesos mensuales, que en un periodo de un año es algo así como 168 millones de pesos, claro está, éste ahorro será proporcional al tamaño de la industria así como de su consumo.

Considerando que en el país es necesario el ahorrar recursos en general, este tipo de medidas no solo son benéficas a un determinado sector empresarial, sino también, al sector eléctrico, ahorrando recursos naturales y ecológicos.

BIBLIOGRAFIA

1.- CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA CON CAPACITORES

ASEA RTC FOLLETO BJ90-01 SP

2.- MANUAL ELECTRICO

CONALEC TERCERA EDICION

3.- SISTEMAS ELECTRICOS DE DISTRIBUCION

ING. ROBERTO ESPINOZA Y LARA

D.E.P.F.I. U.N.A.M. 1985

4.- DIAGRAMAS DE ALAMBRADO

SQUARE DE MEXICO S.A.

5.- SELECCION DE CONDUCTORES

CONDUMEX S.A. MEXICO 1982

6.- MAQUINAS ELECTRICAS, TRANSFORMADORES Y CONTROLES

HAROLD GINGRINCH

PRENTECE HALL.

7.- MANUAL DE INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES

E INDUSTRIALES.

ENRIQUEZ HARPEP

LIMUSA SEGUNDA EDICION

Los valores citados anteriormente, son valores promedio, en condiciones normales de trabajo.