



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

“Optimización del uso de Bancos de Condensadores en la Industria”

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Especialización: POTENCIA

Presentada por:

LUIS EDUARDO JALON VERA

Guayaquil, Ecuador

1989

AGRADECIMIENTO

A LA COMPANIA ECELCO
y a la FABRICA DE
ALIMENTOS BALANCEADOS
VIGOR por las
facilidades prestadas
para la elaboración de
esta tesis.



Ing. Hernán Gutiérrez.
PRESIDENTE



Ing. Jorge Flores M.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Juan Gallo
M. PRINCIPAL



Ing. Alberto Hanze
M. PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, corresponde exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



.....
NOMBRE Y FIRMA DEL AUTOR

RESUMEN

Con el objeto de lograr la compensación de la potencia reactiva dentro de un sistema industrial y como base para la aplicación del programa de computación desarrollado en esta tesis, se hace referencia a la mayor parte de los equipos eléctricos con que cuenta una industria, a la vez que se realiza un estudio de cada uno de ellos en funcionamiento, para obtener un diagrama unifilar equivalente en el cual se puedan efectuar los cálculos necesarios para obtener dicha compensación. Se mencionan los esquemas más utilizados en la industria, haciendo particular énfasis en el radial por ser el más simple y de uso común.

Con el programa de computación se obtienen todas las alternativas de bancos de condensadores posibles con sus costos, y rentabilidad en una barra individual y en dos o más simultáneamente de tal manera que se pueda realizar la selección de la opción más económica.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....	
INDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS.....	
INDICE DE TABLAS.....	
I. Tipos de cargas y esquemas industriales.....	
1.1 Tipos de cargas.....	
1.1.1 Motores.....	
1.1.2 Iluminación.....	
1.1.3 Cargas especiales.....	
1.1.4 Transformadores.....	
1.2 Tipos de sistemas industriales.....	
1.2.1 Barras de transferencia en el primario.....	
1.2.2 Barras de transferencia en el secundario.....	
1.2.3 Sistemas radial.....	
II. Análisis del factor de potencia y regulación de voltaje.....	
2.1 Generalidades.....	

2.1	El factor de potencia.....
2.3	La regulación de voltaje.....
III.	Compensación de la potencia reactiva.....
3.1	Generalidades.....
3.2	Compensación individual según la carga.....
3.2.1	Motores.....
3.2.2	Iluminación.....
3.2.3	Cargas especiales.....
3.2.4	Transformadores.....
3.3	Compensación por grupos según el tipo de carga.....
3.3.1	Motores.....
3.3.2	Iluminación.....
3.4	Compensación global del sistema.....
IV.	Análisis económico.....
4.1	Generalidades.....
4.2	Conceptos fundamentales.....
4.2.1	Interés simple e interés compuesto
4.2.2	Valor presente.....
4.2.3	Flujo de caja.....
4.3	Métodos de evaluación de proyectos.....
4.3.1	Tasa promedio de retorno.....
4.3.2	Período de recuperación.....
4.3.3	Valor actual neto (V.A.N.).....
4.3.4	Tasa interna de retorno (T.I.R.)

4.3.5	Índice de rentabilidad.....
4.3.6	Comparación entre el V.A.N. y la T.I.R.....
4.4	Factores económicos que definen al proyecto.
4.4.1	Inversión inicial.....
4.4.2	Vida útil de los compensadores....
4.4.3	Pérdidas en los bancos de capacitores.....
4.4.4	Penalización por bajo factor de potencia.....
4.4.5	Proyección del ahorro de energía por pérdidas en las líneas.....
4.4.6	Proyección del ahorro de energía por mayor eficiencia en las cargas.....
V.	Aplicación de los criterios en la optimización...
5.1	Generalidades, enfoque del método a seguir..
5.2	Análisis del beneficio en cada punto de compensación.....
5.3	Método para encontrar el máximo beneficio...
5.4	Programa de computación para la selección óptima de la compensación de reactivos.....
VI.	Aplicación del proyecto en una industria.....

6.1	Esquema de la empresa a estudiar.....
6.2	Estudio del tipo de cargas y su operación...
6.3	Compensación de la potencia reactiva en los diferentes puntos del sistema.....

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....

APENDICES.....

BIBLIOGRAFIA.....

INTRODUCCION

Generalmente una industria necesita de motores eléctricos, iluminación, transformadores y otras cargas las cuales requieren de potencia reactiva para su funcionamiento, como consecuencia es necesario compensarla. En la actualidad la manera más práctica de hacerlo es con una batería de bancos de capacitores variable a la altura del tablero de distribución principal con lo que se evita pagar la multa a la empresa eléctrica por un bajo factor de potencia, pero a continuación en el sistema, se encuentran puntos con F.P. de 0.7 o 0.6 y en ocasiones menores aún. Esto trae como consecuencia una corriente excesiva en las líneas de alimentación de los centros de carga y como resultado una pérdida adicional de energía en ella a la vez que una mala regulación de voltaje y una baja eficiencia en las cargas, si es que no se tienen problemas con ellas o con los sistemas de protección. Con un efectivo control de los compensadores se logrará además de evitar la penalización, una mejor eficiencia a nivel global del sistema. Es lógico pensar que el costo inicial será mayor pero el análisis se deberá efectuar a largo plazo sin olvidar que no se pueden rebasar los límites dados por los factores económicos de la empresa.

El desarrollo de esta tesis es de forma continua, con el

objetivo final de encontrar la configuración óptima de la compensación de potencia reactiva en un sistema industrial.

Para lograr esto, en el capítulo uno, se analizan los tipos de carga que se encuentran en la industria, como lo son: motores, iluminación, cargas especiales y bancos de transformadores, además en este capítulo se tratan los diferentes sistemas industriales de distribución los cuales son de tipo radial, que a su vez toman diferentes configuraciones según el esquema propio de concentración de cargas. Otra configuración es barras de transferencia en el secundario es decir la posibilidad de tener acometida desde dos puntos a nivel de bajo voltaje, con un tablero de transferencia. La otra opción es una acometida desde dos puntos de alimentación a alto voltaje conocido como barras de transferencia en el primario.

En el capítulo dos se analizan el factor de potencia y la regulación de voltaje. Del primero se dan la definición y conceptos fundamentales; el cálculo de la potencia reactiva para compensar un bajo factor de potencia de una carga y el efecto de dicha compensación en la corriente en la líneas de alimentación y el ahorro de energía. Además se definen la regulación del voltaje; su efecto en la corriente de las líneas de fuerza y en la eficiencia de las cargas.

En el capítulo tres se observa primero la compensación a

nivel individual de cargas, sean estas motores trifásicos o monofásicos, los diversos tipos de iluminación, cargas especiales y transformadores; a continuación se realizan consideraciones de grupos de cargas como las encontradas en un tablero de control de motores o de iluminación, para finalizar con la compensación global de todo el sistema con el uso de bancos de capacitores variables desde el tablero principal.

En el capítulo cuatro se efectúa el análisis económico del proyecto. Se inicia con la definición de conceptos fundamentales como son el interés simple, el interés compuesto, el valor presente y el flujo de caja que son las principales herramientas de los métodos de evaluación de un proyecto. Otro punto a tratar en este capítulo son los factores económicos que definen al proyecto, estando aquellos que producen un beneficio y los que ocasionan pérdidas.

La meta del capítulo cinco es la aplicación de todos los conceptos antes expuestos para lograr un orden de prioridades en beneficios y en costos, sobre todo en el costo inicial. Se expondrá la explicación del método para encontrar el máximo beneficio, para finalizar con el diseño y realización de un programa para computadores personales en el cual se ejecuten todos los criterios, para que de una

manera práctica se encuentre el esquema apropiado de compensación de reactivos en una industria.

El capítulo seis consiste en la ejecución del proyecto en una planta industrial, detallando los procedimientos a seguir para poder aplicarlo. Para poner en práctica el proyecto se requiere de los datos de la empresa, su configuración, y en base a ésta se realizan las compensaciones de reactivos en los puntos claves del sistema según la carga. Luego a cada punto se le efectúa el estudio económico; es decir el beneficio que éste produce.

La compensación distribuida a través de todo un sistema industrial es más compleja que la centralizada porque demanda un mayor conocimiento del esquema en el cual se está trabajando, los tipos de carga y su funcionamiento, a la vez que es necesario tener un conocimiento de la cadena o de flujo de la fábrica a tratar.

En sí el objetivo de este trabajo es el de ser una herramienta para el ingeniero, el cual aprovechará las ventajas de un computador.

CAPÍTULO I

1. TIPOS DE CARGAS Y ESQUEMAS INDUSTRIALES.

En el interior de una planta industrial, se encuentran un sin número de dispositivos según el tipo de instalación y el proceso que realiza la misma. En la actualidad la mayor parte están vinculados de una manera u otra con la electricidad, y están alimentados a través de un sistema eléctrico. El éxito o el fracaso de toda instalación de una máquina accionada eléctricamente, depende de la adecuada selección de su dispositivo de control y su alimentación.

Para realizar instalaciones correctas, es necesario conocer los factores que entran en la selección tanto del dispositivo eléctrico, del aparato de control y del sistema de alimentación, obteniendo además la información de su funcionamiento y operación específica dentro del proceso al que pertenece.

Dentro de una instalación industrial podemos definir como cargas eléctricas a todos los dispositivos que transforman a la energía eléctrica en un trabajo útil o en otro tipo de energía que puede ser la energía mecánica, la energía calorífica, la energía luminosa, etc. o manejar a la propia energía eléctrica para suministrarla a otros dispositivos.

Un sistema correcto de distribución dentro de la planta, tendrá como objetivo el proporcionar a todos los dispositivos eléctricos la energía dentro de los parámetros que ellos la requieran para tener un funcionamiento óptimo.

1.1 TIPOS DE CARGAS.-

Actualmente las industrias funcionan con energía eléctrica de tal manera que ante la falta de ésta, se produciría la paralización si no total, si parcial de la fábrica puesto que la estructuración de un proceso productivo conlleva un sin número de dispositivos accionados generalmente por motores eléctricos de diversas clases; así mismo la iluminación de la nave industrial; todas estas cargas alimentadas a la tensión de operación por uno o varios transformadores de potencia. Un mejor detalle de las principales clases de carga que se encuentran en una planta industrial la trataremos a continuación:

1.1.1 MOTORES.

Los motores son elementos cuya función es la de convertir la energía eléctrica en energía mecánica generalmente en forma rotacional aunque en los últimos tiempos también en forma lineal.

Esta tesis se limitará a los más utilizados que son los primeros. Los motores tienen su clasificación según el tipo de energía eléctrica con la que se alimenten que puede ser continua o alterna y a su vez si es alterna pueden ser monofásicos o polifásicos. En el caso de los segundos está generalizado el uso de motores trifásicos por ser la forma técnica económica más eficiente de administrar la energía eléctrica. A continuación se describen los tipos de motores que se encuentran con más regularidad dentro de un proceso productivo y sus características de funcionamiento necesarias para cumplir con el objetivo de esta tesis:

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA. - Estos motores son alimentados con corriente DC. Generalmente son utilizados en aplicaciones que demandan un control de velocidad constante y rígido. Estos motores, por demandar de corriente DC en grandes cantidades, se conectan a la red principal por medio de un bloque rectificador de corriente alterna a corriente continua los cuales precisan la ubicación de condensadores como filtros, por la repercusión del uso de los ya conocidos

triacs y scr., que es la introducción de armónicas en el sistema eléctrico de la planta y que los estudiaremos más a fondo en el tópico de cargas especiales.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA. - Estos motores convierten la energía eléctrica de carácter alterno en energía mecánica rotativa. Se clasifican según la velocidad de operación en: motores síncronos que son aquellos que giran en función de el número de polos que posea y la frecuencia del voltaje de alimentación, mientras que el asíncrono es aquel cuya velocidad es diferente de la velocidad que debería generar en base al número de polos y la frecuencia.

EL MOTOR SINCRONO .- Utilizado en procesos industriales que demandan de diferentes valores de torque, a una velocidad constante. Dicha velocidad es:

$$N_s = 120 * F / P$$

Donde:

N_s = Velocidad de sincronismo.

F = Frecuencia fundamental.

P = Número de polos del motor.

Este tipo de motores son generalmente de construcción de polos salientes. Se lo utiliza en aplicaciones que requieren de velocidades lentas. Esta máquina tiene la propiedad intrínseca de ser una fuente de potencia reactiva la cual está relacionada con el valor del campo en el rotor que es fácilmente ajustable. Sin embargo en el mayor caso de la aplicaciones, el costo de los motores sincrónicos es elevado con respecto a los de inducción por lo que en la actualidad se los ha dejado de usar a causa del factor económico.

En cargas que superan los 200 HP. se hace atractivo el uso de este tipo de dispositivos. El objetivo de esta tesis los relega puesto que se asumirá el caso de una planta en la cual no existan motores sincrónicos, que es muy común en la actualidad.

EL MOTOR ASINCRONO.- Es el elemento generalizado que le da el movimiento a una empresa y que tiene un gran impacto en lo que es potencia reactiva. Los parámetros para su selección son:

El voltaje.- La tensión de placa es normalmente menor que la tensión del sistema de alimentación.

13

La comisión conjunta del Instituto Eléctrico Edison y la NEMA, han recomendado standars para ambos: Para el voltaje de alimentación y el voltaje nominal de placa TABLA # 1. Lo que permite tener flexibilidad con la regulación de voltaje considerando alimentadoras de longitudes grandes.

Para motores de 200 HP. o menos, se puede aceptar una variación de voltaje de mas o menos 10% con una máxima variación del 5% de la frecuencia de operación.

TABLA I

VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA DE POTENCIA	VOLTAJE DE PLACA DE MOTOR
208	200
240	230
480	460
600	575

VALDRES STANDARS DE VOLTAJE

La Frecuencia.- La variación de este parámetro no debe exceder del 5% de la frecuencia nominal. Sin embargo es interesante observar que en la práctica se puede uno encontrar con motores europeos que tienen por frecuencia nominal 50 Hertz a 380 V trifásicos; analizando el valor de la fuerza electromotriz inducida en los devanados se tiene:

$$E = 4.44 * f * N * kdp * \phi * 10E-8$$

Todos los parámetros se mantendrán constantes excepto el voltaje y la frecuencia. Por lo tanto:

$$(E1 / E2) = (f1 / f2)$$

Si $f1 = 60$; $f2 = 50$; y $E2 = 380$ se tiene que $E1$ será igual a 456 voltios, esto está dentro del margen de la regulación de voltaje de un sistema de 460 V trifásico.

Número de fases.- el sistema industrial predominante es el trifásico mientras que en áreas residenciales y rurales es el monofásico.

Requisitos de potencia.- La magnitud de la carga determina el valor de los HP del motor. La forma más eficaz para dimensionar la máquina es el

conocimiento del ciclo que va a desarrollar o las maniobras a las cuales va a estar sometida y obtener la potencia media :

$$P_{med} = ((P1^{**2} * t1 + P2^{**2} * t2 +...)/(t1 + t2 +...))^{**0.5}$$

La clase de la curva de torque del motor.- se puede observar la figura # 1 en la cual la curva de tipo A el torque máximo es de un 275 % del nominal, la curva de tipo B tiene un torque máximo del 225 % que es el más difundido, la curva de tipo C tiene el torque máximo de 190 % del torque nominal. En la figura # 2 se tienen las curvas de torque de los motores del tipo D con dos diferentes clases de deslizamiento: del 5-8% y del 8-13%. Ambas tienen un torque de arranque del orden del 275%, con la diferencia de que la primera tienen un torque máximo del 280% mientras que en el segundo coincide con el de arranque. Empíricamente se ha determinado que el valor del torque en lbs-pie por HP. según la velocidad. Ver la tabla II

Clasificación NEMA del motor.- consiste en la designación de una letra con la cual se indican

FIGURA # 1

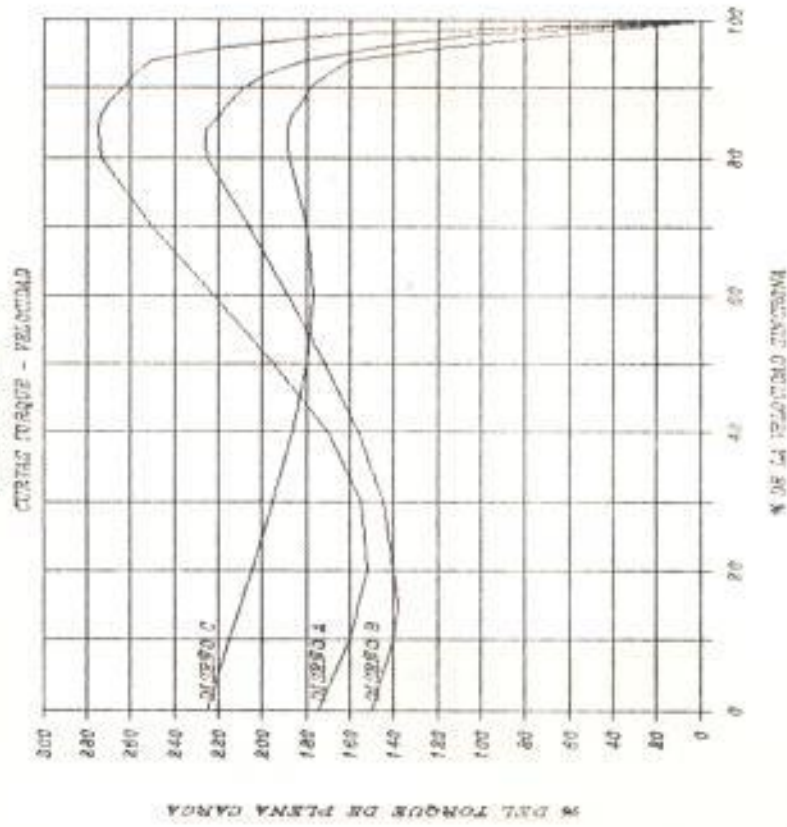
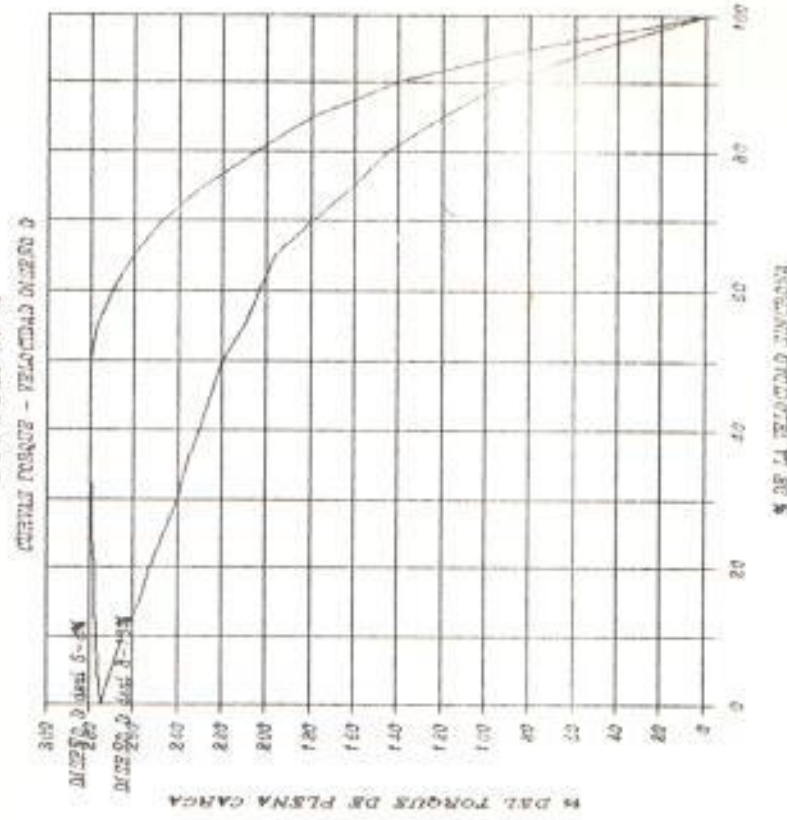


FIGURA # 2



los kilovoltios - amperios que la máquina demanda en el momento de arranque. Ver la tabla III.

TABLA II

3600 RPM	-----	1.5 LBS-PIE/HP
1800 RPM	-----	3.0 LBS-PIE/HP
1200 RPM	-----	4.5 LBS-PIE/HP

Valores empíricos del Torque %s. Velocidad

TABLA III

CODIGO	KVA / HP	
A	00.00	3.15
B	3.15	3.55
C	3.55	4.0
D	4.0	4.5
E	4.5	5.0
F	5.0	5.6
G	5.6	6.3
H	6.3	7.1
J	7.1	8.0
K	8.0	9.0
L	9.0	10.0
M	10.0	11.2
N	11.2	12.5
P	12.5	14.0
R	14.0	16.0
S	16.0	18.0
T	18.0	20.0
U	20.0	22.4
V	22.4	y más

Código Nema

El circuito equivalente de las máquinas de inducción, Figura # 3, hace más fácil el estudio del comportamiento de las mismas frente a las diversas condiciones de carga a los cuales se ve sometido.

Las pruebas necesarias para obtener dicho circuito equivalente son :

Rotor Bloqueado.

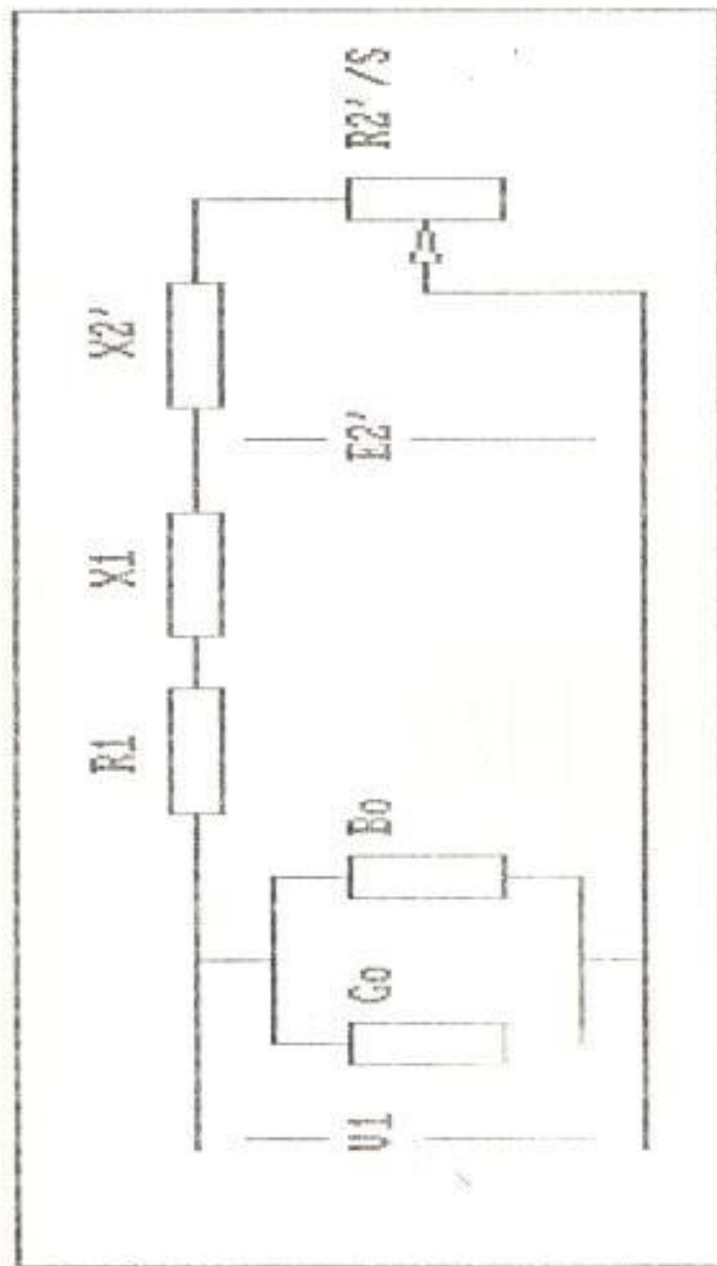
Vacio.

Vacio ideal.

Con estos parámetros se puede construir el diagrama circular del motor. Figura # 4, el cual proporciona las características del motor en funcionamiento para los diferentes valores de carga como lo es la corriente, el factor de potencia, el rendimiento etc.

Estos datos se pueden obtener fácilmente siempre y cuando se tuviera un laboratorio con todos los equipos necesarios para realizar todas las pruebas y así se lo tuvieran no se van a hacer a 30 o 40 motores que bien puede tener una industria. El objetivo ahora es el de obtener el

FIGURA # 3



CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCION

FIGURA # 4

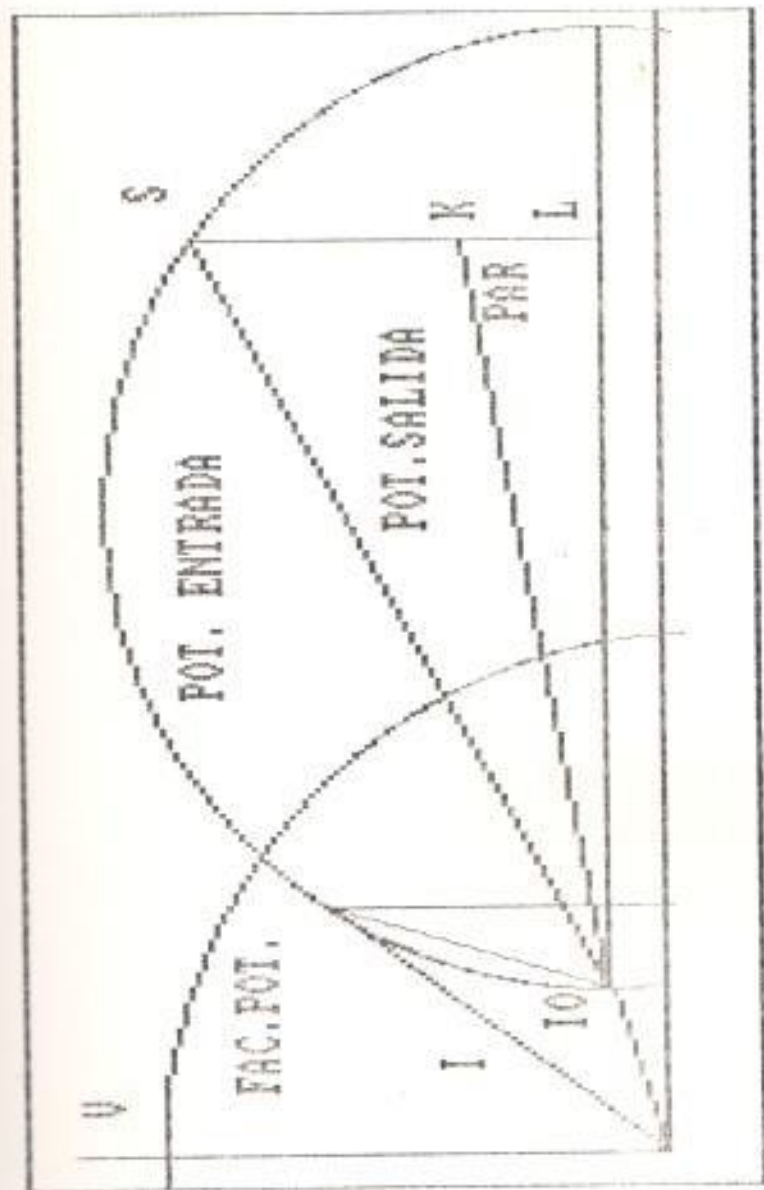


DIAGRAMA CIRCULAR DEL MOTOR DE INDUCCION

diagrama circular del motor utilizando los datos de catálogos dados por los mismos fabricantes. Para este caso se utilizará el catálogo de los motores MARATHON ELECTRIC, cuyos datos están en la tabla IV.

Se tienen como datos:

HP	Potencia nominal del motor.
RPM	Velocidad a potencia nominal del motor.
eff (pc)	Eficiencia a plena carga.
eff (3/4)	Eficiencia a 3/4 de la carga nominal.
eff (1/2)	Eficiencia a 1/2 carga nominal.
cos ϕ (pc)	Factor de potencia a plena carga.
cos ϕ (3/4)	Factor de potencia a 3/4 de carga.
cos ϕ (1/2)	Factor de potencia a 1/2 carga.
I nom	Corriente nominal.
I cc	Corriente de rotor bloqueado.
M cc	% de torque nominal en rotor bloqueado.
M max	% de torque nominal máximo.

Que son suficientes para obtener el diagrama circular del motor polifásico de inducción.

Se obtienen las corrientes para el caso de media

TABLA # IV

MOTORES TRIFASICOS

MOTOR DE TORQUE B DRIPPROF

VELOCIDAD SINCRONA : 3600 R.P.M.

VEL. R.P.M.	FRAME	EFF. NOM.			FAC. POT.			AMPS.V.N.		Nº T.NOM		
		CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	ROTOR BLOQ.	M R. A B	B-1	VOL.
143T	80.00	78.50	78.50	87.90	85.30	75.80	2.0	20.0	M	175	250	460
145T	80.00	80.00	77.00	70.50	87.70	81.40	2.6	25.0	L	170	240	460
182T	82.50	75.50	70.00	87.30	83.30	75.60	3.9	32.0	K	160	230	460
184T	84.00	84.00	80.00	90.10	82.10	73.60	6.0	46.0	J	150	215	460
213T	82.50	84.00	81.50	85.00	78.40	66.30	9.9	63.5	H	140	200	460
213T	84.00	81.50	78.50	86.60	83.30	73.30	13.0	81.0	H	135	200	460
215T	86.50	88.50	88.50	86.50	80.70	70.40	18.7	116.0	E	130	200	460
254T	86.50	86.50	85.00	87.00	84.50	76.50	25.0	145.0	G	130	200	460
256T	87.50	88.50	88.50	90.00	88.50	83.00	30.0	182.0	G	130	200	460
284TS	86.50	86.50	85.00	87.00	84.00	76.00	37.0	217.0	G	130	200	460
286TS	89.50	87.00	80.50	89.00	87.00	81.00	47.5	290.0	G	125	200	460
324TS	89.50	89.50	80.00	85.50	82.50	74.50	61.0	362.0	F	125	200	460
326TS	89.50	90.00	89.00	88.00	86.00	80.50	71.0	435.0	G	120	200	460
364TS	90.20	91.00	91.00	85.00	82.00	75.00	92.0	542.0	F	120	200	460
365TS	91.70	92.00	92.50	85.50	83.50	78.00	119.0	725.0	F	105	200	460
444TS	94.50	94.50	93.00	90.50	89.00	84.00	137.0	907.0	G	100	200	460
405TS	93.00	93.50	93.00	90.50	89.50	86.00	167.0	1085.0	G	100	200	460
444TS	93.60	93.50	92.50	89.00	87.50	82.50	225.0	1450.0	G	100	200	460
445TS	93.60	93.50	92.50	90.00	88.00	84.00	275.0	1875.0	G	70	175	460

TABLA # IV

MOTORES TRIFASICOS

MOTOR DE TORQUE B TEEF, TOTAL ENCLOSED FAN COOLED

VELOCIDAD SINCRONA : 3600 R.P.M.

VEL. R.P.M.	FRAME	EFF. NOM.			FAC. POT.			AMPS.V.N.		Nº T.NOM		
		CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	ROTOR BLOQ.	M R. A B	B-1	VOL.
182T	82.50	75.50	70.00	87.30	83.30	75.60	3.9	32.0	K	160	230	460
215T	84.00	85.50	82.50	85.70	79.60	70.30	13.1	81.0	H	135	200	460
254T	85.50	85.00	82.00	87.00	85.00	77.00	19.0	116.0	G	130	200	460
256T	86.50	86.50	83.50	87.00	83.50	75.50	25.0	145.0	G	130	200	460
284TS	87.50	87.00	84.00	88.00	85.00	78.50	31.0	182.0	G	130	200	460
286TS	87.50	87.50	85.50	89.00	86.00	79.50	36.0	217.0	G	130	200	460
324TS	89.50	89.50	80.00	86.00	83.50	77.50	49.0	290.0	G	125	200	460
326T	90.20	90.00	88.00	88.50	87.00	82.00	59.0	362.0	G	125	200	460
364TS	92.40	92.50	91.50	85.00	82.00	75.00	72.0	435.0	F	120	200	460
365TS	93.60	93.50	92.50	86.00	83.50	77.00	97.0	542.0	G	105	200	460
405TS	94.10	94.10	93.00	90.50	89.00	84.50	110.0	725.0	G	105	200	460
444TS	94.50	94.50	93.00	90.50	89.00	84.50	137.0	907.0	G	100	200	460
455TS	94.10	94.10	92.50	92.00	90.00	86.00	163.0	1085.0	G	100	200	460

TABLA # IV

MOTORES TRIFASICOS

MOTOR DE TORQUE B DRIPPROF

VELOCIDAD SINCRONA : 1800 R.P.M.

VEL. P.L.	FRAME	EFF. NOM.			FAC. POT.			AMPS. V.N.		Nº T. NOM			
		CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	POTOR BLDD.	M.F. A	B	Grk	VOL
143T	143T	77.00	74.00	68.00	68.40	59.60	47.30	1.8	15.0	N	275	300	450
145T	145T	80.00	81.50	80.00	74.00	59.90	46.40	2.4	20.0	M	250	280	450
145T	145T	81.50	80.00	77.00	75.50	64.80	52.50	3.1	25.0	L	235	270	450
145T	145T	82.50	85.50	84.00	81.60	76.20	62.10	4.3	32.0	K	215	250	450
184T	184T	85.50	82.50	82.50	81.00	74.00	58.60	6.6	46.0	J	185	225	450
213T	213T	84.00	84.00	82.50	76.60	68.30	55.90	10.8	63.5	H	175	215	450
215T	215T	86.50	87.50	86.50	80.20	73.50	58.50	13.7	81.0	H	165	200	450
254T	254T	88.50	87.00	86.50	81.70	79.00	67.50	19.5	116.0	E	160	200	450
256T	256T	88.50	89.00	88.50	84.00	80.00	71.00	25.5	145.0	G	150	200	450
284T	284T	89.50	89.00	89.50	81.00	77.50	66.00	32.5	182.0	G	150	200	450
286T	286T	90.20	89.50	89.50	80.50	76.00	66.50	38.5	217.0	G	150	200	450
324T	324T	90.20	90.00	89.00	80.00	76.00	65.50	52.0	290.0	G	140	200	450
326T	326T	90.20	91.00	90.50	83.00	79.50	71.00	63.0	362.0	G	140	200	450
364T	364T	91.00	91.50	90.50	80.50	76.00	66.00	77.0	435.0	F	140	200	450
365T	365T	91.70	92.50	91.00	82.00	78.00	70.00	93.0	542.0	F	140	200	450
404T	404T	93.60	94.00	91.00	84.50	82.50	77.00	119.0	725.0	G	125	200	450
405T	405T	94.10	94.50	94.00	86.00	84.00	79.00	145.0	907.0	G	110	200	450
444T	444T	94.10	94.00	93.00	85.00	83.00	76.50	175.0	1085.0	G	110	200	450
445T	445T	95.00	95.00	94.50	87.50	86.00	80.00	225.0	1450.0	G	100	200	450
445T	445T	95.00	95.00	94.50	84.50	82.00	74.00	290.0	1825.0	G	100	200	450

TABLA # IV

MOTORES TRIFASICOS

MOTOR DE TORQUE B TECP, TOTAL ENCLOSED FAN COOLED

VELOCIDAD SINCRONA : 1800 R.P.M.

VEL. P.L.	FRAME	EFF. NOM.			FAC. POT.			AMPS. V.N.		Nº T. NOM			
		CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	POTOR BLDD.	M.F. A	B	Grk	VOL
143T	143T	77.00	77.00	66.00	69.40	61.00	50.00	1.8	15.0	N	275	300	450
145T	145T	80.00	81.50	80.00	74.00	59.90	46.40	2.4	20.0	H	250	280	450
145T	145T	82.50	81.50	78.50	78.60	72.20	59.20	2.9	25.0	L	235	270	450
182T	182T	82.50	80.00	75.50	84.10	70.00	57.50	4.4	32.0	K	215	250	450
184T	184T	82.50	84.00	82.50	80.70	75.00	63.30	6.6	46.0	J	185	225	450
213T	213T	87.50	85.50	84.00	80.70	78.70	72.20	10.0	63.5	M	175	215	450
215T	215T	87.50	87.50	86.50	82.30	74.50	64.10	13.0	81.0	H	165	200	450
254T	254T	88.50	88.50	87.50	83.50	80.00	70.50	19.0	116.0	G	160	200	450
256T	256T	89.50	90.00	89.00	85.00	81.50	72.00	24.5	145.0	G	150	200	450
284T	284T	90.20	89.50	89.00	81.00	78.50	69.00	32.0	182.0	G	150	200	450
286T	286T	90.20	89.50	88.50	80.00	75.50	65.50	38.0	217.0	G	150	200	450
324T	324T	90.20	89.50	88.00	81.00	76.50	67.00	51.5	290.0	G	140	200	450
326T	326T	91.00	91.00	90.00	82.50	78.50	70.00	62.5	362.0	G	140	200	450
364T	364T	91.70	91.50	90.00	83.00	80.00	72.00	74.0	435.0	G	140	200	450
365T	365T	93.00	93.00	92.00	83.50	82.00	75.00	90.0	542.0	G	140	200	450
405T	405T	92.40	93.00	92.50	86.00	84.00	77.00	117.0	725.0	G	125	200	450
444T	444T	92.40	92.00	90.00	85.00	82.00	74.50	149.0	907.0	G	110	200	450
445T	445T	93.00	92.50	90.50	86.00	83.00	75.50	175.0	1085.0	G	110	200	450
445T	445T	95.00	95.00	94.00	86.00	84.50	79.00	228.0	1450.0	G	100	200	450

TABLA N° IV

MOTORES TRIFASICOS

CURVA DE TORQUE B DRIPPROF

VELOCIDAD SINCRONA : 1200 R.P.M.

VEL. F.L.	RPM	FRAME	EFF. NOM.			FAC. PDT.			AMPS. V.N.		N° T. NOM			
			CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	ROTOR BLDG.	M R.	Brk	VOL	
0.4	1145	143T	74.00	72.00	66.00	59.10	51.90	40.40	1.6	12.5	P	175	275	460
1	1140	145T	75.50	70.00	66.00	60.70	53.20	41.00	2.1	15.0	N	170	265	460
1.5	1150	182T	75.50	74.00	68.00	70.00	62.30	51.30	2.5	20.0	M	165	250	460
2	1145	184T	80.00	80.00	75.50	70.60	61.90	51.30	3.1	25.0	L	160	240	460
3	1160	213T	82.50	81.50	77.00	69.10	62.00	49.70	5.0	32.0	X	155	230	460
5	1160	215T	85.50	85.50	84.00	75.40	68.20	56.10	7.3	45.0	J	150	215	460
7.5	1155	254T	84.00	83.50	82.00	76.50	70.50	59.00	11.0	63.5	M	150	205	460
10	1155	256T	85.50	87.00	86.00	81.00	76.00	66.00	13.5	81.0	H	150	200	460
15	1170	284T	87.50	88.00	87.00	80.00	76.00	66.50	20.0	116.0	G	140	200	460
20	1170	286T	89.50	90.00	88.50	80.00	76.00	66.00	26.0	145.0	F	135	200	460
25	1175	324T	89.50	90.50	90.00	81.50	78.00	68.00	32.0	182.0	E	135	200	460
30	1175	326T	90.20	90.00	89.00	80.00	76.00	66.00	39.0	217.0	D	135	200	460
40	1180	364T	89.50	90.50	90.00	81.50	78.50	70.50	52.0	290.0	C	135	200	460
50	1185	365T	90.20	90.50	90.00	80.50	77.00	67.50	64.0	362.0	B	135	200	460
60	1185	404T	91.70	91.50	90.50	81.00	77.00	68.00	76.0	435.0	A	135	200	460
75	1185	405T	92.40	93.00	92.50	82.00	79.00	69.00	92.0	542.0	A	135	200	460
100	1185	444T	93.00	93.50	93.00	83.50	80.50	72.50	121.0	725.0	B	125	200	460
125	1185	445T	93.50	93.50	93.00	84.50	82.00	74.50	149.0	907.0	B	125	200	460
150	1185	445T	93.00	93.00	92.50	85.00	83.00	76.00	177.0	1085.0	G	120	200	460

TABLA N° IV

MOTORES TRIFASICOS

CURVA DE TORQUE B TEC, TOTAL ENCLOSED FAN COOLED

VELOCIDAD SINCRONA : 1200 R.P.M.

VEL. F.L.	RPM	FRAME	EFF. NOM.			FAC. PDT.			AMPS. V.N.		N° T. NOM			
			CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	CARGA 3/4	CARGA 1/2	CARGA NOM.	ROTOR BLDG.	M R.	Brk	VOL	
0.4	1150	143T	72.00	72.00	66.00	64.10	55.60	44.30	1.5	12.5	P	175	275	460
1	1150	145T	77.00	74.00	66.00	62.00	54.90	43.00	2.0	15.0	N	170	265	460
1.5	1150	182T	75.50	74.00	69.00	70.00	62.60	50.80	2.5	20.0	M	165	250	460
2	1145	184T	75.50	78.50	75.50	72.40	60.10	48.10	3.2	25.0	L	160	240	460
3	1150	213T	80.00	78.50	75.50	74.60	64.70	52.00	5.0	32.0	X	155	230	460
5	1150	215	84.00	84.00	81.50	74.30	69.40	57.10	7.3	45.0	J	150	215	460
7.5	1155	254T	84.00	84.50	83.60	80.00	74.50	64.00	10.5	63.5	M	150	205	460
10	1155	256T	85.50	85.50	83.50	80.00	73.00	61.00	14.0	81.0	H	150	200	460
15	1165	284T	87.50	88.00	87.50	79.50	75.50	65.00	20.0	116.0	G	140	200	460
20	1165	286T	88.50	89.00	88.00	80.00	76.50	67.00	26.5	145.0	F	135	200	460
25	1170	324T	88.50	89.00	87.50	79.00	74.50	64.50	33.5	182.0	E	135	200	460
30	1170	326T	89.50	90.00	89.50	79.00	73.50	63.50	40.0	217.0	D	135	200	460
40	1180	364T	90.20	91.00	90.00	79.00	75.00	65.00	53.0	290.0	C	135	200	460
50	1180	365T	91.00	91.50	91.00	80.50	78.00	68.50	64.0	362.0	B	135	200	460
60	1180	404T	92.40	92.00	91.00	84.00	81.00	73.00	73.0	435.0	A	135	200	460
75	1180	405T	92.40	92.00	91.50	83.50	80.00	70.50	91.0	542.0	A	135	200	460
100	1185	444T	93.00	93.00	91.50	83.00	79.00	70.50	121.0	725.0	B	125	200	460
125	1185	445T	93.60	93.00	92.00	83.00	79.50	71.00	150.0	907.0	G	125	200	460

y tres cuartas partes de la potencia nominal.

$$I_{(3/4)} = (0.75 * HP) / (\text{eff}_{(3/4)} * \cos \theta_{(3/4)} * 1.73 * V)$$

$$I_{(1/2)} = (0.50 * HP) / (\text{eff}_{(1/2)} * \cos \theta_{(1/2)} * 1.73 * V)$$

Con el valor de las corrientes y sus factores de potencia se calculan los puntos en coordenadas X-Y.

$$I_{\text{nom}} \text{ y } \cos \theta_{\text{nom}} \Rightarrow X_1 \text{ y } Y_1$$

$$I_{(3/4)} \text{ y } \cos \theta_{(3/4)} \Rightarrow X_2 \text{ y } Y_2$$

$$I_{(1/2)} \text{ y } \cos \theta_{(1/2)} \Rightarrow X_3 \text{ y } Y_3$$

Se determina la ecuación de la circunferencia descrita por estos tres puntos.

$$(X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2 = R^2$$

El sistema de ecuaciones es:

$$(X_1 - X_c)^2 + (Y_1 - Y_c)^2 = R^2$$

$$(X_2 - X_c)^2 + (Y_2 - Y_c)^2 = R^2$$

$$(X_3 - X_c)^2 + (Y_3 - Y_c)^2 = R^2$$

Y las incógnitas son:

$$X_c \quad - \quad Y_c \quad - \quad R$$

Resolviendo las ecuaciones:

El punto centro de la circunferencia es (X_c, Y_c) , en coordenadas rectangulares. Pasándolos a coordenadas polares son: $(C_c, @)$. Donde

$$C_c = (X_c^2 + Y_c^2)^{0.5}$$

$$@ = \text{Arc-tang} (Y_c / X_c)$$

La ecuación de la circunferencia en coordenadas polares es :

$$R^2 = P^2 + C_c^2 - 2 * P * C_c * \cos (@ - \theta)$$

Si se tiene como única incógnita θ :

$$\cos (\theta - @) = ((R^2 - P^2 + C_c^2) / (2 * P * C_c))$$

$$\theta = @ + \text{Arc-Cos} ((R^2 - P^2 + C_c^2) / (2 * P * C_c))$$

F.P. = $\cos (90 - \theta)$ para cualquier valor de corriente en la máquina. Por lo tanto basta tener los HP de motor, su clase, datos del catálogo del fabricante y los HP. requeridos por la carga, o si fuera posible una medición directa de la corriente del mismo para calcular el valor del

factor de potencia al cual está trabajando la máquina. Este parámetro es el necesario para llevar a cabo el objetivo de la tesis.

Un ejemplo es desarrollado a continuación:

Se toman los datos de un motor trifásico, de 3600 R.P.M. Dripprof, curva de torque B de 10 H.P. alimentado con 460 Voltios.

	Amps.	F.P.	Eff
Nom	13	0.866	0.84
3/4	10.34	0.830	0.815
1/2	8.136	0.730	0.785

En coordenadas rectangulares:

X1	=	6.500	Y1	=	11.258
X2	=	5.722	Y2	=	8.616
X3	=	5.53	Y3	=	5.96

Resolviendo para la ecuación:

$$(X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2 = R$$

Se tiene:

$$X_c = 10.11949$$

$$Y_c = 6.402358$$

$$R = 12.59272$$

Resolviendo para coordenadas polares:

$$C_c = 19.2173$$

$$\theta = 19.46 \text{ grados}$$

La ecuación es:

$$R^2 = P^2 + Cc^2 - 2 * P * Cc * \cos (\theta - 0)$$

Si se tiene un valor de corriente $P = 9$ Amps.,
la única incógnita es θ .

Resolviendo:

$$\theta = 38.0372$$

$$\cos (\theta) = .78761.$$

MÁQUINAS DE INDUCCIÓN MONOFÁSICAS.- Este tipo de motores se utilizan en gran número de cargas de potencia pequeña en las cuales conviene realizar una alimentación de dos conductores, como es el caso de bombas pequeñas, aspiradoras, ventiladores, máquinas herramientas pequeñas, etc.

Los motores de inducción monofásicos tienen su circuito equivalente, al del que los motores trifásicos de tal manera que se puede obtener el diagrama circular del motor de la misma forma, teniendo todos los datos.

1.1.2 ILUMINACION.

Los sistemas de iluminación disponibles en la actualidad pueden clasificarse en según el siguiente cuadro sinóptico:



LAMPARA INCANDESCENTE.- produce luz a causa del calentamiento del filamento que esta posee, al pasar por el mismo la corriente eléctrica; tal es el incremento de temperatura que la radiación emitida cae en la región visible del espectro.

Hay que distinguir las lámparas que tienen en su interior gas halógeno y aquellas que no lo poseen. Estas, tienen en su interior gas inerte como lo son el nitrógeno y el argón, que impiden la evaporación del filamento que es el tungsteno. Este metal ha sido seleccionado en la fabricación de las lámparas modernas por su alto punto de fusión y por su ritmo lento de evaporación. Mientras mayor sea la presión del gas, mayor será la luminosidad del foco y su tiempo de vida será igualmente mayor.

Las lámparas halógenas tienen por característica

incluir un gas que pertenezca a esta familia como el yodo, el cloro, el bromo, para establecer un ciclo de regeneración del filamento. En estas luminarias la temperatura ambiente es sumamente elevada, para no permitir la condensación del tungsteno, de manera que se forme un compuesto gaseoso entre el halógeno y el material del filamento, el mismo que cuando se acerca al filamento, y a causa de la alta temperatura, se descompone nuevamente en tungsteno que se deposita, y el gas queda libre para otro ciclo.

El funcionamiento de las lámparas incandescentes está muy relacionada con el voltaje que la misma reciba. Un incremento del 5% en el voltaje reduce el tiempo de vida del foco en un 50%, con incrementos del 20% en la luminosidad y del 10% en los vatios demandados. El factor de potencia de éstas, es de la unidad; es decir que no tienen demanda de potencia reactiva. En la tabla V se tienen los datos técnicos para este tipo de luminarias, proporcionadas por los fabricantes.

LAMPARAS DE DESCARGA.- Producen luz por un arco

TABLA V
LAMPARAS DE INCANDESCENCIA.

TIPO	BASE		VOL.	CORR.	POT.	VIDA
			OPER.	OPER.	CONV.	PRON.
			VOL T	AMPS.	VAT.	HORAS
10 WATIOS	BASE MOD.	E 27	120	0.208	25	1000
15 WATIOS	BASE MOD.	E 27	120	0.333	40	1000
25 WATIOS	BASE MOD.	E 27	120	0.500	60	1000
40 WATIOS	BASE MOD.	E 27	120	0.833	100	1000
60 WATIOS	BASE MOD.	E 27	120	1.250	150	1000
75 WATIOS	BASE MOD.	E 27	120	1.567	200	1000
100 W - 225V	BASE MOD.	E 27	225	1.267	60	1000
150 W - 225V	BASE MOD.	E 27	225	0.444	100	1000
200 W - 225V	BASE MOD.	E 27	225	0.567	150	1000
250 W - 225V	BASE MOD.	E 27	225	0.889	200	1000
300 W - 130V	BASE MOD.	E 27	130	2.308	300	1000
400 W - 130V	BASE MOD.	E 27	130	3.846	500	1000

TABLA V
LAMPARAS DE INCANDESCENCIA HALOGENO.

TIPO	BASE		VOL.	CORR.	POT.	VIDA
			OPER.	OPER.	CONV.	PRON.
			VOL T	AMPS.	VAT.	HORAS
100 W - 120	BASE MOD.	R7 s-15	120	2.500	300	1000
150 W - 120V	BASE MOD.	R7 s-15	120	4.167	500	2000
200 W - 120V	BASE MOD.	R7 s-15	120	8.333	1000	2000
100 W - 230V	BASE MOD.	R7 s-15	230	1.304	300	1000
150 W - 230V	BASE MOD.	R7 s-15	230	2.174	500	2000
200 W - 230	BASE MOD.	R7 s-15	230	4.348	1000	2000
300 W - 230V	BASE MOD.	R7 s-15	230	6.522	1500	2000

eléctrico mantenido entre dos electrodos que ésta posee en una atmosfera de gas o vapor ionizado, que en ocasiones está en combinación con la luminiscencia de los compuestos de fósforo excitados por la radiación generada en la descarga. Estas lámparas funcionan por lo general, acopladas a un dispositivo limitador de corriente " balasto " el cual está conectado al circuito. Este consta de bobinas normalmente, aunque también se encuentra como combinación de éstas con condensadores.

Entre las lámparas de este tipo más utilizadas en el país se distinguen dos grupos:

Lámparas de baja presión entre las que tenemos:

LAMPARAS FLUORESCENTES. - Estas poseen una forma tubular rectilínea que se instalan con arranques y balasto; su tono de luz es el de luz día.

LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION. - Se caracteriza por su radiación casi monocromática amarilla, alta eficacia luminosa y una larga vida. Se utiliza donde no es importante la reproducción correcta de colores pero sí la percepción de contrastes como son las autopistas,

puertos, vías fluviales y esclusas.

LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA PRESION.-

DESCARGA A.P.-----MERCURIO
 |
 -----MERCURIO CON ADITIVOS HALOGENOS
 |
 -----SODIO CON IGNITOR
 |
 -----SODIO SIN IGNITOR

LAMPARAS DE DESCARGA DE MERCURIO.- Contienen vapor de este elemento a alta presión produciendo un color blanco pero con componentes de verde y azul; se utilizan universalmente en la iluminación pública y en naves de fábricas.

LAMPARAS DE MERCURIO CON ADITIVOS HALOGENOS.- Se distinguen por su alto rendimiento luminoso y sus excelentes cualidades en la reproducción cromática. Son aconsejadas en la iluminación interiores de naves industriales, locales comerciales, escaparates, hoteles, restaurantes, oficinas, y para la iluminación de plantas. En exteriores para jardines públicos, avenidas representativas, edificios, monumentos, campos de deportes, centros de aglomeración urbana y

estacionamientos.

LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION.- Son fuentes de luz de color blanco amarillento con componentes de rojo que posibilita la visión en color. Se utilizan en naves industriales y en alumbrado público como carreteras. Existen dos tipos de lámparas de vapor de sodio: primeras, aquellas que requieren el ignitor, el cual es un elemento que produce un voltaje elevado por corto tiempo que induce a la descarga inicial entre los electrodos y segundas, aquellas que no poseen en su interior un dispositivo auxiliar para su encendido.

LAMPARAS DE LUZ MIXTA.- Esta lámpara puede substituir a las lámparas incandescentes puesto que no necesitan balasto para su funcionamiento. El color de esta lámpara es blanco difuso con un agradable aspecto cromático.

En las tablas VI se proporcionan los datos técnicos de los diferentes tipos de lámparas de descarga suministrados por los fabricantes.

TABLA VI
LAMPARAS DE FLUORESCENCIA

TIPO	BASE		VOL. DPE.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
FLUOR 10W	BASE MOD.	FLUOR	220	0.170	14	30000
FLUOR 20W	BASE MOD.	FLUOR	220	0.370	32	30000
FLUOR 30W	BASE MOD.	FLUOR	220	0.365	40	30000
FLUOR 40W	BASE MOD.	FLUOR	220	0.430	50	30000
FLUOR 65W	BASE MOD.	FLUOR	220	0.670	78	30000
FLUOR 115W	BASE MOD.	FLUOR	220	1.500	135	30000
FLUOR 140W	BASE MOD.	FLUOR	220	1.500	160	30000
FLUOR - PL 7	BASE MOD.	G 23	220	0.175	11	5000
FLUOR - PL 9	BASE MOD.	G 23	220	0.170	13	5000
FLUOR - PL 13	BASE MOD.	G 23	220	0.300	17	5000

TABLA VI
LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

TIPO	BASE		VOL. DPE.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
- 80W	BASE MOD.	E 27	220	0.800	89	3800
- 125 W	BASE MOD.	E 27	220	1.150	137	24000
- 175 W	BASE MOD.	E 40	220	1.500	195	24000
- 250W	BASE MOD.	E 40	220	2.150	266	24000
- 400 W	BASE MOD.	E 40	220	3.250	425	24000
- 700 W	BASE MOD.	E 40	220	5.400	735	24000
- 1000W	BASE MOD.	E 40	220	7.500	1045	24000

TABLA VI
LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO HALDG.

TIPO	BASE		VOL. DPE.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
- Na- 250W	BASE MOD.	E 40	220	3.000	275	12000
- Na- 400W	BASE MOD.	E 40	220	4.500	440	12000
- Na- 1000W	BASE MOD.	E 40	220	9.500	1050	12000
- Na- 2000W	BASE MOD.	E 40	220	10.300	2080	8000

TABLA VI
LAMPARAS DE LUZ MIXTA

TIPO	BASE		VOL. DPE.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
ML - 160W	BASE MOD.	E 27	120	1.400	160	12000
ML - 160W	BASE MOD.	E 27	220	0.750	160	12000
ML - 250W	BASE MOD.	E 27	220	1.200	250	12000
ML - 250W	BASE MOD.	E 40	220	1.200	250	12000
ML - 500W	BASE MOD.	E 40	220	2.400	500	16000

TABLA VI
LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A.P. CON IGN.

TIPO	BASE		VOL. DPE.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
SEN NAV-E 70W	BASE MOD.	E 27	220	1.000	83	24000
SEN NAV-E 100W	BASE MOD.	E 40	220	1.150	122	24000
SEN NAV-E 150W	BASE MOD.	E 40	220	1.800	170	24000
SEN NAV-E 250W	BASE MOD.	E 40	220	3.000	275	24000
SEN NAV-E 400W	BASE MOD.	E 40	220	4.400	450	24000
SEN NAV-E 1000W	BASE MOD.	E 40	220	10.300	1090	24000

TABLA VI
LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A.P. SIN IGN.

TIPO	BASE		VOL. DPE.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
SENH NAVE 210W	BASE MOD.	E 40	220	2.250	232	12000
SENH NAVE 350W	BASE MOD.	E 40	220	3.450	385	16000

TABLA VI
LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A.P. TUBULAR.

TIPO	BASE		VOL. OPS.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
NAV1 150W	BASE MOD.	E 40	220	1.800	170	24000
NAV2 250W	BASE MOD.	E 40	220	3.000	275	24000
NAV3 400W	BASE MOD.	E 40	220	4.400	450	24000
NAV4 1000W	BASE MOD.	E 40	220	10.300	1090	24000

TABLA VI
LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO B.P.

TIPO	BASE		VOL. OPS.	CORR. OPER.	POT. CONV.	VIDA PROM.
			VOLT	AMPS.	VAT.	HORAS
18W	BASE MOD.	BY 22 d	220	0.350	25	14000
35W	BASE MOD.	BY 22 d	220	1.400	56	18000
55W	BASE MOD.	BY 22 d	220	1.400	76	18000
90W	BASE MOD.	BY 22 d	220	2.100	113	18000
135W	BASE MOD.	BY 22 d	220	3.100	175	18000
180W	BASE MOD.	BY 22 d	220	3.100	220	18000

1.1.3. CARGAS ESPECIALES.

En esta parte se tratan los equipos relacionados con elementos de estado sólido aplicados en líneas de fuerza dentro de la planta. Ver datos en la tabla VII.

Los equipos de velocidad variable se aplican hoy en día con gran éxito en todas las ramas de la industria, al igual que los dispositivos de control de temperatura en los hornos de arco. En el primer caso se utilizan motores de corriente continua y trifásicos de velocidad variable los cuales requieren de convertidores estáticos, en el caso de los hornos de arco son alimentados con energía de carácter continuo los cuales requieren igualmente de los convertidores estáticos. Estos constan de tiristores de potencia que es un elemento electrónico de maniobra que en un circuito de convertidores permite mandar la tensión, la intensidad de la corriente, la potencia, y la frecuencia sin discontinuidad ni grandes pérdidas. Sin embargo su repercusión en el sistema de la planta consiste en un bajo factor de potencia y la introducción de armónicas las cuales perturban el funcionamiento de

numerosas máquinas o aparatos eléctricos. Los condensadores son extremadamente sensibles a este efecto ya que su impedancia decrece proporcionalmente al rango de los armónicos presentes.

Existen diferentes tipos de equipos de rectificadores:

Convertidores para accionamientos de corriente continua.- Se caracterizan por utilizar relativamente pocos circuitos básicos y un reducido número de métodos de regulación.

Convertidores para accionamientos trifásicos.- Los dispositivos trifásicos de velocidad variable se utilizan actualmente en aquellos casos en los cuales las exigencias de operación sobrepasan las características de la máquina de corriente continua. Los criterios decisivos para el uso de los motores trifásicos son:

Sincronismo absoluto en grupos de accionamientos.
Velocidades de rotación elevadas.
Gama adaptables de velocidades.

Potencias elevadas.

Pequeño momento de impulsión de rotor.

Buena relación peso/potencia.

Servicio sin interrupciones durante cortos fallos de red.

Reducido mantenimiento.

Condiciones de servicio difíciles debidas a condiciones ambientales extremas.

Utilización en atmósferas explosivas.

Si se comparan con las máquinas de corriente continua, se observa una mayor complejidad en las máquinas de corriente alterna, sobretudo en el área de la electrónica de potencia y de regulación. Esto es compensado con las buenas propiedades dinámicas obtenidas a cambio.

Convertidores para equipos de calentamiento. Equipos rectificadores son utilizados preferentemente en el control del calentamiento eléctrico, en la industria del vidrio. La habilidad de regular la potencia, permite establecer y mantener la temperatura del horno en un valor preciso dentro de un amplio rango y que su circuito electrónico provea un alto nivel de protección a los electrodos.

220/5

TABLA VII

RECTIFICADORES 3 - F				
KW	V-DC	I-DC	I-AC	V-AC
3	125	24	8.7	230
5	125	40	14.5	230
7	125	60	21.7	230
10	125	80	29.0	230
15	125	120	43.5	230
20	125	160	58.0	230
25	125	200	72.5	230
40	125	320	116.0	230
50	125	400	145.0	230
75	250	300	109.0	230
100	250	400	290.0	230
125	250	500	362.0	230
150	250	600	435.0	230
200	250	800	290.0	460
250	250	1000	362.0	460
300	250	1200	425.0	460

1.1.4. TRANSFORMADORES.

Es el dispositivo por el cual circula toda la energía que requiere la planta industrial y por medio del cual la pone a disposición al nivel de voltaje que requieren las cargas para su correcto funcionamiento. Según su capacidad estos dispositivos se clasifican como:

Según su capacidad -----Transformadores de potencia,
 !-----Transformadores de distribución
 !-----Transformadores de instrumentación

Transformadores de Potencia.- Aquellos cuya potencia sobrepasa los 500 KVA.

Transformadores de distribución.- Aquellos cuya potencia esta entre los 3 y los 500 KVA.

Transformadores de Instrumentación.- Aquellos en los cuales la potencia que manejan no sobrepasa los 3 KVA y cuya construcción es especial, puesto que de ellos se obtiene una señal que puede ser de corriente o de voltaje para realizar una medición o comandar algún relé especial, en base a la relación de transformación.

Los analizados en esta tesis son los de distribución puesto que son los que alimentan a

una planta industrial. Estos a su vez se clasifican en base a su tipo de refrigeración y de su medio de aislamiento en :

Según su aislamiento -----Tipo seco.
-----Inmersos en líquidos inertes
-----Inmersos en aceite.

Tipo seco.- Su aislamiento y su medio de enfriamiento es el aire. Son comúnmente utilizados en aplicaciones comerciales, industriales e institucionales donde el aceite representa un peligro potencial contra la seguridad del lugar.

Inmersos en líquidos inertes.- En medio circundante y el aislamiento es un líquido inerte como el askerel, el cual no es inflamable.

Inmersos en aceite.- En este caso el aceite sirve como medio aislante y refrigerante. Su uso es generalizado en la industria, para el efecto es necesaria la construcción de una subestacion donde van ubicados.

El enfriamiento de los transformadores de

distribución sumergidos en aceite es natural, es decir que no se requieren equipos de aire forzado o de aceite forzado. Sin embargo en los tipo seco a menudo si presentan esta característica, la de un enfriamiento forzado de aire.

Los fabricantes proporcionan sus características las cuales se dan a continuación:

- 1.- KVA continuos a una temperatura determinada.
- 2.- Pérdidas a temperatura de operación en vacío.
- 3.- Pérdidas a temperatura de operación a plena carga.
- 4.- La corriente de excitación en porcentaje de la nominal.
- 5.- Impedancia equivalente del transformador en porcentaje.
- 6.- Regulación con factor de potencia 1.0
- 7.- Regulación con factor de potencia 0.8

La impedancia que usualmente se suministra en los catálogos y datos de placa está dada en porcentaje en la base de los kva del transformador. Una forma de encontrar

TABLA VIII
TRANSFORMADORES
FASES = 3

Nº	V PRIM	V SEC	POT. VACIO	POT. P. CARGA	T E M P	I EX. AMPS	Z %	REGULAC.	
			VATIOS	VATIOS				F.P. 1.0	F.P. 0.8
	13800	220	110	490	75	5.10	2.8	2.52	3.48
	13800	220	170	750	75	4.80	2.8	2.22	2.92
	13800	220	240	1030	75	4.50	3.1	2.30	2.98
	13800	220	350	1660	75	4.00	3.2	1.83	3.20
	13800	220	400	2200	75	3.60	3.6	1.61	3.10
	13800	220	610	2800	75	3.50	3.6	1.67	3.67
	13800	220	760	3100	75	3.00	3.9	1.53	3.13
	13800	220	950	5420	75	2.50	4.0	1.32	2.90
	13800	220	1050	6800	75	2.50	4.0	1.20	2.75
	13800	220	1200	8050	75	2.00	4.0	1.05	3.00
	13800	220	1300	10100	75	2.00	4.0	1.22	2.58
	13800	220	1660	13000	75	2.00	4.2	1.20	2.60
	13800	220	2100	15000	75	2.00	5.0	0.97	2.86
	13800	220	2600	17900	75	1.50	5.0	1.00	3.10
	13200	460	2100	15000	75	2.00	5.0	0.97	2.86
	13200	220	950	5420	75	2.50	4.0	1.32	2.90

experimentalmente este valor es corto circuitando uno de los devanados y aplicando suficiente voltaje en el otro devanado para que circule la corriente nominal en el transformador. El voltaje aplicado expresado en porcentaje de la tensión nominal del devanado en el cual se le está aplicando voltaje es numéricamente igual a la impedancia en porcentaje del transformador. La impedancia en porcentaje puede ser transformada en ohmios utilizando la siguiente fórmula:

$$Z(\text{ohms}) = Z(\%) * 10 * (KV \text{ nom})^2 / KVA \text{ nom.}$$

En los transformadores de potencia la reactancia es usualmente mucho mayor que la resistencia, y como consecuencia al considerar la impedancia en muchas ocasiones se desprecia el valor de la resistencia. En el caso de los transformadores de distribución esto no se cumple, particularmente para los dispositivos de baja capacidad en los cuales el valor de la reactancia es pequeña y en muchos casos menor al valor de la resistencia. Por lo tanto en el momento de realizar cálculos es imprescindible considerar los dos parámetros.

Dos factores indispensables de analizar son las

pérdidas de carga y la corriente de excitación del transformador. Las pérdidas que se producen en el transformador por causa de la carga se deben enteramente a las ocurridas en el cobre de los devanados primario y secundario. Las pérdidas del núcleo son independientes. Las pérdidas debidas a la carga se pueden obtener restando de las globales, aquellas que son producidas en el núcleo. Por ser función del valor de la carga, serán directamente proporcionales al cuadrado de la corriente que ella demanda. Así:

$$P.c. = (I \text{ carga} / I \text{ nom})^2 * (P.c.\text{nom.})$$

$$P.c. = ((Kva \text{ carga} * KV \text{ nom}) / (Kva \text{ nom} * KV \text{ actual}))^2$$

donde:

P.c.	Pérdidas de la carga.
P.c.nom	Pérdidas de carga nominal.
I carga	Corriente de carga actual.
I nom	Corriente nominal.
Kva carga	Kva demandados por la carga.
Kva nom	Kva nominales del transformador.
KV actual	KV suministrados por el sistema.
KV nom	KV nominales del transformador.

En ocasiones el valor de las pérdidas está dado en porcentaje y para determinar el valor de los vatios se usa la siguiente fórmula:

$$P.c. = 10 * Kva \text{ nom} * P.c.\%$$

donde P.c.% es el valor de las pérdidas en porcentaje. El valor de las pérdidas debidas a la carga es directamente proporcional a la resistencia de los devanados. Es importante tomar en cuenta que la resistencia de los elementos varía con la temperatura, por lo tanto las pérdidas igualmente variarán con el valor de la temperatura de los devanados.

Para encontrar el valor de la resistencia de los devanados en función de la temperatura se usa la siguiente fórmula:

$$R(t_1) = R(t_0) * (T+t_1) / (T+t_0)$$

donde

R(t₁) Resistencia del conductor a la temperatura de operación

R(t₀) Resistencia del conductor a temperatura de la prueba.

t₁ Temperatura de operación

t₂ Temperatura de la prueba (obtenida de catálogos).

T Constante del material del conductor.

Valores de T:

234.5 Cobre recocido.

241 Cobre estirado en frío.

228 Aluminio estirado en frío.

Las pérdidas que no son causadas por la carga, son aquellas que se producen en el hierro, en el dieléctrico, y en el cobre a causa de la corriente de excitación. Usualmente, sólo las pérdidas del hierro, esto es, las pérdidas producidas por histéresis y corrientes de Eddy son importantes. Generalmente este es un dato proporcionado por el fabricante. Ver tabla IX.

Para obtener el circuito equivalente del transformador, se utilizan los datos que proporciona el fabricante.

Se tiene inicialmente que el valor de la regulación de voltaje para dos valores de factor de potencia son proporcionados.

$$V_1 = V_o / (1 + (\text{Reg} (\text{FP } 1) / 100))$$

$$V_2 = V_o / (1 + (\text{Reg} (\text{FP } 2) / 100))$$

donde :

V₁ = Voltaje en los terminales del

transformador a plena carga con factor de potencia #1.

V_2 = Voltaje en los terminales del transformador a plena carga con factor de potencia #2.

V_0 = Voltaje inicial generalmente 1 por unidad.

$Reg(FP 1)$ = Regulación del voltaje al factor de potencia #1.

$Reg(FP 2)$ = Regulación del voltaje al factor de potencia #2.

Se obtienen las siguientes relaciones:

$$V_0 * \cos \theta = V_1 + I * R + I^2 * X + I * X * \sin \theta_1$$

$$V_0 * \sin \theta = X * \cos \theta_1 - R * I + \sin \theta_1$$

Igualmente para el caso del factor de potencia #2, cuyo ángulo es θ_2 .

$$\theta_1 = \text{Arc-Cos} (F.P. \# 1).$$

$$\theta_2 = \text{Arc-Cos} (F.P. \# 2).$$

El valor de V_0 e I al trabajar en por unidad serán iguales a la unidad, resolviendo las ecuaciones determinaremos el valor de la resistencia y la reactancia del transformador.

Un aspecto que es necesario notar es que el desarrollo de todas las fórmulas se efectuó en función de un transformador monofásico, y que el banco trifásico está compuesto por tres dispositivos los cuales por lo general son iguales. Con este análisis se obtienen la representación unifilar del transformador observando siempre que se trabaja en el sistema por unidad, y por lo tanto tener cuidado con el tratamiento de los valores base.

El valor de KVÁ base escogido es normalmente es el de la capacidad del transformador de distribución, y los niveles de voltaje, el de alta y baja tensión del mismo instrumento.

Para obtener el valor de la impedancia de excitación encontraremos primero la admitancia compuesta por la conductancia y la susceptancia, utilizando el valor de I_{ex} corriente de excitación y la potencia en vacío:

$$Y = I_{ex} / V$$

$$G = P_0 / V^2$$

$$B = \{ Y^2 + G^2 \}^{0.5}$$

$$\cos(\theta) = G / Y$$

de aislamiento plástico con aterrizamiento que
sean conducidos en un electrocanal o en tubería
en la tabla IX.

$$\theta = \cos^{-1}(G / Y)$$

$$Z = 1 / Y < \theta$$

$$R_{ex} = Z * \cos(\theta)$$

$$X_{ex} = Z * \sin(\theta)$$

Con el circuito equivalente aproximado del transformador se pueden realizar cálculos de la regulación de voltaje y determinar el valor de la corriente de cortocircuito en los diferentes puntos de una empresa al igual que el tab más conveniente al cual se lo dejará energizado.

2.2 SISTEMAS INDUSTRIALES

En una planta industrial, la energía eléctrica debe ser subministrada a la diversas cargas de una manera eficiente y segura, por lo cual el sistema de distribución interna de la planta debe considerar los siguientes puntos.

- 1.- Distribución primaria a subestaciones, las mismas que deben estar lo más cerca posible de los centros de carga, con el objeto de llevar la energía en alta tensión la mayor distancia posible con la finalidad de minimizar las pérdidas.
- 2.- Los centros de carga estarán lo más próximos

posible a las mismas. Este aspecto tiene como objetivo reducir el costo de la instalación de las alimentadoras a los diversos tipos de cargas.

3.- La tensión de operación de la planta en lo posible estará en un nivel de 460 voltios trifásicos, si no fuera posible será en 220 V trifásicos. Mientras mayor sea el voltaje de operación de las máquinas, menor será la corriente que estos requieran para su funcionamiento normal, por lo tanto las alimentadoras y el equipo de control de las mismas serán de especificaciones menores en cuanto a capacidad de corriente y como efecto inmediato el costo de los mismos se reduce considerablemente. Una comparación entre el precio del equipo de protección y control a los dos niveles de voltaje, es de 100% para 220 V. trifásicos, mientras que el 50% para un sistema en 460 V. trifásicos.

4.- El factor de potencia de la misma deberá ser lo más alto posible. La empresa eléctrica exige 0.90 en este parámetro.

5.- La protección de la planta debe ser diseñada técnicamente contra todo tipo de fallas del sistema.

- 6.- La capacidad de interrupción adecuada en todos los dispositivos de corte de flujo de corriente, tanto en los circuitos de fuerza como en los circuitos de control.
- 7.- La coordinación de los dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas debe ser coordinada de tal forma que ante su demanda, actúen eficazmente separando la parte del sistema con fallas pero sin interrumpir el servicio de otras.
- 8.- El mantenimiento del sistema debe ser fácil.

Los niveles de tensión en los cuales la empresa eléctrica entrega la energía son:

220	V	Trifásicos	Hasta	30	Kva.
13.8	KV	Trifásicos	Hasta	1000	Kva.
69	KV	Trifásicos	Después de	1000	Kva.

previo estudio de cargas.

1.2.1 SISTEMA PRIMARIO SELECTIVO.

En este caso según la figura # 5 se tienen dos alimentadoras diferentes de alta tensión, y ante la falla de una de estas la carga se conecta a la otra. Este sistema es muy poco utilizado a nivel industrial puesto que los equipos requeridos para

efectuar este tipo de maniobras es demasiado costoso además de la complejidad adicional por requerir una subestación de transferencia en alta tensión con todas las seguridades del caso.

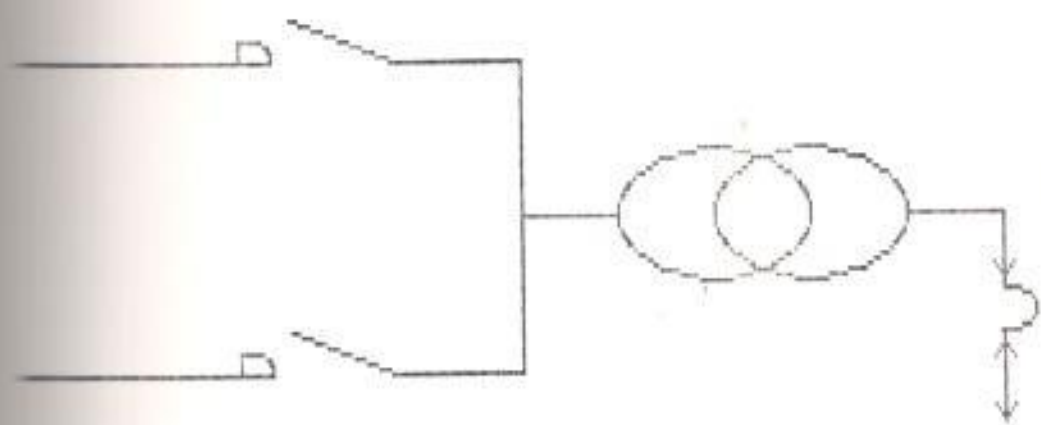
1.2.2 SISTEMA SECUNDARIO SELECTIVO

Está representado por la figura # 6 teniendo una sola alimentadora de alta tensión y dos transformadores el sistema permite que ante la falla de uno de ellos el otro absorba la carga global. El requerimiento de dos transformadores hace poco atractivo desde el punto de vista económico a este arreglo además de que cada transformador requiere de las correspondientes protecciones tanto en alta como en baja tensión además de el interruptor de conexión de las barras de baja tensión.

1.2.3 SISTEMAS RADIALES

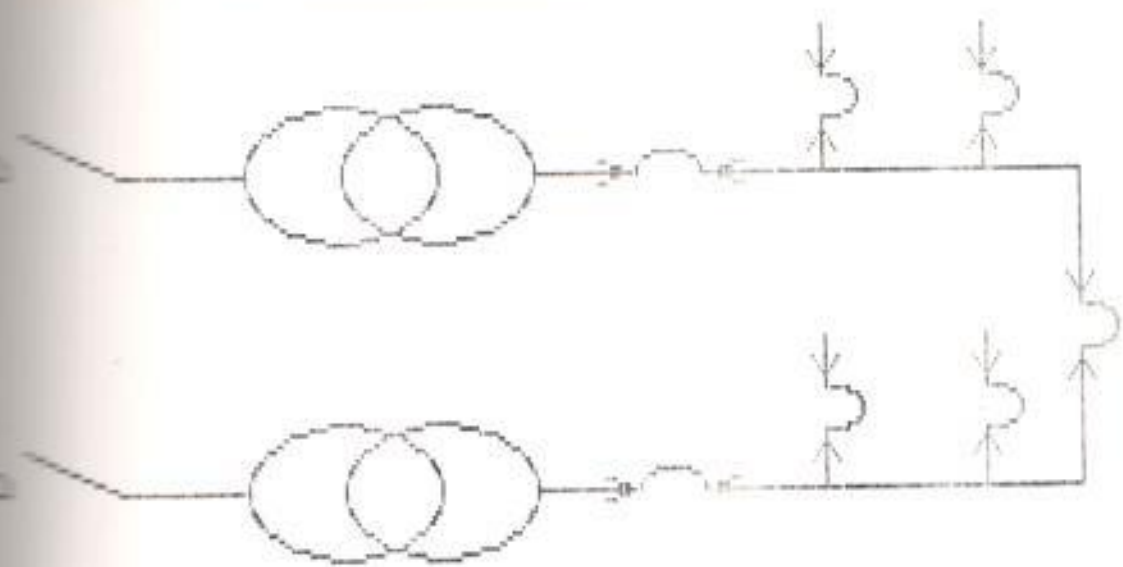
Son los más utilizados a nivel industrial por su simplicidad tanto en el montaje como para darles mantenimiento. El problema de estos sistemas radica en la necesidad de desenergizar las secciones que están debajo de el equipo al cual se le procede a hacer mantenimiento o que

FIGURA # 5



SISTEMA - PRIMARIO SELECTIVO

FIGURA # 6



SISTEMA - SECUNDARIO SELECTIVO

fallare.

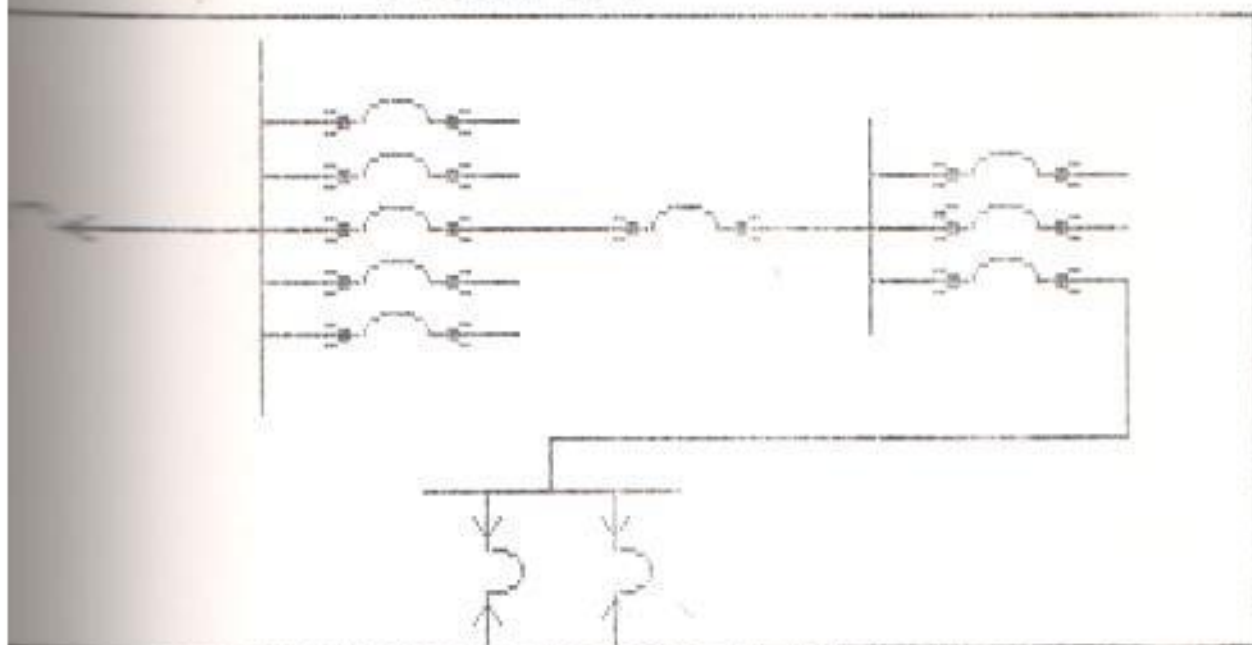
1.- Radial simple.- La alimentación se realiza en baja tensión, a continuación está el tablero de distribución principal de la planta en el cual se incluyen los arrancadores de los diferentes motores.

2.- Radial Simple con centro de carga.- En la figura # 7 se observa este esquema el cual consiste en el primero, con la adición de un centro de carga que se encuentra adjunto al tablero principal, separado por una distancia relativamente corta.

3.- Radial con centros de carga lejos.- Consta del tablero principal en el cual se realiza la medición en baja tensión y de este salen alimentadoras hacia centros de carga que se encuentran a distancias considerables. Cada centro de carga posee su protección principal y alimenta a las diversas cargas las cuales pueden estar a su vez ubicadas en un lugar lejos del mismo.

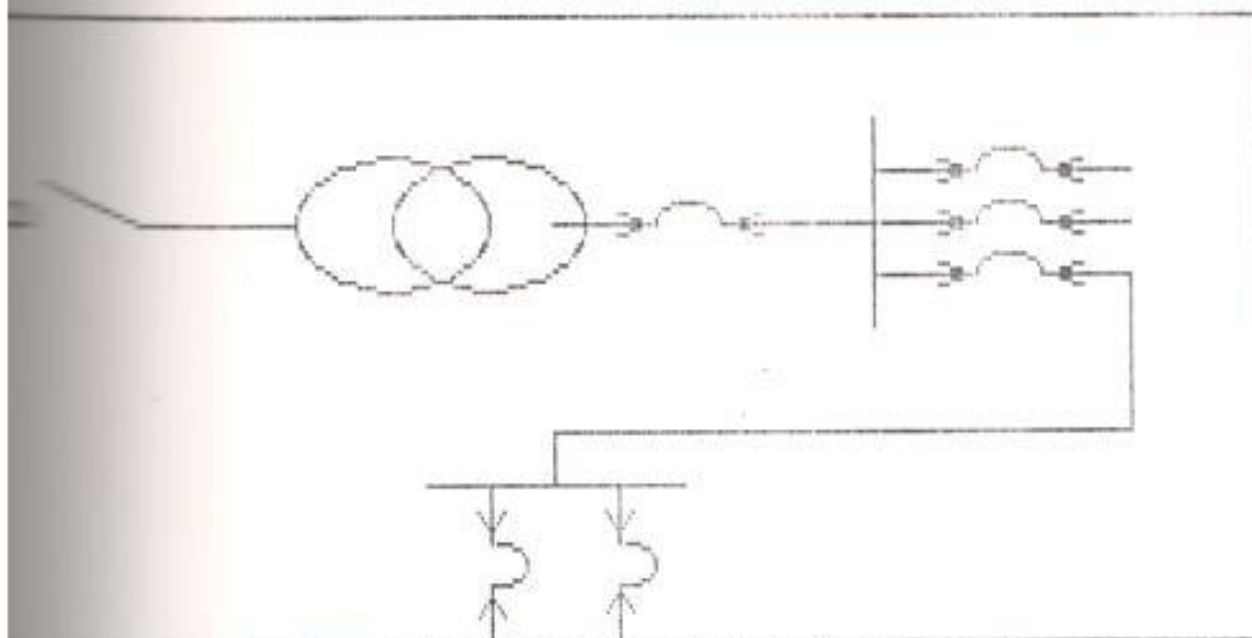
✓ Cuando la demanda de una planta industrial

FIGURA # 7



SISTEMA RADIAL - ALIMENTACION EN BAJA TENSION

FIGURA # 8



SISTEMA RADIAL - ALIMENTACION EN ALTA TENSION

sobrepasa los 30 KV_A, es necesaria la instalación de una subestación de transformadores de potencia que son alimentados en alta tensión y que suministran el voltaje de operación al sistema de la fábrica.

Sistema radial, alimentación en alta tensión.— Se asume que en este caso se citará manejando cierta capacidad que implica el uso de centros de carga separados del tablero principal de distribución de la planta. Ver figura # 8. En este caso la medición tanto de potencia activa como de potencia reactiva se la efectúa en alta tensión. Por lo tanto un rubro especial que se debe considerar son los transformadores de intensidad y de potencial.

La interconexión del sistema eléctrico industrial se realiza a través de conductores los cuales pueden presentarse en dos formas:

- 1.- **Barras colectoras.**— es una forma de llevar la energía a través de toda la fábrica de una manera relativamente económica, con la facilidad de poder conectar a cualquier

parte de este sistema los diversos tipos de carga, como si fuera una gran caja de paso. Generalmente cuando se realiza este sistema, las barras van dentro de un electrocanal sellado, con puntos específicos de toma de energía.

2.- Conductores.- Es la forma común de llevar la energía eléctrica a través de toda una industria.

Sistema de alta tensión.

El sistema de alta tensión de una fábrica se puede a su vez clasificarse en dos:

- 1.- Sistema aéreo.- En el cual los conductores están desnudos y van suspendidos en postes utilizando los herrajes correspondientes.
- 2.- Sistema aislado.- En el cual los conductores poseen aislamiento de alta tensión y que se introducen en el área industrial hacia el cuarto de transformadores, generalmente utilizando tubería rígida y canchetas o parrillas.

Sistema de baja tensión.

En el sistema de baja tensión usualmente conectan

los transformadores de potencia con el tablero de distribución principal, aunque en ocasiones se usan barras. También constituyen las diversas alimentadoras para los distintos centros de carga y desde estos a su vez alimentan a los motores, iluminación, y demás dispositivos al igual que los circuitos de control.

Los parámetros importantes a considerar en los elementos de interconexión de una industria son la resistencia y la reactancia de los mismos, a causa de la regulación de voltaje de la planta.

Barras colectoras.- Estas son de cobre y aluminio.

En la tabla IX se encuentran tabuladas los diferentes valores de resistencia por metro para cobre para las dimensiones comunes de utilización. Un parámetro que no se puede pasar por alto es el de la temperatura, a medida que ésta aumenta, el valor de resistencia también aumenta.

Se puede utilizar la fórmula:

$$R(t_1) = R(t_0) * (T+t_1) / (T+t_0)$$

donde:

TABLA IX

TIPO	SECCION	RESIST. p. km.	REACT. p. km.	CORR. % G.
	mm ²	Ohms.	Ohms.	Ampers.
14	2	9.2800	0.1357	15
12	3	5.2100	0.1313	20
10	5	3.2800	0.1213	30
8	8	2.0600	0.1141	40
6	13	1.3200	0.1094	55
4	21	0.8320	0.1048	70
2	34	0.5290	0.0996	95
1/0	53	0.3390	0.0994	125
2/0	67	0.2610	0.0984	145
3/0	85	0.2070	0.0974	165
4/0	107	0.1640	0.0960	195
250	127	0.1390	0.0950	215
300	152	0.1160	0.0950	240
350	177	0.0991	0.0950	260
400	177	0.0868	0.0950	280
500	203	0.0694	0.0948	320
600	304	0.0578	0.0948	355

DATOS GENERALES DE LOS CONDUCTORES

$R(t_1)$ Resistencia del conductor a la temperatura de operación.

$R(t_0)$ Resistencia del conductor a temperatura de prueba.

t_1 Temperatura de operación.

t_2 Temperatura de la prueba (obtenida de catálogos).

T Constante del material del conductor.

Valores de T :

234.5 Cobre recocido.

241 Cobre estirado en frío.

228 Aluminio estirado en frío.

Que es el análisis real para obtener la resistencia del transformador.

Cables alimentadores.- Son las arterias de la empresa que llevan la corriente a los diferentes dispositivos.

Su resistencia se puede obtener de la tabla IV suministrada por los fabricantes generalmente a una temperatura determinada de prueba y para obtenerla a la de operación se utiliza el procedimiento descrito en las barras o factores de la tabla X.

La reactancia está determinada para conductores

TABLA X

TEMPERATURA	FACTORES DE CORRECCION
GRADOS CENTIGRADOS	
0	0.922
5	0.941
10	0.961
15	0.980
20	1.000
25	1.019
30	1.040
35	1.059
40	1.079
45	1.098
50	1.117
55	1.138
60	1.157
65	1.176
70	1.196
75	1.217
80	1.236
85	1.256
90	1.276

FACTORES DE CORRECCION DE LA RESISTENCIA DEL COBRE CON LA TEMPERATURA.

CAPITULO II

2 ANALISIS DEL FACTOR DE POTENCIA Y REGULACION DE VOLTAJE

2.1 GENERALIDADES.

La interrelación entre estos dos parámetros hace que sea necesario un estudio minucioso cuando las líneas de alimentación a las cargas tienen cierta longitud. Una característica fundamental de la regulación de voltaje es su variación con respecto a los diferentes tipos de cargas generalmente inductivas, esto es la variación del factor de potencia de las mismas y la repercusión en la eficiencia de ellas. Para contrarrestar este efecto se utilizan compensadores.

Actualmente el valor de la potencia reactiva suministrada a una red es a través de un banco de condensadores el cual posee un control de lazo que es el encargado de detectar automáticamente el valor de KVARs. demandados por el sistema y suministrarlo.

2.1 FACTOR DE POTENCIA

Cualquier circuito eléctrico contiene dispositivos los cuales demandan de dos clases de potencia: ACTIVA y

REACTIVA. La potencia activa está medida en kilovatio (Kw) y es la que realiza un trabajo productivo en el dispositivo en mención. La potencia reactiva se mide en kilovoltios - amperios reactivos (KVARs) y es la que provee el campo magnético requerido por el dispositivo inductiva. La potencia total requerida es la suma vectorial de las dos y se mide en kilovoltios - amperio (KVA). Ver el triángulo de potencia de la figura # 9 .

El valor del factor de potencia $\cos \phi$ es el instantáneo o factor de potencia medio.

El Factor de potencia instantáneo, es aquel que se mide en un instante determinado de tiempo y es igual a:

$$F.P. (\text{Instantáneo}) = \cos(\text{Arc-tang} (\frac{KVAR.}{KW.}))$$

Donde KW. es el valor de la potencia activa requerida en un instante de tiempo, mientras que KVAR. es el valor de la potencia reactiva, solicitada por la carga en el mismo instante de tiempo.

El factor de potencia medio, es aquel que se mide durante un lapso de tiempo y es igual a :

$$F.P. (\text{Medio}) = \cos(\text{Arc-tang}(KW. \text{ Medio} / KVAR. \text{ Medio}))$$

Donde KW. Medio es el valor promedio de potencia

activa requerida por una carga en un lapso de tiempo, mientras que KVAR_o Medio es el valor de la potencia reactiva solicitada por la carga en ese mismo lapso de tiempo. Ahora si se multiplican ambas magnitudes de potencia por el tiempo en el cual fueron demandadas, se tienen los valores de energía activa y reactiva medias para este determinado intervalo de tiempo:

$$F.P. (\text{Medio}) = \cos(\text{Arc-tano}(\text{KW.Medio} \cdot t / \text{KVAR.Medio} \cdot t))$$

Estos valores de KW.Medio \cdot t y KVAR.Medio \cdot t son medidas de energía estandarizadas como kilovatios-hora y kilovars-hora, y su abreviación es: kWh. y kVARh. Con estos parámetros medidos por el transcurso de un mes, la empresa eléctrica obtiene el valor del factor de potencia promedio de la planta industrial.

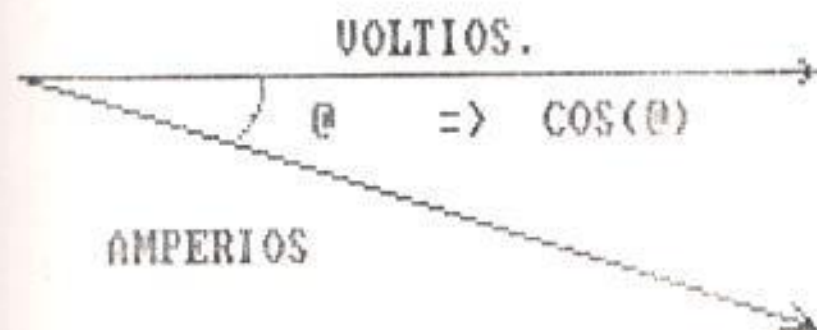
También se define el factor de potencia como el coseno del ángulo formado por el fasor de voltaje y el fasor corriente que maneja una determinada carga (ver figura # 10). Si el circuito es puramente resistivo su valor será de la unidad. Si la máquina demanda para su funcionamiento una componente inductiva, el factor de potencia oscilará entre cero y uno. La magnitud de este factor indica la eficiencia en el uso de la energía, mientras más se acerque a su valor máximo será mejor el

FIGURA # 9



TRIANGULO DE POTENCIA

FIGURA # 10



FACTOR DE POTENCIA

uso de la energía. Actualmente la empresa eléctrica exige un valor mínimo y si no es cumplido impone una multa. Para lograr que el factor de potencia tenga un valor próximo o de la misma unidad, es necesario realizar una compensación añadiendo potencia reactiva pero en sentido contrario al de la requerida por el circuito inductivo. Ver la figura # 11.

En este caso el triángulo formado por P - S1 - Q1 donde P es la potencia activa, S1 los KVA originales y Q1 los KVAR originales, el triángulo de potencia inicial tendrá por factor de potencia

$$F.P.1. = S1 / P$$

$$F.P.1. = \cos \theta_1$$

Si se desea un ángulo menor, se debe añadir potencia reactiva o simplemente reactivos. El objetivo es tener:

$$F.P.2. = \cos \theta_2$$

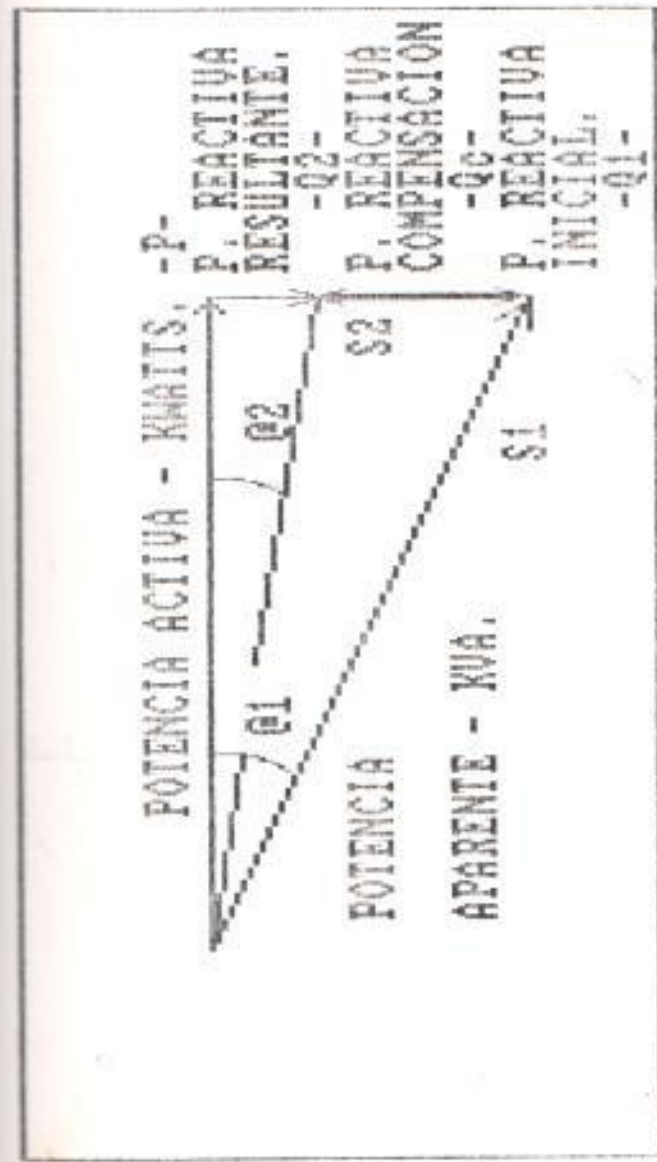
donde

$$\cos \theta_2 > \cos \theta_1$$

determinando el valor de Qc : reactivos.

$$Qc = Q1 - Q2$$

$$Qc = P * \text{TANG } \theta_1 - P * \text{TANG } \theta_2$$



COMPENSACION DEL $\cos(\theta)$

$$Q_c = P * (\text{TANG}(\text{COS}-1(\text{F.P.1})) - \text{TANG}(\text{COS}-1(\text{F.P.2.})))$$

A causa de la compensación, la potencia aparente se reduce:

$$S_1 - S_2 = P * ((1/\text{COS } \theta_1) - (1/\text{COS } \theta_2))$$

Un impacto importante de la compensación en la industria es el alivio del transformador de potencia de una posible sobrecarga evitando trabajar en el umbral de potencia del mismo. Otro punto importante es una mejor regulación de voltaje, al igual que el calentamiento de los cables y por lo tanto pérdida de la energía activa lo mismo que un sobredimensionamiento de las protecciones.

2.3 REGULACION DE VOLTAJE

Se define a la regulación de voltaje al cambio de tensión en la fuente, asociado con el cambio de la carga, expresado como un factor el cual es igual a la diferencia entre el valor absoluto del voltaje en condiciones de vacío, y el valor absoluto de la tensión a plena carga, como porcentaje de la segunda magnitud. Matemáticamente:

$$\% \text{ Reg} = ((V_{\text{vacío}} - V_{\text{p.c.}}) / (V_{\text{p.c.}})) * 100$$

Para obtener los valores del voltaje en los diferentes

puntos de una planta industrial es necesario utilizar un voltímetro el cual tenga la escala apropiada para efectuar una medición correcta, tanto en el momento de vacío como de plena carga para obtener el valor de la regulación de tensión. Sin embargo el equipo diseñado para este fin son los registradores de voltaje, los cuales son de dos tipos, uno de exactitud extra-alta, y el otro una unidad portátil, resistente y de una exactitud del $\pm 3\%$, con papel gráfico el cual es capaz de detectar la variaciones de voltaje excepto la de infima duración o corrientes de fuga que requieren para su detección del registrador de exactitud extra-alta. Estos equipos permiten la visualización continua de la variación del voltaje durante 24 horas, una semana o dos, según el modelo o equipo, para realizar un estudio completo de las condiciones de funcionamiento de la planta industrial y tomar las medidas necesarias para corregir los defectos. Los valores de voltaje comunes en el Ecuador están en la tabla XI.

Generalmente en un sistema industrial este parámetro viene dado por el fabricante en el caso del transformador, pero resulta interesante su fluctuación dentro del propio esquema eléctrico de una determinada

planta donde entran en consideración parámetros propios de los diferentes alimentadores, barras de conexión, centros de carga, y la incidencia de dicha variación en el funcionamiento y eficiencia de los diversos tipos de cargas.

TABLA XI

VOLTIOS	FASES	FRECUENCIA
110 V	1F	60Hz
220 V	1F	60Hz
220 V	3F	60Hz
460 V	3F	60Hz
13.8 KV	3F	60Hz

Voltajes Generalizados de Trabajo.

Así en el caso de los motores, el aspecto principal es el torque de arranque, y el torque de funcionamiento, el cual varía con el cuadrado del voltaje. Un bajo voltaje causará un tiempo de arranque prolongado mientras que un voltaje elevado tendrá como consecuencia un choque en el arranque que puede provocar un desgaste o daño en el equipo mecánico que maneje determinada máquina. Ejemplo: un bajo voltaje del 10% implica una disminución del torque del 19% en

el caso de arranque o en el momento que se lo exija una sobrecarga, esto traerá como consecuencia adicional de un requerimiento de energía mayor en corriente, lo que implicará un calentamiento adicional en los devanados y la pérdida de vida útil del motor.

Las consecuencias producidas por un sobrevoltaje del 10% son el aumento de la corriente de arranque en un 12% aproximadamente, el incremento del torque se reflejará en una sobrecarga en los ejes, engranajes, correas y equipos mecánicos, el factor de potencia disminuye en un 5% y se observa un aumento en el ruido del motor. En equipos de alumbrado, la vida de una lámpara incandescente se ve afectada directamente con el valor de voltaje que ésta recibe en sus terminales, en una lámpara de descarga, su poder lumínico varía sensiblemente con un cambio de voltaje. En el caso de un bajo voltaje del 10% serán necesario un incremento del 30% de unidades incandescentes para obtener el mismo poder lumínico a pesar de un incremento en la vida útil de la lámpara pero de desagradable aspecto.

Las lámparas fluorescentes implicarán un aumento del 15% en unidades pero con el constante temor de que se apaguen; esto trae como consecuencia una molestia a los

ojos por el pestajeo. En el caso de las demás lámparas de descarga, se producirá una pérdida apreciable de luminosidad.

Un sobrevoltaje del 10% causa que las lámparas incandescentes sea necesario cambiarlas 2.5 veces más que normalmente, en el caso de las lámparas de descarga a causa del incremento en la radiación de calor, la temperatura puede incrementarse de tal manera que llegue cerca de la temperatura de seguridad del balasto; las fuentes de luces infrarrojas producirán un 21% más de calor lo que quemará a algunas superficies.

En el caso de transformadores, las pérdidas producidas en sus núcleos aumentan con el cuadrado del voltaje aplicado lo que traerá como consecuencia un incremento en la temperatura de operación del mismo y la variación de la resistencia de los devanados como consecuencia una disminución en la vida útil del transformador.

En el caso de dispositivos magnéticos, un sobrevoltaje puede producir una saturación en el hierro lo que traerá como resultado una corriente excesiva.

Un bajo voltaje de 10% puede llevar a la necesidad de un tiempo prolongado para abrir una válvula, cerrar un relé o un contactor; la fuerza de sujeción puede

disminuir de tal manera que las vibraciones pueden hacer que el circuito magnético se abra y si estaba enclavado y se desconecte el enclavamiento, terminará por desenergizarse por completo el circuito. En el caso de un sobre voltaje del 10%, el desgaste y deformación de una válvula solenoide serán mayores, lo que implicará un mantenimiento o cambio del dispositivo más frecuente. En el caso de contactores, a causa de lo expuesto anteriormente, se quemará la bobina si es que no ha sido diseñada para soportar el sobrevoltaje.

CAPITULO III

3 COMPENSACION DE LA POTENCIA REACTIVA

3.1 GENERALIDADES.

Al igual que los grupos electrógenos suministran energía, existen generadores autónomos de energía reactiva que son las baterías de condensadores de potencia.

La ubicación de dichas baterías de condensadores de potencia sobre las redes eléctricas, se denomina compensación del factor de potencia ($\cos \phi$). Un factor de potencia es precario, cuando su valor es generalmente inferior a 0.90 e implicará una penalización por consumo de energía reactiva.

Dentro de una instalación, el factor de potencia puede ser diferente de un área a otra según las características eléctricas de los aparatos utilizados. Estos consumirán más o menos potencia reactiva.

Antes de instalar las baterías o bancos de condensadores de potencia los cuales suministrarán la energía reactiva necesaria, es indispensable conocer el comportamiento de los diferentes dispositivos receptores

para tener los criterios precisos y poder elegir dentro de los diferentes productos propuestos.

3.2 COMPENSACION INDIVIDUAL

En el caso de una compensación individual, el condensador se conecta directamente a las borneras de la carga, activándose conjuntamente con la misma a través de un interruptor común.

Las características principales de esta forma de conexión son las siguientes:

- 1.- Suprime las penalizaciones por consumo excesivo de potencia reactiva.
- 2.- Optimiza la instalación eléctrica al abastecer de corriente reactiva en el mismo lugar de consumo.
- 3.- Descarga el transformador de fuerza, incrementando la potencia disponible en KW.
- 4.- Las corrientes reactivas no estén presentes en los cables de alimentación.
- 5.- Las pérdidas por efecto joule en los cables se suprimen en su máxima expresión (Kwh).
- 6.- El equipo de control de la carga se ve aliviada de la corriente reactiva, por lo tanto el contactor y el relé térmico serán aliviados de esta corriente.
- 7.- El relé térmico tendrá una especificación menor que

en un caso normal. Es importante este punto para poder especificar el elemento de protección que corresponda para cada caso individual.

La forma de compensación en los diversos tipos de cargas varían según éstas. A continuación se analizan los casos típicos de cargas con sus correspondientes compensaciones en forma individuales:

3.2.1 MOTORES.

Dentro de este tipo de cargas, los que demandan potencia reactiva son los asíncronos de inducción. Dicha potencia reactiva está dada en función de:

- 1.- El tamaño.
- 2.- La carga.
- 3.- La velocidad nominal.
- 4.- La frecuencia.
- 5.- La tensión.
- 6.- Los pequeños valores del factor de potencia están dados esencialmente por la construcción propia de la máquina y a la utilización de este tipo de receptor.
- 7.- Generalmente el factor de potencia de los motores de jaula de ardilla es más elevado

que el de los motores de rotor devanado.

8.- En función de la carga, el factor de potencia y el rendimiento de la máquina evolucionan de forma relativamente idéntica.

Los condensadores que se instalaren en los bornes de los motores se calcularán en función de los parámetros de la máquina de forma que no sobrepase el 90% de la corriente magnetizante necesaria.

Para los motores que sobrepasen los 250 KW, la potencia de la batería de los condensadores será del orden del 20% de la potencia nominal del motor en KW y que no sobrepase el 90% de la corriente de excitación. Si el condensador sobrepasa este rango, puede producir una auto-excitación y un sobrevoltaje cuando el conjunto fuera desconectado de la fuente. Los fabricantes de condensadores dan tablas de selección de sus productos y sus capacidades con respecto a los motores tipo que se encuentran en el mercado. Ver la tabla XII.

Cuando se desconecta un motor de inducción de la alimentadora, el voltaje en sus terminales de

TABLA XII

POTENCIA NOMINAL	POTENCIA (KVAR) A INSTALAR velocidad de rotación (R.P.M.)			
	3600	1800	1200	900
15	2.5	2.5		5
25	5	5		7.5
40	5	7.5		10
60	10	15	15	15
100	15	20	25	25
150	25	30	30	40
220	35	40	60	50

KVARS SEGUN LOS HP Y LA VELOCIDAD SINCRONA DEL MOTOR

TABLA XIII

KVA	TENSION DE CORTO CIRCUITO %	POTENCIA REACTIVA A COMPENSAR	
		VACIO KVAR	P. CARGA KVAR
100	4	2.48	6.08
160	4	3.65	9.6
200	4	4.37	11.84
250	4	5.21	14.67
315	4	6.25	18.32
400	4	7.54	22.8
500	4	9.44	28.67
630	4	11.27	35.5
800	5.5	19.91	62.24
1000	6	23.9	82.26
1250	5.5	27.37	94.46
1600	6	31.86	126.11
2000	7	37.8	176
2500	7.5	44.8	230
3150	8	53.3	303

POTENCIA REACTIVA REQUERIDA POR LOS TRANSFORMADORES

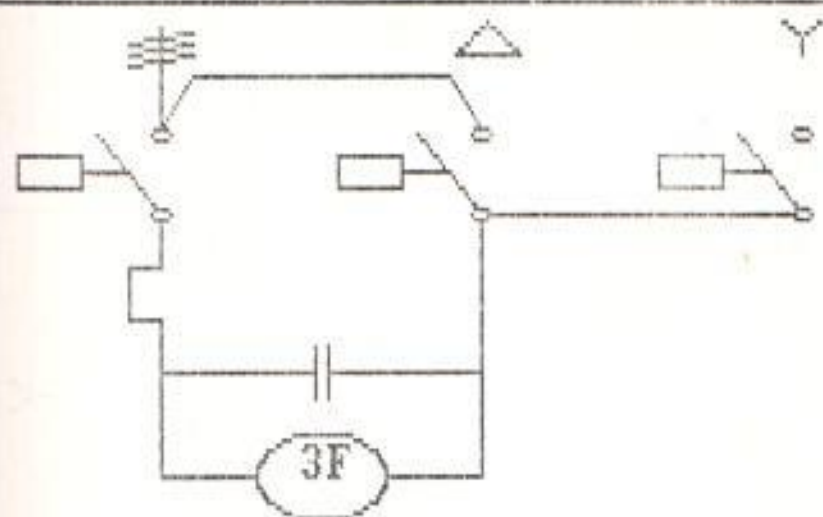
línea cae exponencialmente y en aproximadamente un segundo su valor es cero. En 0.25 segundos, el valor de este voltaje es del 50% y si ocurriera una reconexión fortuita en ese instante, que es el caso típico de un apagón breve cuando el motor está alimentado directamente sin contactor, puede tomar a la máquina generando voltaje el cual no estará en fase lo que produce un transiente de corriente que puede dañar los devanados del dispositivo. Si el motor es conectado con el capacitor en paralelo, la autoexcitación se prolonga por varios segundos y los cambios producidos por un este transiente son correspondientemente incrementados. Si el arranque del motor es estrella triángulo, esta sobretensión puede llegar a amplificarse y alcanzar valores de 2.5 y 3 veces el voltaje nominal; si estamos trabajando en 440 V. el voltaje alcanzaría niveles de más de 1300 V. que deterioraría la capacidad de aislamiento tanto del motor, de el equipo de protección, del equipo de control y las alimentadoras, cuyo nivel de aislamiento generalmente es 600 V. continuos. Los esquemas utilizados para proceder a conectar un condensador de seis bornes en paralelo con un

arrancador estrella triángulo están en la figura # 12 . En el caso que se disponga de un condensador de 3 bornes, que es el que generalmente se encuentra en el mercado, la conexión se realiza según la figura # 13 . Esto hace suponer que el arranque de el motor al igual que su paro es rápido, caso contrario habrá que considerar un contactor adicional y resistencias igualmente, ver la figura # 14 .

Las resistencias de descarga con las que el fabricante provee los condensadores, bajan la tensión en sus bornes a 50 V. en un lapso de un minuto después de haberlo desconectado de la fuente. En consecuencia antes de tocar los bornes del dispositivo, hay que respetar como mínimo este tiempo de descarga.

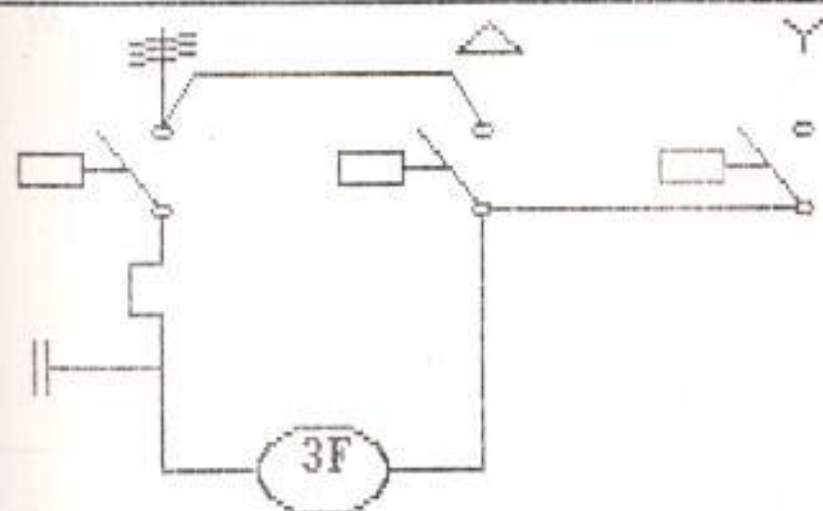
Es indispensable en este tipo de usos que los condensadores sean provistos de resistencias de descarga rápidas montadas sobre los contactos auxiliares de los contactores de alimentación, de manera que el tiempo de reducción del voltaje en sus borneras sea cero lo más rápido posible para poder efectuar una nueva maniobra.

FIGURA # 12



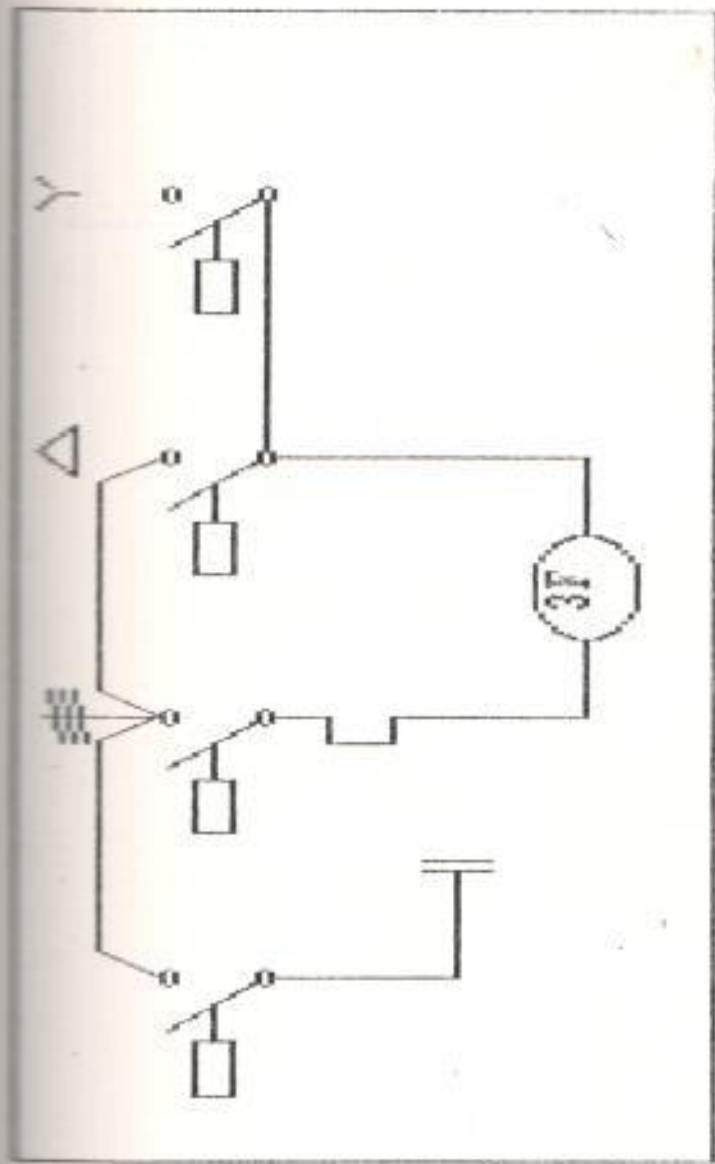
CONDENSADOR DE 6 BORNES CONECTADO A UN ARRANCADOR ESTRELLA - DELTA

FIGURA # 13



CONDENSADOR DE 3 BORNES CONECTADO A UN ARRANCADOR ESTRELLA - DELTA

FIGURA # 14



CONDENSADOR DE 3 BORNES CONECTADO A UN
MOTOR DE ARRANQUE LENTO

En el caso de un motor de arranque directo, o por reostato, se puede utilizar un condensador de tres bornes conectados directamente a los de la máquina.

3.2.2 ILUMINACION.

La instalación del alumbrado dentro de una planta industrial es en la actualidad un aspecto que no se puede pasar por alto en la compensación de la potencia reactiva. Los diversos tipos de lámparas con sus características particulares de funcionamiento ya tratadas en el capítulo primero nos llevan a las siguientes conclusiones según el tipo de estas:

Lámparas incandescentes.- Su principio de funcionamiento basado en el calentamiento de eléctrico del filamento al pasar por este una corriente, hacen que la característica de la intensidad sea resistiva, es decir que el valor del factor de potencia en este tipo de lámparas es la unidad. Por lo tanto no requieren de compensador alguno para mejorar el factor de potencia. Dentro de esta clase de iluminación están las lámparas incandescentes y las lámparas

halógenas.

Lámparas de descarga.- En el país se tienen los siguientes tipos:

Lámparas Fluorescentes.- Por su funcionamiento en el cual se debe controlar la corriente del arco dentro de un gas o vapor ionizado, requieren de el equipo adicional que está compuesto de reactancias y que se denomina balasto. Dicho equipo generalmente es inductivo por lo cual está establecido para un valor de un balasto convencional el valor en micro-faradios del condensador que bien puede ser conectado en paralelo o en serie con el circuito de la lámpara que se encuentra normalmente en el mercado. Pero a causa de los avances que se han logrado con respecto a estos dispositivos, se cuenta con equipos cuyo factor de potencia se acerca a la unidad y obvia el uso de estos condensadores, es el caso típico de una planta industrial en la cual también se tienen las oficinas principales y donde es preferida la iluminación con este tipo de lámparas.

Lámparas Dulux.- Es un nuevo tipo de luminarias

cuya base de funcionamiento es similar a la fluorescentes convencionales y posee la característica de mayor luminosidad y mayor tiempo de vida. Requieren de un balasto para su funcionamiento el cual implica el uso de un condensador para la compensación. En la figura # 15 se puede observar la ubicación del capacitor en el circuito.

Lámparas de vapor de mercurio y vapor de sodio.- Estas lámparas por su forma de funcionamiento requieren de reactancia en serie para limitar la corriente del arco puesto que si no fuera controlada, ésta aumentaría gradualmente hasta que se produciría la destrucción del dispositivo.

Esta reactancia es el balasto que en este caso es especial según el tipo de lámpara. Los distintos tipos de lámparas son:

Lámparas de Vapor de mercurio en alta presión.

Lámparas de mercurio con aditivos halógenos.

Lámparas de descarga con vapor de sodio en alta presión.

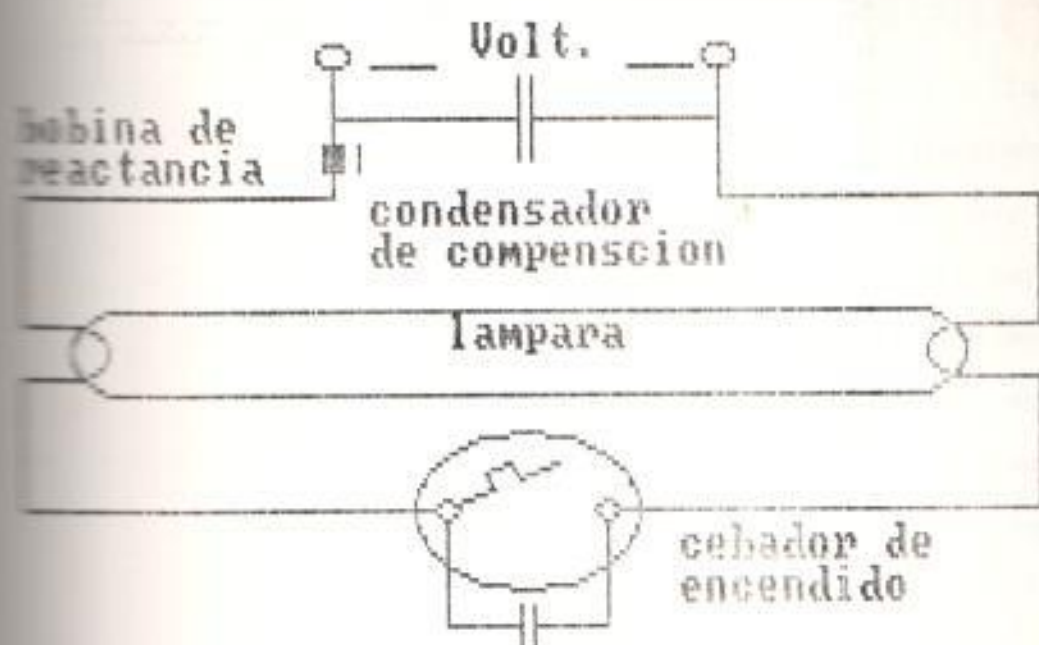
Lámparas de descarga con vapor de sodio de baja presión.

Se tienen también los datos eléctricos de las lámparas con los correspondientes condensadores recomendados por los fabricantes de las mismas.

El diagrama de conexión de dichos condensadores para las diferentes clases de lámparas está en la figura # 16. Se observa que el tipo de conexión de los condensadores es el paralelo y directamente en los bornes de balasto, y tienen como finalidad llevar el factor de potencia a un valor muy cercano a la unidad considerando ya la influencia de la reactancia del balasto.

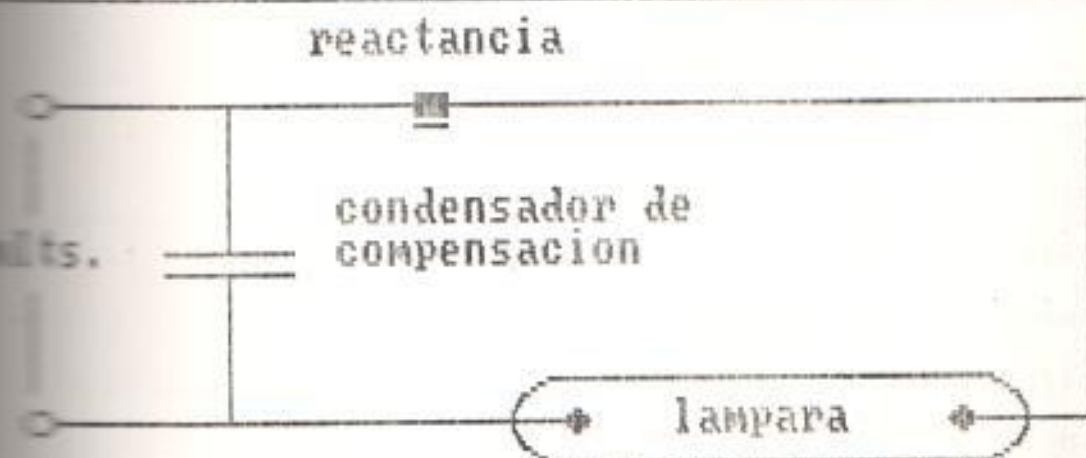
Lámpara de luz mixta .- Este tipo de lámpara no requiere de balasto para su funcionamiento a causa de su forma constructiva; el contar con un filamento de tungsteno en serie con el tubo de descarga de vapor de mercurio le dá la característica de limitar la corriente que pasa por éste a la vez que hace de parte incandescente. Esto se refleja en un alto factor de potencia en el conjunto que es cercano a la unidad. Por lo tanto no requieren de ningún tipo de condensador.

FIGURA # 15



ESQUEMA DE CONEXION DE LAMPARAS DULUX

FIGURA # 16



ESQUEMA DE CONEXION DE CONDENSADORES EN LAMPARAS DE DESCARGA

3.2.3 CARGAS ESPECIALES.

Los equipos eléctricos industriales por lo general demandan potencia reactiva para su funcionamiento lo cual produce la conocida penalización, y para evitarla se utilizan los equipos de corrección del factor de potencia. La presencia de armónicas producidas por equipos de rectificación de estado sólido, dificulta la conexión de los bancos de condensadores además del peligro potencial existente por daño de los demás dispositivos o del mismo banco de condensadores.

En la figura # 17 se muestra el diagrama unifilar simplificado de una planta industrial típica, con el equipo de rectificación y en la figura # 18 se muestra el circuito equivalente considerando la presencia de corrientes armónicas. La inductancia está representada por L y la capacitancia por C . Si este circuito paralelo L/C entra en resonancia en una frecuencia armónica, se producirán varios problemas. La corriente armónica se verá amplificada aproximadamente en la relación X/R de la alimentación en la frecuencia armónica, y la corriente armónica del capacitor será mayor que

FIGURA # 17

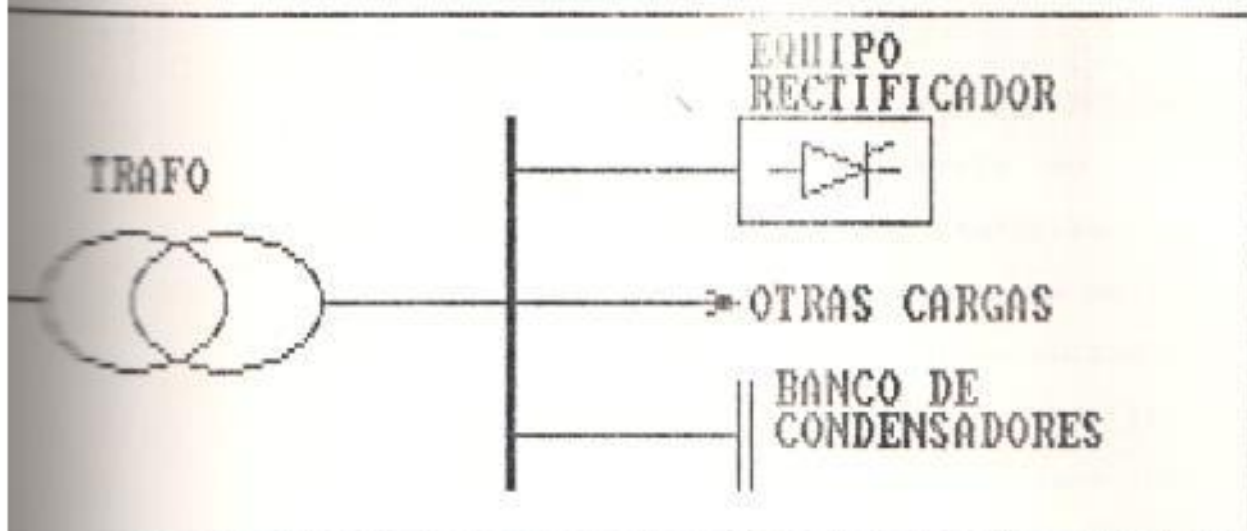
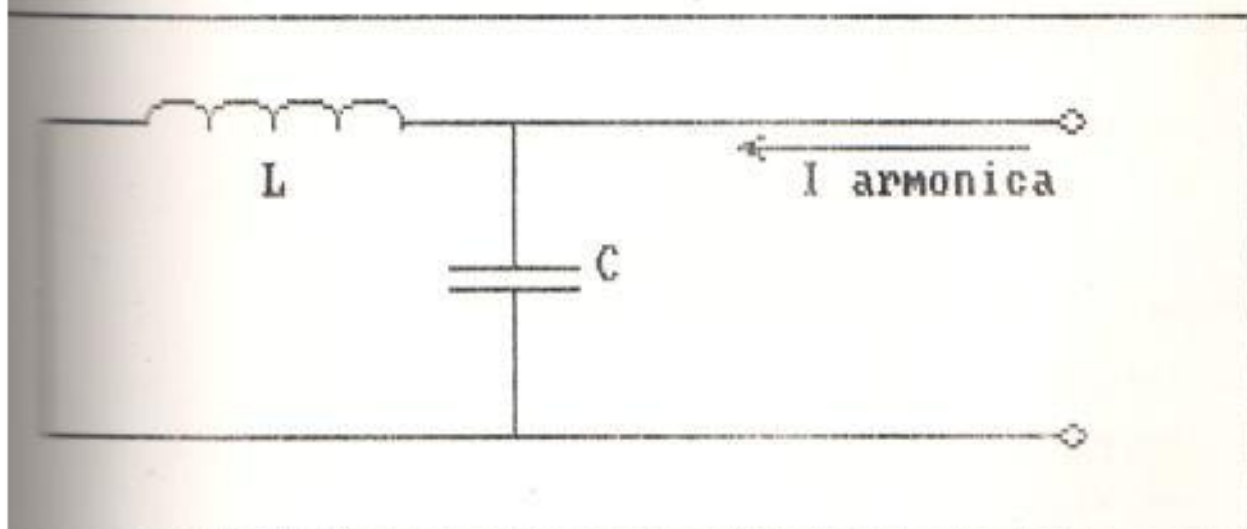


DIAGRAMA UNIFILAR DE UNA PLANTA INDUSTRIAL

FIGURA # 18



CIRCUITO EQUIVALENTE PARA ARMONICAS

la corriente suministrada por el equipo de rectificación. Esto producirá la falla en los condensadores o el disparo de los fusibles de protección. Además se producirán por causa de la alta impedancia de este circuito, altos voltajes armónicos que causarán el calentamiento de los condensadores, o la falla de los equipos de control de los mismos. Las corrientes armónicas fluirán dentro de el sistema de alimentación donde causará interferencias en las líneas de comunicaciones y daño en los equipos de corrección de factor de potencia en otras localidades.

Para evitar esto, se deberá escoger condensadores los cuales no entren en resonancia con la inductancia de el sistema de alimentación a la frecuencia armónica de los equipos de rectificación. En la realidad esto es imposible por los continuos cambios que se producen en el sistema de alimentación y esta impedancia es realmente variable.

El mejor método es el de conectar reactores sintonizados para forzar la resonancia a ocurrir a una menor frecuencia que la más baja armónica

en la corriente del rectificador, restándole importancia a la impedancia de la fuente. Un arreglo de esta manera se observa en la figura # 19. Mientras este arreglo se hace cargo de las corrientes armónicas, incrementa la corriente fundamental en los condensadores. Además los reactores le restan directamente capacidad reactiva al conjunto. La reactancia del circuito es menor que la del capacitor solo. El incremento de corriente hace que el voltaje en el condensador sea mayor que el especificado en su placa. Según la norma ANSI Standard C85.1 los condensadores utilizados en la corrección de factor de potencia deberán soportar un sobrevoltaje máximo de 10 %. Cuando los circuitos LC son sintonizados bajo la cuarta armónica, es necesario incrementar el nivel de voltaje en el condensador a utilizar. Entonces es indispensable recalcular el valor en KVARs. del condensador a el valor de voltaje al cual se va a utilizar:

$$KVARs. (1) = KVARs. (2) * (V2 / V1)^2$$

El uso de reactores para proteger los capacitores de corrección del factor de potencia

pueden ser aplicados a líneas de procesos individuales sin desprestigiar el sistema completo. Cada instalación debe ser autoprotegida y libre de cualquier problema causado por otra fuente de armónicas, sin requerir un restructuramiento de cargas o de sistema de la planta. Dos ventajas se derivan de este tipo de compensación: primero que la regulación de voltaje es mejorada por el incremento del factor de potencia, y segundo que las corrientes de alimentación son reducidas, logrando bajas pérdidas y disminuyendo la temperatura en los elementos de fuerza.

El valor de la frecuencia resonante escogida afectará el costo de los condensadores y de los reactores; a menor frecuencia mayor será el costo. La mayor parte de las plantas industriales con tiristores, manejan cargas trifásicas balanceadas y se ubican filtros de 240 Hz y frecuencias más altas. En plantas de vidrio, la armónica más frecuente y de gran influencia es la tercera o causa de las cargas trifásicas desbalanceadas y de las cargas monofásicas por lo cual la frecuencia de resonancia de seguridad para la instalación es de

150 Hz.

El método a seguir es el siguiente:

Se tienen los siguientes datos:

V_o = Voltaje de operación

V_1 = Voltaje de placa del condensador.

f_o = frecuencia de operación.

f_1 = frecuencia de resonancia.

K_w = Potencia requerida.

F.P.1 = Factor de potencia inicial.

F.P.2 = Factor de potencia requerido.

K_c = f_1 / f_o

K_1 = f_o / f_1

K_r = $K_c - K_1$

K_i = K_c / K_1

$K_{var}(V_o)$ = Reactivos necesarios en el sistema obtenidos de los K_w y el factor de potencia inicial.

Si el valor de K_i es mayor que 1.1, se deben considerar condensadores de un rango mayor de aislamiento y recalcular la capacidad de los mismos.

$K_{var}(V_1) = K_{var}(V_o) / (K_i * ((V_o / V_1)^2))$

$\text{OhmsC}(f_o)$ = Ohmios de los condensadores a frecuencia de operación.

$Ohms(f_1) =$ Ohmios de los condensadores a frecuencia de resonancia que serán iguales a los de el reactor en serie con los condensadores.

$OhmsL(f_0) =$ Ohmios de el reactor a frecuencia de operación.

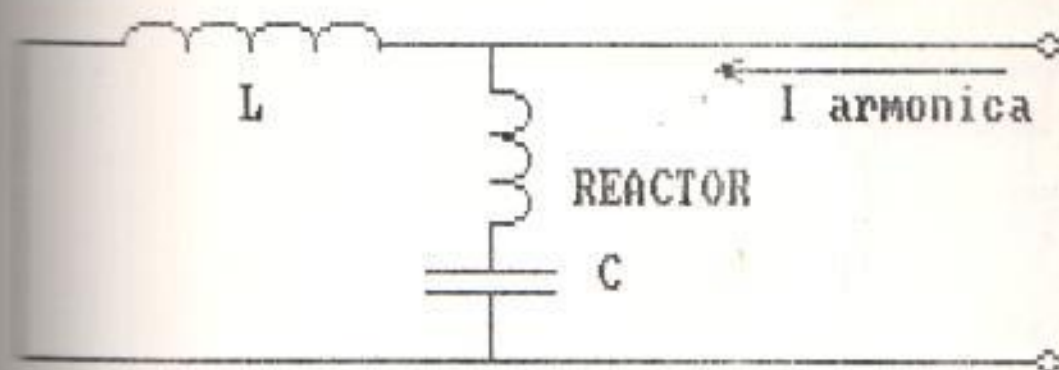
$I_l =$ Corriente de línea de los condensadores.

En resumen se requiere un capacitor de condensadores de capacidad indicada en $Kvar(V)$ con un voltaje de placa de V_l y un reactor de $OhmsL(f_0)$ con una corriente igual a la de línea de los condensadores y su conexión se la realiza según la figura # 20.

3.2.4 TRANSFORMADORES.

Este instrumento, suministra la energía reactiva que requieren los receptores que están conectados a su secundario, pero éste también requiere de cierta cantidad para su propio funcionamiento. Su compensación individual en función de la corriente magnetizante en vacío o en función de la carga, se realiza a través de tablas XIII recomendadas por los fabricantes de los

FIGURA # 19



CIRCUITO EQUIVALENTE PARA ARMONICAS
CON REACTOR PROTECTOR

FIGURA # 20

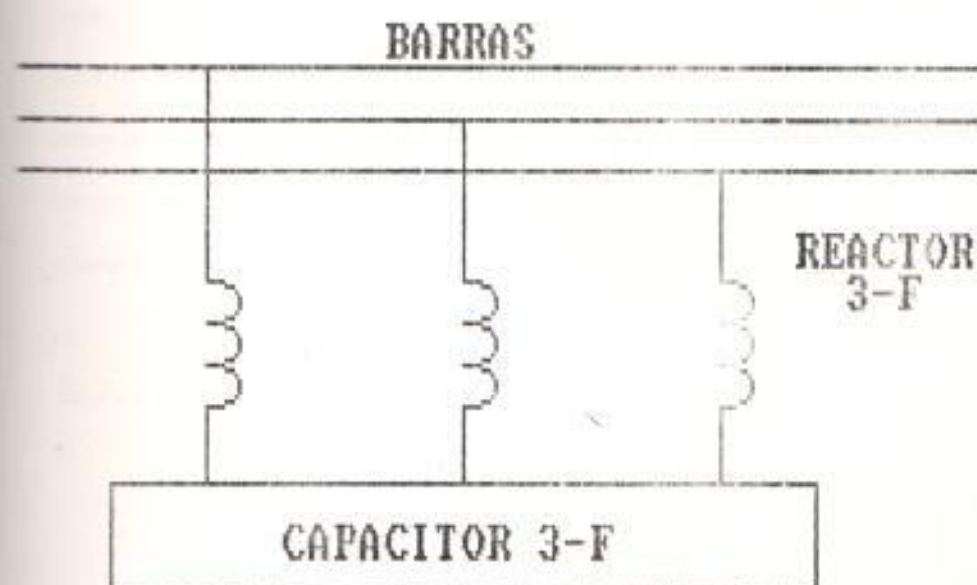


DIAGRAMA DE CONEXION

condensadores. Sin embargo un criterio práctico es aquel el cual indica que la potencia en KVAR, no exceda nunca del 10 al 15% de la potencia nominal del centro de transformación.

90% *SEGUN EL TIPO DE CARGA*

3.3 COMPENSACION DE UN GRUPO DE CARGAS.

Se pueden definir dos grandes grupos de cargas que se encuentran en una planta: los motores y la iluminación. No se tratará los transformadores por que en una fábrica se posee generalmente uno solo, al cual se conectan las demás cargas y que en el caso de que sean varios, las conexiones se efectúan de tal manera que los sistemas son radiales y no se entrelazan unos con otros. La potencia reactiva requerida por los rectificadores se añade a la demandada por un grupo de cargas y se procede a filtrar las armónicas simultáneamente con la compensación.

3.3.1 MOTORES.

Para compensar la potencia reactiva que varios motores demandaren en un determinado momento podemos encontrar el valor del factor de potencia global del grupo de máquinas realizando la suma vectorial de sus corrientes estimadas en los diagramas circulares de cada uno, de esta forma

se puede encontrar el condensador que el conjunto requiera. La conexión del condensador se realiza a través de un contactor el cual a su vez no puede activar por diferentes métodos. En realidad depende de las características de funcionamiento del grupo de motores.

Caso 1.- El encendido de los motores es de forma secuencial, es decir de el primero le da la señal al segundo y este al tercero y así sucesivamente hasta llegar al último de una cadena de máquinas que lleva a cabo un proceso productivo, este último es el que dará la señal final para la conexión del contactor que activa el condensador pero considerando que los demás también se encuentren activados. Esto se lo puede realizar trabajando en el circuito de control usando contactos auxiliares en los contactores que energizan a los motores de la cadena. El control de condensador debe estar provisto de las opciones: Auto - Manual - Apegado, para que en el caso de realizar mantenimiento en la instalación este no se active y que tenga posibilidad de hacerlo entrar o salir cuando sea necesario. También hay que tomar en cuenta el colocar

resistencias de descarga rápida para el condensador.

Caso 2.- Si tenemos varios motores los cuales no todos entran en un proceso productivo si no que su funcionamiento es alternativo, que es un caso que se presenta muy a menudo en una empresa, generalmente se cuenta con un motor de gran capacidad alrededor del cual gira toda la producción, en este caso es necesario indagar el momento de máxima carga y el momento de mínima carga y analizar el momento más favorable. Con este dato calcular el condensador, generalmente llevando el factor de potencia a 0.92 y luego aplicarlo al instante más benévolo y ver a en qué valor se proyecta el factor de potencia. Este método generalmente lleva al factor de potencia en el momento más propicio a subir a 0.95 - 0.98. En el caso de que este parámetro tomara la característica capacitiva, es preferible efectuar otros métodos de compensación o combinarlos para obtener el resultado deseado. Nuevamente hay que considerar las posibilidades de: Auto - Manual - Apagado y la conexión de resistencias de descarga rápida.

Si se diera el caso de que el proceso esté sujeto a constantes paros y arranques, puede ocurrir la reconexión del condensador cuando todavía no esté descargado lo que traería inconvenientes en la vida útil del dispositivo, aparte de las perturbaciones por sobrevoltajes que pueden quemar las bobinas de los contactores, por lo tanto se puede incluir un temporizador en el circuito de control del capacitor el cual recibe inicialmente la señal para energizar el condensador pero que lo retarde en un tiempo determinado, de esta forma se asegura que no existan reconexiones por parpadeos o por cada operación del compensador.

3.3.2 ILUMINACION.

Es generalizado en la industria moderna el independizar los circuitos de iluminación de los circuitos de control de potencia, y normalmente están alimentados a través de un panel el cual por concepto de balancear las cargas es trifásico. Es posible realizar la compensación de todo el grupo de luminarias sobretudo en las empresas cuya demanda principal es la iluminación, caso típico es el de un laboratorio

de larvas de camarón donde se requiere controlar la luminosidad del sistema utilizando generalmente fluorescentes energizadas a través de un circuito de control cuyos elementos de conexión son contactores. Estos le darán la señal a el contactor de activamiento del condensador. Se puede obtener la demanda de potencia reactiva de los datos suministrados por los fabricantes para las lámparas fluorescentes con balastos convencionales y sin condensador individual de compensación, realizar la suma vectorial y a obtener la cantidad de vatios y voltios-amperios reactivos requeridos por la carga para luego proceder a dimensionar el condensador. Igualmente que en los motores son necesarias las resistencias de descarga, y el temporizador que asegure que el condensador está descargado. El factor de potencia requerido es por lo general 0.9. Igualmente es el caso de el alumbrado propio de la planta el cual se realiza comúnmente con lámparas de descarga de vapor de mercurio o sodio. En estos casos se analizarán las características eléctricas de las mismas considerando los balastos correspondientes para llegar a una suma vectorial de las mismas.

proceder al cálculo del condensador para compensar la potencia reactiva por ellas demandadas.

2.4 COMPENSACION CENTRALIZADA.

Con este tipo de compensación todos los motores, luminarias, y transformadores son considerados en una forma global para efectuar la corrección del factor de potencia. Consiste en la instalación de una unidad de regulación de potencia reactiva la cual contiene grupos de condensadores conectables y un relé vatimétrico.

Cada grupo de condensadores tiene un contactor como elemento de control el cual es dimensionado por el mismo fabricante según la capacidad en KVAR, y el número de maniobras que el dispositivo requiera soportar. Generalmente la protección consiste en fusibles de alto poder de corte, 100 K-ámps. y de corriente nominal entre 1.7 y 1.8 de la del condensador.

Los condensadores de baja tensión están conectados por lo general en delta por lo tanto las baterías no tienen cable de aterrizamiento. Los cables de conexión de los capacitores debe ser dimensionada para 1.3 In. Es necesaria una inductancia de ligamento entre el juego

de barras de alimentación principal del banco y cada condensador para limitar las sobrecorrientes de la conexión; ésta se puede obtener haciendo espiras con los mismos cables o insertando inductancias de choque.

Con el fin de mantener la seguridad industrial, todos los condensadores vienen equipados con resistencia de descarga que bajan la tensión a 50 V. en un minuto después de desconectar el dispositivo de la alimentación.

El control maestro de la batería se realiza a través de el relé vatimétrico el cual da la señal de entrada a los contactores de alimentación de los diferentes grupos condensadores; en el mercado se encuentran dispositivos de 3 - 5 - 6 / 12 pasos normalmente. Este recibe una señal de voltaje y una señal de corriente las cuales pueden ser directas o suministradas por transformadores de medición. En la actualidad estos relés toman la señal de tensión directamente mientras que la corriente la reciben de un transformador de intensidad $\times/5$ Amps. Su ajuste consiste en la selección de los valores a los cuales se calibran dos parámetros:

El Factor de Potencia promedio ajustado. Este parámetro

indica el valor mínimo que debe estar el cos θ de la instalación. Si su valor es menor que el ajustado se procede a realizar la conexión de un paso adicional de condensadores. Generalmente los intervalos de ajuste van de 0.85 inductivo a 0.95 capacitivo.

La sensibilidad o corriente reactiva mínima, que se conoce como I_{reactiva} en algunos relés y como factor C/K o c/k en otros. Este parámetro provoca la conexión o desconexión de un nuevo escalón y cuyo ajuste no puede ser arbitrario si no que depende de la relación de transformación $X/5$ del transformador de intensidad y la corriente del primer escalón del grupo de condensadores que indica el mínimo que se puede conectar o desconectar. Su valor se calcula de la siguiente forma:

$$K = X/5$$

$$I_c = (KVAR \times 1000) / (V_{\text{nom.}} \times 1.73)$$

$$C/K = I_c / K$$

Estos equipos tienen además indicaciones luminosas que dan a conocer cuantos y cuales están conectados. Otros equipos más actualizados poseen indicadores del factor de potencia instantánea en la instalación, proporcionan lecturas de voltaje, corriente y además poseen microprocesadores los cuales los habilitan a

escoger en base de todos estos datos el condensador que debe ingresar para realizar la compensación considerando además el tiempo que ha permanecido desenergizado.

Para determinar cual es la magnitud de potencia reactiva que una empresa requiere globalmente, se necesitan obtener los siguientes datos:

- Valor del factor de potencia por el cual está siendo penalizado por la empresa eléctrica.
- Demanda en Kilovatios Hora mensuales de la planta.
- Demanda máxima de la planta.
- Efectuar una medición del factor de potencia en el instante que se produce la demanda máxima coordinando esta medición con el jefe de planta o mantenimiento o con la persona que autorice dicha medición.
- Obtener datos sobre la forma de operación de la planta diariamente, su variación mensual, y las proyecciones económicas futuras de la industria. Considerar futuras ampliaciones y a que tiempo - corto, mediano o largo plazo.
- Obtener datos de placa del banco de transformadores.
- Obtener datos de corriente y tensión en el momento de la medición e informarse de posibles problemas de bajo o sobrevoltaje en la instalación.

Con toda esta información podemos clasificar a las empresas dentro de varios grupos:

Empresas con cargas dispersas en el tiempo. Es decir que la puesta en marcha de todas las secciones sean completamente independientes unas de otras.

Empresas con cargas pequeñas y potencia diversa. Fábricas con compresores, pequeñas bombas, cintas transportadoras, etc. que son cargas que requieren de motores de 1 a 10 HP. generalmente.

Empresas con cargas pequeñas dispersas pero con un horario de trabajo rígido. Pueden ser varias máquinas grandes compuestas por motores pequeños que se accionen todos simultáneamente caso típico es de fábricas de redes, fábricas de metales inyectados con un cronograma de trabajo.

Mientras más pasos de condensadores tuviera una batería más fina será la regulación pero su costo se incrementa considerablemente. El cálculo de la potencia reactiva se describe en el numeral del factor de potencia.

Es recomendable este tipo de corrección del factor de potencia, cuando los KVARs. requeridos por la empresa sobrepasen el 15% de la capacidad del transformador principal, en el caso de potencia diversa y diferente

horario de conexión de las cargas.

Cuando la compañía tiene un horario riguroso de trabajo, es posible realizar la compensación del factor de potencia utilizando no el relé vatimétrico sino un relé horario programable el cual le dé una señal al contactor que activará el condensador. Esta es una opción en el caso de requerir una compensación global de una planta pequeña que está siendo multada, y en la cual la inversión de un relé vatimétrico resulta antieconómica.

4 ANALISIS ECONOMICO

4.1 GENERALIDADES.

Antes de ejecutar un proyecto es necesario conocer la magnitud de el beneficio que este producirá desde el punto de vista económico a la compañía. Puede darse el caso de tener un proyecto de excelente calidad técnica pero que su implementación sea muy costosa o tener diferentes alternativas logrando el mismo objetivo con diferentes costos y diferentes rendimientos, en este caso será conveniente generar la mayor cantidad de alternativas posibles con sus características para tener la capacidad de discernir entre ellas cual es la más óptima. Para esto es necesario dentro de las alternativas generadas, determinar las consecuencias cuantificables, es decir todo aquello que se pueda evaluar y ver claramente cuales son los resultados relevantes. Luego de haber generado las alternativas y sus consecuencias cuantificables el siguiente paso es utilizar algún procedimiento general que ayude a seleccionar la mejor de ellas. Según el tamaño de los proyectos a analizar se utilizará un método diferente de análisis de los cuales podemos distinguir: los

empíricos y los cuantitativos. La diferencia de éstos estriba en que en los últimos se utilizan técnicas numéricas que nos ayudan a visualizar mejor la diferencia entre las alternativas mientras que en los primeros solo se hace una evaluación subjetiva de dichas diferencias. Además, es de esperarse que el usar procedimientos lógicos, basados en cálculos matemáticos, nos ayudará consistentemente a tomar mejores decisiones.

4.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

Dentro del análisis económico de los proyectos el interés es la renta que se paga por utilizar dinero ajeno o bien la renta que se gana al invertir nuestro dinero. Puesto que estas dos situaciones se presentan en infinidad de formas es necesario tener la capacidad de medir el rendimiento de una inversión o el costo real de que representa una fuente de financiamiento. A continuación se presentan las maneras clásicas de la determinación de estos objetivos.

4.2.1 INTERES SIMPLE E INTERES COMPUESTO.

La diferencia de éstos dos es que el interés simple es función únicamente del monto principal, el número de periodos y la tasa de interés,

mientras que en el otro caso los intereses generan intereses.

En el caso del interés simple se tendrá:

$$F_n = F_0 * (1 + (i * n))$$

y en el caso del interés compuesto:

$$F_n = F_0 * ((1 + i) ^ n)$$

donde:

F₀ Es la cantidad a ser prestada o ser invertida.

F_n Es la cantidad a ser pagada o recibida en el año n.

i Tasa de interés

n Año de proyección.

4.2.2 VALOR PRESENTE

Es necesario para llevar a cabo un proyecto, realizar un análisis en el tiempo de el valor del dinero a futuro y cuantificar la diferencia entre éste y su valor actual de manera que se pueda determinar si es rentable o no.

$$F_0 = F_n / ((1 + R) ^ n)$$

donde:

F₀ Es la cantidad invertida actualmente.

F_n Es la cantidad invertida en el año n.

- R Tasa de actualización.
n Año de proyección.

Significa que F sucres en el año n valen lo mismo que F_0 sucres actuales. La tasa de actualización es necesario conocerla y se toma como base el costo del capital de la economía pero su elección depende también de la mejor alternativa de inversión en el mercado de capitales.

4.2.3 FLUJO DE CAJA.

Es el resultado de ingresos y costos. Se puede definir como entradas netas o desembolsos netos resultantes entre ingresos y desembolsos ocurridos durante un periodo. Es la base para conocer si un proyecto es rentable o no.

El flujo de caja puede ser uniforme, es decir que después de cada periodo de tiempo determinado se obtendrá cierto valor constante de ingresos o egresos, puede tener forma de gradientes aritméticos en los cuales después de cada periodo se incrementa el valor en un valor determinado, o geométrico, en el cual la variación corresponde a una función determinada.

4.3 METODOS DE EVALUACION DE PROYECTOS.

Para determinar si un proyecto es rentable de una manera lógica y sistemática, se aplican métodos numéricos desarrollados en ingeniería económica para este fin.

4.3.1 TASA PROMEDIO DE RETORNO.

Relaciona el promedio anual de utilidades después de los impuestos con el promedio anual de la inversión o la inversión original. Se basa sobre los ingresos contables pero no tiene en cuenta el tiempo en el que se producen los ingresos y los egresos. Se ignora el valor del dinero en el tiempo. Se puede utilizar este método en el caso de que el monto del proyecto sea relativamente poco y del cual no dependa la economía de la compañía. Es decir como un método rápido de evaluación.

4.3.2 METODO DEL PERIODO DE RECUPERACION.

Indica el número de periodos requeridos para recuperar la inversión inicial, ésta es la base para escoger los proyectos en los cuales los beneficios son lo suficientemente grandes como para recobrar el dinero invertido en el menor

tiempo posible. Es la relación entre la inversión original, los ingresos anuales durante el período de recuperación ni los intereses. La desventaja de este método es que no tiene en cuenta los flujos de caja que se generan después del período de recuperación y no se puede considerar como medida de rentabilidad. Igual que el método anterior se lo puede aplicar a proyectos en los cuales no se ponga en riesgo la integridad de la compañía.

Los dos métodos anteriores se utilizan con frecuencia por su sencillez en el cálculo y por que se obtienen resultados relativamente aceptables en proyectos de pequeña dimensión de una manera rápida.

4.3.3 METODO DEL VALOR ACTUAL NETO.

Consiste en llevar todos los gastos y los ingresos corrientes en el tiempo a un mismo punto y obtener el beneficio neto actualizado que es lo que se conoce como el valor actual neto.

Si K es el valor de las inversiones, se tendrá:

$$VAK = \sum_{t=0}^m (KI / ((1+r)^t))$$

donde

VAK Valor actual de las inversiones.

Kt Inversión al final del tiempo t

r Tasa de corte.

m Número de periodos, generalmente el de la vida útil del proyecto.

t Período.

Si G es el valor de gastos.

$$VAG = \sum_{t=0}^m (G_t / (1+r)^t)$$

VAG Valor actual de gastos.

Gt Gasto en el período t.

Si I es el valor de ingresos:

$$VAI = \sum_{t=0}^m (I_t / (1+r)^t)$$

donde:

VAI Valor actual de ingresos.

I_t Ingresos en el período t.

Se tiene:

$$VAN = VAI - VAK - VAK$$

$$VAN = \sum_{t=0}^m ((I - (G+K)) / ((1+r)^t))$$

$$F = I - (G + K)$$

$$VAN = \sum_{t=0}^m (F_t / ((1+r)^t))$$

La decisión de invertir debe tomarse sólo si el VAN es positivo. Si el VAN es negativo, es inconveniente. Si el VAN fuera cero, la decisión es indiferente y depende en gran medida de la tasa de corte r . En estos casos es preferible invertir el capital en otra decisión con menos riesgo.

Si se tuvieran varios proyectos, se selecciona aquel que produzca un mayor VAN por unidad de inversión. Dichas inversiones pueden ser financiadas con capital propio o con préstamos, en cuyo caso hay un gasto de pago de anualidades las cuales deben ser consideradas en el cálculo del VAN.

Este método es más complejo y se requiere un estudio de ingresos y gastos en el futuro al igual que el valor de una tasa de corte que esté de acuerdo con la economía global del sistema. Si consideramos una tasa demasiado elevada, el valor actual neto será negativo por lo que se pudieran desechar proyectos los cuales si fueran rentables. Caso contrario ocurriría si ponemos en marcha un proyecto después de un análisis con una tasa de corte muy baja y que no esté de acuerdo

con la realidad. Este estudio podría llevar a resultados catastróficos.

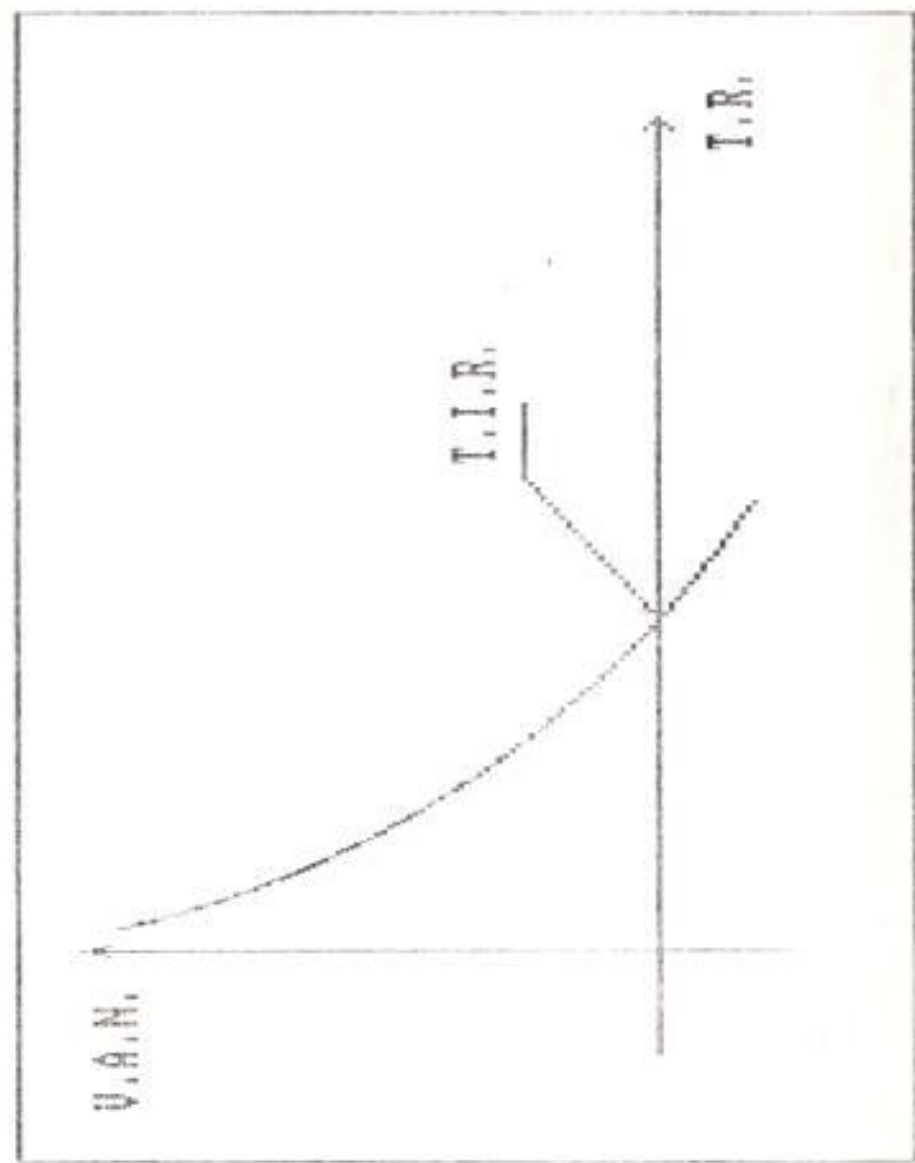
4.3.4 METODO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO.

El principal problema del método del VAN es el escoger un valor adecuado de la tasa de corte como base para la decisión. El valor de la tasa debe coincidir con el valor de la tasa de interés de la economía de ese momento. Además este valor debe ser acorde con la tasa de costo del capital, el cual es en realidad la ganancia que el inversionista perdería teóricamente por utilizar el capital del proyecto.

La TASA INTERNA DE RETORNO, (TIR) evita este dilema de seleccionar una tasa de corte porque en sí misma es una tasa de actualización muy especial para la cual el VAN es cero. Una visualización de este concepto se observa en la figura # 21.

Si el valor de la TIR es mayor que la tasa del costo de capital indica que el proyecto es rentable, siendo más, mientras mayor sea. Si las tasas son iguales, los beneficios del proyecto son iguales a los gastos o inversiones implica

FIGURA # 21



VISUALIZACION DE LA T.I.R.

que no existirá utilidad alguna. Si la TIR es menor, entonces el proyecto es conveniente.

Si los flujos son:

$$\frac{-K_0}{(1+r)^0} + \frac{K_1}{(1+r)^1} + \frac{K_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{K_n}{(1+r)^n} = 0$$

Y se tiene:

$$X = 1 / (1+r)$$

Se obtiene un polinomio de grado n del cual la raíz será el valor de X para el cual el VAN es cero, que se puede obtener utilizando el método de Newton Raphson.

donde:

$$r = 1/X - 1$$

Este método describe el retorno de la inversión de una manera más funcional. No necesita de un indicador de rendimiento por que en si mismo lo es.

4.3.5 INDICE DE RENTABILIDAD.

Para medir que tan rentable es un proyecto se puede obtener el índice de rentabilidad que es igual a el cosiente entre el VAN y el valor de

la inversión inicial. Sólo serán aceptables los proyectos en los cuales dicho valor sea mayor o igual a la unidad. Si es menor que la unidad implica que el valor del VAN es negativo.

4.3.6 COMPARACION ENTRE LA T.I.R. Y EL V.A.N.

Debe tenerse un conocimiento del costo del capital para tener una idea de si el proyecto es o no rentable. Un problema del uso de la TIR es que en países como el nuestro el valor del costo del capital fluctúa entre el 10 y otro según la tendencia de turno y si en un momento un proyecto es rentable al siguiente por dichos cambios lo puede hacer peligrar. En este caso es mejor utilizar el VAN.

4.4 FACTORES ECONOMICOS QUE DEFINEN AL PROYECTO

4.4.1 INVERSION INICIAL.-

Los factores que afectan el costo del condensador son:

- a).- La capacidad del condensador.- a medida que aumenta el valor de los KVARs del dispositivo el incremento del costo es de una manera casi lineal.

b).- El voltaje de aislamiento. La mayor voltaje de aislamiento mayor es el precio por KVAR.

c).- La protección ambiental.- Una protección contra polvo fino y agua implica un costo adicional.

d).- La calidad del condensador.- En muchas ocasiones la marca se paga.

No hay que olvidar que dentro de la inversión inicial se encuentran los elementos adicionales que hacen posible la instalación del condensador. Así tendremos que considerar la protección y la maniobra del dispositivo. Un condensador al cual se desea que opere de una manera automática, requiere de un contactor y su protección generalmente son fusibles.

De un estudio realizado en el año de 1989 se obtuvo por conclusión que 220 V - 3 F el valor más conveniente por paso de condensador es el de 15 KVAR por paso. Si el voltaje es de 440 V - 3 F el valor más económico sería de 40 KVAR. Estos valores son en función de precio de KVAR por paso. Además se observó que el valor global del conjunto aumenta de una forma casi proporcional

con el incremento de los KVARs.

Si analizamos las protecciones para un grupo de condensadores en 220 V - 3 F en los cuales se desee una protección de desconexión trifásica, el breaker será una opción económica hasta los 50 KVARs, en adelante se puede considerar la alternativa de protección de fusibles y un relé detector de falta de fase el cual se intercalaría en el control de los contactores que controlan a los condensadores. Si no se desea la protección trifásica y únicamente se colocan fusibles, ésta es la opción más económica. En el caso de que el voltaje sea de 440 V - 3 F y efectuando un análisis similar obtendremos que hasta 90 KVARs es económico el breaker como protección global. En adelante el más ventajoso utilizar fusibles.

En lo que corresponde al control, los elementos disponibles para el efecto como son los relés detectores de potencia reactiva, los hacen rentables una vez que el grupo ha pasado cierta capacidad. Tomando en cuenta que el precio de uno de estos elementos oscila alrededor de los 400.000 sucres, para controlar 6 pasos, si

estamos trabajando en 220 V y considerando que el valor de los pasos representa el 66% del total, el uso de este equipo será rentable a partir de los 80 KVARs; en el caso de 440 V esto se dará cuando la capacidad sea de 200 KVARs. Generalmente este equipo se utiliza en plantas con gran cantidad de cargas pequeñas y que no tienen funcionamiento simultáneo.

Otra opción es el uso de relés de tiempo. Su precio varía entre 50.000 y 60.000 lo que lo hace bastante atractivo desde el punto de vista económico. La restricción para su operación es la simultaneidad de las cargas. Da un excelente resultado en compañías que tienen este tipo de instalación.

Finalmente la alternativa de el control utilizando contactos auxiliares en los contactores que manejan un conjunto de cargas o una carga específica a la cual no se le puede conectar en sus bornes el condensador. El precio de esta varía según las características del contactor pero en lo que son dispositivos auxiliares el precio no sube de los 20.000 sucres.

Un rubro adicional que se considera es el pequeño material el cual consiste en cables de conexión, tanto de fuerza como control, borneras, tuercas, pernos, tornillos etc, sin los cuales no se puede hacer la instalación. La dirección técnica, la mano de obra, y gastos de administración también se deben considerar al realizar el cálculo de costo de dispositivo puesto que se asume que el equipo se lo debe dejar funcionando. Se considera como un porcentaje del costo de obra generalmente el 10% y es función de la complejidad del trabajo, no es lo mismo instalar un equipo con todas las comodidades del caso a instalar uno en condiciones de máximas exigencias.

4.4.2 VIDA UTIL DE LOS COMPENSADORES.-

El tiempo de vida útil de un condensador se ve afectada por factores diversos:

La temperatura.- es directamente vinculada con la temperatura ambiente. A medida que aumenta el calor, el envejecimiento de los equipos es más acelerado. Por lo tanto se ubican dentro de la empresa en función de este parámetro es importante.

Número de operaciones diarias.— Cada operación del condensador implica que a través de éste circule una corriente de arranque excesiva que en ocasiones llega a 200 veces I_n . por lo tanto para prevenir esto es necesario realizar una inductancia de choque con el cable de alimentación del condensador. Por lo general basta con una espira de un diámetro de 14 cm.

Las sobretensiones transitorias.— de las redes provocan el deterioro de los condensadores al igual que los niveles de descarga parciales en las cubas.

Generalmente si la instalación es realizada previniendo este tipo de inconvenientes, el tiempo de vida útil de un condensador es largo. El tiempo de vida estimado de un dispositivo es de 10 a 15 años si se le realiza el mantenimiento correspondiente con una regularidad de dos veces al año, y que consiste en la limpieza del banco, de los contactos de los contactores y si fuera necesario cambiarlos, proceder a esta operación.

4.4.3 PERDIDAS EN LOS CONDENSADORES.

El constante desarrollo de los materiales de construcción de los condensadores, a llevado a conseguir factores de pérdidas extremadamente bajos. La unidad del factor de pérdidas es watio/KVAR . El valor de este parámetro para condensadores de papel impregnado a 30 grados centígrados es del orden de 3 mientras que en los condensadores de polipropileno metalizado llega a 0.4.

Es interesante observar la variación de este parámetro con el valor de la temperatura de funcionamiento del dispositivo, si bien es cierto que ante un aumento de temperatura disminuye, esto es solo hasta cierto punto crítico donde el condensador estará en peligro de fallar.

4.4.4 PENALIZACION POR BAJO FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia óptimo para una instalación es de 1 pero esto es difícil de lograr por factores que ya se han detallado a través de toda esta tesis. Pero si es posible obtener un valor promedio de este parámetro que esté dentro de un rango. Dicho rango es de 0.9 inductivo a 1.

Si una empresa no cumple con este requisito, la compañía suministradora de energía puede multarla. En Ecuador el procedimiento para realizar tal multa se encuentra especificado en el PLIEGO TARIFARIO PARA EL SERVICIO ELECTRICO bajo el numeral 3.4 letra F, donde dice:

FACTOR DE POTENCIA

PENALIZACION: En el caso que el factor de potencia medio mensual registrado por un abonado sea menor a 0,9 la facturación mensual será recargada en un factor igual a la relación por cosiente entre 0,9 y el factor de potencia registrado. La penalización por bajo factor de potencia es parte integrante de la planilla por venta de energía.

Esta medición se la realiza a través de medidores de potencia reactiva que la misma empresa los posee.

4.4.5. AHORRO DE ENERGIA POR MENORES PERDIDAS EN LAS LINEAS

Las pérdidas de energía en los cables ocurren por el calentamiento de los conductores, por lo que el sistema pide más de ella y como consecuencia

el costo de la misma se incrementa. Los costos por energía perdida varían de manera inversamente proporcional con respecto al tamaño del conductor. Esta relación puede ser utilizada en la selección del tamaño del conductor que minimice la sumatoria de el costo inicial y el costo de operación. Sin embargo la cantidad de energía perdida en los conductores es función también de la corriente que circula por ellos, por lo tanto si disminuimos también este parámetro lograremos un costo inicial de instalación aun menor. Para lograr esto, debemos llevar el factor de potencia de la carga alimentada a un valor cercano a la unidad utilizando para el efecto bancos de condensadores.

4.4.6 AHORRO DE ENERGIA POR MAYOR EFICIENCIA EN LAS CARGAS.

El comportamiento de todos los equipos eléctricos está muy relacionado con el voltaje que este reciba en los terminales del mismo.

En el numeral 2.3 se explica el impacto de la variación de el voltaje en los diversos tipos de cargas. Todo se refleja en el costo de operación

y mantenimiento del equipo, no solo en la parte eléctrica si no también en la parte mecánica.

Los equipos están fabricados para funcionar a un valor de voltaje determinado con una cierta variación pero cuando ésta sobrepasa los valores establecidos se presentan problemas, generalmente demandando mayor energía de la que requieren para un funcionamiento normal, esto implica un aumento en la corriente de alimentación que se traduce en un calentamiento adicional en los cables y un incremento más en los costos de pérdidas de energía.

5 APLICACION DE LOS CRITERIOS DE OPTIMIZACION.

5.1 GENERALIDADES, ENFOQUE DEL METODO A SEGUIR.

En este capítulo se aplican todos los criterios expuestos en los anteriores. Para realizar una selección acertada de los equipos de compensación es requerimiento indispensable el conocimiento del comportamiento de la fábrica en la cual se efectúa el proceso en cuestión, sus diferentes cargas, su proyección a futuro económicamente, etc. El ingeniero no puede caer en el error de dejar de lado el estado económico de la empresa en la cual va a realizar su trabajo previa presentación de una oferta. Pudiera ser que la solución de un problema, como lo es la compensación de potencia reactiva, desde el punto de vista técnico sea excelente, pero su costo sea excesivo para la situación económica en ese instante de una compañía por lo que seguramente los "dirigidos" esperen nuestra llamada " y consultarán una alternativa.

Un rubro cuyo costo es elevado dentro de los equipos de compensación de reactivos es el relé voltimétrico, al igual que el soporte que este implica, sin embargo por

su simplicidad de manejo, es preferido en muchas ocasiones. Su uso realmente depende del conocimiento que se posea del funcionamiento de la fábrica. Se puede utilizar como equipo de control de los condensadores, los contactos auxiliares que poseen los contactores que alimentan a las diversas cargas y se obtiene una solución más rentable. Ahora, el problema es determinar la cantidad de FVARs requeridos en cada punto y su efecto dentro del sistema. Esto implica un sin número de cálculos los cuales son tediosos y que para cada configuración se deberán realizar con el fin de obtener resultados concretos como lo es el factor de potencia global en la fábrica y desde el punto de vista del empresario evitar la penalización con un mínimo costo. Lógicamente los equipos a utilizar en este trabajo tienen que ser compatibles con los ya instalados en la compañía. Ejemplo: Sería poco lógico colocar equipo Siemens, donde está normalizado el uso de equipo Agut.

2.2 ANALISIS DEL BENEFICIO EN CADA PUNTO DE COMPENSACION.

La ubicación de los condensadores en una industria es más óptima, desde el punto de vista eléctrico, cuanto más cerca de la carga se encuentre.

En un sistema radial es importante conocer cuales son

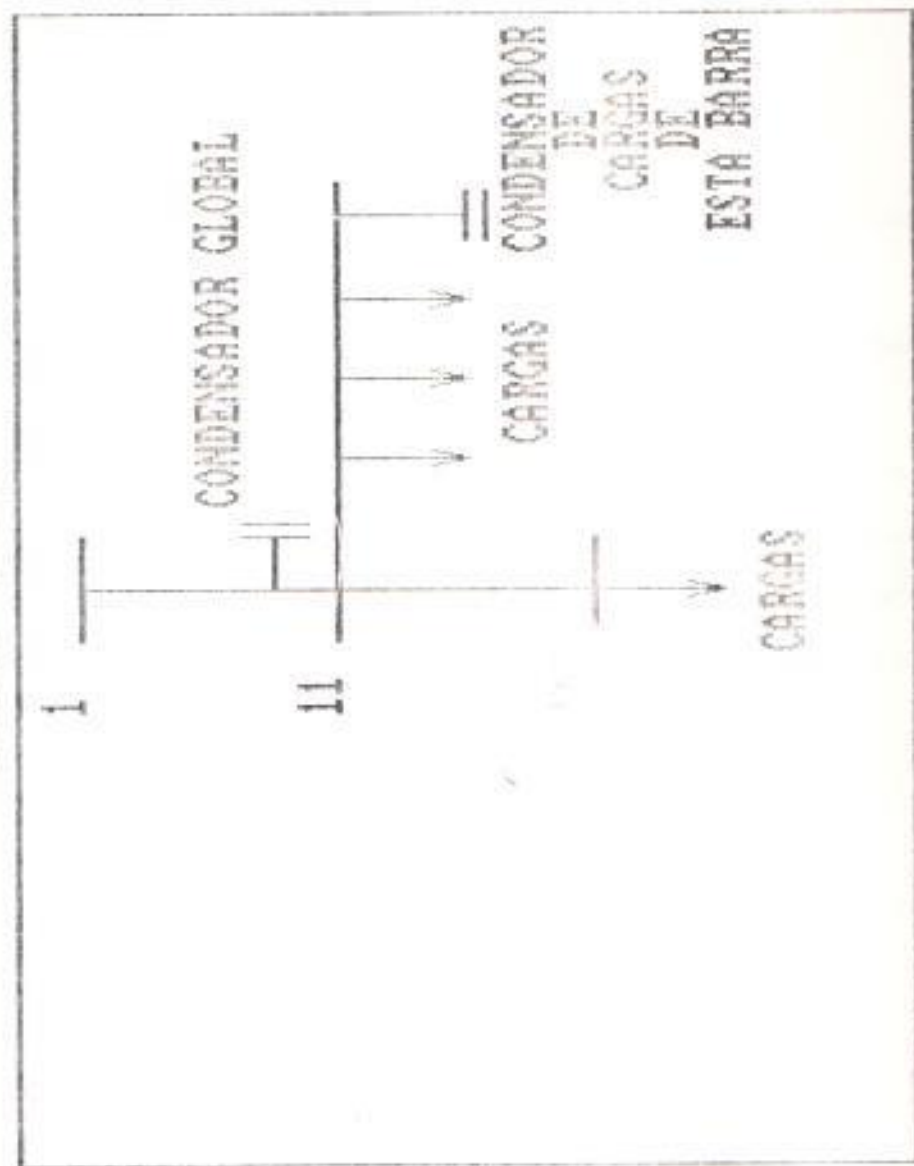
las cargas que se encuentren bajo un punto determinado o mejor conocido como una barra determinada. Una barra puede ser sólo un lugar de conexión de más barras, las cuales tienen cada una diferentes cargas o puede a su vez poseer las anteriores y además cargas conectadas a ella. Entonces la compensación puede efectuarse en ese punto de una manera global, es decir considerando cargas y barras conectadas a ella, o parcial, considerando las cargas dadas en ella directamente. Ver figura # 22.

El beneficio o rentabilidad que pueda producir una cierta configuración será igual al ahorro que se produzca en el tiempo que dure la inversión, versus la inversión inicial que será requerida. Estos valores proyectados al tiempo actual, con el fin de encontrar si es o no rentable el proyecto. En el caso de los bancos de condensadores este análisis se lo realiza para el lapso de un año.

3.3 METODO PARA ENCONTRAR EL MAXIMO BENEFICIO.

Generando la mayor cantidad de alternativas posibles en la ubicación de condensadores a través del sistema se poseerá una mejor perspectiva para efectuar este proyecto. Estas alternativas tienen ciertos parámetros

FIGURA # 22



COMPENSACION GLOBAL Y PARCIAL DE UNA BARRA.

a considerar los cuales son:

- 1.- FACTOR DE POTENCIA EXISTIDO.
- 2.- FACTOR DE POTENCIA DESEADO.
- 3.- % DE INCREMENTO DE LA TARIFA MENSUALMENTE.
- 4.- % DE INFLACION ANUAL.
- 5.- # DE HORAS DIARIAS PROMEDIO QUE TRABAJA UNA COMPARIA ANUALMENTE.
- 6.- FACTOR DE POTENCIA MENOR O IGUAL A LA UNIDAD CON CARACTER INDUCTIVO EN TODOS LOS BARRAS.

Con estos datos, se obtienen las alternativas las cuales tendrán diversos costos y diversas rentabilidades. La mejor será aquella que logre su objetivo de evitar la penalización y además tenga el menor costo.

3.4 PROGRAMA DE COMPUTACION.

Con el fin de generar la mayor cantidad de alternativas con sus resultados técnico-económicos se ha elaborado un programa de computación. El diagrama de flujo se encuentra en el apéndice A y un listado del mismo está en el apéndice B. Este ahorra el tiempo que requieren los cálculos de cada configuración. Su alcance y operación se explica en el siguiente manual:

MANUAL DE OPERACION DEL PROGRAMA

El conocimiento de este manual permite al usuario

llegar a un resultado técnico y económico óptimo en la selección de sus bancos de condensadores. Este manual se divide en las siguientes partes:

1.- EQUIPO Y PROGRAMAS REQUERIDOS:

Para llevar a cabo los procedimientos necesario contar con el siguiente equipo:

- 1 Computador personal IBM o compatible 100%.
- 1 Monitor a colores.
- 1 Impresora.
- 1 Unidad periférica de disco de 5 1/4"
- 1 Unidad periférica de disco de 3 1/2" o un disco duro.
- 1 Disco 5 1/4" con la copia autorizada del programa.
- 1 Sistema operativo de disco D.O.S. 3.1 o siguientes.

La impresora deberá estar inicializada con caracteres gráficos.

- 1 Voltímetro escala (0 - 600 V).
- 1 Amperímetro de gancho escala (0-5/15/100/300/1200 A)
- 1 Fasímetro para baja tensión (0 - 600 V).

2.- OBTENCION DE DATOS DE LA INDUSTRIA.-

En este punto se realiza la construcción del diagrama unifilar del sistema trifásico que posee la industria a estudiar. Para este fin se debe obtener la mayor cantidad de datos de la industria tanto físicos como de operación de la misma y dibujar un diagrama con todos

ellos asignando a cada barra un nombre. Se comienza asignando desde la acometida o el lugar donde se procede a realizar la medición de los kilovoltios y los kilovoltios-amperios reactivos el número "1"; a continuación la siguiente barra del esquema radial se le asigna "11", la siguiente "111", y así sucesivamente hasta una longitud de 20 caracteres. Si se tienen varias barras conectadas en paralelo por debajo de la barra "1", estas serán designadas por : "11", "112", "113", etc. Y si hubiera una barra en serie con "112", su código nombre será "1121", de esta manera existen hasta 20 niveles de barras en serie. Ver la figura # 23.

Cuando se llegue al número "9" en una barra paralela y se desee otra más en paralelo, se le asigne la letra "A" como siguiente y a continuación las letras del alfabeto castellano. Ejem: "110", "119", "11A", "11B", "11C", etc. Ver la figura # 24.

En el diagrama se debe incluir además los datos de las líneas de acometida y condiciones internas:

- Tipo de cable.
- Longitud.
- Número de líneas en paralelo.

Se requiere además poseer la información de cada carga en un listado adicional según el formato de entrada al

FIGURA # 23

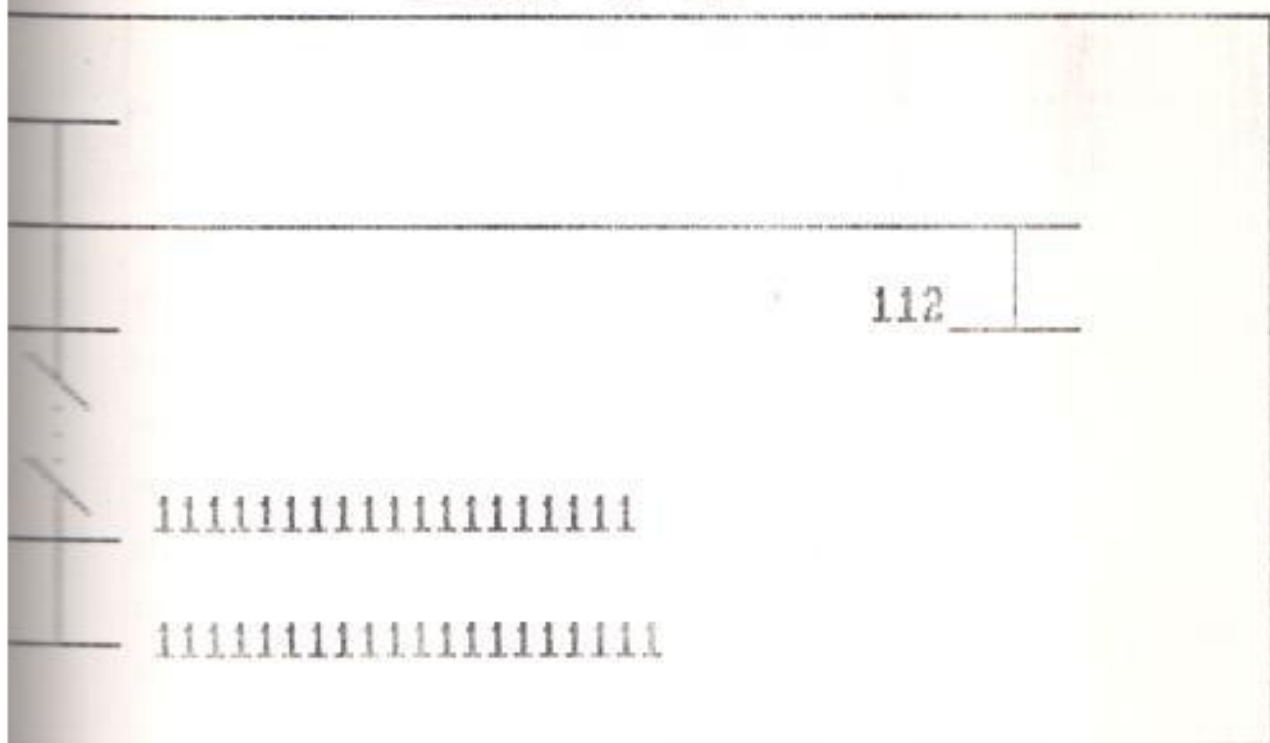
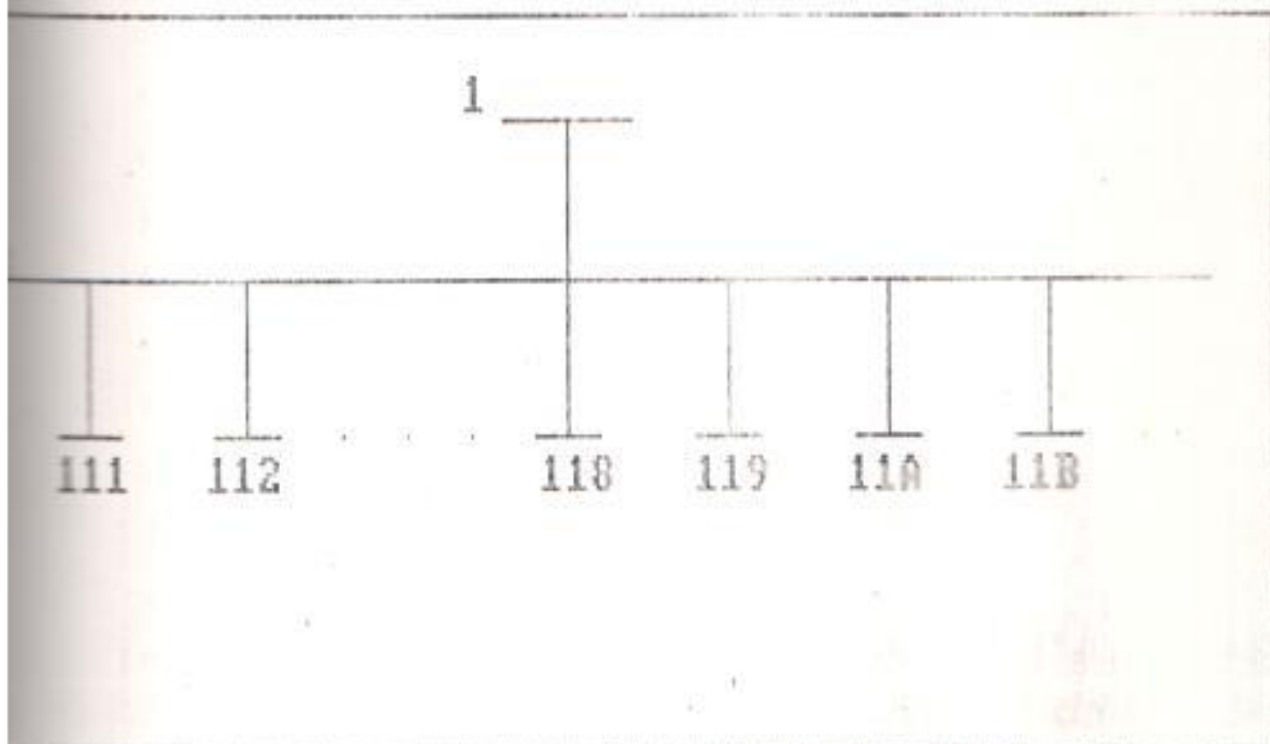


FIGURA # 24



programa. Ver la tabla XIV en el capítulo VI. Con todos estos datos estamos listos para realizar el trabajo en la computadora. No olvidar también que los criterios que posee el ingeniero eléctrico, en la operación de los equipos y los datos recopilados por él para la configuración del diagrama, ofrecerán resultados más apropiados a la realidad a causa de ser un programa interactivo que realiza preguntas en momentos claves de la ejecución del mismo, tanto en el momento de la configuración como de la compensación.

3.- PROGRAMAS PARA EFECTUAR EL PROCESO DE COMPENSACION.

El disco con la copia autorizada dispone en su contenido de archivos los cuales tienen la mayor cantidad de información recopilada de catálogos suministrados por fabricantes de equipos industriales, pudiendo ser accedidos de una manera fácil desde el programa del usuario.

En el los programas para llevar a cabo el procedimiento son cuatro:

- 1.- CONFIGURACION DEL SISTEMA
- 2.- COMPENSACION TECNICO-ECONOMICA
- 3.- BASE DE DATOS - EQUIPOS INDUSTRIALES
- 4.- BASE DE DATOS - EQUIPOS DE COMPENSACION

A continuación la explicación de cada opción:

Activar la computadora con el disco del D.O.S., luego introducir el disco de 5 1/4" con los programas en una unidad lectora, y ejecutar el comando:

TESTIS

presionar "ENTER"

Aparece en la pantalla la consola de presentación y luego el primer menú donde se encuentran las cuatro opciones nombradas anteriormente con una línea a la derecha la cual al ser introducida con el teclado presionando la tecla "ENTER", se ejecuta la alternativa.

CONFIGURACION DEL SISTEMA.- Este programa debe ser ejecutado tanto para ingresar nuevos datos, como para ejecutar por primera vez el programa de compensación por ser el que le da la clave de iniciación sobre la industria a estudiar. Accediendo a este programa con la letra "A", aparecerá inicialmente el menú de configuración del sistema eléctrico que presenta las siguientes opciones:

CONFIGURACION DEL SISTEMA	
PROGRAMA DE TRABAJO	=> 1
PRESENTACION DE EMPRESAS	=> 2
CAMBIO DE DIRECCION DEL DISCO	=> 3
SALIR DE ESTE MENU	=> 4

PROGRAMA DE TRABAJO.- Es la subrutina encargada de configurar el sistema eléctrico de una industria.

ATENCIÓN: Una vez iniciada la subrutina se crea un espacio en el archivo de "EMPRESAS" por lo que no es aconsejable ingresar nombres de compañías si es que no se va a concluir con el ciclo. Si se cometiera un error al introducir un dato de una empresa, se tiene la alternativa de "CAMBIO DE LA CONFIGURACION", por lo que se puede realizar cualquier corrección al final del programa.

Si se ingresan por primera vez los datos, se activa la impresora; luego se podrá imprimir los datos, saliendo al menú de "CONFIGURACION DEL SISTEMA", ingresando nuevamente el nombre activando previamente la impresora.

La secuencia es la siguiente:

Responder si se desea o no activar la impresora.

Digitar el nombre de la empresa a estudiar, y si no ha sido ingresada anteriormente, le asigna un código. Si fuera ingresada con anterioridad, presenta el siguiente menú:

ESTA EMPRESA YA HA SIDO INGRESADA.

DESEA NUEVOS DATOS =>>1

DESEA CAMBIAR DE NOMBRE =>>2

DESEA VER DATOS ACTUALES =>>3

Cada opción se explica por sí sola, y al finalizar regresa al menú anterior.

La alternativa uno, borra todos los archivos relacionados con esta industria y toma el código de ésta para ingresar los nuevos datos.

INGRESO DE DATOS:

Se ingresa el voltaje de entrada a la industria, barra "I" y luego el valor de base de la capacidad, "KVA-BASE".

El programa informa sobre el nombre de la barra en la cual se está trabajando y el voltaje de la misma.

Pregunta si desea una carga conectada a ella.

Si la respuesta es afirmativa aparece el siguiente menú:

MOTORES =>>1

ILUMINACION =>>2

RECTIFICADORES =>>3

R - X =>>4

Este menú según la alternativa deseada accesa las subrutinas para cada caso.

Si son MOTORES se escoge por:

Fases, velocidad, curva de torque, clase y potencia. Presenta los valores calculados de las corrientes del motor para los diferentes valores porcentuales de la carga: 100%, 75%, 50%. Se ingresa el valor de la corriente a la cual el Ingeniero estima que va a trabajar o el valor al cual va está trabajando. Luego se selecciona la línea de conexión de la carga con la barra.

Si es ILUMINACION selecciona por:

Tipo de luminaria, la clase de la lámpara, y el número de las mismas.

El programa recoge la información y asume que la carga global en luminarias está balanceada. Luego va a la subrutina de conexión de la carga con la barra.

En caso de ser escogida la alternativa de RECTIFICADORES, se presenta los rectificadores que estén almacenados en la base de datos. Luego va a la subrutina de conexión de la carga con la barra.

Si elige la opción de R-X ingresa a un menú en la cual se presentan las siguientes alternativas:

- R. = X. → 1
- Z = T. → 2
- V = G = cos(φ) → 3
- V = I_p = cos(φ) → 4
- V = KW = cos(φ) → 5
- V = KW = cos(φ) → 6
- V = KW = KVA → 7

Se ingresan los datos según la alternativa escogida.

Va a la subrutina de ingreso de datos de la línea de conexión de la carga a la barra.

SUBROUTINA DE CONEXION ENTRE LA CARGA Y LA BARRA.

Presenta dos opciones:

1.- R - X. En este caso aparecen dos maneras, la primera en la cual se introducen los valores de resistencia y reactancia y en el segundo de impedancia y ángulo de la misma.

2.- Conductores. Aquí se presentan los conductores introducidos en la base de datos de tal manera que se puede escoger uno de ellos, luego se introducen la longitud y el número de líneas en paralelo.

Luego regresa al punto de partida de la presentación de

la barra de trabajo y voltaje de operación de la misma.

Nuevamente se responde si se desea una carga conectada en ella, si no existiera otra carga, se debe indicar introduciendo "N".

La siguiente pregunta es la posibilidad de una BARRA EN SERIE con la que se está trabajando.

Ante una respuesta afirmativa se genera la nueva barra y se responde por medio de que elemento, a través de un menú:

TRANSFORMADORES	->	1
LINEAS	->	2
R-X	->	3

Si es seleccionada la opción transformadores, el voltaje primario del mismo debe corresponder con el voltaje de operación de la barra, no debe ingresarse la marca del transformador a utilizar, las fases, y el código del mismo según su capacidad.

Si se escoge la opción líneas o R-X se introducen los datos de manera similar que con las conexiones de la carga con la línea.

Luego se regresa al punto de partida de la presentación de la barra de trabajo y voltaje de operación de la

misma. Si no se desea una barra en serie, se pregunta por una BARRA EN PARALELO y si la respuesta es afirmativa, se genera el nuevo código de la barra y se pregunta la forma de conexión de ésta con la anterior, de manera que se repite el algoritmo de la barra en serie.

Luego regresa al punto de partida de la presentación de la barra de trabajo y voltaje de operación de la misma. Si la respuesta es negativa, retorna al punto de la barra superior y pregunta por otra en paralelo. Si todas las respuestas son negativas, entonces termina con la secuencia en la barra "1". Luego presenta un resumen de todas las barras con sus correspondientes nombres, MW, MVAR, y Factor de potencia. Además presenta las cargas que están conectadas a las barras antes mencionadas. Si la impresora fue activada, en este instante se procede a hacer la impresión de todos los datos ingresados.

Si se desea alterar algún dato específico, al fin de la presentación de la información ingresada, aparece en la pantalla la alternativa que activa un menú de corrección o alteración del sistema.

MENÚ DE MODIFICACIONES DEL SISTEMA.-

Las opciones son las siguientes:

MENU DE MODIFICACIONES DEL SISTEMA		
CAMBIO DE UNA CARGA EN UNA BARRA	=>	1
ADICIONAR UNA CARGA EN UNA BARRA	=>	2
BORRAR UNA CARGA EN UNA BARRA	=>	3
CAMBIAR LOS DATOS DE UNA LINEA	=>	4
ADICIONAR UNA BARRA	=>	5
REGRESAR	=>	6

En todas las opciones aparece un listado de las barras que existen y en cual de todas ellas se va a efectuar la modificación.

ATENCIÓN: Una vez que se ha ingresado en una de las alternativas, debe llegar a concluirse, caso contrario se puede producir un error en la información de la estructura del sistema.

La explicación detallada de cada una está en las continuaciones:

CAMBIO DE UNA CARGA EN UNA BARRA: En esta opción se presentan todas las cargas que están conectadas a la barra seleccionada de tal manera que se pueda escoger cual se va a cambiar. Una vez realizada la selección, en la pantalla aparece el menú de cargas y el procedimiento es el mismo que se aplicó anteriormente.

ADICIONAR UNA CARGA EN UNA BARRA.- Una vez realizada la selección de la barra a la cual se va a adicionar una carga, el procedimiento es similar a la alternativa anterior.

BORRAR UNA CARGA EN UNA BARRA.- Presenta todas las cargas de la barra escogida, para realizar la selección de la que se va a borrar.

CAMBIAR LOS DATOS DE UNA LINEA.- Una vez que se presentan las barras, se procede a escoger la barra a la cual la línea de alimentación de la misma se va a cambiar.

ADICIONAR UNA BARRA.- Presentadas todas las barras existentes, se selecciona aquella que va a ser la alimentadora de energía de la nueva barra, se escoge la línea de conexión, para después regresar a la presentación de las barras con sus cargas correspondientes.

REGRESAR.- Retorna a la visualización de todas las barras con las cargas.

El programa está diseñado de tal manera que luego de la visión de los datos, se procede a crear una clave que será reconocida por el programa de compensación para que realice el estudio sobre éste.

Regresa al menú de configuración del sistema.

EMPRESAS YA INGRESADAS.- La alternativa de presentación de empresas permite visualizar en el monitor las empresas que se encuentran en la base de datos de periférico que está direccionado a la fecha en la cual fueron creadas.

CAMBIO DE LA DIRECCION DEL DISCO.- Esta opción permite direccionar a las diferentes unidades para en ellas grabar la información de las empresas ya ingresadas.

REGRESAR AL MENU ANTERIOR.- Regresa al menú inicial saliendo del que está ejecutando.

COMPENSACION TECNICO ECONOMICA.- El programa simula el efecto que se produce dentro de un sistema radial al conectar condensadores en paralelo. Calcula la diferencia en Kw-hora en las líneas, y la penalización proyectándola a un año en las condiciones de trabajo ingresadas. Toma como industria a estudiar, la que fue ingresada previamente en el programa de configuración del sistema.

Primero compensa todas las barras una por una de una manera total, es decir considerando cargas y líneas conectadas a ella.

Luego considera sólo las cargas conectadas individualmente para proceder a su compensación.

Se accesa desde el menú principal con la opción "B".

ATENCIÓN: El programa está diseñado de tal manera que es posible regresar a la pantalla inmediata anterior hasta el punto en el cual no posee capacidad de decisión sobre los parámetros que ejecutan la compensación. Esto es hasta el momento de la compensación individual de cargas conectadas directamente a la barra. El regreso se logra pulsando la tecla "ESC" cuando el programa lo indica.

La secuencia es la siguiente:

DESDE IMPRIMIR LAS BASES DE DATOS B/N

Con esta alternativa se activa a la impresora para generar un reporte con los datos de los equipos a utilizar en el proceso de compensación: Condensadores, Contactores y fusibles.

1.- ELECCION DE CONDENSADORES. - Ante las diferentes marcas que existen en la base de datos, para escoger una de ellas con el código correspondiente.

2.- ELECCION DE CONTACTORES. - Similar al anterior.

3.- ELECCION DE FUSIBLES.- Sigue el paso anterior.

Luego presenta en la pantalla un listado con los equipos seleccionados. En este punto existe la posibilidad de un cambio por parte del usuario en la elección de los equipos. Digiendo ESC vuelve al principio del programa, si no continúa.

El siguiente paso es la elección de los parámetros que registran al programa.

FACTOR DE POTENCIA MINIMO EXIGIDO.- Generalmente impuesto por la empresa eléctrica y que normalmente es 0.9.

FACTOR DE POTENCIA DESEADO EN EL SISTEMA.- Generalmente 0.92 o 0.95.

IMPRIMIR RESULTADOS.- Activa o no la impresora para producir un reporte de los parámetros escogidos y las alternativas compensadas en un solo punto. Se aconseja producir un reporte por impresora con el fin de efectuar una selección con los resultados propuestos por el programa.

VALOR DEL KW-HORA.- Precio de la energía.

PORCENTAJE INCREMENTO EN LA TASIFA ELECTRICA.- Este valor es el estipulado por la empresa eléctrica. En

nuestro caso es del 3%.

INFLACION ANUAL.— También es un valor porcentual. Este indicador es muy relativo pero a la vez es importante, puesto que en él se fundamenta la proyección a tiempo actual del ahorro que producirá la compensación, y por lo tanto si es o no rentable el proyecto.

HORAS DIARIAS DE TRABAJO.— Es el número de las horas de una jornada diaria de trabajo de una empresa. Con esta información se efectúa el cálculo de las horas aproximadas de trabajo en un año tomando como base 5 días a la semana y 52 semanas al año.

En este instante aparece en la pantalla un menú el cual posee dos alternativas:

DESEA CONTINUAR EN LA ELECCION DE EQUIPO PARA UNA BARRA -11

DESEA CONTINUAR EN LAS COMBINACIONES DE DOS O MAS GRUPOS-12

La alternativa uno se utiliza siempre que se este corriendo el programa por primera vez o cuando se efectúe un cambio en alguno de los parámetros ingresados anteriormente o cuando se desee un cambio en la configuración de la compensación de una barra.

La alternativa dos es en realidad un salto de las compensaciones individuales asumiendo que ya se han realizado las compensaciones individuales en una corrida anterior. El objeto de esta alternativa es ahorrar tiempo, realizando la configuración del sistema con dos o más bancos de condensadores conectados en diferentes partes del sistema.

Si se ha seleccionado la alternativa uno, se inicia el siguiente proceso de compensación:

Presenta a cada barra con su código, los kilovoltios demandados y los kilovoltios amperios reactivos requeridos por la misma primero totalmente y luego por las cargas conectadas directamente a ella, y la configuración más económica en condensadores a conectar para lograr la compensación. Presenta la alternativa de S/M aceptar la configuración presentada al siguiente menú. Si no fuera aceptada, el usuario queda con libertad de introducir la configuración que él cree conveniente. El programa pregunta la cantidad de pasos para cada tipo de condensadores que encuentra en la base de datos. Si no se desea ninguno digitar "ENTER" en cada opción presentada. Este es el caso de lugares inaccesibles a colocar condensadores en el cual no se introduce paso alguno.

A continuación se pregunta por el equipo de control del o de los pasos presentando los ingresados en la base de datos con sus costos. Si no se desea ninguno, digitar "ENTER". Si desea alguno, elegirlo por su código.

Finalmente se presenta para cada opción la alternativa, los kilovatios y kilovoltios-ampereos reactivos globales, el costo del proyecto y la renta anual del mismo.

Este procedimiento se lleva a cabo hasta que se terminen la opciones individuales.

ATENCIÓN: Hasta este momento se puede regresar a las pantallas anteriores y si se desea, se puede llegar hasta el principio. Un vez que haya pasado este punto el proceso es unidireccional hasta el final.

A continuación se procede a compensar en dos puntos diferentes simultáneamente, luego en tres y así hasta el número que se desea. La posibilidad de salir del programa se presenta cuando se llega al final de las posibilidades de combinaciones y listas. Si desea dos puntos de compensación, el programa genera todas las posibilidades, luego de terminar este proceso, pregunta si se desea salir con tres puntos de

compensación; si la respuesta es negativa este programa concluye, regresando al menú anterior. Este programa produce un reporte con los KW, KVAR, Voltaje, FF, iniciales de cada barra y los KW y KVAR finales con el valor de los KVARs compensados. También se presenta el efecto global de la compensación en el sistema, en cada punto de presentación de los resultados por pantalla adicionalmente deja en libertad del usuario la posibilidad de imprimirlo o no. En el final de la pantalla aparecerá el siguiente comentario:

DIGITE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

DIGITE "P" PARA IMPRIMIR

Cuando termina su ejecución regresa al menú principal.

BASE DE DATOS - ELEMENTOS INDUSTRIALES.- A este programa se accesa con la letra "D", presentando el siguiente menú:

CONSULTAS	=> 1
INGRESO DE NUEVOS DATOS	=> 2
IMPRESION DE DATOS	=> 3
REGRESAR AL MENU PRINCIPAL	=> 4

En cada uno de los casos se presenta el siguiente menú:

MOTORES	=> 1
TRANSFORMADORES	=> 2
ILUMINACION	=> 3
RECTIFICADORES	=> 4
REGRESAR AL MENU ANTERIOR	=> 5

Según sea el menú sobre el cual se está trabajando se efectúa: un ingreso de datos, una presentación por pantalla o una impresión de los datos en el siguiente orden:

MOTORES.-

Fases: una o tres.

Velocidad: 3600, 1800, 1200, 900, 600.

Curva de torque: A, B, C, D.

Clases: Dripproof, T.E.F.C., H.E.

HP: 1/12 hasta 250 HP.

Velocidad: Según catálogo a plena carga.

Frame.

Eficiencia al 100%, al 75% y al 50% de la carga nominal.

Factor de potencia al 100%, al 75% y al 50% de la carga nominal.

Corriente nominal según el voltaje de prueba.

Corriente de rotor bloqueado.

Torque de arranque.

Torque de ruptura.

Voltaje al que fueron tomados los datos.

TRANSFORMADORES.-

Número de fases: una o tres

Capacidad.

Voltaje primario, Voltaje secundario.

Potencia consumida en vacío y a plena carga.

Temperatura.

Corriente de excitación.

Impedancia $Z\%$

Regulación a F.P. = 1 y a F.P. = 0.8

LUMINARIAS.-

Tipo de luminaria.

Base utilizado.

Voltaje de operación.

Corriente de operación.

Potencia consumida.

Vida útil promedio.

RECTIFICADORES.-

Kilovatios.

Voltios y amperios D.C.

Voltios y amperios A.C.

BASE DE DATOS - ELEMENTOS DE COMPENSACION.- Se lo
accesa utilizando la letra "D" desde el menu principal.

Presenta las siguientes opciones:

CONDENSADORES	=> 1
CONTACTORES	=> 2
FUSIBLES	=> 3
EQUIPOS DE CONTROL	=> 4
REGRESAR AL MENU PRINCIPAL	=> 5

CONDENSADORES.- Aquí se presentan los datos de los
condensadores ya ingresados y permite la adición de
otros. Los pasos son los siguientes:

INGRESAR LA MARCA DE CONDENSADORES.- Si ya existe en la
base de datos, presenta un mensaje indicándolo.

INGRESAR EL VOLTAJE NOMINAL.- 220 o 440 V. por ser los
que más se utilizan en la industria.

Presenta los datos de los condensadores ya ingresados,
como son: Capacidad y costo.

INGRESAR CAPACIDAD DE UN NUEVO CONDESADOR.- Si ya existiera en la base de datos, procede a la actualización en el precio.

INGRESAR COSTO DEL CONDENSADOR:

Pregunta por el ingreso de otro condensador con igual voltaje, luego por igual marca, luego por distinta marca.

CONTACTORES.- Similar a los condensadores, sus datos son: el modelo, la capacidad con el voltaje, y el costo.

Es preferible que los modelos de los contactores excedan en capacidad a los condensadores puesto que en el momento de efectuar la selección del contactor, éste debe estar en la base de datos.

FUSIBLES.- Similar a los contactores, sus datos son: modelo, amperios y el costo, el cual deberá incluir la base portafusible.

EQUIPO DE CONTROL.- En este punto se presentan los diferentes equipos existentes en la base de datos dando el modelo, la marca, el número de pasos que pueden controlar y el costo del mismo.

Pregunta por el modelo y si éste ya estuviera

archivado, se procede a la actualización de los datos.

Algunas partes del programa están realizadas de tal manera que sólo se pueden ingresar las opciones presentadas, pero en algunos puntos de selección no. Es en estos puntos donde se deberá tener especial cuidado de tal manera que el dato ingresado corresponda a los requeridos, generalmente presentados en la pantalla. Es decir que si se pide un número se debe ingresar un número, y si se pide una letra se debe ingresar una letra.

También es de anotar que por la forma como se ingresan los datos, no existe el proceso de filiación en la información que configura la industria, así pues, el Ingeniero debe poner en práctica sus conocimientos al respecto.

6 APLICACION DEL PROYECTO EN UNA INDUSTRIA

La industria estudiada fue la fabrica de alimentos balanceados VIGOR.

6.1 ESQUEMA DE LA EMPRESA A ESTUDIAR.

Esta industria posee un sistema de 460 voltios trifásicos el cual alimenta a las peletizadoras y sus sistemas auxiliares. Ya posee el equipo de compensación de potencia reactiva, y su instalación es la que se utiliza generalmente en la acometida de energía eléctrica en el lado de baja tensión. El esquema completo está en la figura # 25. Este es la base para ejecutar el programa de compensación. Cada barra contiene un grupo de cargas las cuales están interrelacionadas en su funcionamiento, de tal manera que es seguro que funcionan juntos; esto posibilita la compensación del grupo utilizando los contactos auxiliares de sus equipos de control. Se pueden observar las alimentadores de los diversos paneles con sus correspondientes especificaciones. En el caso de un diseño de una planta nueva el diagrama unifilar puede ser introducido al programa.

FIGURA # 25

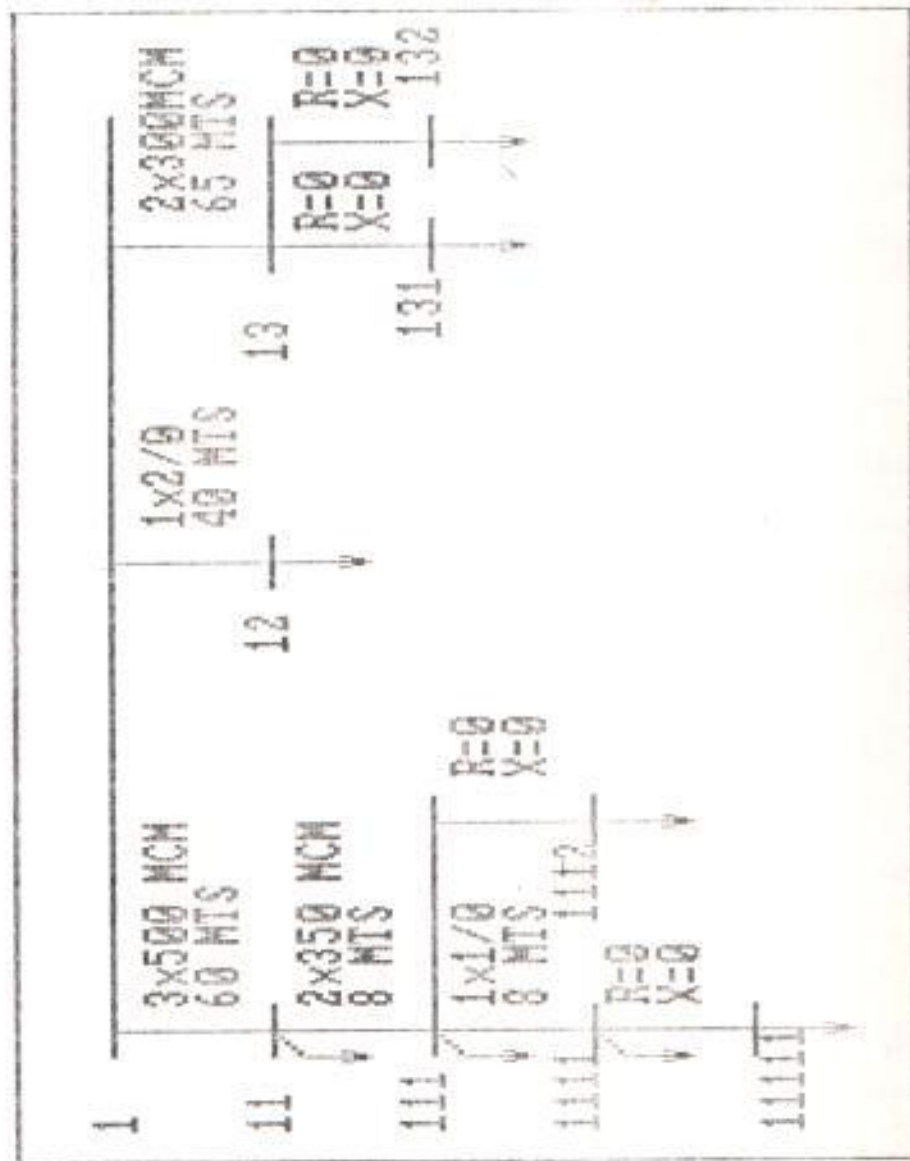


DIAGRAMA UNIFILAR 450 V.
BALANCEADOS VIGOR

6.2 ESTUDIO DEL TIPO DE CARGAS Y SU OPERACION.

En el esquema presentado están clasificadas las cargas en función de grupo. Así la barra 11 contiene la línea de la peletizadora # 1 con sus cargas correspondientes las cuales pueden ser compensadas en grupo. Además sirve de paso para otras líneas las cuales también funcionan en grupo. En la barra 111 Se encuentran cargas relativamente pequeñas pero es punto de conexión para dos barras más en serie.

La barra 1111 tiene una sufa carga de 15 H.P. pero en realidad es el mismo punto para los equipos auxiliares de la peletizadora # 2 por lo que se los ubica en una barra en serie con alimentación de resistencia cero y reactancia cero. Esta barra es la 1111.

La barra 1112 contiene a la peletizadora # 2 y funciona en conjunto con todas las cargas de la barra 1111. Es posible por lo tanto la compensación en conjunto de ambas.

La barra 12 tiene todas sus cargas independientes de las demás del esquema pero interconectadas entre sí por lo tanto se pudiera realizar una compensación en esta carga de forma independiente de las demás.

La barra 13 tiene dos grupos bien definidos de cargas

los cuales pueden funcionar simultáneamente o por separado. Es en realidad un tablero al cual llega la alimentadora. Para separar los dos grupos con el fin de realizar la compensación se efectuó un artificio por medio del cual se conectan dos barras adicionales, las barras 131 y 132. Dichas barras tienen una alimentadora de resistencia cero y reactancia cero, pero cuya configuración es útil para nuestros objetivos.

Las cargas son en su mayoría motores los cuales están normalizados como T.E.F.C. (TOTAL ENCLOSED FAN COOLED) de curva de torque B y de velocidad 1800 R.P.M. menos los motores de las barras 131 y 132 los cuales giran 3600 R.P.M. y ciertos motores de los cuales no se posea información por lo que se procedió introducirlos en formato de Voltios - Amperios - COS ϕ . Estos son de pequeña capacidad por lo que el error que se pudiera generar es mínimo. Los datos de todas las cargas fueron tomados siguiendo el formato que se ilustra en las figuras # 25 y la tabla X19.

6.3 COMPENSACION DE LA POTENCIA REACTIVA EN LOS DIFERENTES PUNTOS DEL SISTEMA

Una vez ingresados todos los datos en el programa de

TABLA XIV

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA II

1C:	15HP	B	T	1800RPM 29A
1L:	1x6	18MTS		
2C:	125hp	B	T	1800RPM 115A
2L:	1x250	15MTS		
3C:	20HP	B	T	1800RPM 10.5A
3L:	1x8	15MTS		
4C:	3HP	B	T	1800RPM 3.5A
4L:	1x12	30MTS		
5C:	15HP	B	T	1800RPM 8.5A
5L:	1x10	25MTS		
6C:	1.5HP	B	T	1800RPM 1.4A
6L:	1x12	24MTS		
7C:	15HP	B	T	1800RPM 10.2A
7L:	1x10	30MTS		
8C:	V-460	COSE-.7	I-1.7A	
8L:	1x12	20MTS		
9C:	3HP	B	T	1800RPM 3.4A
9L:	1x12	25MTS		
10C:	1HP	B	T	1800RPM 1.2A
10L:	1x12	24MTS		
11C:	3HP	B	T	1800RPM 3.8A
11L:	1x12	15MTS		
12C:	2HP	B	T	1800RPM 2.5A
12L:	1x12	25MTS		
13C:	2HP	B	T	1800RPM 2.8A
13L:	1x12	15MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA III

1C:	V-460	COSE-.7	I-1.2A	
1L:	1x12	45MTS		
2C:	V-460	COSE-.7	I-1.5A	
2L:	1x12	40MTS		
3C:	1.5HP	B	T	1800RPM 1.7A
3L:	1x12	40MTS		
4C:	1HP	B	T	1800RPM 1.75A
4L:	1x12	45MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 1111

1C:	15HP	B	T	1800RPM 20.3A
1L:	1x10	20MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 11111

1C:	1.5HP	B	T	1800RPM 2.6A
1L:	1x12	18MTS		
2C:	5HP	B	T	1800RPM 5.4A
2L:	1x10	30MTS		
3C:	1.5HP	B	T	1800RPM 1.4A
3L:	1x12	20MTS		
4C:	1.5HP	B	T	1800RPM 1.2A
4L:	1x12	14MTS		
5C:	15HP	B	T	1800RPM 20A
5L:	1x10	11MTS		
6C:	10HP	B	T	1800RPM 15.7A
6L:	1x12	14MTS		
7C:	3HP	MDC 125	1800RPM	
7L:	1x12	8MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 1112

1C:	125HP	B	T	1800RPM 90A
1L:	1x370	23MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 12

1C:	5HP	B	T	1800RPM 2.2A
1L:	1x12	10MTS		
2C:	V-460	609E-7	1800RPM	
2L:	1x12	10MTS		
3C:	V-460	609E-7	1800RPM	
3L:	1x12	10MTS		
4C:	25HP	B	T	1800RPM 19A
4L:	1x270	25MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 13

NO EXISTEN

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 131

1C:	100HP	B	T	3600RPM 100A
1L:	1x270	10MTS		
2C:	3HP	B	T	3600RPM 2.9A
2L:	1x12	12MTS		

CARGAS CONECTADAS EN LA BARRA 132

1C:	100HP	B	T	3600RPM 90A
1L:	1x270	10MTS		
2C:	5HP	B	T	1800RPM 3.6A
2L:	1x12	14MTS		
3C:	2HP	B	T	1800RPM 2A
3L:	1x12	15MTS		
4C:	3HP	B	T	1800RPM 2.3A
4L:	1x12	10MTS		
5C:	1.5HP	B	T	1800RPM 1.4A
5L:	1x12	40MTS		
6C:	7.5HP	B	T	1800RPM 5.2A
6L:	1x10	31MTS		
7C:	3HP	B	T	3600RPM 2.9A
7L:	1x12	10MTS		

configuración del sistema se obtiene el reporte de las mismas. Ver apéndice C.

La corrida del programa de compensación en su primera parte indica el listado de los condensadores en 220 y 440 voltios con sus correspondientes equipos de aperillaje, los parámetros técnico-económicos introducidos y las configuraciones de los equipos de compensación requeridos en cada barra de manera íntegra y de la carga conectada en cada una de ellas. Además presenta el reporte completo de cada barra. Ver apéndice D. En este reporte es importante el valor de el costo del equipo de compensación en la barra de acometida como precio referencial de las otras alternativas.

La segunda parte de este programa consiste en las alternativas generadas con los o más grupos de condensadores conectados en diversas partes del sistema y su efecto en este. Ver apéndice E.

El análisis económico comienza a este momento puesto que al poseer las diversas alternativas con sus costos y ahorros proyectados al valor del dinero actual, la selección de la más económica y factibilidad sea posible con un grado mínimo de dificultad y máximo de

seguridad será la escogida. Según todos estos criterios, la compensación de los factores de la fábrica a estudiar cuando fue seleccionada no fue del todo óptima; si no mas bien cómoda y fácil de instalar al no poseer las herramientas necesarias para la elección. Para nuestro caso la configuración seleccionada será la que se encuentra en el inicio del apéndice E, por las siguientes razones:

- 1.- Cumple con los parámetros propuestos en la elección del equipo como es el del factor de potencia deseado mayor o igual que 0.95, esto implica una penalización nula.
- 2.- Tiene un costo mínimo con un máximo ahorro en comparación con otras alternativas, lo cual nos da una relación que expone la rentabilidad del proyecto con los parámetros anotados del ahorro o beneficio anual que produce la conexión del equipo sobre el costo del mismo. Para este caso es de 1.18156, lo que hace prever que en menos de un año se recuperará el valor invertido, siendo el mayor obtenido al igual que el valor del ahorro proyectado que es el mayor de todas las alternativas. Este aspecto es un indicador de que existe un ahorro por concepto de menores pérdidas

en las líneas de más de 10.000 sucres anuales proyectados ya a valor presente si comparamos con la compensación al inicio del sistema.

Analizando barra por barra tenemos:

- 1.- En la barra 1111 por ser la más lejana, se puede ahorrar en energía de calentamiento de los cables además es la línea que está en paralelo con el funcionamiento de la peletizadora # 2.
- 2.- En la barra 132 se encuentran los motores de los molinos, por lo tanto es muy importante y los 40 KVARs se pueden repartir en el punto 13.
- 3.- La barra 11 controla la línea íntegra de la peletizadora # 1, como carga predominantemente debe ser compensada.

Se obtiene el mayor ahorro considerando las pérdidas globales en las líneas del sistema.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Queda plenamente demostrado que la compensación realizada en puntos estratégicos del sistema industrial lleva a mejores resultados que el ahorro comúnmente en la acometida del sistema o en la compensación individual de cada una de las cargas.
2. Con el uso del programa se facilita la selección de la alternativa de un menor costo proyectar el ahorro esperado. Punto que de otra manera sería difícil obtener y se lograría como una apreciación subjetiva.
3. El tiempo empleado para generar mayor cantidad de alternativas de las que se puede seleccionar la más óptima es considerablemente menor con la ayuda del computador.
4. Cada industria tiene su característica de operación la cual define los parámetros técnico-económicos que implica el tipo de compensación a utilizar.
5. El programa es una herramienta de cálculo el cual sirve al ingeniero para apuntar sus metas en este tipo de proyectos a los factores que pueden ser decisivos en el

ganar o perder una oferta, y provee de valores y magnitudes sobre las cuales pueda fundamentar una memoria técnica o una explicación precisa solicitada por un empresario y no como algo cualitativo solamente.

RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable realizar la coordinación con el jefe de planta, el jefe de mantenimiento o el electricista de planta previo a realizar el proceso de compensación.
2. La obtención de la mayor cantidad de datos de una empresa es necesaria para llevar a buen término la compensación, por lo que se requiere de cierto tiempo en la toma de datos y no sólo la toma en un momento determinado de la potencia reactiva, sino la información que se pueda obtener de la configuración del sistema, la operación de la maquinaria, etc.
3. Si se pudiera acceder a los anillos y realizar una medición de la corriente, en buena hora pero si esta es posibilidad de tomar lecturas de potencia reactiva sería lo aconsejable.
4. La compensación realizada en el momento del diseño de una planta es recomendable, sobre todo cuando se posea mayor experiencia en lo que corresponde al

funcionamiento de los motores puesto que se puede proyectar la potencia reactiva requerida por el sistema y realizar la compensación.

5. Efectuar el análisis económico de la elección de los equipos de alimentación, control y protección, de tal manera que el costo global del sistema con la compensación será menor que sin ella. Además no olvidar que tarde o temprano será necesario invertir en estos equipos cuando la multa por bajo factor de potencia sea impuesta por la empresa eléctrica.
6. Cuando se tenga una empresa en funcionamiento cuando se proceda a realizar la ubicación de los bancos de condensadores en los diferentes puntos del sistema, efectuarlo de manera independiente. Es decir que el equipo tenga su propia línea de fuerza y que posea las resistencias de descarga rápidas de manera que pueda ingresar a trabajar en un intervalo de tiempo lo más rápido posible.
7. Adicionalmente si los recursos lo hacen posible, adicionar un selector auto-marcha-para que permita realizar maniobras cuando se efectúan las pruebas o cuando se esté dando mantenimiento al equipo.
8. Al introducir los datos en el computador realizar

previamente su recopilación y ordenamiento según el formato indicado con el fin de no tener contratiempos. Cuando se ejecute la sección de configuración del sistema eléctrico, no activar la impresora. Realizar la impresión luego de que se realicen todos los cambios. En la sección de compensación, activar la impresora para obtener las bases de datos de los equipos y luego de la compensación en una sola barra. Cuando se esté en la sección de dos o más grupos, se observa en la pantalla que aparece una fila continua de "0" hasta que aparece un "1" y luego varios "1". Si son pocos los "1" se aconseja imprimir la alternativa generada, si son más de seis la alternativa tiende a dispararse.

9. Es necesario que las bases de datos de los precios de los equipos de compensación sean continuamente actualizadas de otro modo se puede caer en valores errados.

BIBLIOGRAFIA

1. AGUT. Extracto del Catálogo General.
2. AGUT. Manual de instrucciones del regulador de potencia reactiva RPR - 5.
3. ECUATRAN. Transformadores monofásicos y trifásicos de distribución sumergidos en aceite.
4. ELECTRO-CABLES C.A. Cables eléctricos y telefónicos.
5. GOULD I-T-E. Subestaciones secundarias.
6. INATRA. Características eléctricas y mecánicas de transformadores monofásicos y trifásicos.
7. MERLIN GERIN. Guía de utilización e instalación de los condensadores B.T.
8. MERLIN GERIN. Condensadores secovar, Propivar, Secomat, Rectimat, Horizmat.
9. MERLIN GERIN. Instalación y utilización de los condensadores secovar.
10. MERLIN GERIN. Condensadores y equipos de media tensión Blovar, Propivar.

11. MERLIN GERIN. Diagrama de control del climat.
12. MERLIN GERIN. Circuito - (Regulador de potencia reactiva).
13. MILLER, T.J.E. Reactive Power Control in Electric Systems. - 1982 -.
14. GERAN. Luz para interiores y exteriores.
15. PHILIPS. Catálogos - Datos técnicos.
16. PHILIPS. Manual de Alumbrado.
17. RCI/TEL. Capacitores polifásicos.
18. RAMIREZ VASQUEZ D. JOSE. Equipos Electromecánicos Industriales. Enciclopedia C.E.A.C. de la Electricidad. Volumen # 16. - 1985 -.
19. COSS BU RAUL. Análisis y evaluación de proyectos de inversión - 1983 -. pp 19 - 80.
20. SIEMENS. Accionamientos sistematizados.
21. SIEMENS. Equipo eléctrico industrial.
22. SIEMENS. Proyecto de motores eléctricos normalizados.
23. SPRECHER + SCHUH. Manual técnico - Un criterio fácil para la elección de contactores. 1986.

24. SPRECHER + SCHUH. Sistema de contactores C. A. 3.
25. SPRECHER + SCHUH. Sistema de contactores C. A. 1.
26. SIEMENS - FRANK. Corrección del Factor de Potencia. Capacitores y Sistemas de control de potencia reactiva en la nueva tecnología.
27. SIEKER KEITH H. Compensación del Factor de Potencia para un equipo de tiristores en la industria del vidrio. IEEE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY, ENERGIJA 1988. - VOL. 24 - NUM 1. - pg. 49 - 52.