

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, EMPLEANDO UN MÓDULO DCRA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

ESTEBAN RICARDO ARCOS LÓPEZ

steve.patan@hotmail.com

DIEGO MOISÉS CHICAIZA DÍAZ

tlgodiegin@hotmail.com

DIRECTOR: ING. GERMÁN ENRIQUE CASTRO MACANCELA MSc.

gcastro@gammaservicios.com.ec

Quito, mayo de 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Esteban Ricardo Arcos López y Diego Moisés Chicaiza Díaz, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

.....
Esteban Ricardo Arcos López

.....
Diego Moisés Chicaiza Díaz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por Diego Moisés Chicaiza Díaz y Esteban Ricardo Arcos López, bajo mi supervisión.

Ing. Germán Enrique Castro Macancela MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Siempre agradecido con Dios por todas sus bendiciones derramadas en mí.

A tan prestigiosa institución como es la Escuela Politécnica Nacional quien me acogió en sus aulas y a sus educadores por los conocimientos impartidos en el trayecto de la vida universitaria.

A mis familiares por permitirme estudiar, por confiar en mí y apoyarme en cada momento.

Diego Chicaiza

Agradezco a mi director de Tesis por todos los conocimientos y consejos impartidos durante la elaboración de este proyecto de igual manera quiero hacerles llegar mis agradecimientos a mis amigos ingenieros de la EPN por brindarme todo el apoyo en la realización del presente trabajo, para mí fueron una pieza indispensable en lograr este objetivo.

Esteban Arcos López

DEDICATORIAS

A mis padres quienes han sido y son mi inspiración para estudiar y trabajar con ahínco cada día de mi vida.

Diego Chicaiza

Dedico la presente tesis a mis padres Ricardo y Delia, que siempre demostraron que no importa las dificultades que se atravesen en el camino siempre hay que encontrar la manera de solucionarlos y perseverar en nuestras metas. De igual manera mi abuelita Rebeca, que aunque no esté presente siempre estará conmigo apoyándome y cuidándome, ya que con su amor y cariño supo llenar de alegría mi vida en todo momento. A mí hermano Gabriel por ser un gran amigo que siempre ha estado apoyándome para alcanzar mis metas y objetivos. A Carolina mi esposa que con su apoyo y amor me impulso a terminar mi tesis.

Esteban Arcos López

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	i
Presentación.....	iii

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FACTOR DE POTENCIA

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 POTENCIA ACTIVA.....	3
1.1.2 POTENCIA REACTIVA.....	4
1.1.3. POTENCIA APARENTE.....	4
1.1.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA.....	5
1.1.5. DIAGRAMA DE CORRIENTE Y COMPONENTES DE LA INTENSIDAD..	6
1.2. CAUSAS QUE PRODUCEN UN BAJO FACTOR DE POTENCIA	8
1.2.1. CARGAS RESISTIVAS	9
1.2.2. CARGAS INDUCTIVAS	10
1.2.3. CARGAS CAPACITIVAS	10
1.2.4. CARGAS COMBINADAS.....	11
1.3. EFECTOS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA	11
1.4. MEDIOS Y MÉTODOS DISPONIBLES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA	13
1.4.1. MEDIDAS PREVENTIVAS.....	13
1.4.2. MEDIDAS COMPENSATIVAS	13
1.4.2.1. Método Pasivo	14
1.4.2.2. Método Activo	15
1.5. ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	15
1.5.1. MÁQUINAS SINCRÓNICAS	16
1.5.2. CONDENSADORES SINCRÓNICOS.....	16
1.5.3. CONDENSADORES ESTÁTICOS.....	18
1.6. CONTROL AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES.....	20
1.6.1. COMPENSACIÓN INDIVIDUAL.....	21
1.6.1.1. Compensación individual de motores eléctricos.....	21
1.6.1.2. Compensación individual en transformadores de distribución	24

1.6.2. COMPENSACIÓN EN GRUPO.....	24
1.6.3. COMPENSACIÓN CENTRAL CON BANCO AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES	25
1.6.4. COMPENSACIÓN COMBINADA	26

CAPÍTULO 2

CONTROL AUTOMÁTICO DEL FACTOR DE POTENCIA

2.1. INTRODUCCIÓN.....	27
2.2. VERSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MÓDULO PARA CONTROL AUTOMÁTICO	28
2.2.1. VERSIONES	28
2.2.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	28
2.2.3. PANEL FRONTAL.....	29
2.2.4. INSTALACIÓN	30
2.2.4.1. Circuito de medida.....	30
2.2.4.2. Alimentación auxiliar	31
2.3. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DCRA 5	31
2.3.1. PROGRAMACIÓN DE LA UNIDAD (SET - UP).....	31
2.3.2. PREDISPOSICIÓN DEL TIPO DE FUNCIONAMIENTO.....	36
2.3.2.1. Modo manual	36
2.3.2.2. Modo automático	36
2.3.3. FUNCIONES Y ALARMAS.....	37
2.3.3.1. Funciones	37
2.3.3.2. Alarmas	38
2.4. DATOS TÉCNICOS	40
2.5. ESQUEMAS DE CONEXIÓN	41

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

3.1 INTRODUCCIÓN.....	42
3.1.1. APLICACIÓN DE LOS CAPACITORES.....	43
3.1.2. PRINCIPIO DE COMPENSACIÓN.....	44
3.2. ASPECTOS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO	46

3.2.1. VOLTAJE Y TEMPERATURA.....	46
3.2.2. PÉRDIDAS EN EL CONDENSADOR	47
3.3. MÉTODOS DE CÁLCULO.....	48
3.3.1. MÉTODO NUMÉRICO DE CÁLCULO	48
3.3.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL CAPACITOR.....	49
3.3.3. MÉTODO A BASE DE TABLAS PARA EL CÁLCULO	52
3.3.4. MÉTODO GRÁFICO PARA EL CÁLCULO DEL CAPACITOR	55
3.3.5. CÁLCULO DE LAS CORRIENTES	57
3.3.6. CÁLCULO DE LOS FUSIBLES	57
3.3.7. CÁLCULO DE LOS BREAKERS.....	58
3.3.8. CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	58
3.4. SELECCIÓN DE CONTACTORES PARA LOS CONDENSADORES DE REFASAMIENTO	60
3.4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	60
3.5. SELECCIÓN DEL ARMARIO PARA EL BANCO DE CONDENSADORES....	61
3.5.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	61
3.6. SELECCIÓN DE BARRAS CONDUCTORAS	62
3.6.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	62
3.7. SELECCIÓN DE CONDUCTORES	63
3.7.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	63
3.8. DISTANCIAS DE MONTAJE ENTRE DISPOSITIVOS.....	64
3.8.1. DISTANCIAS DE SEGURIDAD Y DISTANCIAS MÍNIMAS	64

CAPÍTULO 4

PRUEBAS REALIZADAS

4.1. INTRODUCCIÓN	66
4.2. DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL SISTEMA.....	66
4.2.1. ESTUDIOS REALIZADOS	67
4.2.2. PRUEBAS REALIZADAS.....	70
4.2.3. ANÁLISIS DE PRUEBAS REALIZADAS.....	71
4.3. ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA.....	72
4.3.1. DATOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA CAPACITIVA	73
4.4. MEDIOS DISPONIBLES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA....	73
4.4.1. CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS	74

4.4.2. PROPUESTA PARA LA COMPENSACIÓN REACTIVA CAPACITIVA....	74
4.4.3. CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS	76
4.4.3.1. Dimensionamiento de los elementos que conforman el banco de condensadores	76

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	79
5.2. RECOMENDACIONES	81
GLOSARIO DE TÉRMINOS	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

ANEXOS

ANEXO 1. MÁQUINA SÍNCRONA

A1.1. EFECTOS DE LA VARIACIÓN DE LA EXCITACION.....	92
A1.2. EFECTOS DE LA VARIACIÓN DE LA CARGA Y REGULACIÓN DE VOLTAJE CON VARIOS FACTORES DE POTENCIA	94

ANEXO 2. ESQUEMAS DE CONEXIÓN

A2.1. DIAGRAMA DE FUERZA	96
A2.2. DIAGRAMA DE CONTROL	97
A2.3. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA MONOFÁSICO	98
A2.4. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA TRIFÁSICO	99

ANEXO 3. DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIÓN DE CONTACTORES

A3.1. CONTACTORES BF9-BF38	100
A3.2. ESPECIFICACIONES DE LOS CONTACTORES BF9-BF38	100
A3.3. TIEMPOS DE MANIOBRA DE LOS CONTACTORES	100
A3.4. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LOS CONTACTORES	101
A3.5. CATEGORÍA DE EMPLEO AC1	102
A3.6. FRECUENCIA MÁXIMA DE LOS CICLOS	102

A3.7. ENDURANCIA (EN MILLONES).....	102
A3.8. CARACTERÍSTICA DE LOS CONTACTORES	103

ANEXO 4. DATOS VISUALIZADOS POR EL ANALIZADOR INDUSTRIAL

A4.1. GRÁFICA DE ONDAS EN UN INTERVALO DE TIEMPO	104
A4.2. TABLA DE DATOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Triángulo de potencias	5
Figura 1.2. Diagrama de corriente nominal afectada por el factor de potencia.....	6
Figura 1.3. Componentes activa y reactiva de la intensidad.....	7
Figura 1.4. Relación entre potencias: activa, reactiva y aparente.....	8
Figura 1.5. Diagrama fasorial de un circuito resistivo	9
Figura 1.6. Diagrama fasorial de un circuito inductivo	10
Figura 1.7. Diagrama fasorial de un circuito capacitivo	10
Figura 1.8. Tipos de instalaciones de capacitores para corregir el factor de potencia	20

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Parámetros del Módulo DCRA.....	30
Figura 2.2. Primera puesta de voltaje del Módulo DCRA	31
Figura 2.3. Inserción de voltaje.....	32
Figura 2.4. Inserción del fondo de la escala del transformador de corriente	32
Figura 2.5. Inserción de potencia reactiva	33
Figura 2.6. Inserción de voltaje nominal de condensadores.....	33
Figura 2.7. Inserción de vltaje nominal de instalación	34
Figura 2.8. Inserción del valor de cada paso	34
Figura 2.9. Ingreso de datos a programar.....	35
Figura 2.10. Visualización en modo manual	36
Figura 2.11. Visualización en modo automático	37
Figura 2.12. Códigos de alarmas.....	39
Figura 2.13. Visualización de alarma de baja compensación o sobre compensación.....	39

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Características esenciales de la corrección del factor de potencia	42
Figura 3.2. Diagrama fasorial de un factor de potencia en retraso	45
Figura 3.3. Corrección del factor de potencia por adición de potencia reactiva en oposición de fase	45
Figura 3.4. Representación gráfica de la compensación del factor de potencia	49
Figura 3.5. Representación gráfica de la compensación del factor de potencia	52
Figura 3.6. Nomograma que proporciona la relación entre los KW y los KVA para varios valores de factor de potencia	56
Figura 3.7. Estructura del gabinete para distribuir de forma segura los elementos electromecánicos	62
Figura 3.8. Distancia mínima entre dos interruptores adyacentes	64
Figura 3.9. Distancia mínima entre el interruptor y los paneles	65
Figura 3.10. Montaje de elementos	65

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Montaje de analizador industrial MICROVIP3	67
Figura 4.2. Formas de onda FP vs Tiempo.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1. Total de kilovolt-amperes reactivos de corrección necesarios a varios factores de potencia	18
Tabla 1.2. NEMA diseño B. Motores en bajo voltaje, par de arranque normal y corriente normal.....	23
Tabla 1.3. NEMA Diseño C. Motores de bajo voltaje, alto par de arranque y corriente normal.....	23
Tabla 1.4. Valores de capacitores para compensación individual en transformadores.....	24

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Versiones existentes del módulo automático para el control	28
Tabla 2.2. Funciones y alarmas existentes en el módulo automático de control ...	38
Tabla 2.3. Datos técnicos del módulo de control automático.....	40

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Coeficientes para determinar la potencia reactiva necesaria.....	54
Tabla 3.2. Selección del tipo de contactor	60
Tabla 3.3. Selección del contactor.....	61
Tabla 3.4. Medidas del armario	61
Tabla 3.5. Medidas de barras de cobre electrolítico	63
Tabla 3.6. Calibre de cable y alambres	63

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Banco automático de compensación	66
Tabla 4.2. Banco fijo de compensación	67
Tabla 4.3. Datos del banco fijo de 15KVAR para una carga de 70HP	68
Tabla 4.4. Datos del banco automático de 10KVAR para una carga de 46HP	68
Tabla 4.5. Datos relacionados al banco de capacitores total existente	69
Tabla 4.6. Datos relacionados al nuevo banco de capacitores.....	69
Tabla 4.7. Datos del banco de capacitores del proyecto	70
Tabla 4.8. Datos comparativos Módulo-Analizador	70
Tabla 4.9. Datos relacionados con la carga total existente.....	73
Tabla 4.10. Datos para diferentes combinaciones de cargas	74
Tabla 4.11. Banco de condensadores para 76KVAR	77
Tabla 4.12. Banco de condensadores para 45KVAR	77
Tabla 4.13. Banco de condensadores para 25KVAR	77

RESUMEN

La presencia de motores, transformadores, lámparas fluorescentes, etc., hacen que la carga de cualquier instalación eléctrica sea muy variable y afecte al factor de potencia de manera negativa y por ende esto implicará una penalización impuesta por el CONELEC, por tal razón se ve la necesidad de corregir el factor de potencia utilizando varios medios según sea el caso, no obstante el empleo de bancos automáticos de condensadores es la opción más adecuada.

La implementación de un banco automático de condensadores para la corrección del factor de potencia mediante un módulo regulador permite el control de los dispositivos que en él intervienen, lo cual a su vez da como resultado la obtención de un factor de potencia adecuado y permite una mayor vida útil de estos elementos alimentados por el sistema.

Los estudios realizados son descritos en el documento, en el que se adjunta referencia bibliográfica e indicación de la simbología que se presenta en ecuaciones o gráficos según sea el caso, de igual manera se hace constancia de un índice de contenido, anexos, índice de tablas, índice de figuras, glosario de términos, referencia bibliográfica, que sustenta una buena calidad de este trabajo.

Para poder entender la problemática de un bajo factor de potencia, sus causas y los efectos que ocasionan en las industrias es necesario tener en cuenta ciertos aspectos teóricos que permiten dar una solución adecuada de estos inconvenientes técnicos.

Una corrección adecuada del factor de potencia se ve reflejada cuando los dispositivos que interviene en el diseño del banco de condensadores han sido elegidos correctamente, esto se logra tomando en cuenta las características

de funcionamiento de dichos dispositivos para evitar cualquier desperfecto o daño a futuro.

Para la verificación del funcionamiento del tablero de control automático de condensadores diseñado en este proyecto de investigación, se ejecutaron pruebas con la conexión y desconexión de las diferentes maquinarias existentes en la Metal Mecánica San Bartolo, haciendo una comparación con un equipo referencial certificado.

Se sintetiza en un resumen de conclusiones y recomendaciones lo obtenido en el transcurso del desarrollo de este proyecto de titulación y las diferentes experiencias a nivel personal que se produjeron para éste desarrollo.

PRESENTACIÓN

Con este trabajo de investigación se aportará al aprendizaje de los estudiantes así como también se da a conocer técnicas que pueden ser empleadas en diferentes instalaciones cuyo objetivo al corregir el factor de potencia es resolver dichos inconvenientes técnicos, adicionalmente se podrá realizar prácticas de laboratorio con este módulo para de esta manera relacionar lo teórico con lo práctico y vincular a los alumnos con los diferentes tipos de automatización a nivel de industrias y las posibilidades que se pueden obtener para la automatización de un banco de condensadores. Cabe dar a conocer que las pruebas realizadas para la obtención de los resultados mostrados en la tesis se realizaron en la Metal Mecánica San Bartolo y son descritos en este documento.

La necesidad de mejorar la calidad de la energía eléctrica implica aspectos que tienen relación directa con el factor de potencia, balance de cargas en las fases, dimensionamiento de conductores y elementos de maniobra, etc.; logrando de esta manera evitar problemas a las empresas distribuidoras de energía eléctrica así como también a los diferentes usuarios los cuales ven como reflejo de una mala calidad de energía eléctrica en el bajo rendimiento de sus máquinas y sus elevadas tarifas de consumo eléctrico. He ahí la importancia de mejorar el factor de potencia y estar acorde con los avances tecnológicos y las diferentes técnicas a emplearse.

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FACTOR DE POTENCIA

1.1 INTRODUCCIÓN

Se denomina factor de potencia (FP) al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente y está representada por la ecuación 1.1.

$$FP = \frac{P}{S} = \text{Cos}\phi \quad \text{Ec 1.1}$$

Dónde:

P: potencia activa [KW]

S: potencia aparente [KVA]

Cos ϕ : Cociente entre la potencia activa y la potencia aparente.

En caso de un sistema trifásico, se tiene en cuenta que la definición del factor de potencia (ecuación 1.1) es aplicable cuando el sistema es completo (ecuación 1.2) así como a cada una de las fases (R, S, T) por separado (ecuaciones 1.3, 1.4, 1.5).

$$FP_{TOTAL} = \frac{P_{TOTAL}}{S_{TOTAL}} \quad \text{Ec 1.2}$$

$$FP_R = \frac{P_R}{S_R} \quad \text{(FASE R)} \quad \text{Ec 1.3}$$

$$FP_S = \frac{P_S}{S_S} \quad \text{(FASE S)} \quad \text{Ec 1.4}$$

$$FP_T = \frac{P_T}{S_T} \quad \text{(FASE T)} \quad \text{Ec 1.5}$$

Resumiendo, el FP es la relación entre la potencia consumida por el equipo y la potencia aparente suministrada por la red. Si el sistema trifásico es

equilibrado, entonces el FP_{TOTAL} coincide con el FP de cada una de sus fases y éste a su vez se puede descomponer en dos términos que serán el factor de distorsión armónica y el factor de desplazamiento, donde cada uno de ellos significa respectivamente desviación de la forma de onda de una señal sinusoidal y el desfase existente entre la diferencia de potencial y la corriente del primer armónico.

De acuerdo con su definición el factor de potencia es adimensional y solamente puede tomar valores entre 0 y 1. En un circuito resistivo puro recorrido por una corriente alterna, la intensidad y el voltaje están en fase ($\phi = 0^\circ$), es decir, cambia de polaridad en el mismo instante en cada ciclo, siendo por lo tanto el factor de potencia la unidad. Por otro lado, en un circuito reactivo puro, la intensidad de corriente y la diferencia de potencial están en cuadratura ($\phi = 90^\circ$) siendo nulo el factor de potencia.

En la práctica los circuitos no pueden ser puramente resistivos ni reactivos, observándose desfases más o menos significativos, entre las formas de onda de la corriente y el voltaje. Así, si el factor de potencia está cercano a la unidad, se dice que es un circuito fuertemente resistivo por lo que su factor de potencia es alto, mientras que si está cercano a cero es fuertemente reactivo y su factor de potencia es bajo. Cuando el circuito sea de carácter inductivo, caso más común, se hablará de un factor de potencia en retraso, mientras se dice en adelanto cuando es de carácter capacitivo.

Es aconsejable que el factor de potencia sea alto y las empresas están obligadas a mantener un factor de potencia de 0.92 como mínimo; esto lo sustenta el CONELEC en el siguiente artículo [4]:

“Art. 27.- Para aquellos consumidores los cuales el Sistema de Medición fijado por el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, considere la medición de energía reactiva, el distribuidor registrará mensualmente el factor de potencia. Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0.92, la facturación total mensual será recargada en un

factor igual a la relación por cociente entre 0.92 y el factor de potencia registrado. Cualquiera sea el tipo de consumidor, cuando el valor medio del factor de potencia fuese inferior a 0.60 el distribuidor, previa notificación, podrá suspender el servicio eléctrico hasta tanto el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite. ”

La mayoría de las cargas industriales tales como: equipos de refrigeración, motores, transformadores, entre otros equipos; son de carácter reactivo, lo que obliga a que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de la potencia reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento para el funcionamiento de dichos equipos y motores.

Para suministrar potencia reactiva, las empresas eléctricas deberán producir y transportar por las redes ésta potencia, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. El problema más común que se presenta es el llamado bajo factor de potencia, y está relacionado con la calidad del suministro de la energía eléctrica, por los conceptos de las variaciones de voltaje y las pérdidas en las instalaciones eléctricas.

1.1.1 POTENCIA ACTIVA

Representa la capacidad del circuito para realizar un trabajo en un tiempo dado. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía, tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etcétera. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se designa con la letra P y su unidad de medida es el vatio (W); está expresada por la ecuación 1.6 [1]:

$$P = I * V * \cos \phi = I * Z * I * \cos \phi = I^2 * Z * \cos \phi = I^2 * R \quad \text{Ec 1.6}$$

Dónde:

P : Potencia activa [W] (vatios)

V : Voltaje [V] (voltios)

I : Intensidad de corriente [A] (amperios)

Z : Impedancia del circuito [Ω] (ohmios)

R : Resistencia del circuito [Ω] (ohmios)

1.1.2 POTENCIA REACTIVA

Esta potencia solo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos, es utilizada para la generación del campo magnético, está defasada 90 grados eléctricos de la potencia activa. Tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil, su unidad de medida es el voltio - amperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q (ecuación 1.7) [1]:

$$Q = I * V * \text{sen}\phi = I * Z * I * \text{sen}\phi = I^2 * Z * \text{sen}\phi = I^2 * X \quad \text{Ec 1.7}$$

Dónde:

Q : Potencia reactiva [KVAR]

X : Reactancia del circuito [Ω]

V : Voltaje [V] (voltios)

I : Intensidad de corriente [A] (amperios)

1.1.3 POTENCIA APARENTE

Es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada por la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes. Es el producto de la corriente y el voltaje; será igual o mayor que la potencia activa, es también resultante de la suma de los vectores gráficos de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia no es realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\text{Cos}\phi = 1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no solo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino

también ha de contarse con la que van a intervenir en bobinas y condensadores. Se designa con la letra S y su unidad de medida es el voltio – amperio (VA), está representada por la ecuación 1.8 [1]:

$$S = V * I \quad \text{Ec 1.8}$$

Dónde:

S: Potencia aparente [VA] (voltio – amperio)

V : Voltaje [V] (voltios)

I: Intensidad de corriente [A] (amperios)

1.1.4 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

La figura 1.1 es la representación gráfica utilizada para ilustrar las diferentes formas de potencia eléctrica:

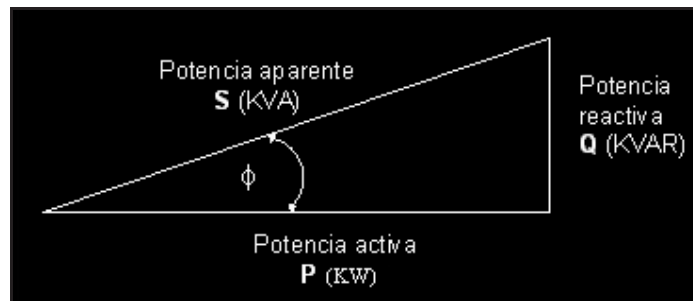


Figura 1.1. Triángulo de potencias [5]

El ángulo entre las potencias activa y aparente está denotado por la letra ϕ . Por medio de relaciones trigonométricas se obtiene las ecuaciones 1.9, 1.10, 1.11, 1.12:

$$P = S * \text{Cos}\phi \quad \text{Ec 1.9}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \text{Ec 1.10}$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \text{Ec 1.11}$$

$$\text{Tan}\phi = \frac{Q}{P} \quad \text{Ec 1.12}$$

1.1.5 DIAGRAMA DE CORRIENTE Y COMPONENTES DE LA INTENSIDAD

Para una potencia constante (KW), la cantidad de corriente de la red es inversamente proporcional al factor de potencia, es decir a mayor corriente menor será el valor del factor de potencia. (Ver figura 1.2) [5].

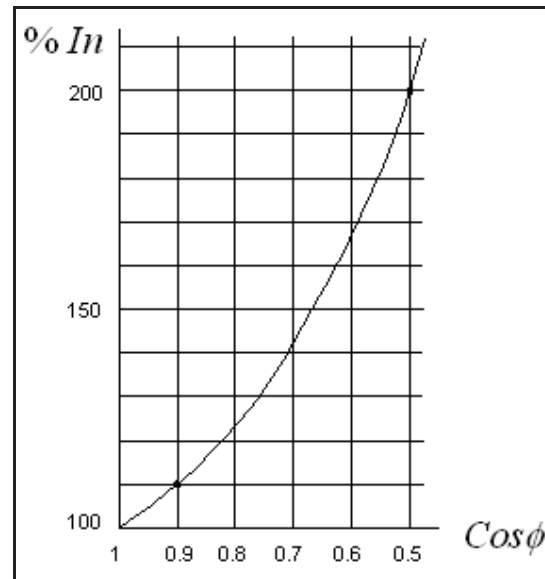


Figura 1.2. Diagrama de corriente nominal afectada por el factor de potencia [5]

Cuando mayores sean los valores de corriente, los transformadores y cables de distribución estarán sobrecargados y en consecuencia las pérdidas en ellos se incrementarán (en proporción al cuadrado de la corriente), estas pérdidas se dan en todos los puntos de la red tanto del lado de alto voltaje como del lado de bajo voltaje [2].

En un circuito de corriente alterna en el que la corriente y el voltaje tienen un desfase ϕ , se define componente activa de la intensidad I_a a la componente de ésta que se encuentra en fase con la diferencia de potencial, y componente reactiva I_r a la que está en cuadratura con la intensidad de corriente, véase la figura 1.3:

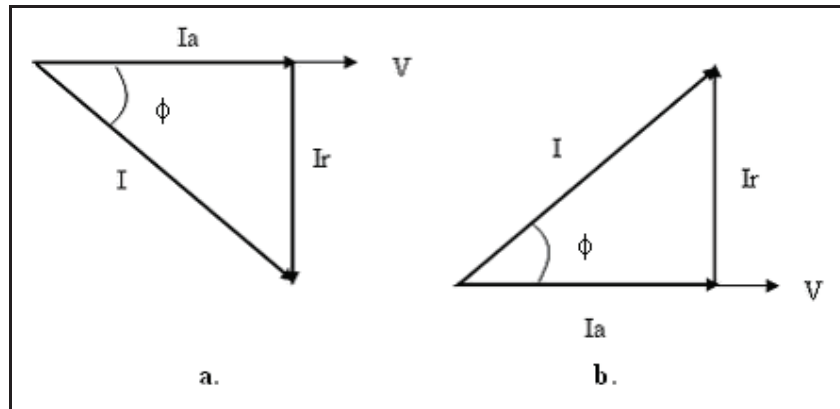


Figura 1.3. Componentes activa y reactiva de la intensidad **a.** Carga inductiva **b.** Carga capacitiva [5]

Los valores tanto de la componente activa y reactiva de la intensidad de corriente están representados por las ecuaciones 1.13 y 1.14 respectivamente.

$$I_a = I * \text{Cos}\phi \quad \text{Ec 1.13}$$

Dónde:

I_a : Componente activa de la intensidad.

$$I_r = I * \text{Sen}\phi \quad \text{Ec 1.14}$$

Dónde:

I_r : Componente reactiva de la intensidad.

El producto de la intensidad de corriente I y las de sus componentes activa I_a y reactiva I_r por la diferencia de potencial V da como resultado las potencias aparente (S), activa (P) y reactiva (Q), como se indica en las ecuaciones 1.15, 1.16 y 1.17 respectivamente.

$$S = I * V \quad \text{Ec 1.15}$$

$$P = I * V * \text{Cos}\phi \quad \text{Ec 1.16}$$

$$Q = I * V * \text{Sen}\phi \quad \text{Ec 1.17}$$

En el diagrama de la figura 1.4 se observa el triángulo de potencias con la relación existente entre estas tres potencias.

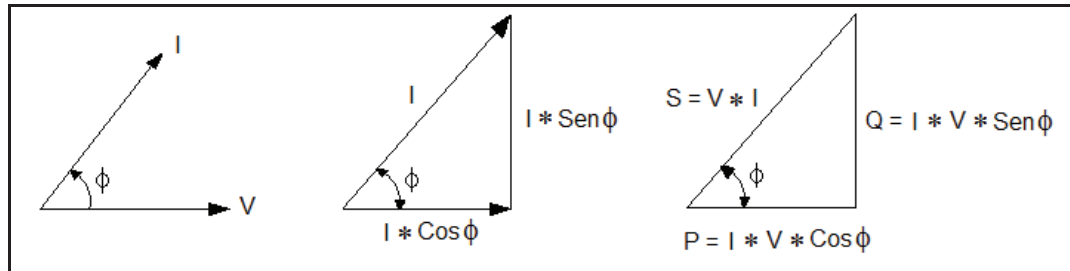


Figura 1.4. Relación entre potencias activa, aparente y reactiva

1.2 CAUSAS QUE PRODUCEN UN BAJO FACTOR DE POTENCIA

Cuando existe una cantidad apreciable de equipos, los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia y aumento de corriente. Los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas, además producen alteraciones en la regulación de la diferencia de potencial, con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- ✦ Mayor cantidad de motores.
- ✦ Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- ✦ Una sub - utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico.
- ✦ Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos.

El factor de potencia viene determinado por el tipo de cargas conectadas al suministro eléctrico. Éstas pueden ser de naturaleza resistiva, inductiva, capacitiva, así como también por la combinación de cargas [11].

1.2.1 CARGAS RESISTIVAS

Estas cargas se designan con la letra R y se expresan en Ohmios (Ω), pueden encontrarse en equipos tales como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el factor de potencia toma el valor de 1.0. Tienen analogía con las resistencias eléctricas las cuales absorben potencia en vatios y están representadas por la ecuación 1.18.

$$P = I * V = I^2 * R = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ec 1.18}$$

Dónde:

$I^2 * R$: Pérdidas por efecto Joule

En un circuito puramente resistivo la corriente está en fase con el voltaje de donde se obtiene la ecuación 1.19:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Ec 1.19}$$

Dónde:

V: Voltaje [V] (voltios)

I: Corriente [A] (amperios)

R: Resistencia [Ω] (ohmios)

El diagrama fasorial correspondiente a las cargas resistivas está representado por la figura 1.5:



Figura 1.5. Diagrama fasorial de un circuito resistivo

1.2.2 CARGAS INDUCTIVAS

Estas cargas se encuentran en cualquier máquina que esté constituida por bobinados por ejemplo en los equipos del tipo electromecánicos tales como: motores, balastos, transformadores, entre otros; los cuales además de consumir potencia activa requieren potencia reactiva para su propio funcionamiento por lo cual trabajan con un factor de potencia menor a 1.0; y son precisamente las cargas inductivas las que dan origen a un bajo factor de potencia. En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con el voltaje ya que va retrasada en 90 grados eléctricos, como se muestra en la figura 1.6:

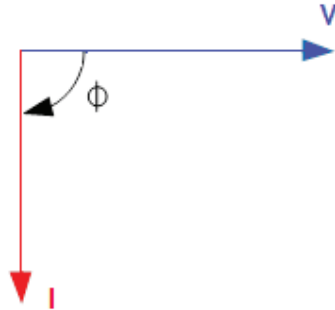


Figura 1.6. Diagrama fasorial de un circuito inductivo

1.2.3 CARGAS CAPACITIVAS

Este tipo de cargas se presentan en los capacitores y se caracterizan porque la corriente se halla adelantada respecto del voltaje 90 grados eléctricos. En la figura 1.7 se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas capacitivas.

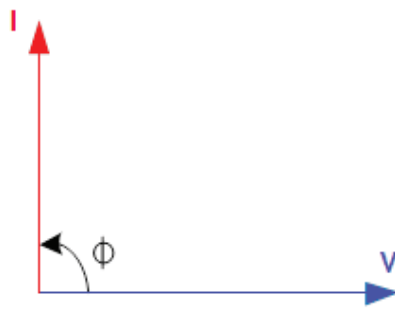


Figura 1.7. Diagrama fasorial de un circuito capacitivo

En un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía, aún si hay corriente circulando. Las cargas capacitivas generan potencia reactiva expresada en voltio - amperio reactivos (VAR).

1.2.4 CARGAS COMBINADAS

En la práctica una carga no está constituida solamente por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas con frecuencia coexisten en los circuitos eléctricos. Las diversas cargas son usualmente abastecidas directamente de la red principal de suministro eléctrico.

1.3 EFECTOS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a 1.0 tienen consecuencias en la medida que éste disminuye y además afecta a la red eléctrica tanto en alto voltaje como en bajo voltaje. Estas consecuencias pueden ser clasificadas de la siguiente manera: incremento de pérdidas por Efecto Joule; sobrecarga de los generadores; transformadores y líneas de distribución; aumento de la caída de voltaje; incremento de la potencia aparente, incremento en la facturación eléctrica, problemas que ocasiona a la empresa distribuidora de energía eléctrica [11].

- ✘ Incremento de pérdidas por Efecto Joule.

La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión $I^2 * R$ donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos (bobinados de generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.). Las pérdidas por efecto Joule se manifestarán en:

- ✘ Calentamiento de cables.
- ✘ Calentamiento de bobinados de los transformadores de distribución.
- ✘ Activación sin causa aparente de los dispositivos de protección.

Uno de los mayores problemas que causa el sobrecalentamiento es el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos, puede provocar corto circuitos.

- ✘ Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.

El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil debido a que estos equipos se diseñan para trabajar a un cierto valor de corriente y para no dañarlos se deben operar sin que éste valor se supere.

- ✘ Aumento de la caída de voltaje.

Se hace insuficiente el suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); las cuales a la vez sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

- ✘ Los bobinados de los transformadores de distribución.
- ✘ Los cables de alimentación.
- ✘ Sistemas de protección y control.

- ✘ Incremento de la potencia aparente.

Este incremento reduce la capacidad de carga instalada en KVA en los transformadores de distribución.

- ✘ Incremento en la facturación eléctrica.

Cuando se tiene un bajo factor de potencia implica pérdidas que afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al

usuario haciendo que pague más por su consumo de electricidad cuyo valor se verá reflejado en las planillas eléctricas.

- ✘ Problemas que ocasiona a la empresa distribuidora de energía eléctrica [11].
- ✘ Mayor inversión en los equipos de generación ya que su capacidad en KVA debe ser mayor para poder entregar esa energía reactiva adicional.
- ✘ Mayores capacidades en las líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
- ✘ Elevadas caídas de voltaje y baja regulación de voltaje lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.

1.4 MEDIOS Y MÉTODOS DISPONIBLES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

1.4.1 MEDIDAS PREVENTIVAS

Se debe tener muy en cuenta el balanceo de cargas en las líneas de distribución, el dimensionamiento de los conductores eléctricos, selección y operación correcta de los equipos. A pesar de lo que se puede lograr con estas y otras medidas preventivas, la mayoría de las plantas industriales tienen un factor de potencia bajo. Este problema se puede solucionar solamente con la instalación de equipos de compensación.

1.4.2 MEDIDAS COMPENSATIVAS

En las técnicas de corrección del factor de potencia se utilizan métodos pasivos enfocados primordialmente a la corrección del factor de desplazamiento, ya que ésta es la exigencia de las empresas de suministro eléctrico. Estos métodos pasivos en ocasiones también son útiles para el filtrado de armónicos. Pero cada vez se impone la utilización de métodos

activos para así poder controlar mejor el factor de potencia, asegurarse que el contenido armónico es mínimo y además poder regular otros parámetros como podría ser la diferencia de potencial de salida o la potencia de salida.

1.4.2.1 Método Pasivo [9] [10]

A la forma clásica de la corrección del factor de potencia en instalaciones industriales y terciarias basada en el empleo de bancos de condensadores, se la conoce como método pasivo. Estos bancos de condensadores están conectados generalmente en triángulo para reducir su valor, aunque a mayor diferencia de potencial, compensan la corriente reactiva que absorbe el sistema y así corrige el factor de potencia, pero solo su factor de desplazamiento; el factor de distorsión armónico mejora algo, pero no se corrige con esta técnica.

Si el sistema fuese desequilibrado, entonces la compensación se debe hacer fase a fase. Si los condensadores se ponen en configuración triángulo puede haber circulación de corrientes internas que hay que controlar, por lo que es aconsejable que los condensadores estén en configuración estrella para evitar este tipo de corrientes.

El problema de la compensación pasiva es que su diseño se hace para unas condiciones determinadas de carga y por lo tanto fuera de estas condiciones la corrección ya no será perfecta. Esto se suele corregir activando bancos de condensadores sucesivamente con relés dependiendo de las condiciones de carga. Su ventaja principal es su simplicidad de diseño, además de su robustez ya que solo incluye elementos pasivos, su alto rendimiento y su menor costo.

Otro método de corrección para sistemas de alta potencia son los condensadores de fase rotativos en los cuales se colocan motores sincrónicos funcionando en vacío con sobreexcitación.

La compensación se puede hacer de forma individual en cada receptor o centralizada a la entrada de toda la instalación. La compensación individual se utiliza generalmente para cargas más o menos constantes y con un funcionamiento continuo mientras que la compensación centralizada es conveniente para instalaciones con cargas variables y es aquí donde se utilizan los antes mencionados bancos de condensadores que entran en funcionamiento de forma escalonada por medio del empleo de un controlador automático.

Aunque el factor de desplazamiento sí se corrige, queda todavía por corregir el contenido armónico de la señal. Es por esto que las investigaciones en los últimos años han ido más en busca de la solución activa en vez de una pasiva para equipos trifásicos.

1.4.2.2 Método Activo [9] [10]

Este método se enfoca en la corrección del factor de distorsión armónico, aunque pueden existir algunos circuitos activos para la corrección del factor de potencia a baja frecuencia, no tiene mucho sentido en un sistema trifásico donde se consiguen factores de potencia mejorados con soluciones pasivas. Las únicas soluciones que deben ser consideradas son las correcciones activas de alta frecuencia, donde se obtiene una corrección precisa del factor de potencia y además se logra controlar otros parámetros como puede ser la diferencia de potencial de salida.

1.5 ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

La corrección del factor de potencia debe ser realizada de una forma cuidadosa con el objeto de mantenerlo lo más alto posible pero sin llegar nunca a la unidad, ya que en este caso se produce el fenómeno de la resonancia que puede dar lugar a la aparición de diferencias de potencial o intensidades peligrosas para la red. En los casos de grandes variaciones en

la composición de la carga, es preferible que la corrección se realice por medios automáticos.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, tanto para el método pasivo como para el método activo, y con la finalidad de poder aplicar en lo práctico, se elegirá el método pasivo, y de éste utilizando la forma clásica es decir mediante el empleo de condensadores con conexión y desconexión automática. No obstante se describe la forma de corrección del factor de potencia mediante el empleo de máquinas sincrónicas y de condensadores.

1.5.1 MÁQUINAS SINCRÓNICAS

La máquina sincrónica es un dispositivo que se emplea para convertir energía mecánica de rotación en energía eléctrica y viceversa. Está constituida básicamente por dos elementos: un devanado o inducido de corriente alterna y un inductor o campo de corriente continua. El principio de construcción y funcionamiento de la máquina sincrónica ya sea como generador o como motor es el mismo.

Las máquinas sincrónicas tienen la propiedad de suministrar una corriente en adelanto bajo ciertas condiciones de funcionamiento, de tal forma que se comportan como generadores de potencia reactiva. Existen características que tiene relación con el factor de potencia, tales como: los efectos de la variación de la excitación y los efectos de la variación de la carga y regulación de voltaje con varios factores de potencia; los mismos que se describen en la sección Anexos parte 1.

1.5.2 CONDENSADORES SINCRÓNICOS [3]

En realidad algunos motores síncronos no provocan en absoluto potencia en HP de salida y se pretende que se usen exclusivamente para corrección del factor de potencia. A esos motores se les llama capacitores síncronos. Se fabrican deliberadamente varios motores síncronos especializados sin ejes de

salida. No son capaces de impulsar carga mecánica alguna. Pero se debe hacer notar que cualquier motor síncrono sobreexcitado que no se usa para impulsar carga alguna se puede clasificar como capacitor síncrono o condensador síncrono.

Se prefiere capacitores síncronos para corregir el factor de potencia en vez de los capacitores comerciales. Los primeros pueden fabricarse a un costo mucho menor para capacidades de KVA (aún de MVA) extremadamente altas, así como en altos voltajes, de 100 KV a 800 KV, en comparación con los capacitores comerciales fijos de la misma capacidad de voltaje y KVA.

En general, no es práctico emplear ya sea capacitores o motores síncronos para corregir un determinado FP y llevarlo a la unidad (en caso de la corriente mínima en la línea). Se acostumbra a no tratar de corregir completamente el factor de potencia de un sistema hasta llegar al factor unidad. Para ello existe una razón económica, no obstante el hecho de que haya disponibles capacitores grandes de alta capacidad y de que para la misma capacidad en KVA, sean menos costosos que los motores síncronos. Esto se debe a que:

- ✱ Se arranca y se hace funcionar sin carga, con lo cual no necesitan devanados toscos de jaula.
- ✱ Necesitan diámetros menores de ejes y rodamientos menos robustos, aunque sus devanados de campo sean más pesados.

El motivo económico que establece un límite a la corrección máxima de factor de potencia, se puede inferir de los datos de la tabla 1.1 para un sistema de 10000 KVA.

FP del sistema	Salida en KW	Kilovares disponibles	Kilovares por corregir del FP inmediato inferior	Kilovares totales acumulados necesarios en la corrección
0.60	6000	8000	-	-
0.65	6500	7600	400	400
0.70	7000	7140	460	860
0.75	7500	6610	530	1390
0.80	8000	6000	610	2000
0.85	8500	5270	730	2730
0.90	9000	4360	910	3640
0.95	9500	3120	1240	4880
1.00	10000	0	3120	8000

Tabla 1.1. Total de kilovolt - amperes reactivos de corrección necesarios a varios factores de potencia [3]

1.5.3 CONDENSADORES ESTÁTICOS

Un condensador es un dispositivo que tiene la propiedad de almacenar energía por medio de una ordenación de los electrones en el dieléctrico (que es considerado un elemento activo) cuando se aplica una diferencia de potencial a sus terminales. También se define al condensador como un dispositivo que desarrolla con la ordenación de los electrones en el dieléctrico, una f.c.e.m. (fuerza contra electromotriz) igual a una f.e.m. (fuerza electromotriz) aplicada a sus terminales.

El condensador recibe el nombre condensador estático debido a que no tiene ninguna parte móvil o desgastable. Constructivamente un condensador consiste principalmente de placas o delgadas láminas metálicas conductoras, separadas por un material aislante denominado generalmente dieléctrico, de espesor y calidad adecuados para resistir el voltaje al que va a funcionar el condensador.

Las pérdidas de un condensador están íntimamente ligadas con el voltaje y la temperatura. Realmente, estas pérdidas en vatios son muy pequeñas, pero muy importante en la vida de un condensador por las siguientes razones:

- ✦ Una alta diferencia de potencial en el dieléctrico requiere que las pérdidas y el calor resultante tengan un valor bajo para evitar el deterioro del dieléctrico.
- ✦ Los condensadores, con excepción de los que se conmutan automáticamente, operan continuamente a plena carga.
- ✦ Los condensadores operan con una temperatura cercana al límite de la temperatura de estabilidad del dieléctrico.

Las pérdidas en el condensador se deben principalmente a:

- ✦ Pérdida en el dieléctrico.
- ✦ Pérdidas en la resistencia de descarga.
- ✦ Pérdida debida al flujo de corriente a través de los conductores y el dieléctrico.

La aplicación de condensadores estáticos para corregir el factor de potencia presenta las siguientes ventajas con respecto a los condensadores sincrónicos:

- ✦ Son fáciles de instalar y tienen gran seguridad de servicio y duración, casi no requieren mantenimiento.
- ✦ Tienen pequeñas pérdidas, no ocupan mucho espacio, pueden conectarse en puntos cercanos a la carga.
- ✦ Se construyen de diferentes potencias, facilitando la obtención de la potencia requerida.
- ✦ La potencia reactiva de los condensadores puede aumentar o disminuir fácilmente según los requerimientos de la carga del sistema, por medio de la conmutación automática. Estos medios de control automático no son complejos.

Esta aplicación de condensadores estáticos para corregir el factor de potencia presenta también ciertas desventajas como:

- ✦ Cuando las variaciones de carga son significativas, es recomendable el empleo de bancos de condensadores automáticos.
- ✦ Es necesario prever algún medio de descarga del condensador, cuando éste ha sido desconectado de la línea, para eliminar el peligro al personal. Por esta razón se dispone de dispositivos externos conectados en paralelo, diseñados para este tipo de maniobra.

De acuerdo con estas consideraciones, se concluye que el medio de compensación más conveniente y económica para esta instalación, es la aplicación de condensadores estáticos con control automático.

1.6 CONTROL AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES

Los capacitores eléctricos o bancos de capacitores, pueden ser instalados en varios puntos en la red de distribución en una planta y pueden distinguirse cuatro tipos principales de instalación de capacitores para compensar la potencia reactiva. En la figura 1.8 se muestran tres de estos tipos.

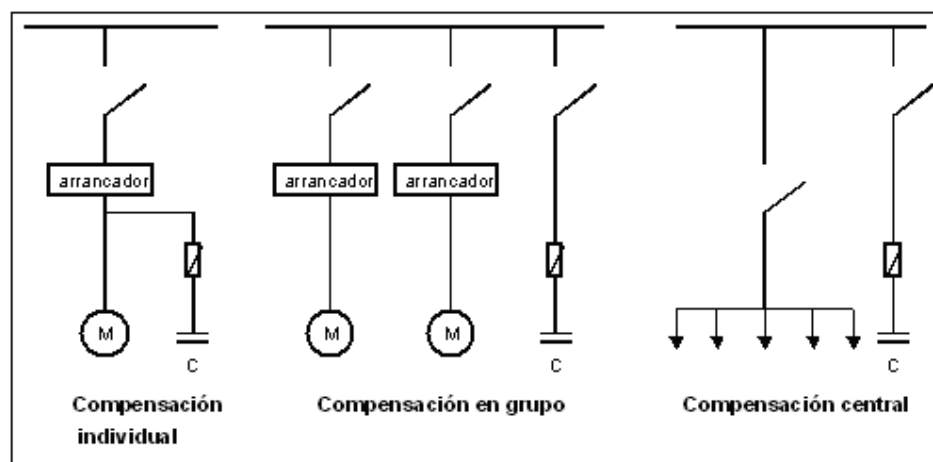


Figura 1.8. Tipos de instalaciones de capacitores para corregir el factor de potencia [6]

Cada una de las instalaciones mencionadas anteriormente corresponden a una aplicación específica, no obstante, es importante mencionar que antes de instalar los capacitores se deben tomar en cuenta los siguientes factores: tipos de cargas eléctricas, variación y distribución de las mismas, factor de carga, disposición y longitud de los circuitos, diferencia de potencial de las líneas de distribución, entre otros.

Cuando se aplica la instalación de condensadores con el propósito de mejorar el factor de potencia, algunas veces es necesario o deseable conectar o desconectar los condensadores del circuito, con el fin de eliminar las condiciones de sobre voltaje que pueden presentarse en periodos de baja carga. Este caso ocurre con mucha frecuencia en las plantas industriales que tienen una carga muy variable.

1.6.1 COMPENSACION INDIVIDUAL

La compensación individual se refiere a que a cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. Esta compensación es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo. Existen dos métodos de compensación individual los cuales se describen en los numerales 1.6.1.1 y 1.6.1.2 [6].

1.6.1.1 Compensación individual de motores eléctricos

Este método es el más efectivo ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, de manera que la potencia reactiva circule únicamente por los conductores cortos entre el motor y el capacitor.

La compensación individual presenta las siguientes ventajas:

- ✚ Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.

- ✦ El arrancador para un motor puede también servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control exclusivo para el capacitor.
- ✦ El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, por lo que no son necesarios controles complementarios.
- ✦ Los capacitores son puestos en servicio solo cuando el motor está trabajando.
- ✦ Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva.

No obstante, este método presenta las siguientes desventajas:

- ✦ El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente.
- ✦ Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

Es importante mencionar que para no incurrir en una sobre compensación de la potencia inductiva que provoque alteraciones en el voltaje que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de capacitores deberá limitarse al 90% de la potencia reactiva del motor en vacío [2] [6].

La potencia del capacitor a conectar directamente con el motor puede ser determinado de acuerdo a uno de los siguientes métodos [2]:

- ✦ Multiplicar por 1/3 el valor del motor expresado en HP.
- ✦ El 40% de la potencia del motor en KW.
- ✦ Consultar tablas con valores recomendados por NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

Existen tablas que contienen las potencias máximas sugeridas de los capacitores (KVAR) para la compensación individual de motores en bajo voltaje, como se muestra en las tablas 1.2 y 1.3. La compensación individual de motores menores de 10 KW generalmente no se utiliza.

Motor de inducción potencia (HP)	Velocidad nominal en r.p.m. y numero de polos					
	3600 2	1800 4	1200 6	900 8	720 10	600 12
5	2 ½	2	3	3	4	5
7 ½	2 ½	3	3	4	6	7 ½
10	3	3	4	5	6	10
15	5	5	5	7 ½	7 ½	10
20	6	6	7 ½	7 ½	10	15
25	7 ½	6	7 ½	10	10	20
30	7 ½	7 ½	10	10	15	20
40	7 ½	10	15	15	15	25
50	10	15	20	20	20	30
60	10	15	25	20	25	35
75	15	20	25	25	30	40
100	20	25	30	30	35	45
125	25	30	30	40	40	50
150	25	30	35	45	50	60
200	35	40	50	60	70	80
250	40	50	60	70	80	100
300	45	60	70	80	90	110
350	50	70	80	100	100	125
400	70	70	80	110	125	150
450	75	80	100	120	125	150
500	90	90	120	125	140	175

Tabla 1.2. NEMA diseño B. Motores en bajo voltaje, par de arranque normal y corriente normal [2] [6].

Motor de inducción potencia (HP)	Velocidad nominal en r.p.m. y numero de polos			
	1800 4	1200 6	900 8	720 10
5	2	2 ½	4	---
7 ½	3	3	4	---
10	3	4	5	---
15	4	5	7 ½	---
20	4	5	7 ½	---
25	5	5	10	---
30	5	7 ½	10	20
40	10	10	15	---
50	5	10	20	25
60	15	20	25	25
75	20	20	30	35
100	25	25	40	40
125	30	35	40	45
150	35	40	45	50
200	45	50	60	60
250	50	60	70	75
300	60	70	80	80
350	70	75	90	100

Tabla 1.3. NEMA diseño C. Motores en bajo voltaje, alto par de arranque y corriente normal [2] [6].

1.6.1.2 Compensación individual en transformadores de distribución.

Otro método para corregir el factor de potencia es compensar la potencia reactiva en los transformadores de distribución. La potencia total del banco de capacitores se calcula para compensar la potencia reactiva absorbida por el transformador en vacío, que es del orden del 5 al 10% de la potencia nominal. De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, con el fin de evitar fenómenos de resonancia y sobrevoltaje en vacío, la potencia total del banco de capacitores no debe exceder el 10% de la potencia nominal (en KVA) del transformador [2].

Existen tablas con valores recomendados para la compensación individual de la potencia inductiva en los transformadores de distribución, en donde a la potencia nominal de cada transformador se le ha asignado la correspondiente potencia del capacitor requerido, el cual deberá instalarse en el lado secundario del transformador. Ver Tabla 1.4.

Potencia nominal del transformador KVA	Potencia reactiva del capacitor en KVAR
100	4
160	6
250	15
400	25
630	40
1000	60
1600	100

Tabla 1.4. Valores de capacitores para compensación individual en transformadores [2]

1.6.2 COMPENSACIÓN EN GRUPO

Es aconsejable compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando éstas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diversos grupos de cargas situados en puntos distintos. La compensación en grupo presenta las siguientes ventajas:

- ✦ Se conforman grupos de cargas de diferente potencia pero con un tiempo de operación similar, para que la compensación se realice por medio de un banco de capacitores común con su propio interruptor.
- ✦ Los bancos de capacitores pueden ser instalados en el centro de control de motores.
- ✦ El banco de capacitores se utiliza únicamente cuando las cargas están en uso.
- ✦ Se reducen costos de inversión para la adquisición de bancos de capacitores.
- ✦ Es posible descargar de potencia reactiva las diferentes líneas de distribución de energía eléctrica.

La desventaja es que la sobrecarga de potencia reactiva no se reduce en las líneas de alimentación principal, es decir, que seguirá circulando energía reactiva entre el centro de control de motores y los motores.

1.6.3 COMPENSACIÓN CENTRAL CON BANCO AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los capacitores que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador.

La compensación centralizada presenta las siguientes ventajas:

- ✦ Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.

- ✦ Se tiene una mejora en la regulación del voltaje en el sistema eléctrico.
- ✦ Suministro de potencia reactiva según los requerimientos del momento.
- ✦ Es de fácil supervisión.

La desventaja de corregir el factor de potencia mediante la compensación centralizada, es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además, se requiere de un regulador automático de banco de capacitores para compensar la potencia reactiva según las necesidades de cada momento.

1.6.4 COMPENSACIÓN COMBINADA

La compensación mixta o combinada de potencia reactiva, se refiere a la combinación de dos o más métodos para corregir el factor de potencia, los cuales previamente fueron descritos.

CAPÍTULO 2

CONTROL AUTOMÁTICO DEL FACTOR DE POTENCIA

2.1 INTRODUCCIÓN

Tomando en cuenta los diferentes tipos de compensación vistos anteriormente, se prevé emplear un regulador automático denominado módulo DCRA (Revisor digital del factor de potencia), del cual se describe lo siguiente [12]:

- ✦ El módulo DCRA es una unidad de regulación digital para sistemas automáticos de corrección del factor de potencia, con salida a relé para la inserción y la desinserción de las baterías de los condensadores.
- ✦ Fue programado para conseguir una corrección adecuada del factor de potencia de la instalación y una utilización óptima de los condensadores y de los contactores de inserción y desinserción, teniendo en cuenta los fenómenos transitorios y posibles molestias presentes en ambientes industriales.
- ✦ Todo esto permite mejorar la eficiencia del sistema de defasamiento y de alargar notablemente la vida útil de las instalaciones y maquinarias existentes en una fábrica.
- ✦ Tiene un sofisticado circuito de medida y se encuentra controlado por un microprocesador de elevadas prestaciones que mide la potencia reactiva necesaria y selecciona de manera inteligente los pasos para insertar en base a la efectiva capacidad disponible y las anteriores maniobras.
- ✦ Se instala fácilmente con el sólo auxilio de un transformador de corriente (TC) externo. Puede ser insertado sobre redes trifásicas (con y sin neutro) o sobre redes monofásicas.

- ✦ Se programa y se regulariza fácilmente desde el panel frontal.
- ✦ Visualiza sobre display los valores reales de factor de potencia, corriente, frecuencia de la instalación y los varios parámetros impuestos. Señala el propio estado de funcionamiento mediante LED.
- ✦ Puede controlar opcionalmente la temperatura de las baterías de refasamiento (mediante PT100), visualiza el valor y comanda el dispositivo de enfriamiento.

2.2 VERSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MÓDULO PARA CONTROL AUTOMÁTICO [12]

2.2.1 VERSIONES

Existen tres versiones de acuerdo al número de pasos, estas son:

Versiones	Número de pasos
DCRA 5	A 5 pasos
DCRA 7	A 7 pasos
DCRA 14	A 14 pasos

Tabla 2.1. Versiones existentes del módulo automático para control

2.2.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES [12]

- ✦ Recipiente en LEXAN; tapa de protección transparente incorporada.
- ✦ Alimentación auxiliar para dos voltajes 110 – 127V/220 – 240V c.a.
- ✦ Entrada voltimétrica para voltajes comprendidos entre 80 y 690V c.a.
- ✦ Entrada amperimétrica para transformador de corriente (TC) estándar con auxiliar 5A (1 A sobre pedido).
- ✦ Medida del verdadero valor eficaz de la corriente (RMS) con correcta evaluación de formas de onda o influenciadas por armónicos.
- ✦ Regulación automática inteligente.
- ✦ Sensibilidad regulable (tiempo integral de conmutación).
- ✦ Retraso a la reinserción misma del paso regulable.

- ✿ Uniformidad de utilización de los pasos (número de maniobras y tiempo de inserción).
- ✿ Memorización de los varios parámetros en EEPROM.
- ✿ Visualización de factor de potencia, corriente, frecuencia.
- ✿ Posibilidad de inserción y desconexión manual de los pasos.
- ✿ 5 alarmas codificadas.
- ✿ 2 relés de salida programables con alarma general y como comando on/off para el enfriamiento del grupo capacitivo.
- ✿ Módulo opcional para control on/off de la temperatura grupo capacitivo (entrada para PT100).
- ✿ Entrada de fase serial opcional.

2.2.3 PANEL FRONTAL [12]

A continuación se presenta los parámetros que existen en el módulo DCRA.

1. LED de presencia alimentación auxiliar.
2. LED de indicación tipo de carga monitoreado.
3. Display a LED para visualización de medidas, parámetros, alarmas (3 cifras).
4. LED indicación modo de funcionamiento seleccionado manual/automático (MAN/AUT).
5. LED de indicación de pasos insertados.
6. LED de indicación de función en curso.
7. Tecla [AUT/MAN] para escoger la manera de funcionamiento.
8. Tecla [MODE] para escoger las funciones.
9. Tecla [+] para el aumento de los parámetros.
10. Tecla [-] para la disminución de los parámetros.

Estos parámetros se pueden observar en la figura 2.1.

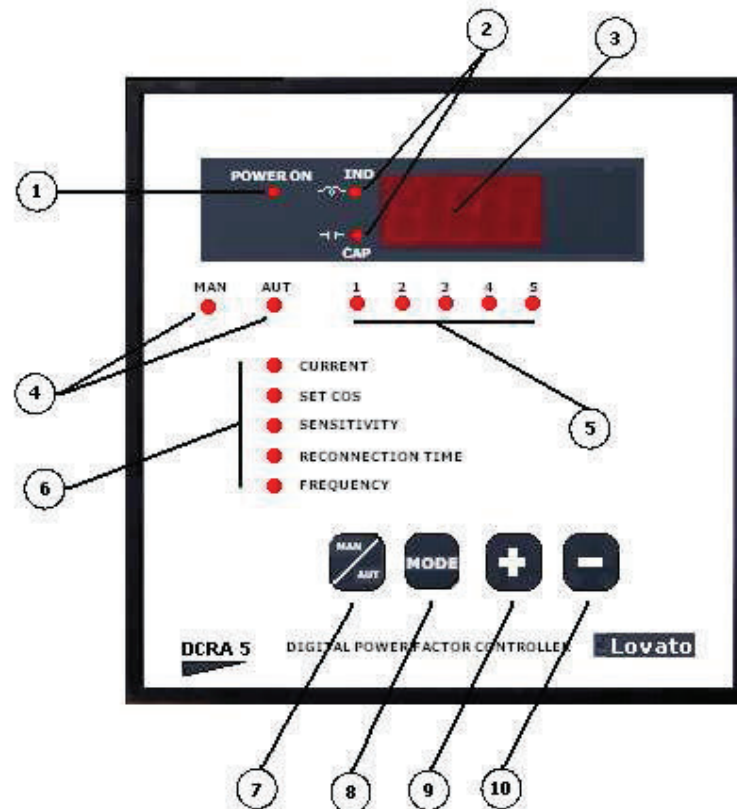


Figura 2.1. Parámetros del módulo DCRA

2.2.4 INSTALACIÓN

2.2.4.1 Circuito de medida

✦ Red trifásica:

- ✦ La entrada de voltaje debe ser conectada entre dos fases; el transformador de corriente de línea debe ser insertado sobre la fase restante.

✦ Red monofásica:

- ✦ La entrada de voltaje se encuentra conexo entre fase y neutro; el transformador de corriente de línea debe ser insertado preferentemente en la fase.

- ✘ La polaridad de la entrada amperimétrica y voltimétrica es sin influencia.

El módulo DCRA tiene un contador automático de eventuales inversiones. La falta de conexión de la entrada amperimétrica y voltimétrica produce la visualización de una alarma sobre display.

2.2.4.2 Alimentación auxiliar

Éste módulo necesita de alimentación auxiliar separada. Cuando no es disponible una fuente auxiliar de voltaje, es posible alimentar la central con el voltaje de línea por controlar.

2.3 PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DCRA 5 [12]

2.3.1 PROGRAMACIÓN DE LA UNIDAD (SET – UP)

A la primera puesta de diferencia de potencial el LED “MAN” se prende y el display visualiza “_ _ _” como se indica en la figura 2.2, señalando que es necesario efectuar la inserción de los siguientes datos:

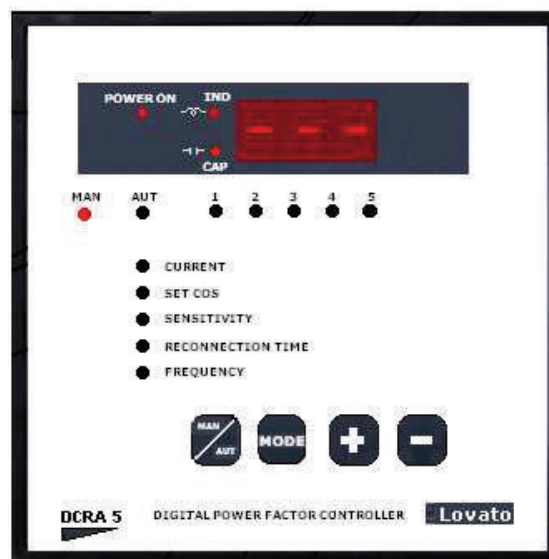


Figura 2.2. Primera puesta de voltaje del módulo DCRA

- ✦ Tipo de inserción de la entrada de voltaje (fase-fase o fase-neutro). Ver figura 2.3:

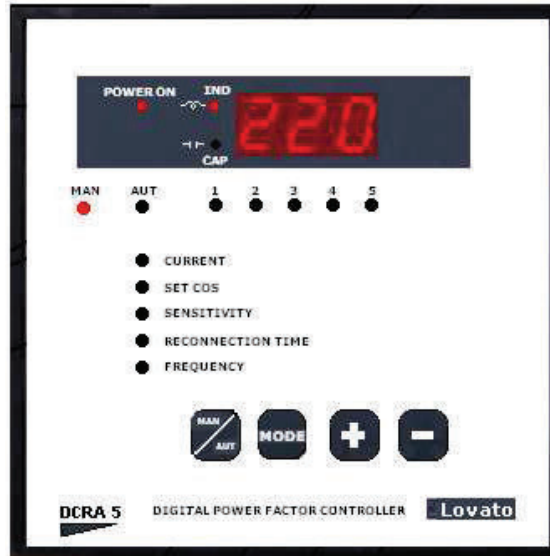


Figura 2.3. Inserción de voltaje

- ✦ Fondo de escala del transformador de corriente (5/10000A). Ver figura 2.4:

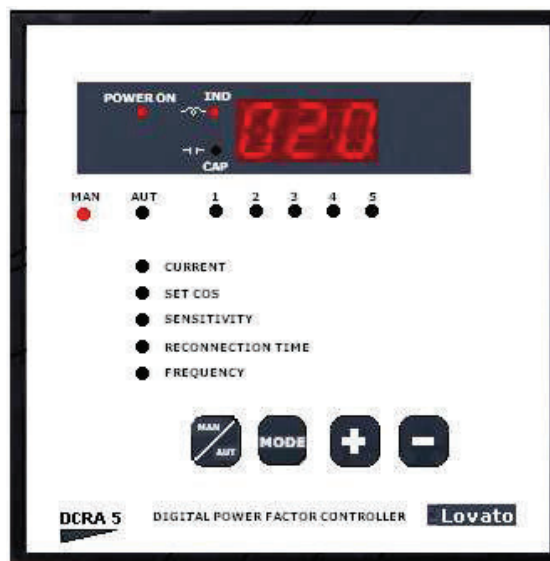


Figura 2.4. Inserción del fondo de escala del transformador de corriente

- ✦ Potencia reactiva en KVAR de la batería de refasamiento más pequeña (0/300KVAR). Ver figura 2.5:



Figura 2.5. Inserción de potencia reactiva

- ✦ Voltaje nominal de placa de los condensadores (80 -740V). Ver figura 2.6:

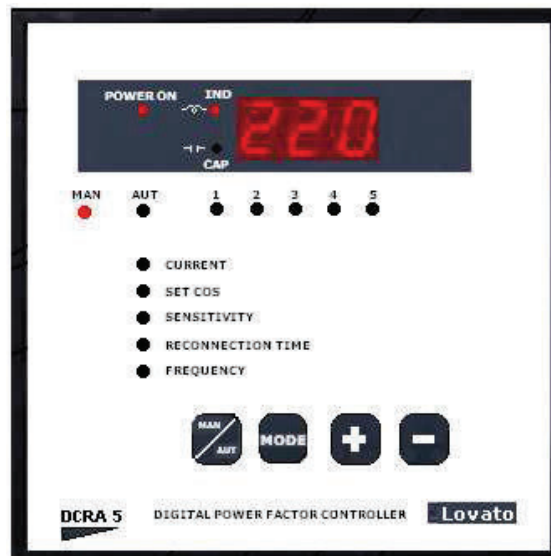


Figura 2.6. Inserción de voltaje nominal de condensadores

- ✦ Voltaje nominal de la instalación (80-960V). Ver figura 2.7:

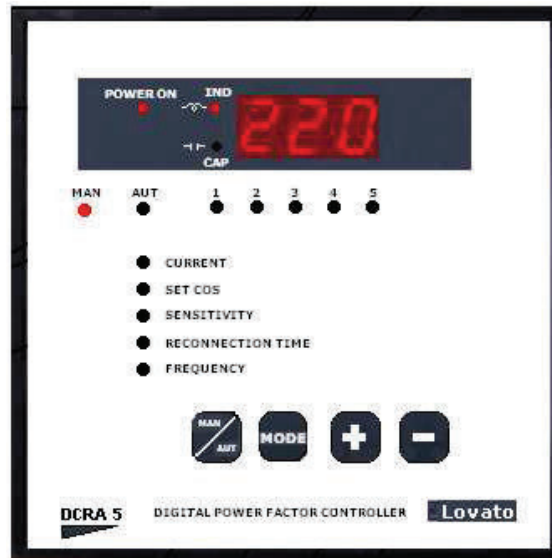


Figura 2.7. Inserción de voltaje nominal de instalación

- ✦ Configuración de los pasos, ingreso del valor de cada paso, expresado en unidad idéntica al paso del menor en capacidad. Ver figura 2.8:

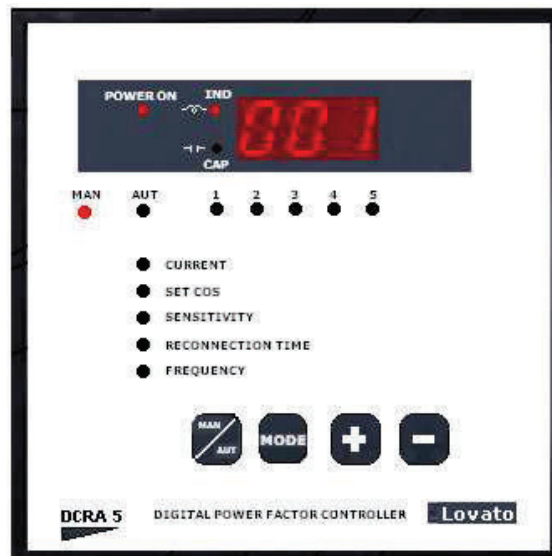


Figura 2.8. Inserción del valor de cada paso

El paso puede ser también deshabilitado.

El último relé puede ser programado como relé de alarma genérico.

El penúltimo, opcional, puede ser programado para el mando del sistema de enfriamiento de las baterías de los condensadores.

Para entrar al set-up es necesario colocar la unidad en modo manual, desconectar todos los pasos, oprimir la tecla “-“ y sucesivamente “MODE” por al menos 5 segundos como se indica en la figura 2.9:

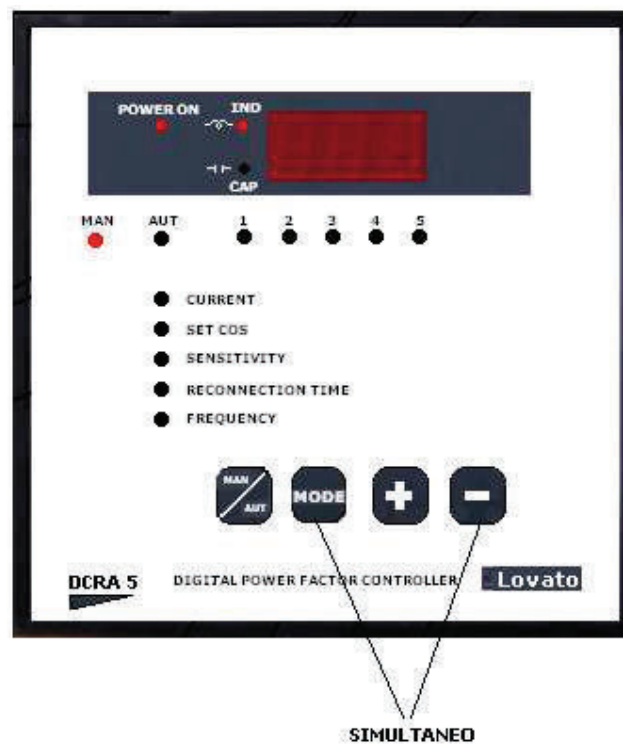


Figura 2.9. Ingreso de datos a programar

Esta secuencia asegura una adecuada protección contra modificaciones indeseadas de los datos de la instalación. Cada dato se confirma por medio del botón “MODE”.

2.3.2 PREDISPOSICIÓN DEL TIPO DE FUNCIONAMIENTO

Mediante la tecla “Man/Aut” se selecciona el modo de funcionamiento.

2.3.2.1 Modo manual

- Con los botones “+” o “-” es posible conectar o desconectar uno o más pasos en forma secuencial. Si faltara la alimentación auxiliar mientras la central está en manual, la configuración de los pasos es memorizada para restablecerle en forma secuencial a la siguiente puesta en voltaje. Esta visualización de parámetros se puede apreciar en la figura 2.10:

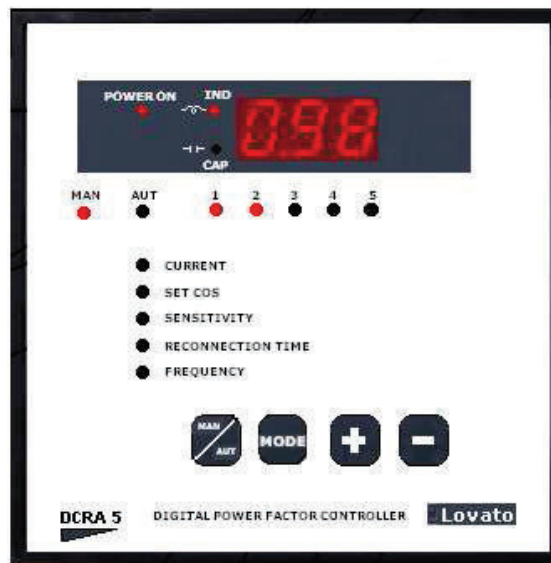


Figura 2.10. Visualización en modo manual

2.3.2.2 Modo automático

- La central conecta o desconecta los pasos capacitivos para poder llevar el factor de potencia lo más cercano posible a aquel preseleccionado, la figura 2.11 indica la visualización de parámetros en modo automático.

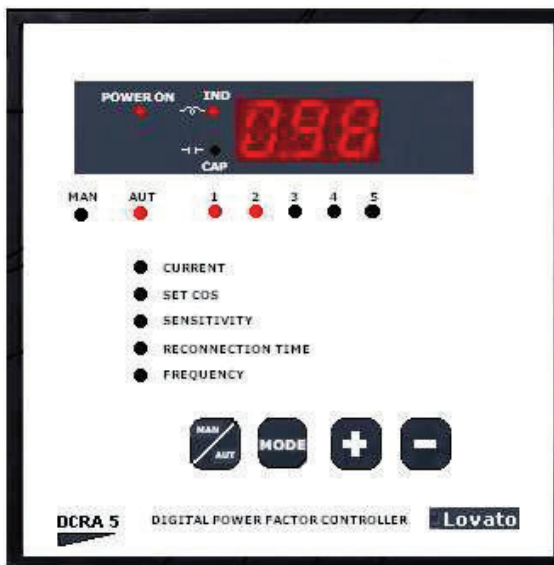


Figura 2.11. Visualización en modo automático

Esto se obtiene a través del cálculo de la potencia reactiva necesaria para la compensación y la selección automática de los pasos a conectar, teniendo en cuenta las características de la instalación, sensibilidad y el tiempo de reconexión seleccionado, como también el número de las maniobras anteriores. Si faltara la alimentación auxiliar mientras la central está en automático, todos los pasos son desconectados. A la siguiente puesta de diferencia de potencial la central conecta automáticamente los pasos necesarios.

2.3.3 FUNCIONES Y ALARMAS

2.3.3.1 Funciones

Durante el funcionamiento en manual o automático, el display visualiza el factor de potencia actual. Oprimiendo el botón “MODE” se puede acceder a las siguientes funciones, como se indica en la tabla 2.2:

LED	FUNCIÓN	VALOR
Current	Visualización corriente RMS	...A
Setcosfi	Seleccionar el coseno fi deseado	Desde 0.85 inductivo a 0.95 capacitivo
Sensitivity	Seleccionar la sensibilidad	5 – 600 s
Reconnection delay	Seleccionar el retardo a la reconexión	5 – 240 s
Frequency	Visualización de la frecuencia de red	...HZ

Tabla 2.2. Funciones y alarmas existentes en el módulo automático de control

La sensibilidad del aparato se entiende como tiempo integral. El valor seleccionado corresponde por lo tanto al tiempo de intervención en caso de compensación igual al paso inferior. Si el regulador pide en ese instante una compensación de más pasos, como muchas veces sucede, este tiempo se reduce automáticamente de forma proporcional. El retraso a la reconexión establece, por otro lado, el intervalo mínimo entre dos sucesivas conexiones del mismo paso.

2.3.3.2 Alarmas

En caso de anomalía, el display visualiza los siguientes códigos de alarma:

- Er.U - Falta de señal de voltaje
- Er.I - Falta de señal de corriente
- Er.S - Error EPROM
- Er.E - Error EEPROM
- Er.F - Error de frecuencia

Estos códigos de alarmas se indican en la figura 2.12:



Figura 2.12. Códigos de alarmas

Programado el último relé como alarma (en lugar de paso), éste será activado cuando se verifique una anomalía o cuando, con todos los pasos conectados o desconectados, no sea posible obtener el factor de potencia deseado, como se indica en la figura 2.13:

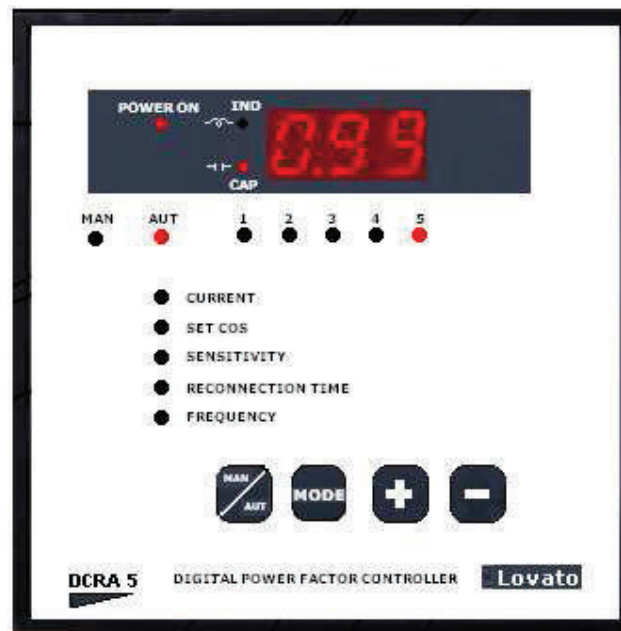


Figura 2.13. Visualización de alarma de baja compensación o sobre compensación

2.4 DATOS TÉCNICOS ^[12]

Los datos técnicos se presentan en la tabla 2.3:

Alimentación auxiliar	Voltaje de alimentación auxiliar	110 - 127 V / 220 - 240 V
	Rango de funcionamiento	- 15% + 10%
	Consumo	10 VA
	Frecuencia	50HZ (60HZ a pedido)
Circuito Voltimétrico	Voltaje de control	80 – 300 V / 250 - 690 V
	Absorción	1.2 W
	Frecuencia	50HZ (60HZ a pedido)
Circuito Amperimétrico	Corriente nominal	5 A (1 A a pedido)
	Sobrecarga permanente	+20%
	Peak de sobrecarga	10 le por 20ms
	Frecuencias armónicas relevantes	5 ^a – 7 ^a – 11 ^a
	Consumo	1 VA
Circuito de control	Regulación factor de potencia	0.85 ind – 0.95 cap
	Rango de medida de corriente	5 – 100 %
	Sensibilidad de intervención	5 – 600 s/paso
	Retardo de reconexión	20 – 240 s
	Programas de conmutación	Libres (en orden creciente)
Salida de relé	Número de pasos	5, 7, 14 (según tipos)
	Capacidad de contactos	5A – 250V in AC1 filtro RC incluido
Otros datos	Temperatura de funcionamiento	0 – 55°C
	Grado de protección frontal	IP41 (sin placa de protección) IP54 (con placa de protección)
	Peso para 5-7 pasos	920g
	Peso 14 pasos	1040g

Tabla 2.3. Datos técnicos del módulo de control automático

2.5 ESQUEMAS DE CONEXIÓN

Los esquemas de conexión que corresponden a los diagramas de fuerza y control del proyecto de tesis se encuentran en la sección correspondiente a Anexos parte 2, así como también se presenta adicionalmente los esquemas de conexión para un sistema monofásico y trifásico correspondiente al manual del módulo DCRA.

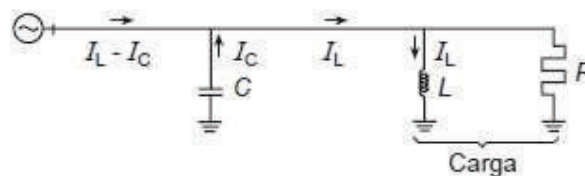
CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

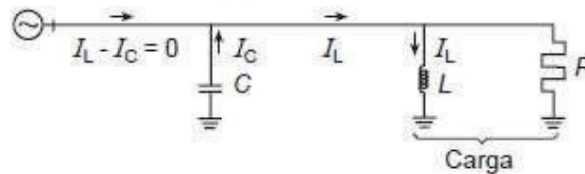
3.1 INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones más importantes de los condensadores es la de corregir el factor de potencia del circuito al que estén conectados, dicha corrección se puede explicar considerando el circuito de la figura 3.1.

a) Patrón de flujo de los componentes de corriente reactiva



b) Cuando $I_C = I_L$, la batería de condensadores suministra toda la potencia reactiva



c) Con la corriente de carga añadida al caso (b)

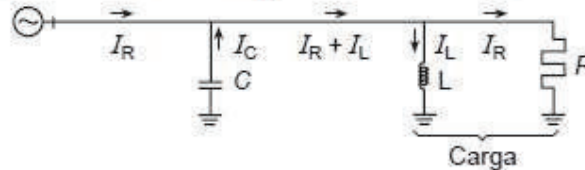


Figura 3.1. Características esenciales de la corrección del factor de potencia [6].

Dónde:

I_L : Corriente reactiva de carga.

I_C : Corriente capacitiva de carga.

R: Elementos de potencia activa de la carga.

L: Elementos de potencia reactiva (inductiva) de la carga.

C: Elementos de potencia reactiva (capacitiva) del equipo de corrección del factor de potencia.

Una carga inductiva con un bajo factor de potencia hace que los generadores y los sistemas de transmisión/distribución entreguen la corriente reactiva con pérdidas de energía asociadas y caídas de voltaje. Si se añade a la carga un banco de condensadores, su corriente reactiva (capacitiva) recorrerá la misma trayectoria a través del sistema de alimentación que la de la corriente reactiva de carga.

Como esta corriente capacitiva está en oposición de fase directa a la corriente reactiva de carga, los dos componentes que fluyen a través de la misma trayectoria se anularán mutuamente, de tal forma que si el banco de condensadores es suficientemente grande e I_C es igual a I_L , no habrá flujo de corriente reactiva en el sistema aguas arriba de los condensadores.

Es decir, si añadimos a la instalación una batería de condensadores con una potencia reactiva igual o mayor que la demandada por la instalación, aguas arriba de la batería de condensadores no habrá demanda de energía reactiva. Esto se observa en la Figura 3.1 (a) y (b).

En el diagrama (c) de la Figura 3.1, se ha añadido el componente de corriente de potencia activa y se indica que la carga tiene en el sistema de alimentación un factor de potencia de 1.

3.1.1 APLICACIÓN DE LOS CAPACITORES

La aplicación característica de los capacitores es reducir la corriente del sistema y elevar el voltaje del mismo. No se debe pasar por alto que los KVAR que fluyen a través del sistema causan pérdidas, como se indica en la ecuación 3.1:

$$p = R * I^2 = R * \left(\frac{Q^2 + P^2}{E^2} \right) \quad \text{Ec 3.1}$$

Dónde:

p : son las pérdidas en el sistema.

I^2 : es el cuadrado de la corriente que circula por el sistema.

R : es la resistencia del sistema.

E^2 : es el cuadrado del voltaje aplicado al sistema.

Q^2 : es el cuadrado de la potencia reactiva del sistema.

P^2 : es el cuadrado de la potencia activa del sistema.

Si los KVAR demandados por la carga se suministran en dicho punto, esto implica que las pérdidas se reducen, ver ecuación 3.2.

$$p = R * I^2 = R * \left(\frac{P^2}{E^2} \right) \quad \text{Ec 3.2}$$

Dónde:

p : son las pérdidas en el sistema

I^2 : es el cuadrado de la corriente que circula por el sistema

R : es la resistencia del sistema

E^2 : es el cuadrado del voltaje aplicado al sistema

P^2 : es el cuadrado de la potencia activa del sistema

3.1.2 PRINCIPIO DE COMPENSACIÓN

La potencia aparente en (KVA) en un circuito de corriente alterna es la suma fasorial de la potencia útil y la potencia reactiva. El coseno del ángulo de fase entre los KVA y los KW representan el factor de potencia de la carga, el cual se muestra en el diagrama fasorial de la figura 3.2.

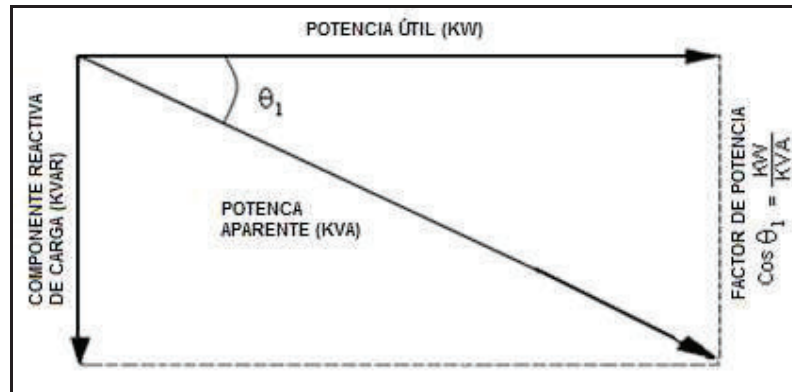


Figura 3.2. Diagrama fasorial con un factor potencia en retraso [2]

El mejoramiento del factor de potencia puede ser obtenido por variación de potencia reactiva en oposición de fase a la de la carga, el cual se muestra en el diagrama de la figura 3.3.

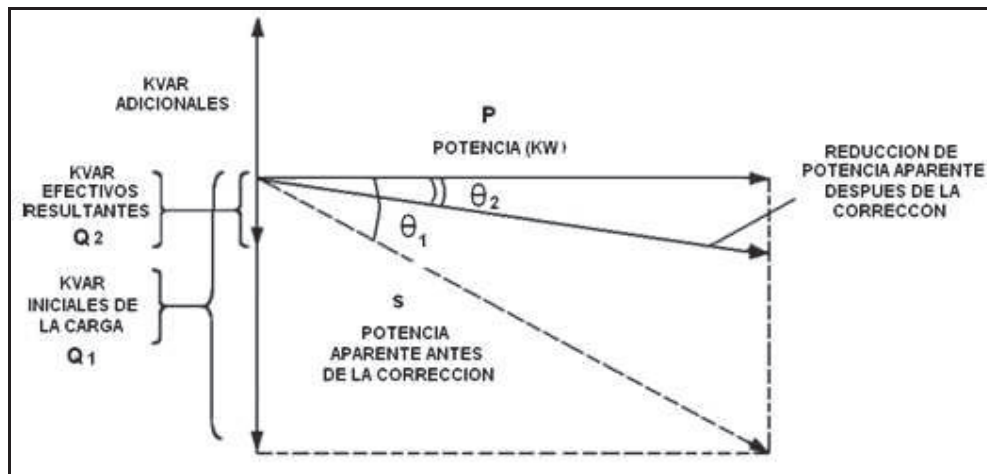


Figura 3.3. Corrección del factor de potencia por adición de potencia reactiva en oposición de fase [2].

Dónde:

θ_1 : Ángulo de desfase.

θ_2 : Ángulo reducido de desfase.

S: Potencia Aparente.

Q1: Potencia reactiva inicial.

Q2: Potencia efectiva resultante.

3.2 ASPECTOS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO

Para el diseño hay que tomar en cuenta los factores que afectan tanto el diseño mismo, como la vida útil de un condensador. La eficacia del aislamiento de un condensador puede desaparecer en un momento dado, y entonces se produce una chispa seguida por un arco que deteriora el aislamiento. Una vez producido el arco, el condensador permite una intensidad de conducción tan elevada entre electrodos que anula la propiedad del condensador de almacenar energía. El tiempo que normalmente transcurre hasta que se produzca la falla del aislamiento se denomina vida probable del condensador [6].

3.2.1 VOLTAJE Y TEMPERATURA

El voltaje aplicado y la temperatura son los factores principales que afectan el diseño y la vida de un condensador, estos a su vez deben considerarse juntos porque son variables que dependen uno del otro. Por ejemplo, si un condensador opera indefinidamente con un sobre voltaje del 10% sobre el nominal, puede reducirse la vida del condensador ya sea debido al sobre voltaje como también al aumento de la temperatura producida por la operación del condensador en esas condiciones. Es por esto que en los condensadores pequeños el dieléctrico puede operar a un voltaje mayor con respecto a los grandes debido a que las pérdidas en el dieléctrico que se transforman en calor, pueden disiparse mejor. Por esta razón los condensadores para bajo voltaje, tales como las unidades para 230 V, necesitan de un dieléctrico de mayor espesor que el requerido solamente por el voltaje aplicado. [7].

Todos los condensadores para aplicación en sistemas de potencia, son diseñados para una temperatura ambiente de 40° C, aunque los que son destinados para servicio a la intemperie pueden operar a una temperatura ambiente de 50°C.

3.2.2 PÉRDIDAS EN EL CONDENSADOR

Las pérdidas de un condensador están íntimamente ligadas con el voltaje y la temperatura los cuales fueron temas ya discutidos. Realmente estas pérdidas en vatios son muy pequeñas pero muy importantes en la vida útil de un condensador por tres razones principales:

- ✦ Una alta diferencia de potencial en el dieléctrico requiere que las pérdidas y el calor resultante tengan un valor “bajo” para evitar el deterioro del dieléctrico.
- ✦ Los condensadores, con excepción de los que se conmutan automáticamente, operan continuamente a plena carga.
- ✦ Debido a la construcción misma del condensador, mientras se desee un diseño práctico y económico, no se permitirá una rápida disipación del calor desde el interior de las bobinas del papel empleado como dieléctrico hacia el medio ambiente externo. Por consiguiente, los condensadores operan con una temperatura cercana al límite de la temperatura de estabilidad del dieléctrico.

Las pérdidas en el condensador se deben principalmente a las siguientes causas:

- ✦ Pérdida en el dieléctrico.
- ✦ Pérdida en la resistencia de descarga.
- ✦ Pérdida debida al flujo de corriente a través de los conductores y dieléctrico.

De todas estas, la primera es la más importante porque constituye más del 97% de la pérdida total en el condensador, esta pérdida es muy alta y su valor depende de la calidad del dieléctrico.

En aplicaciones de corriente alterna es normal considerar todas las pérdidas de potencia en el condensador en un solo grupo ya que todos originan un desplazamiento del vector corriente, el cual queda a menos de 90° con

respecto al vector del voltaje aplicado, la pérdida de potencia está dada por la ecuación 3.3 [2] [1]:

$$P = V * I * \text{Cos}\theta \quad \text{Ec 3.3}$$

Dónde:

P : es la potencia activa real.

V : es el voltaje aplicado.

I : es la corriente aplicada.

θ : es el ángulo de fase entre la corriente y el voltaje.

$\text{Cos}\theta$: es el factor de potencia del condensador.

3.3 MÉTODOS DE CÁLCULO

3.3.1 MÉTODO NUMÉRICO DE CÁLCULO

Este es uno de los métodos más sencillos, se procede a resolverlo de la siguiente manera:

Para la resolución del problema se emplea como ayuda el gráfico que se muestra en la figura 3.4, teniendo en cuenta que el factor de potencia total de un grupo de cargas de 70 KW es de 84.8 por ciento, y que el factor de potencia deseado y determinado por la tarifa es de 0.92.

A una escala conveniente, se traza una línea horizontal que represente 70 KW (línea OA, figura 3.4). A partir del punto "A", trazar una línea vertical. Desde el punto O, trazar una línea a un ángulo θ_2 con la línea OA, hasta el punto B. El coseno del ángulo θ_2 es 0.848, o sea un factor de potencia de aproximadamente 84.8 por ciento. Este es el factor de potencia total existente. La línea AB representa la carga de 70 KVAR demandados de la línea de alimentación. Desde el punto O trazar la línea OC a un ángulo θ_1 con la línea OA. El coseno del ángulo θ_1 es 0.92 y corresponde al factor de potencia deseado de 92 por ciento.

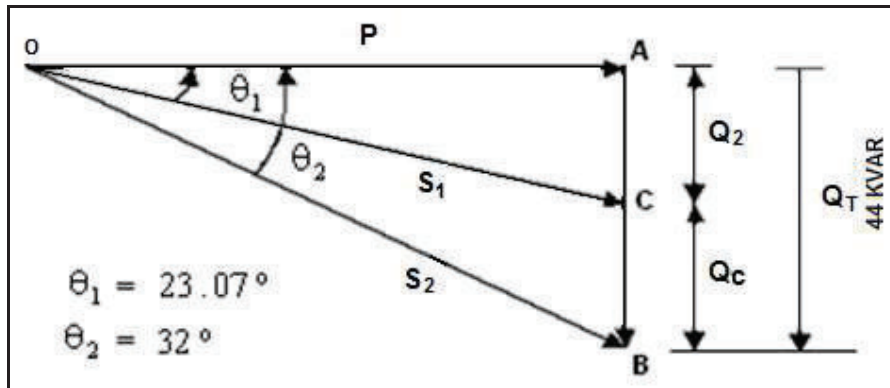


Figura 3.4. Representación gráfica de la compensación del factor de potencia.

Dónde:

Q_T : es la demanda de reactivos.

Q_C : es el suministro de reactivos del capacitor de compensación.

S_1 : potencia aparente correspondiente a Q_2 .

S_2 : potencia aparente correspondiente a Q_T .

La compensación de reactivos no afecta el consumo de potencia activa, por lo que P es constante.

Como efecto del empleo de los capacitores, el valor del ángulo θ_2 se reduce a θ_1 , del mismo modo la potencia aparente S_2 también disminuye tomando el valor de S_1 .

Finalmente, al disminuir la demanda de reactivos se incrementa el factor de potencia ($\text{Cos}\theta_1 > \text{Cos}\theta_2$).

3.3.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL CAPACITOR

Haciendo uso de las ecuaciones 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, se realiza el cálculo para el banco de capacitores:

$$\text{Cos}\theta_2 = \frac{P}{S_2} \quad \text{Ec 3.4}$$

Dónde:

P : es la potencia activa real.

S_2 : es la potencia aparente.

$\text{Cos}\theta_2$: es el factor de potencia del condensador.

Despejando S_2 tenemos que:

$$S_2 = \frac{P}{\text{Cos}\theta_2} \quad \text{Ec 3.5}$$

Dónde:

P : es la potencia activa real.

S_2 : es la potencia aparente.

$\text{Cos}\theta_2$: es el factor de potencia del condensador.

$$Q_T = \sqrt{(S_2^2 - P^2)} \quad \text{Ec 3.6}$$

Dónde:

P^2 : es el cuadrado de la potencia activa real.

S_2^2 : es el cuadrado la potencia aparente.

Q_T : es la demanda de reactivos.

Del triángulo de potencias se tiene:

$$\text{Tan}\theta_1 = \frac{Q_2}{P} \quad \text{Ec 3.7}$$

Dónde:

P : es la potencia activa real.

Q_2 : es la nueva potencia reactiva cuando se reduce θ_2 .

θ_1 : es el ángulo de desfase reducido.

Despejando Q_2 tenemos que:

$$Q_2 = P * \tan \theta_1 \quad \text{Ec 3.8}$$

Dónde:

P : es la potencia activa real.

Q_2 : es la nueva potencia reactiva cuando se reduce θ_2 .

θ_1 : es el ángulo de desfase reducido.

De donde la potencia reactiva del capacitor es:

$$Q_C = Q_T - Q_2 \quad \text{Ec 3.9}$$

Dónde:

Q_C : es el suministro de reactivos del capacitor de compensación.

Q_T : es la demanda de reactivos.

Q_2 : es la nueva potencia reactiva cuando se reduce θ_2 .

EJEMPLO: Utilizando las ecuaciones anteriores y datos tales como:

$$\cos \theta_2 = 0.848$$

$$\cos \theta_1 = 0.92$$

$$P = 70\text{KW}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{S_2} \Rightarrow S_2 = \frac{P}{\cos \theta_2}$$

$$S_2 = \frac{70\text{W}}{0.848} = 82.55\text{KVA}$$

$$Q_T = \sqrt{(S_2^2 - P^2)} \Rightarrow Q_T = \sqrt{(82,55^2 - 70^2)}$$

$$Q_T = 43,75 \text{ KVAR} \approx 44 \text{ KVAR}$$

$$Q_2 = P * \tan \theta_1 \Rightarrow Q_2 = 70\text{KW} * \tan 23.1^\circ$$

$$Q_2 = 29.86\text{KVAR} \approx 30\text{KVAR}$$

$$Q_C = Q_T - Q_2$$

$$Q_C = 44 - 30 = 14\text{KVAR}$$

Por tanto se necesita un banco de condensadores de 14 KVAR o también uno

de 15 KVAR ya que en el mercado es más factible encontrar condensadores que sumados nos den este valor y no el de 14 KVAR.

3.3.3 MÉTODO A BASE DE TABLAS PARA EL CÁLCULO

Otro método de fácil comprensión que emplea el uso de tablas que incluyen un factor multiplicador de KW. Con los valores obtenidos en estas tablas se puede determinar los KVAR necesarios en un capacitor para lograr la corrección deseada del factor de potencia. Los valores de la tabla 3.1, están basados en la relación del triángulo rectángulo que se encuentra representado en la figura 3.5:

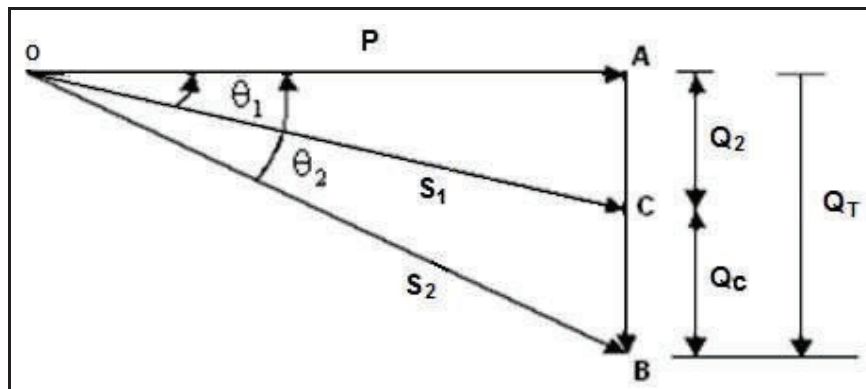


Figura 3.5. Representación gráfica de la compensación del factor de potencia.

Dónde:

Q_T : es la demanda de reactivos.

Q_C : es el suministro de reactivos del capacitor de compensación.

S_1 : potencia aparente correspondiente a Q_2 .

S_2 : potencia aparente correspondiente a Q_T .

$$\text{Cos}\theta = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}} \quad \text{Ec 3.10}$$

Dónde:

$\text{Cos}\theta$: es el factor de potencia.

KW : es la potencia útil.

KVA : es la potencia aparente.

$$\text{Sen}\theta = \frac{\text{KVAR}}{\text{KVA}} \quad \text{Ec 3.11}$$

Dónde:

KVAR : es la potencia reactiva.

KVA : es la potencia aparente.

$$\text{Tan}\theta = \frac{\text{KVAR}}{\text{KW}} \quad \text{Ec 3.12}$$

Dónde:

KW : es la potencia útil.

KVAR : es la potencia reactiva.

Generalmente la componente de la potencia activa es constante y la potencia aparente y reactiva varían con el factor de potencia, se emplea la fórmula expresada de la siguiente manera. [2]:

$$\text{KVAR} = \text{KW} * \text{Tan}\theta \quad \text{Ec 3.13}$$

Dónde:

KVAR: es la potencia reactiva.

KW: es la potencia útil.

De la ecuación 3.13 se obtiene los KVAR del factor de potencia original $\text{Cos}\theta_2$ y del factor de potencia deseado $\text{Cos}\theta_1$, los cuales se expresan de la siguiente manera:

$$\text{KVAR}(\text{F.P. original}) = \text{KW} * \text{Tan}\theta_2$$

$$\text{KVAR}(\text{F.P. deseado}) = \text{KW} * \text{Tan}\theta_1 \quad [2]$$

La capacidad necesaria del capacitor para mejorar el factor de potencia al valor deseado es la diferencia de estos dos valores y esta expresada por la ecuación 3.14 [2]:

$$\text{KVAR}(\text{capacitor}) = \text{KW} * \Delta \text{Tan} \Rightarrow Q_c = P * (\text{Tan}\theta_2 - \text{Tan}\theta_1)$$

Ec 3.14

Dónde:

KVAR: es la potencia reactiva del banco de capacitares.

KW: es la potencia útil.

ΔTan : es la variación de la tangente del ángulo θ ($\text{Tan}\theta_2 - \text{Tan}\theta_1$).

La tabla 3.1 muestra los valores especificados para el mejoramiento del factor de potencia.

Factor K (kvar/kW)													
cos ϕ inicial	cos ϕ final												
	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.80	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.81	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.82	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.83	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.84	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.85	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.86	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.87	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.88	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.89	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.90	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.91	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.92	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.93	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.94	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.95	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.96	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.97	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.98	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.99	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
1.00		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

Tabla 3.1. Coeficientes para determinar la potencia reactiva necesaria [2] [5]

Dónde:

cos ϕ inicial: factor de potencia existente.

cos ϕ final: factor de potencia deseado.

($\text{Tan}\theta_2 - \text{Tan}\theta_1$): factor K.

Por facilidad el término $(\text{Tan}\theta_2 - \text{Tan}\theta_1)$ se sustituye por la constante "K" la cual se representa en la tabla 3.1 para diferentes valores de factor de potencia [2] [5], si sustituimos K en la ecuación 3.14 se obtiene:

$$Q_C = P * K \quad \text{Ec 3.15}$$

Dónde:

Q_C : es la potencia reactiva (KVAR).

P: es la potencia activa (KW).

K: es una constante que sustituye al término $(\text{Tan}\theta_1 - \text{Tan}\theta_2)$.

Tomando en cuenta estos aspectos se realiza el siguiente procedimiento utilizando los datos del ejemplo correspondiente a la sección 3.3.2:

- ✱ Teniendo en cuenta los valores de la potencia activa y los factores de potencia inicial y deseado.
- ✱ Localice el factor de potencia inicial 0.84.
- ✱ Localice el factor de potencia deseado 0.92.
- ✱ Con estos dos valores anteriores ubicamos en la tabla 3.1 el valor de K.
- ✱ $K = 0.220$.
- ✱ Determine la potencia reactiva en KVAR.

$$Q_C = P * K$$

$$Q_C = 70 * 0.220 = 15.4\text{KVAR} \approx 15\text{KVAR}$$

3.3.4 MÉTODO GRÁFICO PARA EL CÁLCULO DEL CAPACITOR

A este método se lo conoce como Nomogramas y permite determinar valores desconocidos, con este método se examinan las relaciones entre los KW y KVAR de las cargas a varios valores de factor de potencia como se indica en la figura 3.8. [2].

Ejemplo:

KW	Factor de potencia	KVAR
70	0.848	42
70	0.92	28
	Diferencia	14

Este ejemplo hace referencia a los siguientes datos: potencia activa de 70 KW un factor de potencia inicial de 0.848 y un factor de potencia deseado de 0.92, con estos datos se puede obtener sus potencias reactivas respectivamente para luego realizar una diferencia entre estos dos valores, obteniendo como resultado un valor aproximado del capacitor a utilizarse en dicho banco de condensadores. Por lo tanto, se requiere un banco de capacitores aproximadamente de 14 KVAR.

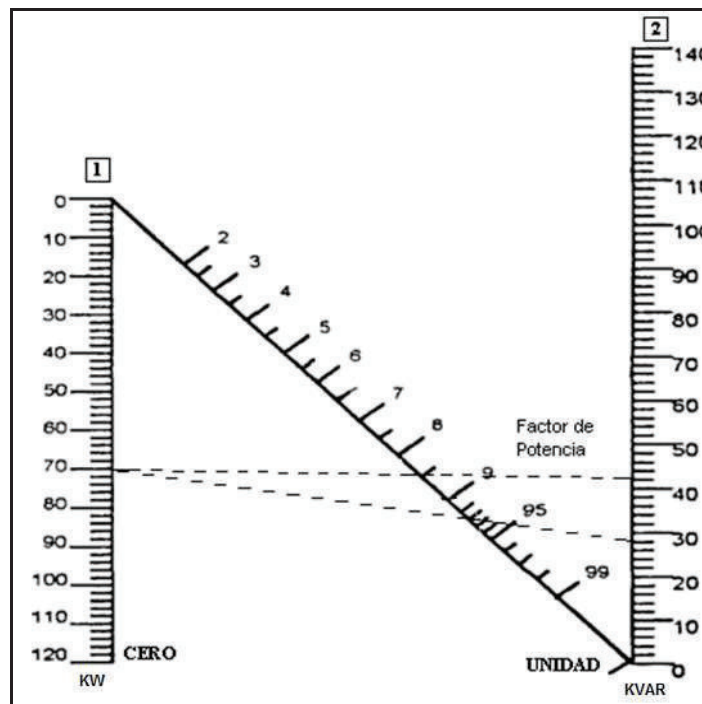


Figura 3.6. Nomograma que proporciona la relación entre los KW y los KVAR para varios valores de factor de potencia [5].

Dónde:

Columna 1: representa los KW.

Columna 2: representa los KVAR.

3.3.5 CÁLCULO DE LAS CORRIENTES

Tomando en cuenta que la potencia reactiva en un sistema trifásico está representada por la ecuación 3.16, tenemos:

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \text{Sen } \theta \quad \text{Ec 3.16}$$

Dónde:

Q : es la potencia reactiva de un capacitor.

V : es el voltaje al cual va a ser sometido el capacitor.

I : es la corriente que va a circular por el capacitor.

$\sqrt{3}$: es una constante para circuitos trifásicos.

Sen θ : función que está basada en el triángulo de potencia.

Si Sen $\theta = 1$ se despeja I se tiene que:

$$I = \frac{Q}{V * \sqrt{3}} \quad \text{Ec 3.17}$$

Utilizando la ecuación 3.17 se calcula I para una potencia reactiva de 5KVAR para conformar un banco de capacitores de 15 KVAR:

$$I = \frac{5000}{220 * \sqrt{3}} = 13.12 \text{ A}$$

5000: es la potencia reactiva de cada capacitor.

220V: es el voltaje al cual va a ser sometido el capacitor.

Por lo tanto se necesitan tres condensadores de 5KVAR/220v/13A para el banco de condensadores.

3.3.6 CÁLCULO DE LOS FUSIBLES

Si consideramos que la carga total de cualquier dispositivo de sobrecorriente no debe exceder del 80% de su capacidad nominal cuando, en operación normal, la carga opera en forma continua por tres horas o más. Esto es:

$$I_F = 13.12 * 1.25 = 16.68 \text{ A} \approx 17 \text{ A}$$

3.3.7 CÁLCULO DE LOS BREAKERS

Para el cálculo de estos dispositivos se toma en cuenta el empleo de la ecuación 3.17:

$$I = \frac{Q}{V * \sqrt{3}}$$

Por lo tanto los breakers que corresponden para cada condensador de 5 KVAR serán:

$$I = \frac{5000}{220 * \sqrt{3}} = 13.12 \text{ A}$$

No obstante se multiplica la corriente obtenida por 1.25 para dimensionar esta protección:

$$I = 13.12 * 1.25 = 16.68 \text{ A}$$

Tomando en cuenta este valor obtenido se selecciona un breaker de 20A para cada condensador ya que este es un valor que se encuentra en el mercado. El breaker principal el cual va proteger a todo el banco de condensadores será de 60A ya que es la suma de los tres breaker ya determinados, es decir:

- ✘ Un breaker principal de 60A
- ✘ Tres breakers secundarios de 20^a

3.3.8 CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Para obtener el valor del transformador de corriente es necesario tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$S_2 = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

Ec 3.18

Dónde:

S_2 : es la potencia aparente.

I_L : es la corriente de línea

V_L : es el voltaje de línea

$\sqrt{3}$: es una constante para circuitos trifásicos

El valor de S_2 corresponde a relación entre la potencia activa de 70 KW y el

$\text{Cos } \theta_2$ es el factor de potencia existente, es decir:

$$S_2 = \frac{P}{\text{Cos } \theta_2} = \frac{70 \text{ KW}}{0.848} = 82.55 \text{ KVA}$$

Despejando I_L de la ecuación 3.18 se tiene que:

$$I_L = \frac{S_2}{\sqrt{3} * V_L} = \frac{82.55 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V}} = 216.63 \text{ A}$$

$$T_c = \frac{216.63 \text{ A}}{5} = 43.32 \text{ A} \Rightarrow T_c = 43 \text{ A}$$

Dónde:

T_c : es el transformador de corriente.

Por lo tanto se obtiene un transformador de corriente cuyo valor sería de 43 amperios pero se selecciona uno de 50 amperios ya que en el mercado no se encuentra uno de 43 amperios, por lo tanto se tiene:

$$T_c = \frac{50}{5} \text{ A}$$

3.4 SELECCIÓN DE CONTACTORES PARA LOS CONDENSADORES DE REFASAMIENTO

3.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

El contactor en la transición de cierre se enfrenta a corrientes caracterizadas por elevadas frecuencias y elevadas amplitudes. Las frecuencias de estas corrientes van desde 1 a 10 KHZ. En lo que respecta las amplitudes se debe evaluar y eventualmente reducirlas a un valor inferior al de corriente de cresta máxima admisible por el contactor empleado, como se indica la tabla 3.2 [12].

Contacto	Corriente nominal	Corriente de cresta máxima admisible	Voltaje máximo de empleo	Fusible	Potencia máxima de empleo en los voltajes			
					220 V 230 V 240 V	380 V 400 V	415 V 440 V	500 V 660/690V
Tipo	[A]	[A]	[V]	[A]	[KVAR]	[KVAR]	[KVAR]	[KVAR]
BF9	12	500	660	16	4.5	8	9	10
BF12	16	550	660	25	6	11	12	14
BF16	16	550	660	25	6	11	12	14
BF20	22	1000	660	32	9	15	16	18
BF25	30	1400	660	40	11	20	22	22
BF32	38	1700	660	50	14	25	27	30
BF38	42	1900	660	63	16	28	30	34
BF50	60	2500	660	80	23	40	44	50
BF65	70	2700	660	100	26	45	50	56
BF80	90	3000	660	125	34	60	65	70
BF95	90	3000	660	125	34	60	65	70
BF115	130	3200	1000	200	50	87	93	115
BF145	150	3400	1000	200	57	100	108	130
BF180	170	3600	1000	250	65	112	122	150
BF250	240	5100	1000	315	91	172	172	210

Tabla 3.2. Selección del tipo de contactor [12] [13]

Los factores que determinan el tipo de contactor que requiere cada uno de los capacitores para el mejoramiento del factor de potencia están dados en la Tabla 3.2, la cual proporciona de una forma directa el tipo de contactor y las características de utilización de éste.

Contacto	Corriente nominal	Corriente de cresta máxima admisible	Fusible	Resistencias limitadoras		Potencia máxima de empleo en los voltajes			
						220 V 230 V 240 V	380 V 400 V	415 V 440 V	500 V 660/690V
Tipo	[A]	[A]	[A]	[Ω]	[W]	[KVAR]	[KVAR]	[KVAR]	[KVAR]
BF9.4A	12	4800	16	1	10	4.5	8	9	10
BF12.4 A	16	4800	25	1	10	6	11	12	14
BF25.4 A	30	4800	40	1	10	11	20	22	22
BF38.4 A	42	4800	63	1	10	16	28	30	34
BF65.4 A	70	4800	100	1	10	26	45	50	56
BF80.4 A	90	4800	125	1	10	34	60	65	70

Tabla 3.3. Selección del contactor [12] [13]

Tanto en la tabla 3.3 como en la 3.2, utilizando los datos de potencia y voltaje que se encuentran en las mismas se determina el tipo de contactor y se encuentra las especificaciones de los mismos. En el Anexo 3 se presentan ciertas tablas que permiten dimensionar y obtener las especificaciones de los contactores.

3.5 SELECCIÓN DEL ARMARIO PARA EL BANCO DE CONDENSADORES

3.5.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para la selección de un armario o gabinete de acero, se debe tomar en cuenta las medidas y la ubicación de todos los elementos que van a integrar este gabinete, así como también la facilidad para ubicar los elementos con su respectivo cableado, y el amperaje y voltaje al que va a ser sometido dicho gabinete. Tomando en cuenta estos aspectos se seleccionó un gabinete cuyas medidas se indican en la tabla 3.4.

ALTURA (mm) H	PROFUNDIDAD (mm) D	ANCHO (mm) W
110	30	50

Tabla 3.4. Medidas del Armario

La figura 3.9 es la representación gráfica que ilustra de mejor manera las medidas utilizadas y la forma del armario.

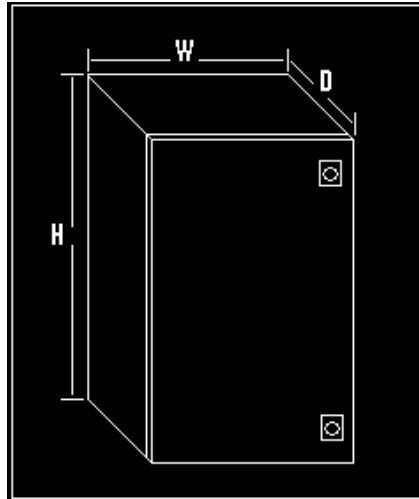


Figura 3.7. Estructura del gabinete para distribuir de forma segura los elementos electromecánicos.

Dónde:

H: Representa la altura del gabinete.

W: Representa el ancho del gabinete.

D: Representa la profundidad del gabinete.

3.6 SELECCIÓN DE BARRAS CONDUCTORAS

3.6.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

Se seleccionan barras de cobre electrolítico de 15.0 x 3.0 mm ya que estas tienen menor capacidad de corriente y son suficiente para energizar a los otros elementos. Para lograr una ubicación segura de los elementos y mejorar la distribución del cableado de los circuitos, se emplean barras conductoras. En tabla 3.5 se indican las medidas generales de barras sometidas a diferente amperaje [7].

CARGABILIDAD DE BARRAS EN AMPERIOS				
MEDIDA mm	SIN PINTAR		PINTADAS	
	1 Barra	2 Barras	1 Barra	2 Barras
15.0 x 3.0	170	300	185	330
20.0 x 3.0	220	380	245	425
30.0 x 3.0	315	540	355	610
25.0 x 5.0	350	600	395	670
30.0 x 5.0	400	700	450	780
40.0 x 3.0	420	710	480	790
40.0 x 5.0	520	900	600	1000
30.0 x 10.0	570	980	670	1200
50.0 x 5.0	630	1100	720	1220
60.0 x 5.0	760	1250	850	1430
40.0 x 10.0	760	1350	850	1500
50.0 x 10.0	920	1600	1030	1800
80.0 x 5.0	970	1700	1070	1900
60.0 x 10.0	1060	1900	1200	2100
100.0 x 5.0	1200	2050	1350	2300
80.0 x 10.0	1380	2300	1560	2500
100.0 x 10.0	1700	2800	1880	3100
3.2 x 12.7	153	200	171	278
3.2 x 25.4	270	459	302	491
3.2 x 38.1	385	654	431	701
3.2 x 50.8	495	842	554	901

Tabla 3.5. Medidas de barras de cobre electrolítico [7] [8]

3.7 SELECCIÓN DE CONDUCTORES

3.7.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

Gracias a todos los cálculos realizados anteriormente se puede seleccionar los calibres de los conductores. Ver tabla 3.6.

ALAMBRES Y CABLES DE COBRE TIPO THHN Y TFN 600 V - 90°C					
CALIBRE AWG O MCM	#	HILOS	SECCIÓN APROXIMADA mm	CAPACIDAD	
				Amp *	Amp**
18	1		0.82	14	18
16	1		1.31	18	24
14	1		2.08	25	35
12	1		3.31	30	40
10	1		5.26	40	55
8	1		8.37	55	80
6	7		13.3	75	105
4	7		21.12	95	140
2	7		33.54	130	190
1/0	19		53.52	170	260
2/0	19		67.35	195	300
3/0	19		84.91	225	350
4/0	19		107.4	260	405
250	37		126.4	290	455
300	37		151.9	320	505

Tabla 3.6. Calibre de cables y alambres [7] [8]

3.8 DISTANCIAS DE MONTAJE ENTRE DISPOSITIVOS

3.8.1 DISTANCIAS DE SEGURIDAD Y DISTANCIAS MÍNIMAS

Cuando se instala un interruptor, la distancia mínima (distancia de seguridad) debe ser mantenida entre los equipos y paneles, barras y otros elementos de protección instalados cerca. Estas distancias, de las cuales depende la capacidad de ruptura, están definidas mediante un test llevado en concordancia con el estándar IEC60947-2. Si la conformidad con la instalación no es chequeada por el test, es necesario [12]:

- ✱ El uso de barras aisladas para las conexiones del interruptor.
- ✱ El bloqueo de las barras de conexión mediante el uso de pantallas aislantes.

Las terminales de protección, barreras inter-fase o aislantes son recomendadas por los propios fabricantes y pueden ser obligatoriamente dependientes del voltaje de utilización y del tipo de instalación. La figura 3.10 representa gráficamente la distancia mínima (distancia de seguridad) que debe ser mantenida entre los elementos electromecánicos, es decir que la distancia entre interruptores adyacentes debe ser cero.

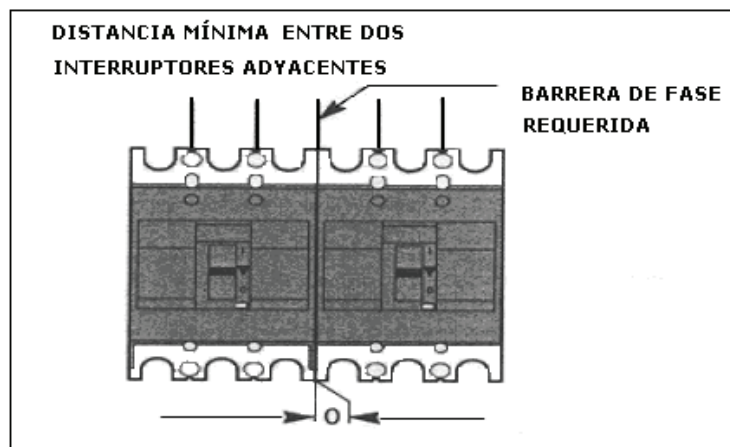


Figura 3.8. Distancia mínima entre dos interruptores adyacentes [8]

La figura 3.11 indica la distancia mínima que debe ser mantenida entre los interruptores y los paneles instalados a su alrededor.

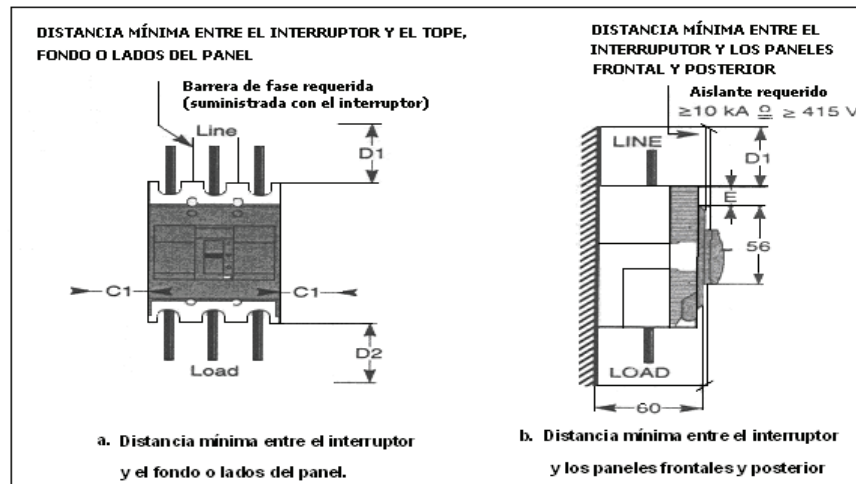


Figura 3.9. Distancia mínima entre el interruptor y los paneles [8]

Una vez seleccionado todos los elementos que conformaran el tablero de control se procede a realizar el montaje de cada uno de ellos, ver figura 3.10.



Figura 3.10. Montaje de elementos

CAPÍTULO 4

PRUEBAS REALIZADAS

4.1 INTRODUCCIÓN

Para poder realizar las pruebas necesarias que permitan obtener los resultados esperados de este proyecto de investigación, fue necesario buscar un lugar donde exista carga suficiente que permita la conclusión del proyecto. La Metal Mecánica San Bartolo posee cargas necesarias como para poder realizar dichas pruebas las cuales se describen a continuación, así como también se detalla las condiciones actuales de las instalaciones de ésta Metal Mecánica.

4.2 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL SISTEMA

Actualmente Metal Mecánica San Bartolo tiene un banco de condensadores automático de 10 KVAR, el cual está activado por el módulo DCRA 5, así también presenta un banco fijo de 15 KVAR; ambos bancos están representados con mayor detalle en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente:

BANCO AUTOMÁTICO		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Condensadores	2	5 KVAR/230V/12.6A/60Hz
Transformador de corriente	1	100/5 A
Contactores con kit	2	BF12/AC1/220V/24A/G448
Fusibles	3	RT14-20/500V-100KA/Gg2A
Módulo automático	1	31 DCRA 5 60Hz
Breaker	1	50A/3P/220V
	2	30A/3P/220V

Tabla 4.1. Banco Automático de compensación

BANCO FIJO		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Condensadores	3	5 KVAR/230V/12.6A/60Hz
Breaker	1	60A/3P/220V

Tabla 4.2. Banco Fijo de compensación

4.2.1 ESTUDIOS REALIZADOS

Para determinar la potencia reactiva capacitiva requerida, es necesario conocer las variaciones de la carga y su factor de potencia en el lado del secundario de cada uno de los sistemas de transformación existentes y en el sistema primario, para luego proceder a los cálculos de los KVAR requeridos para la corrección. Para la obtención de estos datos es necesario el empleo de un analizador industrial, el cual facilitará la obtención de dichos datos así como su tabulación.



Figura 4.1. Montaje de analizador industrial MICROVIP3

Por lo general las mediciones se realizan periódicamente pero para este caso se tomaron datos referenciales. Los valores obtenidos se pueden emplear como referencia para analizar los requerimientos en los sistemas eléctricos.

Antes de instalar el analizador industrial, se visualizó en la pantalla del módulo DCRA un bajo factor de potencia, el cual no llegaba a 0.92 y más bien éste permanecía la mayor parte del tiempo alarmado en carga capacitiva. De acuerdo a esta información se procede a la toma de datos de placa de la mayoría de maquinarias presentes en el lugar para de esta manera poder obtener los datos requeridos en el dimensionamiento del banco a utilizarse.

Estos datos dieron como resultado una carga de 350 HP aproximadamente; para corregir esta carga se necesitaría un banco de condensadores de 76 KVAR, lo que implica que los bancos instalados actualmente compensarían solamente una carga de 115 HP aproximadamente. No obstante la compensación individual para cada banco se indica en las tablas 4.3 y 4.4 respectivamente, así como también para la compensación combinada de los dos bancos, la cual está representada en la tabla 4.5.

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 70 HP							
1	52.22	0.85	32.36	61.44	220.00	161.23	15.20
2	52.22	0.92	22.25	56.76	220.00	148.96	
3	52.22	0.93	20.64	56.15	220.00	147.36	
4	52.22	0.94	18.95	55.55	220.00	145.79	
5	52.22	0.95	17.16	54.97	220.00	144.26	

Tabla 4.3. Datos del banco fijo de 15KVAR para una carga de 70HP

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 46 HP							
1	34.32	0.85	21.27	40.37	220.00	105.95	9.99
2	34.32	0.92	14.62	37.30	220.00	97.89	
3	34.32	0.93	13.56	36.90	220.00	96.84	
4	34.32	0.94	12.46	36.51	22000	95.81	
5	34.32	0.95	11.28	36.12	220.00	94.80	

Tabla 4.4. Datos del banco automático de 10KVAR para una carga de 46HP

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 115 HP							
1	85.79	0.85	53.17	100.93	220.00	264.88	24.97
2	85.79	0.92	36.55	93.25	220.00	244.72	
3	85.79	0.93	33.91	92.25	220.00	242.09	
4	85.79	0.94	31.14	91.27	220.00	239.52	
5	85.79	0.95	28.20	90.31	220.00	237.00	

Tabla 4.5. Datos relacionados al banco de capacitores total existente

Tomando en cuenta la carga existente, se confirma que los bancos de condensadores no satisfacen la compensación del factor de potencia requerido, más bien se ven limitados a la compensación de ciertos grupos de cargas como se explicó en las tablas anteriormente descritas.

De acuerdo con estos datos, se procede a aumentar la capacidad de compensación del banco total existente a 30 KVAR, lo cual permite corregir el FP de una potencia de 138 HP, estos cálculos se muestran en la tabla 4.6.

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 138 HP							
1	102.95	0.85	63.80	121.12	220.00	317.85	29.96
2	102.95	0.92	43.86	111.90	220.00	293.67	
3	102.95	0.93	40.69	110.70	220.00	290.51	
4	102.95	0.94	37.37	109.52	220.00	287.42	
5	102.95	0.95	33.84	108.37	220.00	284.40	

Tabla 4.6. Datos relacionados al nuevo banco de capacitores

Se debe tomar en cuenta que el banco de 15 KVAR diseñado para el proyecto de tesis, puede corregir una carga aproximada de 70 HP, cuyos datos se indican en tabla 4.7.

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 70 HP							
1	52.22	0.85	32.36	61.44	220.00	161.23	15.20
2	52.22	0.92	22.25	56.76	220.00	148.96	
3	52.22	0.93	20.64	56.15	220.00	147.36	
4	52.22	0.94	18.95	55.55	220.00	145.79	
5	52.22	0.95	17.16	54.97	220.00	144.26	

Tabla 4.7. Datos del banco de capacitores del proyecto

4.2.2 PRUEBAS REALIZADAS

Las mediciones del analizador industrial y el módulo, dan como resultado las siguientes lecturas, dichos valores se representan en la tabla 4.8:

HORA	HZ	LECTURAS				
		ANALIZADOR		MÓDULO		ERROR %
		FP	I	FP	I	
10:49	60	0,59	42.8	0,56	39.3 c	3%
11:02	60	0,37	43.2	0,34	43.7 c	3%
11:22	60	0,48	39.1	0,46	41.1 c	2%
11:42	60	0,58	42.1	0,51	40.5 c	7%
12:02	60	0,52	42.5	0,51	42.1 c	1%
12:22	60	0,28	45.6	0,29	40.2 c	-1%
12:42	60	0	0	0	0	0%
13:02	60	0	0	0	0	0%
13:07	60.1	0,96	12.8	0,96	96.6 i	0%
13:12	60	0,7	33.9	0,69	34.5 c	1%
13:22	60	0,41	39.8	0,38	33.0 c	3%
13:42	60	0,35	41.6	0,31	41.9 c	4%
14:02	60	0,43	31.5	0,5	28.5 c	-7%
14:22	60	0,87	26	0,78	25.1 c	9%
14:42	0	0	0	0	0	0%
15:02	0	0	0	0	0	0%
15:22	0	0	0	0	0	0%
15:42	0	0	0	0	0	0%
16:02	60	0,68	24.5	0,68	23.3 c	0%
16:22	60	0,68	24.8	0,65	28.8 c	3%
PROMEDIO		0,395		0,381		1%

Tabla 4.8. Datos comparativos Módulo – Analizador

Los demás datos tomados del analizador pueden observarse en la sección anexos 4. De los datos obtenidos se establecen ciertas graficas comparativas con el propósito de poder analizar de mejor manera los valores obtenidos tanto con el analizador industrial MICROVIP3 como con el módulo DCRA.

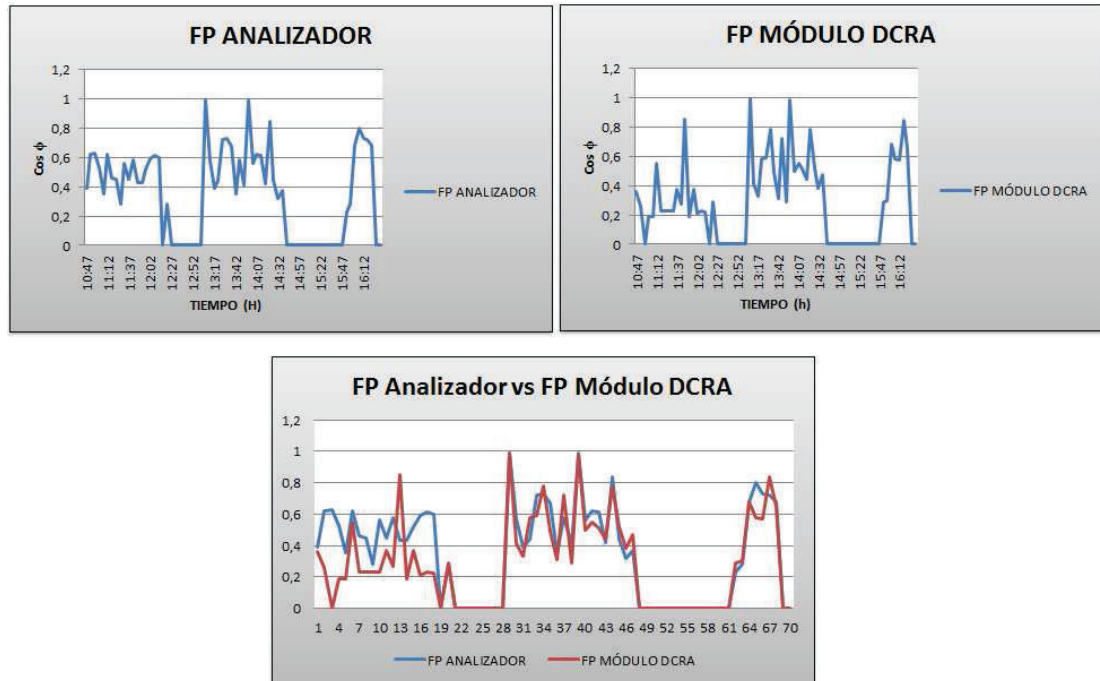


Figura 4.2. Formas de onda del FP vs Tiempo

4.2.3 ANÁLISIS DE PRUEBAS REALIZADAS

Al comparar los datos obtenidos por medio de estas lecturas se puede establecer ciertos aspectos:

- ✚ Debido a la presencia de un banco fijo de 15KVAR que no forma parte del banco automático, el módulo se mantiene alarmado, ya que éste indica que se deben desactivar los pasos de los condensadores. Pero esto no se logra conseguir ya que éste es independiente del banco automático.
- ✚ Cuando entran en funcionamiento cierto grupo de máquinas, los pasos de los condensadores se activan de una manera secuencial correcta; no obstante, cuando la mayor parte de maquinarias entran en

funcionamiento, la compensación del banco no es suficiente incluso con el aporte del banco fijo independiente, lo que hace que no se alcance el factor de potencia requerido.

- ✚ Por la variación de la carga existente en la Metal Mecánica, es necesario que se incluya el banco fijo al automático, e incluso que se realice un estudio detenido del consumo de todas las cargas, para de esta manera poder dimensionar de mejor manera un nuevo banco automático de condensadores.
- ✚ A pesar de que se aumentó 5 KVAR a la combinación de bancos existentes en la Metal Mecánica, no se logró una corrección adecuada del factor de potencia requerido.
- ✚ Según los datos comparativos de la tabla 4.8, se observa que la lectura del factor de potencia obtenida por el módulo DCRA tiene un margen promedio de error de 1% aproximadamente respecto al promedio de las lecturas obtenidas por el analizador industrial MICROVIP3, lo cual nos permite establecer como conclusión que el módulo DCRA es un dispositivo confiable que permite una corrección del factor de potencia adecuado y por consiguiente nos da la seguridad de que el tablero de control automático para la corrección del factor de potencia diseñado para este proyecto si satisface las expectativas u objetivos planteados en esta investigación.

4.3 ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA

De acuerdo al análisis de las pruebas realizadas se puede concluir, que la situación actual de los bancos de condensadores, es limitada para toda la carga, no obstante se puede establecer que es necesario el desarrollo de un estudio de carga que satisfaga la compensación del factor de potencia que evite cualquier penalización.

4.3.1 DATOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA CAPACITIVA

Una vez analizados los datos obtenidos y considerando los valores de los datos de placa de las máquinas, lo cual da una carga aproximada de 350 HP, se puede dimensionar un banco de condensadores, cuyos cálculos serían como se indica en la tabla 4.9:

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 350 HP							
1	261.10	0.85	161.82	307.18	220.00	806.5	76.00
2	261.10	0.92	111.23	283.80	220.00	744.82	
3	261.10	0.93	103.19	280.75	220.00	736.81	
4	261.10	0.94	94.77	277.77	220.00	728.97	
5	261.10	0.95	85.82	274.84	220.00	721.29	

Tabla 4.9. Datos relacionados con la carga total existente

Teóricamente se debería seleccionar un banco de condensadores de 76 KVAR, para satisfacer una demanda de potencia activa de 350 HP, no obstante se deben dimensionar los demás implementos que van a formar parte de este banco.

4.4 MEDIOS DISPONIBLES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

Se puede utilizar una compensación general o a su vez en grupos dependiendo de la frecuencia de uso de cierto grupo de máquinas, así como también se debe tener en cuenta el costo que implicaría la fabricación de los nuevos bancos de condensadores.

4.4.1 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS

Para un dimensionamiento adecuado de un banco de condensadores se deben realizar pruebas con la ayuda de instrumentos tales como el analizador industrial, y por un tiempo mínimo de una semana; lo cual permitirá obtener datos precisos de la carga instalada y con sus diferentes picos en su consumo de energía, que satisfaga la demanda de carga total o parcial, según sean las necesidades.

4.4.2 PROPUESTA PARA LA COMPENSACIÓN REACTIVA CAPACITIVA

Se puede establecer diferentes tipos de combinaciones, en este caso se dispondrá de tres de éstas; las cuales están basadas en datos teóricos.

La tabla 4.10 hace referencia a estos cálculos:

	POTENCIA P (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS PHI)	REACTIVA Q (KVAR)	APARENTE S (KVA)	VOLTAJE V (V)	CORRIENTE I (A)	REACTIVOS Qc (KVAR)
POTENCIA DE CARGA 100 HP							
1	74.60	0.85	46.23	87.76	220.00	230.33	21.71
2	74.60	0.92	31.78	81.09	220.00	212.80	
3	74.60	0.93	29.48	80.22	220.00	210.52	
4	74.60	0.94	27.08	79.36	220.00	208.28	
5	74.60	0.95	24.52	78.53	220.00	206.08	
POTENCIA DE CARGA 200 HP							
1	149.20	0.85	92.47	175.53	220.00	460.66	43.43
2	149.20	0.92	63.56	162.17	220.00	425.61	
3	149.20	0.93	58.97	160.43	220.00	421.03	
4	149.20	0.94	54.15	158.72	220.00	416.55	
5	149.20	0.95	49.04	157.05	220.00	412.17	
POTENCIA DE CARGA 350 HP							
1	261.10	0.85	161.82	307.18	220.00	806.15	76.00
2	261.10	0.92	111.23	283.80	220.00	744.82	
3	261.10	0.93	103.19	280.75	220.00	736.81	
4	261.10	0.94	94.77	277.77	220.00	728.97	
5	261.10	0.95	85.82	274.84	220.00	721.29	

Tabla 4.10. Datos para diferentes combinaciones de cargas

La tabla 4.10 muestra en resumen todos los cálculos necesarios para obtener un banco de condensadores con sus diferentes factores de potencia que eviten las penalizaciones establecidas por el CONELEC.

A continuación se presentan algunos de los cálculos obtenidos en la tabla 4.10 de manera más detallada:

✚ Cálculos para una potencia de 350 HP.

$$P = 350\text{HP} = 261.1\text{KW}$$

$$FP_2 = 0.95$$

$$\theta_2 = 18.195^\circ$$

$$FP_1 = 0.85$$

$$\theta_1 = 31.788^\circ$$

$$\text{tg}\theta_1 = \frac{Q_1}{P}$$

$$Q_1 = P * \text{tg}(\text{COS}^{-1}\theta_1) = 261.1\text{K} * \text{tg}(\text{COS}^{-1}0.85) = 161.815\text{KVAR}$$

$$Q_2 = P * \text{tg}(\text{COS}^{-1}\theta_2) = 261.1\text{K} * \text{tg}(\text{COS}^{-1}0.95) = 85.819\text{KVAR}$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 161.815\text{K} - 85.819\text{K} = 75.996\text{KVAR}$$

✚ Cálculos para una potencia de 200 HP.

$$P = 200\text{HP} = 149.20\text{KW}$$

$$FP_2 = 0.95$$

$$\theta_2 = 18.195^\circ$$

$$FP_1 = 0.85$$

$$\theta_1 = 31.788^\circ$$

$$\text{tg}\theta_1 = \frac{Q_1}{P}$$

$$Q_1 = P * \text{tg}(\text{COS}^{-1}\theta_1) = 149.20\text{K} * \text{tg}(\text{COS}^{-1}0.85) = 92.466\text{KVAR}$$

$$Q_2 = P * \text{tg}(\text{COS}^{-1}\theta_2) = 149.20\text{K} * \text{tg}(\text{COS}^{-1}0.95) = 49.040\text{KVAR}$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 92.466\text{K} - 49.040\text{K} = 43.426\text{KVAR}$$

✳ Cálculos para una potencia de 100 HP.

$$P = 100\text{HP} = 74.60\text{KW}$$

$$FP_2 = 0.95$$

$$\theta_2 = 18.195^\circ$$

$$FP_1 = 0.85$$

$$\theta_1 = 31.788^\circ$$

$$\text{tg}\theta_1 = \frac{Q_1}{P}$$

$$Q_1 = P * \text{tg}(\text{COS}^{-1}\theta_1) = 74.60\text{K} * \text{tg}(\text{COS}^{-1}0.85) = 46.233\text{KVAR}$$

$$Q_2 = P * \text{tg}(\text{COS}^{-1}\theta_2) = 74.60\text{K} * \text{tg}(\text{COS}^{-1}0.95) = 24.520\text{KVAR}$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 46.233\text{K} - 24.520\text{K} = 21.713\text{KVAR}$$

4.4.3 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS

De acuerdo a los resultados teóricos obtenidos, es necesario realizar el dimensionamiento completo de los dispositivos que conforman los bancos de condensadores que podrían intervenir en la corrección del factor de potencia.

4.4.3.1 Dimensionamiento de los elementos que conforman el banco de condensadores.

Los cálculos para el dimensionamiento de los diferentes dispositivos que intervienen en un banco de condensadores fueron explicados en capítulos anteriores.

Para los tres grupos de potencias activas se obtiene la potencia reactiva necesaria para alcanzar dicho FP establecido. Si se considera que los grupos de cargas seleccionados siempre fueran a ser probados se debería instalar un banco de condensadores que pueda satisfacer toda esta carga y la compensación necesaria; esto da como resultado un banco total de 76 KVAR.

Tomando en cuenta que siempre se va a trabajar con cargas variables, es necesario que este banco sea automatizado por las razones antes mencionadas.

Las tablas 4.11, 4.12, 4.13 resumen los cálculos antes vistos para la determinación de los dispositivos a utilizarse en la fabricación de los bancos de condensadores.

BANCO AUTOMÁTICO - 76KVAR		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Condensadores	4	20 KVAR/230V/52.55A/60Hz
Transformador de corriente	1	1000/5 A
Contactores con kit	2	BF50/AC1/220V/60A/G448
fusibles	3	RT72-80/500V-100KA/Gg2A
Módulo automático	1	DCRK 7 60Hz
Breaker	1	320A/3P/220V
	4	80A/3P/220V

Tabla 4.11. Banco de condensadores para 76 KVAR

BANCO AUTOMÁTICO - 45KVAR		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Condensadores	1	5 KVAR/230V/12.56A/60Hz
	4	10KVAR/230V/26.524A/60Hz
Transformador de corriente	1	500/5 A
Contactores con kit	2	BF25/AC1/220V/30A/G448
fusibles	3	RT32-40/500V-100KA/Gg2A
Módulo automático	1	DCRK 7 60Hz
Breaker	1	160A/3P/220V
	5	30A/3P/220V

Tabla 4.12. Banco de condensadores para 45 KVAR

BANCO AUTOMÁTICO - 25KVAR		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Condensadores	1	10 KVAR/230V/26.24A/60Hz
	1	15 KVAR/230V/39.36A/60Hz
Transformador de corriente	1	250/5 A
Contactores con kit	2	BF38/AC1/220V/42A/G448
fusibles	3	RT32-40/500V-100KA/Gg2A
Módulo automático	1	DCRK 5 60Hz
Breaker	1	100A/3P/220V
	2	50A/3P/220V

Tabla 4.13. Banco de condensadores para 25 KVAR

El dimensionamiento de estos bancos de condensadores implica diferentes costos, así como también la precisión en la compensación por pasos, ya que los valores de los condensadores no siempre están disponibles en el mercado. Se debe tomar en cuenta que las dimensiones de los dispositivos varían según su capacidad y fabricante.

Una vez realizado el dimensionamiento del banco de condensadores a utilizarse se debe escoger la correcta ubicación del mismo para que no existan caídas de voltaje y así poder evitar posibles anomalías y mal funcionamiento del equipo.

Se debe tomar en cuenta que el diseño del banco de condensadores y sus diferentes componentes están basados en datos teóricos. Para verificar su correcto funcionamiento deben realizarse pruebas que permitan establecer una comparación verídica del funcionamiento de dicho banco.

Es necesario hacer hincapié en que los datos comparativos obtenidos en la tabla 4.8 no son solamente del banco de corrección del factor de potencia diseñado para el proyecto de tesis, sino que éste formó parte de un banco de condensadores utilizado para la compensación de una potencia mayor, no obstante se pudo verificar visualmente el correcto funcionamiento de este banco cuando se sacó momentáneamente de funcionamiento al fijo ya existente. No pudo realizarse la toma de datos comparativos con el analizador industrial ya que no se contó con la autorización correspondiente para dejar fuera de servicio al banco fijo.

Cabe recalcar que fue verificado el correcto funcionamiento del banco automático de condensadores del proyecto de tesis, tanto en su modo manual como en su modo automático; así como también el correcto funcionamiento de cada uno de los dispositivos que forman parte de este proyecto, para de esta manera verificar si la corrección del factor de potencia se realiza de una manera adecuada siempre y cuando no se sobrepase el valor de la carga para el cual fue diseñado.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✱ La mayoría de cargas industriales son de carácter reactivo lo cual obliga a las industrias a suministrar potencia reactiva por sus conductores que a su vez con la potencia activa determinan el comportamiento de dichas cargas.
- ✱ Las variaciones de voltaje y las pérdidas en instalaciones eléctricas influyen directamente en el factor de potencia de manera negativa y este a su vez en el rendimiento y funcionamiento de los equipos.
- ✱ La cantidad de corriente de la red es inversamente proporcional al factor de potencia, es decir, a mayor corriente menor factor de potencia.
- ✱ Un bajo factor de potencia hace que la empresa distribuidora de energía eléctrica presente problemas tales como: mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor; mayores capacidades en las líneas de transformación y distribución, elevadas caídas de voltaje y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.
- ✱ La compensación de potencia reactiva más conveniente y económica es la aplicación de condensadores estáticos, con control automático.
- ✱ La entrada amperométrica estándar con auxiliar 5A para el transformador de corriente, debe ser colocada en la línea de alimentación restante y la polaridad de las entradas amperométrica y voltimétrica no tienen influencia.
- ✱ Si faltara la alimentación auxiliar mientras el módulo está en modo automático, todos los pasos son desconectados. A la siguiente puesta de voltaje, el módulo conecta automáticamente los pasos necesarios.

- ✱ Si faltara la alimentación auxiliar mientras la central está en modo manual, la configuración de los pasos es memorizada para restablecerse en forma secuencial a la siguiente puesta de voltaje.
- ✱ Para el cálculo de la potencia reactiva requerida, es conveniente obtener los datos necesarios con la ayuda de un analizador industrial ya que con este equipo se puede obtener los valores elevados en horas de picos de consumo.
- ✱ Para una corrección más precisa es necesario dimensionar un banco de capacitores con mayor número de pasos, pero se debe tomar en cuenta que costo será mayor.
- ✱ Los reguladores de potencia reactiva se conectan a través de transformadores de intensidad. Con relación al sentido de flujo de la energía, dichos transformadores deben estar situados por delante del sistema de regulación.
- ✱ Los condensadores pueden ser operados a frecuencias y voltajes inferiores a sus valores nominales. Esto implica una disminución de la potencia reactiva proporcionada, que es directamente proporcional a la frecuencia y al cuadrado del voltaje. Sin embargo, los condensadores, no deben colocarse en frecuencias o voltajes superiores a sus valores nominales.
- ✱ Cuando se instalen condensadores que entren y salgan de operación automáticamente, debe tenerse especial cuidado en la selección según las fluctuaciones de los valores del factor de potencia a fin de cumplir con los niveles y esquemas de compensación reactiva que se deseen.
- ✱ El bajo factor de potencia causa recargos en la cuenta de la planilla de energía eléctrica, los cuales llegan a ser significativos cuando el factor de potencia es reducido.
- ✱ Un bajo factor de potencia limita la capacidad de los equipos con el riesgo de incurrir en sobrecargas peligrosas y pérdidas excesivas con un dispendio de energía.
- ✱ Los capacitores de potencia son la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia.

- ✦ La corrección en bajo voltaje permite la liberación de carga o KVA en los transformadores, lo cual permitirá añadir una carga adicional para futuras aplicaciones.
- ✦ Actualmente los bancos de condensadores de la Metal Mecánica San Bartolo no corrigen el factor de potencia de toda la carga existente, más bien se ven limitados a corregir parte de ella.
- ✦ Cuando se sobrepasa la capacidad de potencia activa para la cual fueron diseñados los bancos de condensadores, se visualiza en el display del módulo una alarma, la cual indica que se requiere el aumento de potencia reactiva para que se dé una corrección adecuada del factor de potencia. También esta alarma se activa a pesar de que no exista consumo de energía, esto se debe a la influencia de un banco fijo de condensadores.
- ✦ A pesar de que se aumentó la capacidad de potencia reactiva a 30 KVAR, no se logró compensar la demanda total de la carga existente, ya que ésta supera el valor del banco fijo y del automático.
- ✦ Cuando se tomaron las lecturas comparativas entre el analizador industrial y el módulo DCRA, se pudo apreciar cierta variación entre las dos lecturas dando como resultado un pequeño margen de error de 1% aproximadamente.
- ✦ El tablero de control automático cumple con lo establecido en el plan de proyecto que es la corrección del factor de potencia.
- ✦ El realizar la parte práctica del proyecto de tesis fue un desafío ya que de la teoría a la práctica hubo muchas cosas que no coincidían con los valores reales tal como es el caso del dimensionamiento y selección de los diferentes dispositivos eléctricos existentes en el mercado.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✦ Se debe tener muy en cuenta el balanceo de cargas en las líneas de distribución; el dimensionamiento de los conductores eléctricos, selección y operación correcta de los equipos.

- ✦ Antes de instalar capacitores eléctricos, se debe tomar en cuenta los siguientes factores: tipos de cargas eléctricas, variación y distribución de las mismas, factor de carga, disposición y longitud de los circuitos, tensión de las líneas de distribución, entre otros.
- ✦ Deben emplearse bancos de condensadores automáticos ya que se garantiza mayor vida útil de estos dispositivos.
- ✦ En el módulo DCRA es recomendable programar el último relé como alarma (en lugar de paso), para que este sea activado cuando se verifique una anomalía o cuando, con todos los pasos conectados o desconectados, no sea posible obtener el factor de potencia deseado.
- ✦ No instalar los condensadores cerca de superficies emanadoras de calor cuya temperatura sea superior a la del ambiente.
- ✦ Emplear bancos automáticos de capacitores cuando las variaciones de la carga son significativas.
- ✦ Instalar el banco de capacitores lo más cerca posible de carga a compensar, para obtener mayores beneficios al corregir el factor de potencia.
- ✦ La medición y facturación de la demanda en KVA, propiciará un ahorro real de energía porque los usuarios compensarán correctamente su factor de potencia, se disminuirán las pérdidas en las instalaciones y equipos. La empresa suministradora tendrá menos necesidad de invertir en instalaciones y equipos adicionales.
- ✦ En la Metal Mecánica San Bartolo es necesario incluir el banco fijo al banco automático de condensadores para que de esta manera el módulo no quede siempre alarmado y sobre compensado.
- ✦ Se debe realizar un estudio de carga de manera más minuciosa, para poder determinar el banco de condensadores necesario a ser utilizado.
- ✦ Como alternativa se podría dimensionar un banco de capacitores para cierto grupo de cargas, siendo éste el de mayor consumo y uso frecuente.
- ✦ En caso de que se realice un nuevo banco de condensadores, se deben tomar en cuenta todos los aspectos necesarios para su diseño

como son: costos, selección de dispositivos, precisión en la corrección, actualización tecnológica, entre otros.

- ✚ Se debe considerar la posibilidad de que los estudiantes realicen prácticas de laboratorio con el empleo del tablero de control automático.
- ✚ Es necesario tener en cuenta que como estudiantes de una carrera técnica necesitamos más prácticas de laboratorio y éstas a su vez con mayor aplicación al campo industrial.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ✿ **Admitancia (Y).**- La admitancia es el inverso de la impedancia.
- ✿ **Aislantes.**- Dicho de un material que dificulta o impide el movimiento de los portadores de carga.
- ✿ **Aislamiento.**- Material que ofrece una gran resistencia al paso de la corriente, se le conoce también como dieléctrico.
- ✿ **Amplitud.**- Diferencia entre los valores máximo y mínimo en la distribución de una variable
- ✿ **Amperio.**- Unidad de medida para la intensidad de flujo de la corriente.
- ✿ **Banco de condensadores.**- Se denomina a un grupo de condensadores a utilizarse para corregir el factor de potencia.
- ✿ **Calibre.**- Término usado para referirse a la medida de los alambres y cables.
- ✿ **Capacidad de ruptura.**- Es la capacidad de corte que tiene todo material o elemento frente a las corrientes de cortocircuito.
- ✿ **Capacidad de Conducción de Corriente.**- Corriente máxima que un conductor aislado puede llevar sin exceder las limitaciones térmicas de su aislamiento y cubierta.
- ✿ **Capacitores síncronos.**- Son motores síncronos que no provocan en absoluto potencia en HP de salida y se pretende que se usen exclusivamente para corrección del factor de potencia.
- ✿ **Carga equilibrada.**- El sistema de corriente alterna que usa más de dos cables, donde la corriente y el voltaje son de valor igual en cada conductor energizado.
- ✿ **Circuito.**- Conjunto de artefactos alimentados por una línea común de distribución, la cual es protegida por un único dispositivo de protección. También, se entiende por circuito al conjunto de dispositivos que sirven para generar, transmitir, transformar o distribuir la energía y que dispone de los elementos para ponerlos o aislarlos del servicio.
- ✿ **Campo eléctrico (E).**- El campo eléctrico es una propiedad del espacio que rodea a una carga eléctrica y conforma un espacio vectorial de tal

manera que todo punto perteneciente a dicha región, se caracteriza por un vector llamado intensidad de campo eléctrico.

- ✳ **Campo electromagnético.-** Un Campo electromagnético es un campo físico, de tipo tensorial, que afecta a partículas con carga eléctrica.
- ✳ **Campo magnético (F).-** El campo magnético es una región del espacio en la que una carga eléctrica puntual de valor q y que se desplaza a una velocidad V , sufre una fuerza perpendicular y proporcional a la velocidad, y a una propiedad del campo, llamada inducción magnética, en ese punto.
- ✳ **Conexión o cierre.-** Significa el establecimiento del contacto eléctrico.
- ✳ **Condensador.-** Sistema o dispositivo de dos conductores, separados por una lámina dieléctrica, que sirve para almacenar cargas eléctricas.
- ✳ **Condensadores estáticos.-** son dispositivos que tienen la propiedad de almacenar energía por medio de la ordenación de los electrones en el dieléctrico, cuando se aplica una diferencia de potencial a sus terminales.
- ✳ **Conductancia (G).-** Se denomina conductancia eléctrica de un conductor a la inversa de la oposición que dicho conductor presenta al movimiento de los electrones en su seno, esto es, a la inversa de su resistencia eléctrica (R).
- ✳ **Conductor.-** Alambre o cable (de cobre normalmente) debidamente aislado, que conduce la energía eléctrica hasta los distintos componentes de la instalación. La sección (grosor) de los conductores de cada circuito será adecuada al nivel de consumo.
- ✳ **Conductividad.-** Propiedad que tienen los materiales para permitir el movimiento de los portadores de carga.
- ✳ **Contacto.-** Una parte conductora que coactúa con otra parte conductora para formar o interrumpir un circuito.
- ✳ **Contactador.-** Es un dispositivo designado a cerrar o interrumpir la corriente en uno o más circuitos eléctricos, que normalmente funciona con mando a distancia, en lugar de ser operados manualmente.
- ✳ **Contacto eléctrico.-** Estado que resulta al unir dos piezas destinadas a conducir corriente eléctrica.
- ✳ **Corriente alterna.-** La corriente que invierte su dirección de flujo periódicamente (Hz).

- ✿ **Corrección del factor de potencia.**- Diversos modos de mejorar o elevar, el factor de potencia (FP) empleando dispositivos conectados con la línea, en paralelo con las cargas existentes, para tomar corrientes en adelanto de dichas líneas.
- ✿ **Desconexión.**- Acción de dejar fuera de servicio un circuito, actuando sobre los dispositivos de operación correspondientes para aislarlo.
- ✿ **Desconexión o apertura.**- Significa la supresión del contacto eléctrico.
- ✿ **Dieléctrico.**- Sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortiguará la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.
- ✿ **Diferencia de potencial.**- Puntos que tienen diferente valor de voltaje.
- ✿ **Disipación de calor.**- Esparcir y desvanecer las partes que forman por aglomeración un cuerpo.
- ✿ **Disyuntor.**- Es un dispositivo de protección de cortocircuitos contra sobrecargas y en algunos casos contra bajos voltajes.
- ✿ **Efecto joule.**- Potencia que se pierde por calentamiento y esta dada por la expresión I^2R donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos.
- ✿ **Endurancia eléctrica.**- Número de ciclos de maniobra de carga, con los valores nominales de intensidad, tensión y frecuencia, en su respectiva categoría y clase, antes de proceder a la sustitución de los contactos.
- ✿ **Electrodo.**- Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica. Componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado convencional del circuito a un medio conductor como un electrolito o un gas.
- ✿ **Equipo eléctrico.**- Aparatos de maniobra, regulación, seguridad o control y artefactos o accesorios que conforman una instalación eléctrica.
- ✿ **Factor de Potencia.**- Es la relación entre la potencia consumida por nuestro equipo y la potencia aparente suministrada por nuestra red.
- ✿ **FEM.**- La fuerza electromotriz es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado.

- ✿ **FCEM.-** La fuerza contra-electromotriz se define como una característica de los receptores que mide en voltios la energía que consume el mismo por unidad de carga.
- ✿ **Flujo de corriente.-** Es la carga que atraviesa la sección normal del conductor en la unidad de tiempo.
- ✿ **Frecuencia.-** Número de ciclos completos de variación senoidal por unidad de tiempo.
- ✿ **Fusible.-** Aparato de maniobra destinado a desconectar automáticamente un circuito eléctrico, al rebasarse una determinada cantidad de corriente, la desconexión se logra por fusión del elemento.
- ✿ **Herméticamente.-** Que es impenetrable, cerrado, aun tratándose de algo inmaterial. Que se cierra de tal modo que no deja pasar el aire o a su vez otros fluidos.
- ✿ **Impedancia.-** Relación entre el fesor voltaje aplicado a un circuito y el fesor de la corriente producida. Se mide en ohmios, está dada por una parte real denominada resistencia y una parte imaginaria denominada reactancia. Oposición total para la corriente alterna que circula en un circuito eléctrico (Z). Impedancia es la oposición ofrecida por un material al flujo de una corriente en un sistema eléctrico CA.
- ✿ **Inductancia.-** En un inductor o bobina, se denomina inductancia, L , a la relación entre el flujo, ϕ y la intensidad.
- ✿ **Máquina síncrona.-** Es un dispositivo que se emplea para convertir energía mecánica de rotación en energía eléctrica y viceversa.
- ✿ **Nomogramas.-** Método gráfico para determinar valores desconocidos "incógnitas".
- ✿ **Pérdidas.-** Energía disipada sin que ésta sea utilizada efectuando un trabajo útil.
- ✿ **Pérdidas Dieléctricas.-** Es la rapidez a la cual la energía eléctrica se transforma en calor en un dieléctrico cuando éste está sometido a un campo eléctrico variable.
- ✿ **Potencia activa.-** Es la potencia que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo.

- ✿ **Potencia aparente.-** Es el voltaje aplicado multiplicado por la corriente en un circuito de corriente alterna. Este valor no tomaría el factor de potencia en consideración. Su unidad es el voltamperio (VA).
- ✿ **Potencia reactiva.-** Solo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos, es utilizada para la generación de campo magnético.
- ✿ **Potencia de compensación reactiva.-** Es la potencia reactiva aplicada a una corriente alterna conectada a la red eléctrica para la corrección de factor de potencia; adición de capacitancia para lograr que el voltaje y la forma de onda de la corriente estén en fase.
- ✿ **Reactancia.-** Impedancia ofrecida por un circuito eléctrico en el que existe inducción o capacitancia, sin resistencia. Se mide en ohmios. La reactancia tiene dos componentes, reactancia capacitiva y reactancia inductiva. Los valores de reactancia son determinados por los valores del capacitor o inductor individual así como también la frecuencia de la corriente fluyendo en el circuito.
- ✿ **Regulación.-** Es un proceso en el cual una magnitud física determinada se lleva a un valor previamente establecido y se conserva en él.
- ✿ **Resonancia.-** La resonancia en electricidad es un fenómeno que se produce en un circuito en el que existen elementos reactivos (bobinas y capacitores) cuando es recorrido por una corriente alterna de una frecuencia tal que hace que la reactancia se anule, en caso de estar ambos en serie o se haga máxima si están en paralelo.
- ✿ **Rigidez dieléctrica.-** Es el nivel máximo de diferencia de potencial alcanzado entre dos electrodos planos sumergidos en aceite a una distancia de 2.5 mm, antes de que se produzca un arco eléctrico entre ambos electrodos.
- ✿ **Sobrecarga.-** Se produce sobrecarga cuando los artefactos conectados a un circuito determinado sobrepasan la potencia para la cual está dimensionado el circuito, haciendo actuar normalmente a las protecciones.
- ✿ **Sobrevoltaje.-** Exceso circunstancial sobre el voltaje normal. Un aumento de voltaje fuera de los niveles normales de voltaje (10% o mayores) por

más de un minuto. Un aumento dramático en el voltaje que típicamente dura menos de 1/120 de un segundo.

- ⚡ **Susceptancia (B).**- En electricidad y electrónica, la susceptancia es la parte imaginaria de la admitancia. En unidades del SI, la susceptancia se mide en Siemens.
- ⚡ **Temperatura ambiente.**- La temperatura del medio que se emplea directa o indirectamente para enfriamiento, en la cual se disipa el calor del equipo.
- ⚡ **Temperatura interna.**- La temperatura que tiene en su interior el equipo al momento de funcionar.
- ⚡ **Temperatura de operación.**- Máxima temperatura a la cual un cable puede trabajar por grandes periodos de tiempo sin causar daño a las propiedades físicas del aislamiento.
- ⚡ **Tensión.**- También llamada voltaje o diferencia de potencial, es la magnitud que mide la diferencia de nivel eléctrico entre dos conductores. El voltaje, que se expresa en voltios, debe ser distinta de cero para provocar la circulación de corriente a través de un elemento que se conecte entre los dos conductores.
- ⚡ **Tensión aplicada.**- Voltaje aplicado al circuito eléctrico de cualquier sistema.
- ⚡ **Transformador de corriente.**- Máquina eléctrica que permite modificar los factores de tensión e intensidad de corriente, pero sin cambiar la frecuencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- [1] Joseph A. Edminister. Serie de compendios Schaum. Teoría y Problemas de Circuitos Eléctricos.
- [2] Gilberto Enríquez Harper, El ABC de la Calidad de la Energía Eléctrica, México, 2003.
- [3] Irving. L. Kosow, Máquinas Eléctricas y Transformadores, Segunda Edición.

ARTÍCULOS Y FOLLETOS

- [4] Registro 5.98 establecido el 17 de junio del 2002 Capítulo V Disposiciones Generales
- [5] Cuaderno de aplicaciones técnicas n°8. Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. ABB
- [6] Schhneider Electric, guía de diseño de instalaciones eléctricas

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- [7] [http:// www.ingelectricista.com.ar/cosfi.htm](http://www.ingelectricista.com.ar/cosfi.htm).
- [8] [http:// www.sumelec.net](http://www.sumelec.net)
- [9] <http://www.ruelsa.com/notas/factor/fp20.html>

PROYECTOS DE TITULACIÓN

- [10] Sola Froilan. Corrección del factor de potencia en el sistema de distribución de la EE santo Domingo. Escuela politécnica Nacional, 2004
- [11] Herrera Roberto, Reinoso Paul. Análisis técnico económico del factor de potencia en clientes con demanda de la EEQ S.A, 2005.

CATÁLOGO DE PRODUCTOS

[12] Lovato S.P.A, Catálogo General 1997, Componenti e Sistemi per Automazione.

[13] Lovato S.P.A, Catálogo General 1999 – 2000, Componenti e Sistemi per Automazione

A1.1 EFECTOS DE LA VARIACIÓN DE LA EXCITACIÓN

A continuación se muestran las influencias de esas magnitudes sobre las características de voltaje del alternador:

- ✿ Cargas con factor de potencia unidad

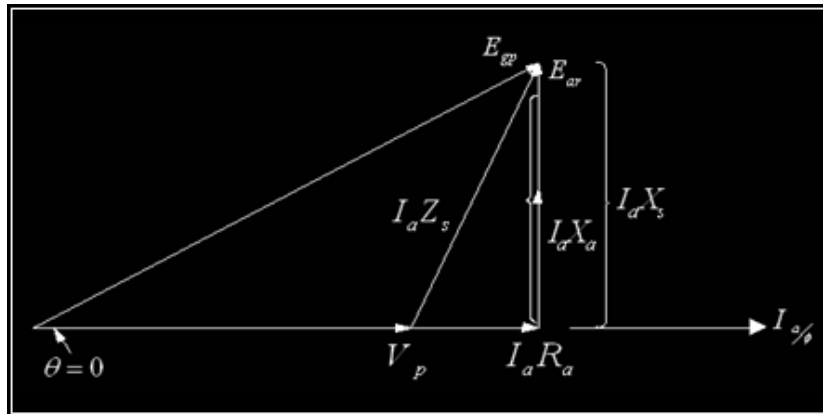


Figura A1.1.1. Triángulo de potencias

- ✿ Cargas con factor de potencia en retraso

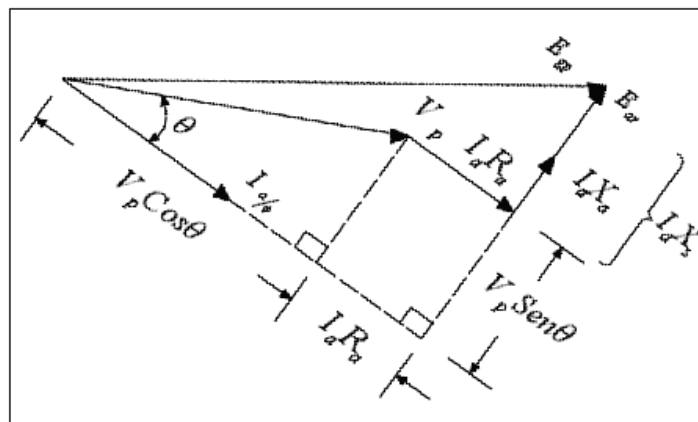


Figura A1.1.2. Triángulo de potencias

✦ Factores de potencia en adelanto

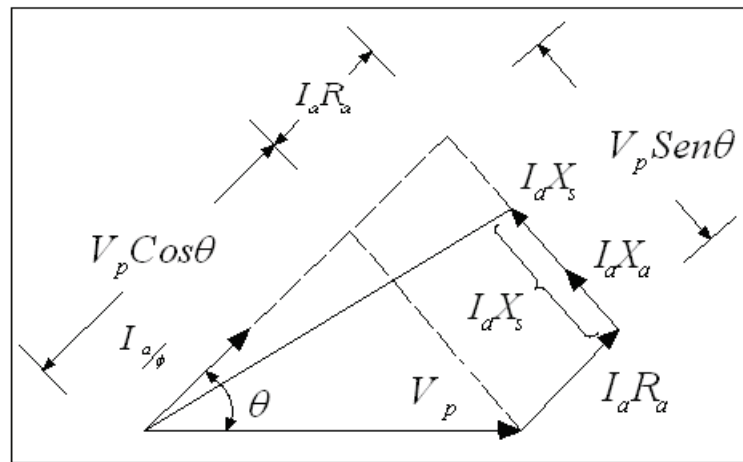
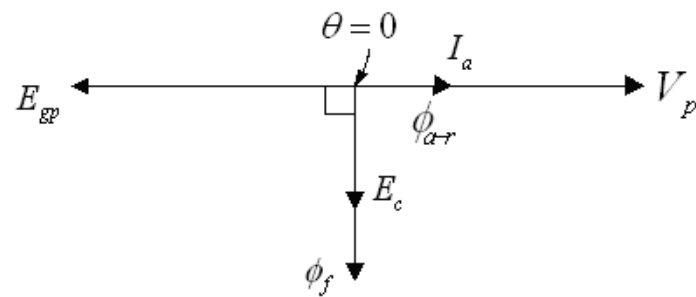
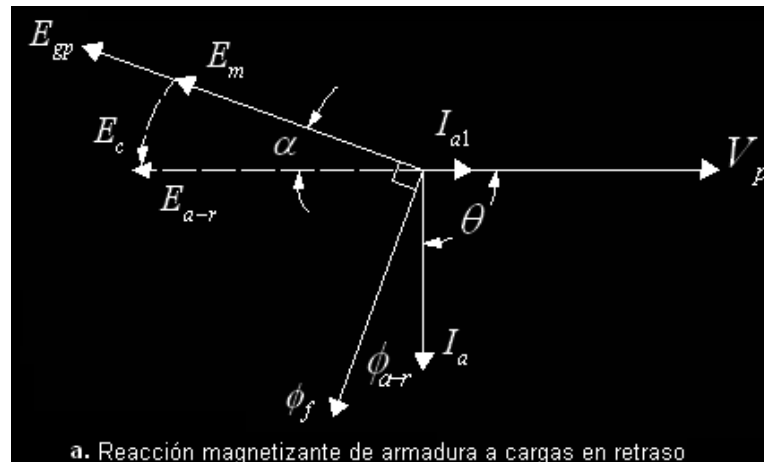
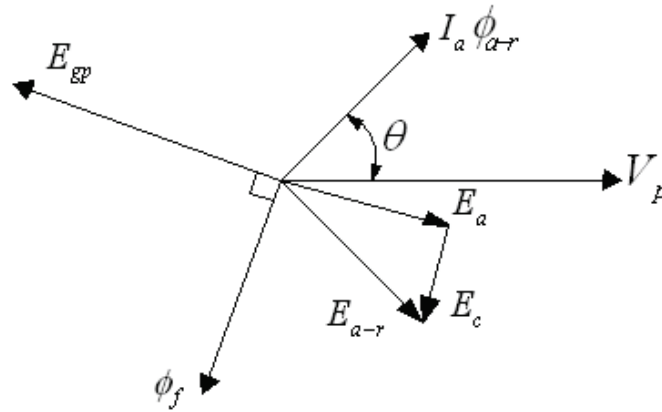


Figura A1.1.3. Triángulo de potencias

✦ Ajuste del factor de potencia de un motor síncrono con carga constante





c. Reacción desmagnetizante de armadura a cargas en adelanto

Figura A1.1.4. Tendencia de un motor síncrono a mantener excitación constante independientemente del factor de potencia a causa del efecto de la reacción de armadura.

A1.2 EFECTOS DE LA VARIACIÓN DE LA CARGA Y REGULACIÓN DE VOLTAJE CON VARIOS FACTORES DE POTENCIA

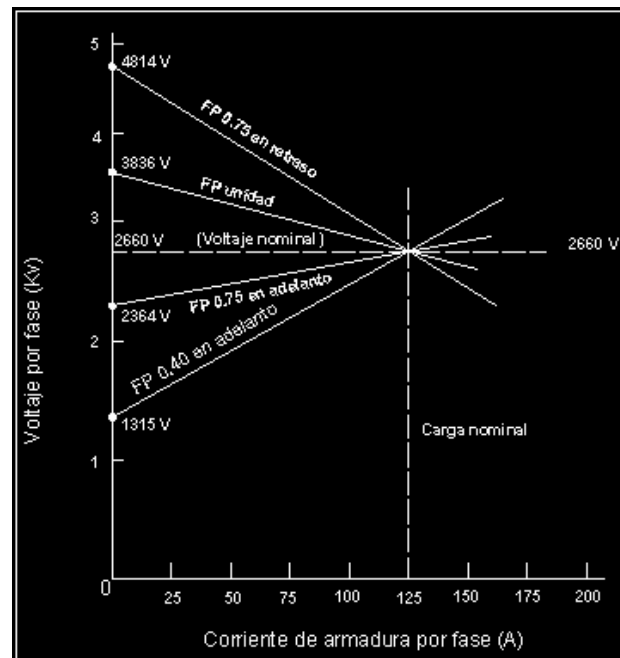


Figura A1.2.1. Regulación de voltaje de un alternador a diversos factores de potencia

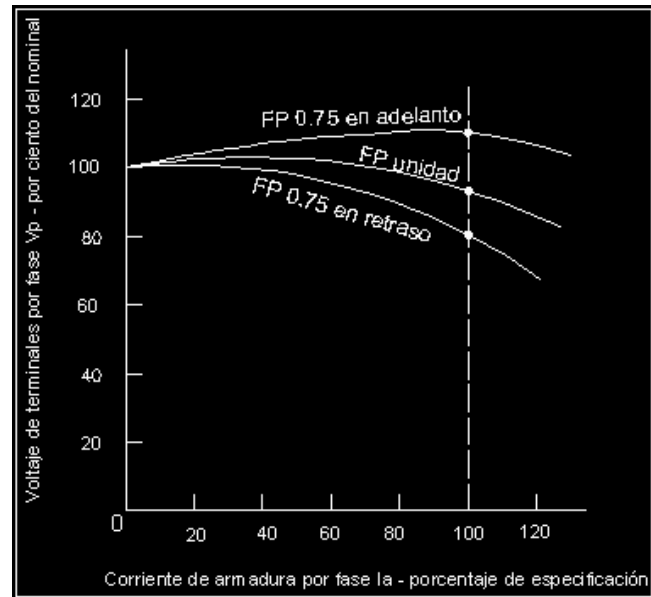
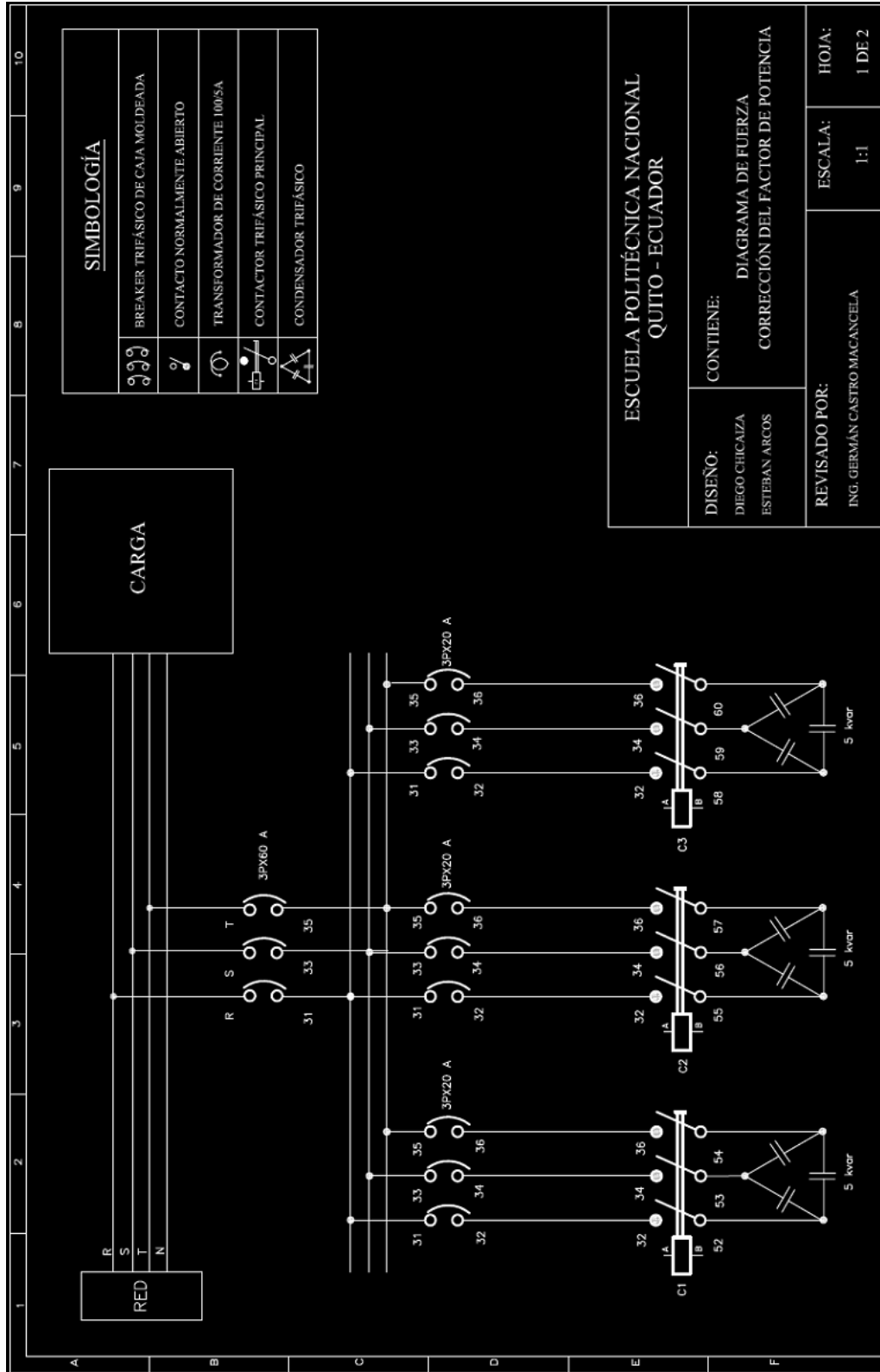


Figura A1.2.2. Regulación de voltaje para diversos factores de potencia de la carga con corriente de campo constante, para funcionamiento en vacío y con todos los valores de carga.

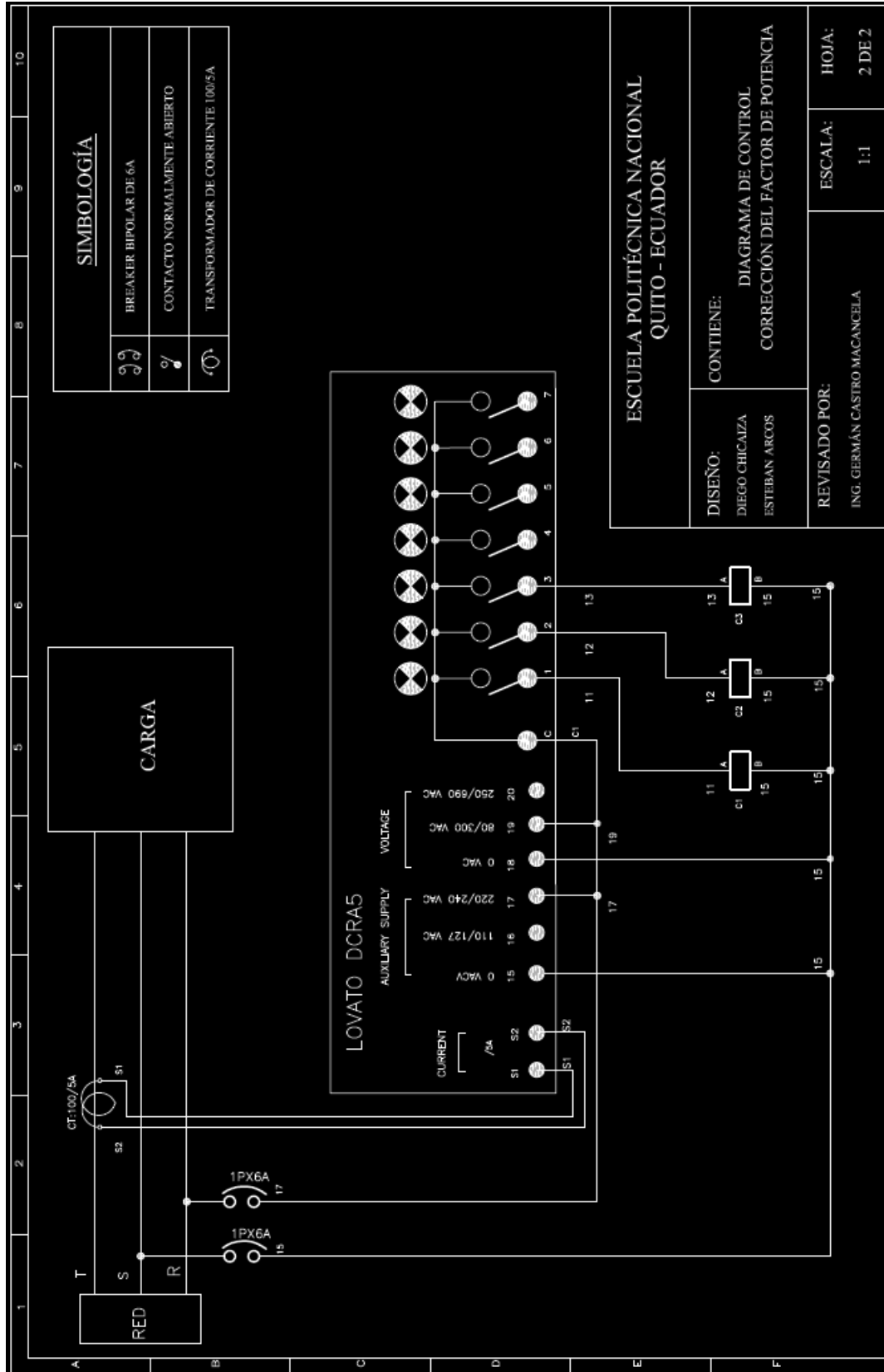
A2.1 DIAGRAMA DE FUERZA



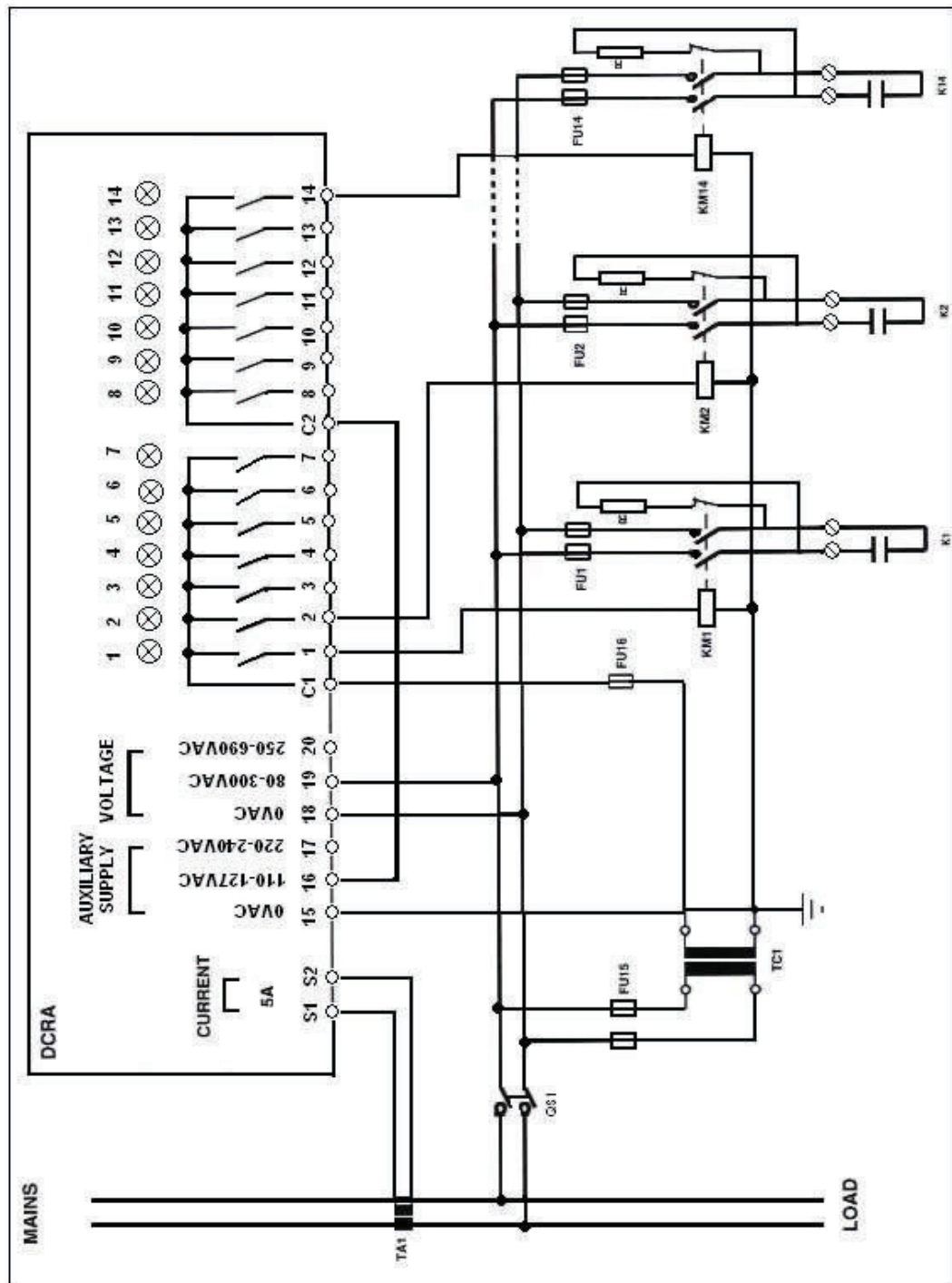
SIMBOLOGÍA	
	BREAKER TRIFÁSICO DE CAJA MOLDEADA
	CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 100/5A
	CONTACTOR TRIFÁSICO PRINCIPAL
	CONDENSADOR TRIFÁSICO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL QUITO - ECUADOR		
DISEÑO: DIEGO CHICAIZA ESTEBAN ARCOS	CONTIENE: DIAGRAMA DE FUERZA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	HOJA: 1 DE 2
REVISADO POR: ING. GERMAN CASTRO MACANGELA	ESCALA: 1:1	

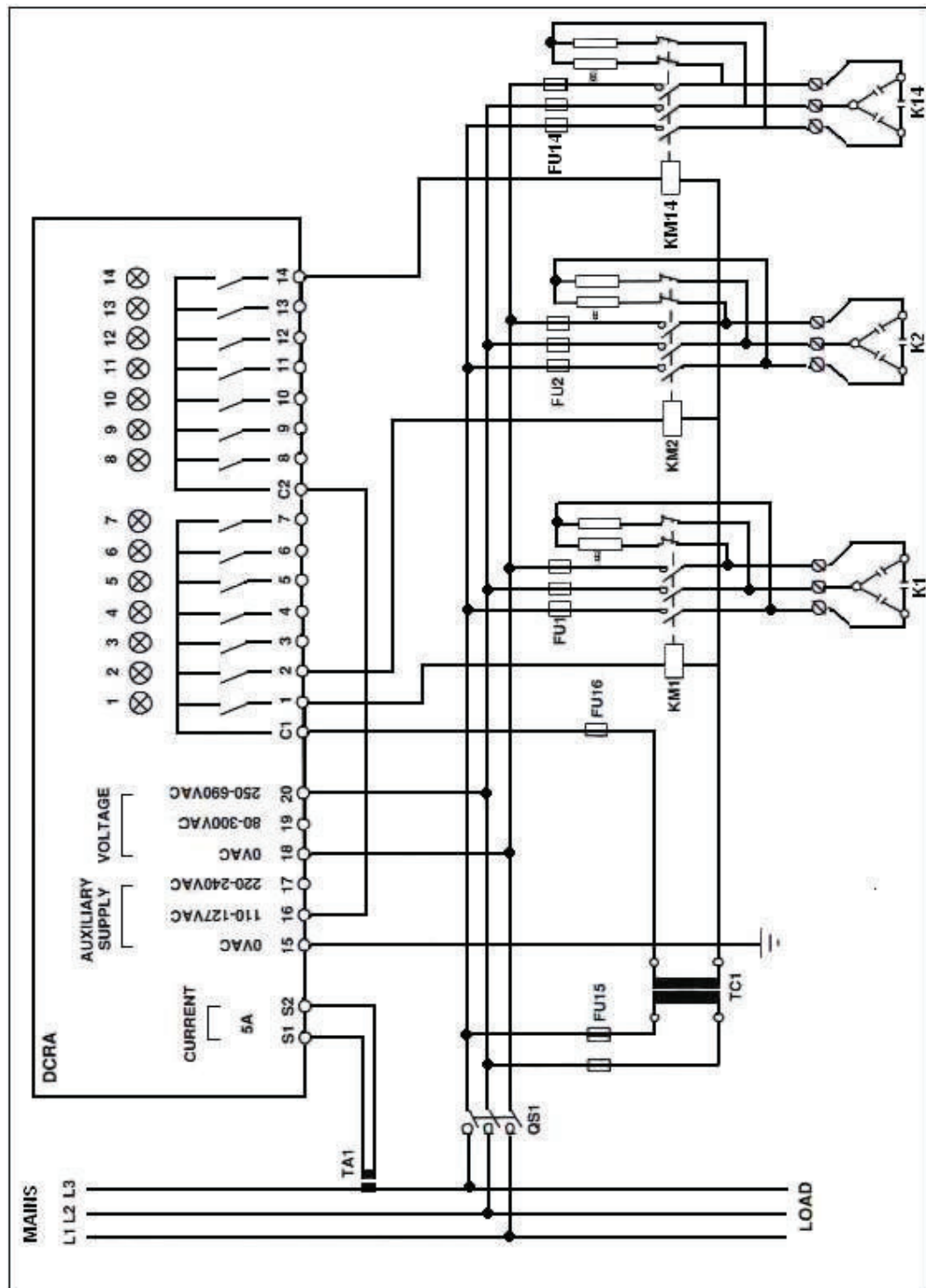
A2.2 DIAGRAMA DE CONTROL



A2.3 ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA MONOFÁSICO



A2.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA TRIFÁSICO



A3.1 CONTACTORES BF9 – BF38

Tipo	BF9	BF12	BF16	BF20	BF25	BF32	BF38
------	-----	------	------	------	------	------	------

Condiciones de empleo

Temperatura ambiente:	Funcionamiento	°C	-50 - 70				
	admitida	°C	-60 - 80				
Altitud máxima		m	3000				
Posición de montaje	normal		vertical				
	admitida		±30°				
Fijación			apernado o riel DIN				
Conformidad con normas			CEI EN 60947-4-1, IEC 947-4-1, NF C 63-110, VDE 660,				

A3.2 ESPECIFICACION DE CONTACTORES BF9 – BF38

Tipo	BF9	BF12	BF16	BF20	BF25	BF32	BF38
------	-----	------	------	------	------	------	------

Comando en c.a.

Voltaje nominal a 50,60, 50/60 HZ:	desde	V	12	12	12	12	12	12	12
	hasta	V	660	660	660	660	660	660	660
Límite de funcionamiento: cierre	desde	%U	70	70	70	70	70	70	70
	hasta	%U	110	110	110	110	110	110	110
	desde	%U	40	40	40	40	40	40	40
	hasta	%U	55	55	55	55	55	55	55
Consumo 50 HZ 60 HZ	cierre servicio	VA	65	65	65	65	65	65	65
		VA	9	9	9	9	9	9	9
	cierre servici	VA	78	78	78	78	78	78	78
		VA	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
Disipación térmica a 50 Hz		W	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

A3.3 TIEMPOS DE MANIOBRA DE LOS CONTACTORES

Con comando: en c.a.	ce. NA ab. NA	ms	8-24	8-24	8-24	8-24	8-24	14-27	14-27
		ms	10-20	10-20	10-20	15-20	15-20	8-18	8-18
	ce. NC ab. NC	ms	17-30	17-30	17-30	16-22	16-22	-	-
		ms	7-18	7-18	7-18	7-18	7-18	-	-
en c.c.	ce. NA ab. NA	ms	42-58	42-58	42-58	42-58	42-58	42-58	42-58
		ms	7-13	7-13	7-13	7-13	7-13	5-10	5-10
	ce. NC ab. NC	ms	11-17	11-17	11-17	11-17	11-17	-	-
		ms	32-42	32-42	32-42	28-38	28-38	-	-

A3.4 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LOS CONTACTORES

Polos de potencia	Nº	3-4	3	3-4	3-4	3-4	3	3	
Voltaje nominal de aislamiento	V	690	690	690	690	690	690	690	
Frecuencia de empleo	Hz	25 – 400	25 – 400	25 – 400	25 - 400	25 - 400	25 – 400	25 – 400	
Corrientes de empleo: AC3(380/400V) AC4 (380/400V)	Térmica I _{th}	A	25	25	25	40	40	55	60
		A	9	12	16	20	25	32	38
		A	5,3	7,2	7,5	10	11,7	16	20
Corrientes de breve duración admisibles: (IEC 947-1)	1 s	A	160	205	205	350	350	440	460
	5s	A	140	140	140	200	200	310	320
	10s	A	110	110	110	160	160	230	240
	30s	A	70	70	70	100	100	150	160
	1min	A	60	60	60	80	80	120	125
	3min	A	35	35	35	55	55	78	83
	>10min	A	25	25	25	40	40	55	60
Fusible gL	A	32	40	50	50	50	63	80	
Calibre máx aM	A	10	12	16	20	25	32	40	
Poder de cierre (valor eficaz)	A	160	210	210	350	350	480	480	
Poder de apertura ≤440V A la tensiones: 500V	A	160	210	210	350	350	480	480	
	A	120	160	160	290	290	320	320	
	A	90	120	120	220	220	270	270	
Resistencia y potencia disipada AC1	mΩ	5	5	5	2.5	2.5	2.0	1.8	
	W	3.1	3.1	3.1	4.0	4.0	6.0	6.5	
	W	0.40	0.72	1.3	1.0	1.6	2.0	2.6	
Terminales	Tipo	Perno con golilla							
	A	8.3	8.3	8.3	10.1	10.1	13.2	13.2	
	B	3.5	3.5	3.5	5.9	5.9	5.5	5.5	
	Per	M3.5	M3.5	M3.5	M4	M4	M5	M5	

A3.5 CATEGORIA DE EMPLEO AC1

Características de los polos				
Cargas resistivas: $\text{COS}\phi \geq 0,95$				
CORRIENTE MÁXIMA DE EMPLEO				
Tamaño contactor	Sección de los conductores [mm ²]	Corriente de empleo a temperatura ambiente		
		$\leq 40^{\circ}\text{C}$ [A]	$\leq 55^{\circ}\text{C}$ [A]	$\leq 70^{\circ}\text{C}$ [A]
MC6	2.5	14	13	11
MC9	2.5	16	14	12
BF9	4	25	20	18
BF12	4	25	20	18
BF16	4	25	20	18
BF20	10	36	30	27
BF25	10	40	32	28
BF32	16	55	45	35
BF38	16	60	55	40
BF50	35	90	80	65
BF65	35	110	90	70
BF80	50	125	100	80
BF95	50	125	100	80
B115	70	160	150	110
B145	95	220	210	170
B180	150	260	240	180
B250	185	350	300	250
B400	2x25x8	2x185 510	400	340
B500	2x50x5	2x240 700	550	500

A3.6 FRECUENCIA MÁXIMA DE CICLOS

Maniobras mecánicas	ciclos/h	3600
Electroimán	ciclos/h	3600
Polos	ciclos/h	3600

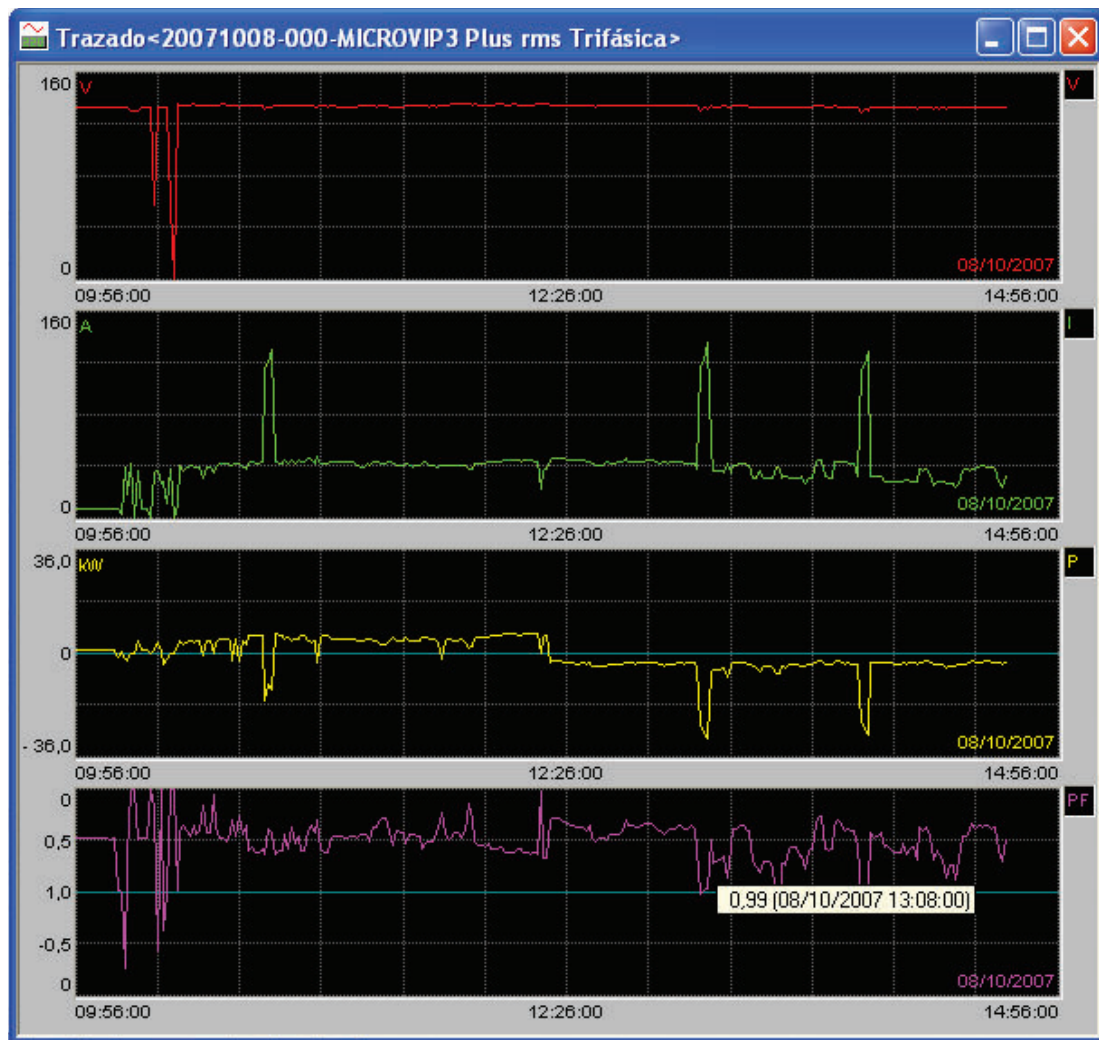
A3.7 ENDURANCIA (EN MILLONES)

Mecánica: comando en c.a. comando en c.c.	ciclos	20	20	20	20	20	20	20
	ciclos	20	20	20	20	20	20	20
Eléctrica (a 400V en AC3)	ciclos	2.0	2.0	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6

A3.8 CARACTERISTICAS DE LOS CONTACTORES

Contactor	Corriente nominal	Corriente de cresta máxima admisible	Voltaje máximo de empleo	Fusible gL	Potencia máximas de empleo en los voltajes			
					220V 230V 240V	380V 400V	415V 440V	500V 660/690V
Tipo	[A]	[A]	[V]	[A]	[KVAR]	[KVAR]	[KVAR]	[KVAR]
BF9	12	500	660	16	4,5	8	9	10
BF12	16	550	660	25	6	11	12	14
BF16	16	550	660	25	6	11	12	14
BF20	22	1000	660	32	9	15	16	18
BF25	30	1400	660	40	11	20	22	22

A4.1 GRÁFICA DE ONDAS EN UN INTERVALO DE TIEMPO



A4.2 TABLA DE DATOS

FECHA	HORA	V	A	P.F.	W	VA	var	Hz	kwh+	kwh-	kvar+	kvar-	peak var	peak va	peak w	V.L1	V.L2	V.L3	AL1	AL2	AL3	WL1	WL2	WL3	P.F.L1	P.F.L2	P.F.L3	
10/8/2007	10:49:00	134	41.2	0.597	5700	9550	7660	60	1.9	4.01	0.23	0.49	8530	9510	3770	135	133	134	34	40.9	36.2	45.6	1500	4200	0	0	0	
10/8/2007	10:50:00	134	42.7	0.574	5710	9650	8150	60	1.99	4.14	0.23	0.49	8530	9510	3770	135	134	134	34	44.2	36.2	45.6	1480	4230	0	0	0	
10/8/2007	10:51:00	134	41.8	0.616	5970	9690	7630	60	2.09	4.27	0.23	0.49	8530	9510	3770	135	133	134	34	41.3	36.2	45.6	1770	4200	0	0	0	
10/8/2007	10:52:00	134	41.8	0.618	6000	9700	7620	60	2.19	4.4	0.23	0.49	8530	9510	4190	135	133	134	34	41.2	36.3	45.6	1760	4220	0	0	0	
10/8/2007	10:53:00	134	42.3	0.595	5850	9640	7910	59.9	2.29	4.53	0.23	0.49	8530	9560	5040	135	133	134	34	42.9	36.2	45.5	1630	4220	0	0	0	
10/8/2007	10:54:00	131	115	0.635	-16700	26200	20300	60	2.34	4.72	0.4	0.49	8530	9700	5700	132	131	132	131	132	115	85.3	86.7	-10100	59000	0	0	0
10/8/2007	10:55:00	132	120	0.393	-10800	27400	25200	60	2.34	5.11	0.58	0.49	10000	12900	5700	132	131	132	131	132	120	89.1	88.9	-7680	-3090	0	0	0
10/8/2007	10:56:00	132	130	0.43	-12800	29700	26800	60	2.34	5.55	0.78	0.49	13500	16500	5700	132	131	132	131	132	131	95	98.2	-8760	-3980	0	0	0
10/8/2007	10:57:00	134	42.9	0.637	6350	9970	7680	60	2.44	5.87	0.9	0.49	17800	20500	5700	135	134	134	34	42.2	36.3	44	1710	4190	0	0	0	
10/8/2007	10:58:00	134	41.9	0.606	5890	9730	7740	60	2.54	6.01	0.9	0.49	17800	21300	5700	135	133	134	34	41.8	36.2	44	1690	4200	0	0	0	
10/8/2007	10:59:00	134	41.8	0.609	5900	9690	7680	60	2.64	6.13	0.9	0.49	17800	21300	5700	134	133	134	34	41.6	36.2	44	1710	4190	0	0	0	
10/8/2007	11:00:00	134	44	0.453	4610	10200	9070	60	2.73	6.27	0.9	0.49	17800	21300	5700	134	133	134	34	50.2	36.1	43.8	423	4180	0	0	0	
10/8/2007	11:01:00	134	41.2	0.586	5590	9550	7740	60	2.81	6.41	0.9	0.49	17800	21300	5700	134	133	134	34	41.4	36.2	45.4	1400	4190	0	0	0	
10/8/2007	11:02:00	134	43.9	0.372	3790	10200	9450	60	2.88	6.55	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	52.8	36.1	45.2	6160	4190	0	0	0	
10/8/2007	11:03:00	134	41.1	0.529	5040	9530	8080	60	2.96	6.7	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	43.1	36.1	45.3	846	4190	0	0	0	
10/8/2007	11:04:00	134	44.5	0.462	4760	10300	9120	60	3.04	6.84	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	50.4	36.2	45.3	577	4180	0	0	0	
10/8/2007	11:05:00	134	42.5	0.605	5940	9820	7820	60	3.13	6.99	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	42.7	36.1	45.4	1770	4170	0	0	0	
10/8/2007	11:06:00	134	42.6	0.606	5960	9940	7830	60	3.23	7.12	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	42.7	36.2	45.4	1790	4180	0	0	0	
10/8/2007	11:07:00	134	45.4	0.417	4380	10500	9550	60	3.3	7.27	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	53.4	36.2	45.2	188	4190	0	0	0	
10/8/2007	11:08:00	134	44.1	0.353	3600	10200	9540	60.3	3.37	7.43	0.9	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	54.3	34.3	33.9	6200	3960	0	0	0	
10/8/2007	11:09:00	133	42.1	0.426	4130	9710	8790	60	3.41	7.59	0.91	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.8	34.4	42.8	159	3970	0	0	0	
10/8/2007	11:10:00	133	46.6	0.315	-3390	10800	10200	60.4	3.46	7.74	0.92	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	54.5	28	33.8	-3300	565	0	0	0	
10/8/2007	11:11:00	134	40.8	0.583	5510	9450	7680	60	3.54	7.87	0.93	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	41.6	34.4	42.8	1550	3960	0	0	0	
10/8/2007	11:12:00	134	41.8	0.615	5940	9660	7620	60	3.62	8	0.93	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	42.3	34.4	42.9	1990	3950	0	0	0	
10/8/2007	11:13:00	133	41.7	0.616	5930	9620	7580	60	3.71	8.13	0.93	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	42.2	34.3	42.8	1960	3950	0	0	0	
10/8/2007	11:14:00	134	43	0.485	4820	9930	8680	60	3.78	8.26	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	134	48.2	34.3	42.8	875	3940	0	0	0	
10/8/2007	11:15:00	134	42.8	0.46	4560	9900	8790	60	3.85	8.4	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	48.6	34.4	42.8	602	3950	0	0	0	
10/8/2007	11:16:00	133	42.7	0.464	4570	9860	8730	60	3.93	8.55	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.5	34.3	42.7	633	3940	0	0	0	
10/8/2007	11:17:00	133	42.9	0.463	4590	9920	8790	60	4.01	8.7	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.7	34.4	42.7	646	3940	0	0	0	
10/8/2007	11:18:00	133	43.4	0.489	4890	9990	8720	60	4.08	8.84	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.4	34.4	41.4	956	3930	0	0	0	
10/8/2007	11:19:00	133	43.4	0.487	4880	10000	8740	60	4.16	8.99	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.4	34.4	41.4	946	3930	0	0	0	
10/8/2007	11:20:00	133	43.1	0.462	4590	9920	8800	60	4.24	9.14	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.8	34.4	41.4	659	3920	0	0	0	
10/8/2007	11:21:00	133	39.5	0.481	4390	9120	8000	60	4.32	9.28	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	48.4	34.4	41.3	675	3920	0	0	0	
10/8/2007	11:22:00	133	39.5	0.481	4390	9120	8000	60	4.39	9.43	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	42.6	34.4	42.8	458	3930	0	0	0	
10/8/2007	11:23:00	134	39	0.445	4020	9020	8080	60.4	4.46	9.56	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	43	34.4	42.8	71	3940	0	0	0	
10/8/2007	11:24:00	134	38.7	0.454	4070	8970	7990	60	4.53	9.7	0.94	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	34	42.2	34.4	42.9	119	3950	0	0	0	
10/8/2007	11:25:00	134	41.7	0.47	4550	9670	8530	59.9	4.6	9.83	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	34	46.7	34.4	42.8	579	3970	0	0	0	
10/8/2007	11:26:00	134	40.5	0.514	4830	9400	8070	60	4.68	9.97	0.94	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	34	43.2	34.5	42.9	859	3970	0	0	0	
10/8/2007	11:27:00	134	42.8	0.383	3790	9910	9150	60	4.74	10.13	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	134	134	34	50.9	34.4	42.8	6390	3960	0	0	0	
10/8/2007	11:28:00	133	42.7	0.385	3800	9660	9100	60	4.8	10.27	0.94	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	133	50.9	34.3	42.7	6410	3940	0	0	0	
10/8/2007	11:29:00	134	41.4	0.303	2910	9610	9160	59.9	4.86	10.43	0.94	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	34	51.6	34.3	42.7	-1040	3980	0	0	0	
10/8/2007	11:30:00	134	41.9	0.287	2800	9740	9330	60	4.91	10.58	0.94	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	34	53	34.4	42.7	-1180	3980	0	0	0	
10/8/2007	11:31:00	134	41.7	0.292	2830	9700	9270	60	4.95	10.74	0.94	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	34	52.5	34.4	42.7	-1150	3980	0	0	0	
10/8/2007	11:32:00	133	42.9	0.407	4030	9690	9040	60	5.01	10.89	0.94	0.49	17800	21300	6020	133	133	133	133	50.5	34.3	42.6	95	3930	0	0	0	
10/8/2007	11:33:00	133	41.3	0.561	5330	9500	7860	59.9	5.1	11.02	0.94	0.49	17800	21300	6020	133	133	133	133	43.1	34.2	42.7	1410	3920	0	0	0	
10/8/2007	11:34:00	133	40.3	0.416	3850	9250	8410	60	5.17	11.16	0.94	0.49	17800	21300	6020	133	132	133	132	44	30	40.1	874	2980	0	0	0	
10/8/2007	11:35:00	132	40.1	0.428	3940	9190	8310	60	5.23	11.3	0.94	0.49	17800	21300	6020	133	132	133	132	43.6	30.1	40	924	3010	0	0	0	
10/8/2007	11:36:00	133	40	0.433	3980	9190	8290	59.9	5.3	11.44	0.94	0.49	17800	21300	6020	133	132	133	132	43.5	30	40	955	3020	0	0	0	
10/8/2007	11:37:00	134																										

10/8/2007	11:38:00	134	39.3	0.455	4150	9120	8120	60	5.43	11.71	0.94	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	43.1	34.5	42.8	173	3980	0	0	0	0
10/8/2007	11:39:00	134	39.1	0.44	3990	9070	8150	60	5.49	11.84	0.95	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	43.3	34.4	41.4	30	3960	0	0	0	0
10/8/2007	11:40:00	134	39.8	0.466	4280	9200	8140	60	5.53	11.98	0.95	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	43.4	34.5	41.3	336	3940	0	0	0	0
10/8/2007	11:41:00	134	39.4	0.467	4280	9150	8090	60	5.6	12.12	0.95	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	42.8	34.4	41.3	323	3950	0	0	0	0
10/8/2007	11:42:00	134	41.8	0.583	5630	9670	7860	60	5.65	12.25	0.95	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	43.1	34.5	41.4	1700	3940	0	0	0	0
10/8/2007	11:43:00	134	42.8	0.539	5350	9920	8350	60	5.74	12.39	0.95	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	46.1	34.4	42.8	1390	3960	0	0	0	0
10/8/2007	11:44:00	133	40.6	0.518	4860	9380	8020	60	5.79	12.54	0.96	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	43.5	34.4	42.9	900	3960	0	0	0	0
10/8/2007	11:45:00	134	40.5	0.526	4940	9390	7990	60.1	5.88	12.67	0.96	0.49	17800	21300	6020	134	133	134	42.8	34.5	42.8	978	3960	0	0	0	0
10/8/2007	11:46:00	133	38.6	0.426	3790	8910	8070	60	5.94	12.8	0.97	0.49	17800	21300	6020	134	133	133	42.9	34.4	33.7	6410	3930	0	0	0	0
10/8/2007	11:47:00	134	38.1	0.386	3400	8820	8140	60	6	12.94	0.97	0.49	17800	21300	6020	135	132	134	43.5	33.7	6000	3950	0	0	0	0	0
10/8/2007	11:48:00	134	40.2	0.231	-2150	9310	9060	59.9	6.04	13.08	0.98	0.49	17800	21300	6020	135	132	134	48.5	25	30.9	-2940	794	0	0	0	0
10/8/2007	11:49:00	134	39.3	0.425	3880	9120	8250	60	6.08	13.22	0.99	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	44	34.5	33.7	583	3950	0	0	0	0
10/8/2007	11:50:00	134	40.6	0.492	4850	9450	8230	60	6.15	13.36	0.99	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	43.3	36.3	45.5	439	4210	0	0	0	0
10/8/2007	11:51:00	135	40.1	0.469	4390	9350	8260	60	6.22	13.5	0.99	0.49	17800	21300	6020	136	134	135	43.5	36.3	45.5	154	4240	0	0	0	0
10/8/2007	11:52:00	135	39.6	0.427	3940	9230	8340	60	6.29	13.64	0.99	0.49	17800	21300	6020	135	134	135	44.2	36.3	45.5	6280	4230	0	0	0	0
10/8/2007	11:53:00	135	39.6	0.43	3980	9260	8360	60	6.36	13.77	0.99	0.49	17800	21300	6020	136	134	135	44.1	36.3	45.5	6290	4240	0	0	0	0
10/8/2007	11:54:00	135	39.8	0.484	4500	9300	8140	60	6.43	13.91	0.99	0.49	17800	21300	6020	136	134	135	42.2	36.4	45.6	260	4240	0	0	0	0
10/8/2007	11:55:00	135	39.3	0.404	3710	9170	8390	60	6.49	14.05	0.99	0.49	17800	21300	6020	136	134	135	44.4	36.4	39.8	6010	4280	0	0	0	0
10/8/2007	11:56:00	135	37.3	0.146	1270	8690	8600	60	6.51	14.2	1	0.49	17800	21300	6020	136	134	135	46.6	29.5	40	-1750	3020	0	0	0	0
10/8/2007	11:57:00	134	37.2	0.284	2460	8640	8290	60	6.55	14.33	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	43.3	29.5	39.9	5960	3060	0	0	0	0
10/8/2007	11:58:00	135	40.9	0.525	5000	9520	8110	60.1	6.61	14.47	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	135	42.4	36.5	45.6	748	4250	0	0	0	0
10/8/2007	11:59:00	134	41.3	0.55	5280	9600	8020	60	6.7	14.61	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	45.3	36.4	43.8	1030	4230	0	0	0	0
10/8/2007	12:00:00	134	41.3	0.548	5250	9580	8010	60	6.78	14.74	1	0.49	17800	21300	6020	135	133	134	42.3	36.4	44.1	1040	4210	0	0	0	0
10/8/2007	12:01:00	134	41.7	0.572	5540	9690	7950	60	6.87	14.87	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	42.3	36.4	44	1330	4210	0	0	0	0
10/8/2007	12:02:00	134	42.8	0.528	5260	9950	8450	60	6.96	15.02	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	45.3	36.4	43.8	1030	4230	0	0	0	0
10/8/2007	12:03:00	134	42.5	0.59	5820	9870	7970	60	7.06	15.15	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	42.7	36.4	43.9	1610	4210	0	0	0	0
10/8/2007	12:04:00	134	42.4	0.593	5820	9920	7910	60	7.15	15.28	1	0.49	17800	21300	6020	134	134	134	42.7	36.3	42.9	1600	4220	0	0	0	0
10/8/2007	12:05:00	135	42.9	0.593	5930	9990	8050	60	7.25	15.41	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	135	43.3	36.6	43.1	1670	4260	0	0	0	0
10/8/2007	12:06:00	135	43.1	0.567	5690	10000	8270	60	7.34	15.55	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	135	44.5	36.6	43	1430	4260	0	0	0	0
10/8/2007	12:07:00	134	44.7	0.625	6490	10400	8100	60	7.45	15.69	1	0.49	17800	21300	6020	134	134	134	45.4	36.5	42.9	2260	4230	0	0	0	0
10/8/2007	12:08:00	134	44.4	0.618	6390	10300	8130	60	7.55	15.83	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	45.2	36.5	43	2150	4240	0	0	0	0
10/8/2007	12:09:00	134	44.3	0.618	6380	10300	8100	60	7.66	15.96	1	0.49	17800	21300	6020	135	134	134	45	36.4	42.9	2140	4230	0	0	0	0
10/8/2007	12:10:00	135	44.4	0.62	6410	10300	8110	60	7.76	16.1	1	0.49	17800	21300	6140	135	134	135	45	36.5	43	2170	4240	0	0	0	0
10/8/2007	12:11:00	134	43.9	0.593	6060	10200	8220	60	7.87	16.23	1	0.49	17800	21300	6270	135	134	134	44.9	36.5	42.9	1830	4230	0	0	0	0
10/8/2007	12:12:00	134	43.3	0.594	5980	10100	8090	59.9	7.97	16.37	1	0.49	17800	21300	6340	135	134	134	43.9	36.5	42.9	1740	4240	0	0	0	0
10/8/2007	12:13:00	134	44.1	0.626	6430	10300	8010	59.9	8.07	16.5	1	0.49	17800	21300	6300	135	134	134	44.4	36.5	42.9	2190	4230	0	0	0	0
10/8/2007	12:14:00	134	44.2	0.627	6450	10300	8000	60	8.18	16.63	1	0.49	17800	21300	6340	135	134	134	44.4	36.5	43	2200	4250	0	0	0	0
10/8/2007	12:15:00	134	44.8	0.647	6740	10400	7950	60	8.29	16.77	1	0.49	17800	21300	6340	135	134	134	45	36.5	42.9	2490	4250	0	0	0	0
10/8/2007	12:16:00	134	43.4	0.629	6350	10100	7870	60	8.4	16.9	1	0.49	17800	21300	6370	135	134	134	43.3	36.5	43	2110	4250	0	0	0	0
10/8/2007	12:17:00	135	43.4	0.632	6400	10100	7850	60	8.51	17.03	1	0.49	17800	21300	6400	135	134	135	43.2	36.5	43	2140	4260	0	0	0	0
10/8/2007	12:18:00	135	21.1	0.019	-94.5	4920	4920	60	8.54	17.19	1	0.49	17800	21300	6400	135	134	135	36.5	0	43	561	0	0	0	0	0
10/8/2007	12:19:00	135	35.5	0.671	5560	8280	6140	60.1	8.63	17.09	1	0.49	17800	21300	6400	135	135	135	36.6	43	43	560	5660	0	0	0	0
10/8/2007	12:20:00	135	37.1	0.681	5890	8640	6330	60	8.73	17.3	1	0.49	17800	21300	6400	135	135	135	36.6	45.7	43	6450	5990	0	0	0	0
10/8/2007	12:21:00	134	44.8	0.306	-3190	10400	9910	60	8.73	17.46	1.05	0.49	17800	21300	6400	135	133	134	36.6	44.1	41.9	578	-3110	0	0	0	0
10/8/2007	12:22:00	134	45.6	0.284	-3000	10600	10100	60	8.73	17.63	1.1	0.49	17800	21300	6400	135	133	134	36.6	44.9	41.9	578	-2920	0	0	0	0
10/8/2007	12:23:00	134	45.6	0.283	-2990	10600	10100	60	8.73	17.8	1.15	0.49	17800	21300	6400	135	133	134	36.6	44.9	41.9	578	-2910	0	0	0	0
10/8/2007	12:24:00	134	45.5	0.289	-2990	10600	10100	60	8.73	17.96	1.2	0.49	17800	21300	6400	135	133	134	36.6	44.8	41.9	578	-2910	0	0	0	0
10/8/2007	12:25:00	134	45.2	0.328	-3430	10500	9880	60.1	8.73	18.13	1.25	0.49	17800	21300	6400	135	133	134	36.6	45.1	43.3	569	-3340	0	0	0	0
10/8/2007	12:26:00	134	44.9	0.338	-3510	10400	9790	60	8.73	18.3	1.31	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	36.6	44.8	43.6	560	-3420	0	0	0	0
10/8/2007	12:27:00	134	44.3	0.361	-3700	10300	9570	60	8.73	18.46	1.37	0.49</															

10/8/2007	12:29:00	134	44.2	0.382	-3930	10300	9500	60	8.73	18.78	1.49	0.49	17800	21300	6400	136	133	134	36.8	44.5	43.7	6450	-3820	0	0	0	0
10/8/2007	12:30:00	134	44	0.374	-3820	10200	9470	60	8.73	18.93	1.55	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.8	44	43.4	560	-3720	0	0	0	0
10/8/2007	12:31:00	134	43.9	0.371	-3780	10200	9460	60	8.73	19.1	1.62	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.8	43.9	43.4	560	-3680	0	0	0	0
10/8/2007	12:32:00	134	43.3	0.406	-4090	10100	9200	60	8.73	19.25	1.68	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	43.8	43.9	6450	-3990	0	0	0	0
10/8/2007	12:33:00	134	42.9	0.367	-3650	9960	9270	60	8.73	19.4	1.75	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42.1	43.9	560	-3550	0	0	0	0
10/8/2007	12:34:00	134	40.9	0.48	-4540	9450	8290	60	8.73	19.55	1.82	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	35	40.5	41.2	5970	-3950	0	0	0	0
10/8/2007	12:35:00	133	40.2	0.521	-4840	9290	7930	60	8.73	19.68	1.9	0.49	17800	21300	6400	135	131	133	34.9	40.7	41.1	5960	-4240	0	0	0	0
10/8/2007	12:36:00	134	40.6	0.491	-4610	9380	8170	60	8.73	19.81	1.98	0.49	17800	21300	6400	135	132	133	34.9	40.4	41.2	5960	-4020	0	0	0	0
10/8/2007	12:37:00	134	40.7	0.491	-4630	9430	8210	60	8.73	19.95	2.05	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	35	40.5	41.3	5960	-4040	0	0	0	0
10/8/2007	12:38:00	134	42.4	0.496	-4870	9820	8530	60	8.73	20.09	2.13	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	35	43.5	41.3	5960	-4270	0	0	0	0
10/8/2007	12:39:00	134	41.3	0.454	-4330	9550	8510	60	8.73	20.23	2.21	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	34.9	40.6	41.2	5970	-4750	0	0	0	0
10/8/2007	12:40:00	134	41.7	0.444	-4290	9660	8650	60	8.73	20.37	2.29	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	35	40.9	41	5960	-3690	0	0	0	0
10/8/2007	12:41:00	134	42.1	0.444	-4320	9740	8730	60	8.73	20.51	2.36	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	35	41.7	41	5970	-3740	0	0	0	0
10/8/2007	12:42:00	134	42.2	0.439	-4280	9750	8760	60	8.73	20.66	2.43	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	35.1	41.6	39.7	5960	-3710	0	0	0	0
10/8/2007	12:43:00	134	42.6	0.416	-4100	9870	8970	60	8.73	20.8	2.5	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	35.1	41.9	39.7	5980	-3530	0	0	0	0
10/8/2007	12:44:00	134	45.1	0.305	-3190	10500	9990	60	8.73	20.95	2.56	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.9	44.1	42.4	568	-3100	0	0	0	0
10/8/2007	12:45:00	134	42.9	0.359	-3570	9960	9300	59.9	8.73	21.11	2.62	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	36.8	42	42.3	566	-3500	0	0	0	0
10/8/2007	12:46:00	134	43	0.36	-3590	9970	9300	60	8.73	21.26	2.68	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42	43.8	6450	-3490	0	0	0	0
10/8/2007	12:47:00	134	42.8	0.383	-3790	9910	9160	60	8.73	21.43	2.74	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42.3	43.8	560	-3700	0	0	0	0
10/8/2007	12:48:00	134	43.2	0.374	-3740	10000	9290	60	8.73	21.58	2.8	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42.7	43.8	6450	-3640	0	0	0	0
10/8/2007	12:49:00	134	43.1	0.368	-3670	9970	9270	59.9	8.73	21.73	2.86	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42.5	43.7	568	-3590	0	0	0	0
10/8/2007	12:50:00	134	43.5	0.348	-3500	10100	9450	60	8.73	21.89	2.93	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.6	42.6	43.7	560	-3410	0	0	0	0
10/8/2007	12:51:00	134	43.8	0.347	-3530	10200	9530	60	8.73	22.05	2.98	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	43	43.7	6450	-3430	0	0	0	0
10/8/2007	12:52:00	134	43.6	0.343	-3470	10100	9490	60	8.73	22.2	3.04	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	36.7	42.7	43.8	6450	-3370	0	0	0	0
10/8/2007	12:53:00	134	42.7	0.382	-3770	9890	9150	60	8.73	22.36	3.1	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42.1	43.8	6450	-3670	0	0	0	0
10/8/2007	12:54:00	134	42	0.407	-3950	9720	8880	60	8.73	22.51	3.17	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	41.6	43.7	6450	-3850	0	0	0	0
10/8/2007	12:55:00	134	41.5	0.405	-3900	9620	8800	60	8.73	22.66	3.23	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	40.8	43.7	6450	-3790	0	0	0	0
10/8/2007	12:56:00	134	42.7	0.45	-4460	9900	8840	60	8.73	22.81	3.3	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.8	43.9	43.7	6430	-4330	0	0	0	0
10/8/2007	12:57:00	134	41.7	0.414	-4010	9700	8830	60	8.73	22.95	3.37	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	41.4	43.7	6440	-3900	0	0	0	0
10/8/2007	12:58:00	134	42.6	0.397	-3920	9870	9060	60	8.73	23.1	3.44	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	42.3	43.7	6450	-3810	0	0	0	0
10/8/2007	12:59:00	134	42.4	0.387	-3800	9840	9070	60	8.73	23.25	3.5	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.8	41.7	43.8	559	-3710	0	0	0	0
10/8/2007	13:00:00	134	42.8	0.359	-3570	9950	9290	59.5	8.73	23.4	3.56	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	41.9	43.7	577	-3500	0	0	0	0
10/8/2007	13:01:00	134	42.7	0.354	-3500	9910	9270	60	8.73	23.56	3.63	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	41.4	43.7	560	-3410	0	0	0	0
10/8/2007	13:02:00	134	41.3	0.397	-3800	9580	8790	60	8.73	23.71	3.69	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	40.2	43.7	560	-3710	0	0	0	0
10/8/2007	13:03:00	134	41.2	0.392	-3740	9550	8780	60	8.73	23.86	3.75	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	36.7	39.9	42.3	568	-3660	0	0	0	0
10/8/2007	13:04:00	134	42.1	0.363	-3650	9790	9120	60	8.73	24.01	3.81	0.49	17800	21300	6400	136	133	134	36.7	40.7	42.3	568	-3460	0	0	0	0
10/8/2007	13:05:00	134	41.9	0.386	-3740	9710	8960	60	8.73	24.16	3.87	0.49	17800	21300	6400	135	132	134	36.7	40.9	42	560	-3650	0	0	0	0
10/8/2007	13:06:00	134	37.2	0.583	-5030	8620	7000	60	8.73	24.28	3.95	0.49	17800	21300	6400	136	132	134	29.8	39.6	37.3	5800	-4270	0	0	0	0
10/8/2007	13:07:00	130	117	-0.969	-25500	26300	-6570	60.1	8.73	24.39	4.11	0.5	17800	21300	6400	131	129	130	87	117	93.6	-11100	-14400	0	0	0	0
10/8/2007	13:08:00	132	121	0.998	-27500	27600	1670	60	8.73	24.43	4.53	0.55	17800	21300	6400	134	130	132	88	123	92.4	-11700	-15800	0	0	0	0
10/8/2007	13:09:00	131	136	0.979	-30200	30800	6300	60.1	8.73	24.5	5.01	0.55	17800	21300	6400	133	129	131	98.3	138	107	-12600	-17500	0	0	0	0
10/8/2007	13:10:00	134	55.9	0.505	-6530	12900	11200	60.1	8.73	24.64	5.41	0.55	17800	21300	6400	136	132	133	52.2	53.7	45.5	5790	-5760	0	0	0	0
10/8/2007	13:11:00	133	36	0.721	-5990	8310	5760	60	8.73	24.73	5.52	0.55	17800	21300	6400	136	131	133	27.9	43.3	35.9	5860	-5290	0	0	0	0
10/8/2007	13:12:00	133	35.9	0.705	-5820	8260	5860	60	8.73	24.82	5.64	0.55	17800	21300	6400	135	131	133	27.5	42.3	36.5	5800	-5070	0	0	0	0
10/8/2007	13:13:00	133	35.9	0.699	-5790	8280	5920	60	8.73	24.91	5.74	0.55	17800	21300	6400	136	131	133	27.7	41.9	36.6	5790	-5020	0	0	0	0
10/8/2007	13:14:00	134	35	0.654	-5300	8100	6120	60	8.73	25.01	5.83	0.55	17800	21300	6400	135	132	133	27.7	39.4	36.5	5830	-4570	0	0	0	0
10/8/2007	13:15:00	133	41.8	0.877	-8440	9630	4620	59.9	8.73	25.11	5.93	0.55	17800	21300	6400	135	131	133	25	50.9	34.4	-2060	-6380	0	0	0	0
10/8/2007	13:16:00	133	34	0.575	-4510	7840	6420	60	8.73	25.21	6.03	0.55	17800	21300	6400	135	131	133	27.5	36.9	35.8	6030	-3980	0	0	0	0
10/8/2007	13:17:00	134	40.7	0.393	-3700	9420	8660	60	8.73	25.35	6.09	0.55	17800	21300	6400	135	132	134	34.3	40.4	41.7	6340	-3490	0	0	0	0
10																											

10/8/2007	13:20:00	134	41.1	0.364	-3460	9510	8860	60	8.73	25.78	6.28	0.55	17800	21300	6400	132	134	34.2	40.5	36.6	6360	-3270	0	0	0
10/8/2007	13:21:00	134	40.6	0.412	-3870	9390	8550	60	8.73	25.91	6.34	0.55	17800	21300	6400	135	132	134	34.3	40.7	41.7	6350	-3670	0	0
10/8/2007	13:22:00	133	40.2	0.412	-3820	9280	8460	60	8.73	26.04	6.42	0.55	17800	21300	6400	135	132	133	34.1	40.2	41.6	6350	-3610	0	0
10/8/2007	13:23:00	133	30.4	0.685	-4790	6980	5090	60	8.73	26.15	6.5	0.57	17800	21300	6400	135	131	133	20.3	35.7	32.3	5950	-4180	0	0
10/8/2007	13:24:00	133	30.3	0.759	-5290	6960	4530	60	8.73	26.22	6.6	0.57	17800	21300	6400	134	131	133	20.3	38.9	31.4	6020	-4750	0	0
10/8/2007	13:25:00	133	35.8	0.818	-6720	8210	4720	60	8.73	26.29	6.69	0.57	17800	21300	6400	135	130	133	20.3	49.8	31.3	6000	-6160	0	0
10/8/2007	13:26:00	133	30.3	0.719	-5010	6960	4840	60	8.73	26.37	6.78	0.58	17800	21300	6400	134	131	133	20.3	38	43.8	6040	-4420	0	0
10/8/2007	13:27:00	133	30.3	0.716	-4950	6910	4820	60	8.73	26.44	6.88	0.58	17800	21300	6400	135	131	133	20.3	37.4	31.2	6020	-4420	0	0
10/8/2007	13:28:00	133	29.8	0.717	-4920	6870	4790	60	8.73	26.52	6.96	0.58	17800	21300	6400	135	131	133	20.2	37.3	31.9	6040	-4410	0	0
10/8/2007	13:29:00	133	30.2	0.76	-5270	6940	4510	60	8.73	26.58	7.05	0.59	17800	21300	6400	135	131	133	20.2	39	32.1	6030	-4750	0	0
10/8/2007	13:30:00	133	38.2	-0.839	-7360	8770	-4780	59.6	8.73	26.64	7.15	0.61	17800	21300	6400	135	131	133	24.1	46.2	33.8	-1650	-5710	0	0
10/8/2007	13:31:00	132	37.5	-0.833	-7150	8570	-4740	60.1	8.73	26.7	7.25	0.64	17800	21300	6400	134	130	132	24	45	32.9	-1620	-5530	0	0
10/8/2007	13:32:00	133	30	0.72	-4970	6900	4790	60	8.73	26.77	7.33	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	20.3	37.5	32.3	6030	-4450	0	0
10/8/2007	13:33:00	133	31.7	0.739	-5390	7290	4910	59.9	8.73	26.85	7.42	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	20.2	40.6	32.2	5960	-4800	0	0
10/8/2007	13:34:00	133	30.8	0.586	-4150	7090	5740	60.1	8.73	26.94	7.5	0.64	17800	21300	6400	134	131	133	21.8	35.7	34	6130	-3730	0	0
10/8/2007	13:35:00	133	30.6	0.576	-4060	7050	5760	60	8.73	27.04	7.57	0.64	17800	21300	6400	134	131	133	22	35.2	33.7	6140	-3650	0	0
10/8/2007	13:36:00	133	30.7	0.577	-4060	7050	5760	60	8.73	27.13	7.64	0.64	17800	21300	6400	134	131	133	22	35.3	33.7	6140	-3650	0	0
10/8/2007	13:37:00	133	30.2	0.662	-4600	6950	5210	60	8.73	27.22	7.71	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	22	36.3	34	6140	-4190	0	0
10/8/2007	13:38:00	133	31.1	0.66	-4720	7150	5370	60	8.73	27.31	7.79	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	22	37.1	34.3	6020	-4190	0	0
10/8/2007	13:39:00	133	26.2	0.778	-4680	6020	3780	60	8.73	27.4	7.87	0.64	17800	21300	6400	134	131	133	11.1	36.3	34	5960	-4090	0	0
10/8/2007	13:40:00	133	30.6	0.606	-4290	7070	5620	60	8.73	27.49	7.94	0.64	17800	21300	6400	135	132	133	21.9	35.8	33.9	6120	-3850	0	0
10/8/2007	13:41:00	133	30.2	0.583	-4060	6970	5660	60	8.73	27.58	8.01	0.64	17800	21300	6400	135	132	133	21.9	34.5	33.7	6130	-3630	0	0
10/8/2007	13:42:00	134	41.6	0.347	-3330	9610	9010	60	8.73	27.71	8.07	0.64	17800	21300	6400	135	132	134	33.4	41.7	43.5	6400	-3180	0	0
10/8/2007	13:43:00	133	30.9	0.583	-4140	7110	5780	60	8.73	28.13	8.23	0.64	17800	21300	6400	134	132	133	22	34.5	40.2	5910	-3500	0	0
10/8/2007	13:44:00	134	43.8	0.285	-2880	10100	9710	60	8.73	27.86	8.13	0.64	17800	21300	6400	135	133	134	33.4	44.4	43.5	6400	-2730	0	0
10/8/2007	13:45:00	134	43.7	0.276	-2780	10100	9710	60	8.73	28.02	8.17	0.64	17800	21300	6400	135	132	134	33.5	44.1	46.8	6410	-2640	0	0
10/8/2007	13:46:00	133	30.9	0.583	-4140	7110	5780	60	8.73	28.13	8.23	0.64	17800	21300	6400	134	132	133	22	34.5	40.2	5910	-3500	0	0
10/8/2007	13:47:00	133	30.4	0.61	-4270	7010	5550	60	8.73	28.23	8.3	0.64	17800	21300	6400	134	132	133	22.1	34.4	39.4	5960	-3680	0	0
10/8/2007	13:48:00	134	42.5	0.586	-4020	6850	5550	60	8.73	28.32	8.37	0.64	17800	21300	6400	134	132	133	22	33.5	32.9	6060	-3540	0	0
10/8/2007	13:49:00	133	43.4	0.308	-3080	10000	9520	60	8.73	28.59	8.49	0.64	17800	21300	6400	135	132	133	35.9	41.2	46.2	6370	-3290	0	0
10/8/2007	13:50:00	133	43.1	0.335	-3330	9940	9370	60	8.73	28.75	8.54	0.64	17800	21300	6400	135	132	133	36	41.8	41.7	6360	-3130	0	0
10/8/2007	13:51:00	133	43	0.421	-4180	9910	8990	60	8.73	28.9	8.61	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	36	43.6	41.3	6350	-3970	0	0
10/8/2007	13:52:00	133	41.3	0.396	-3770	9520	8740	60	8.73	29.05	8.68	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	36	40.3	41.4	6360	-3580	0	0
10/8/2007	13:53:00	133	41.3	0.413	-3830	9530	8680	60	8.73	29.19	8.75	0.64	17800	21300	6400	135	132	133	36	40.6	41.6	6360	-3740	0	0
10/8/2007	13:54:00	133	40.9	0.413	-3890	9430	8590	60	8.73	29.34	8.81	0.64	17800	21300	6400	135	131	133	36.1	40	41.4	6370	-3700	0	0
10/8/2007	13:55:00	133	32.1	0.551	-4080	7400	6180	60	8.73	29.44	8.88	0.64	17800	21300	6400	134	132	133	24.4	35.3	31.6	6090	-3610	0	0
10/8/2007	13:56:00	129	114	-0.96	-24600	25600	-7200	60.1	8.73	29.51	9.06	0.66	17800	21300	6400	131	128	129	86.6	112	93.5	-10900	-13700	0	0
10/8/2007	13:57:00	131	119	0.988	-26500	26900	4150	60	8.73	29.57	9.49	0.69	17800	21300	6400	132	129	131	87.5	119	89.3	-11400	-15200	0	0
10/8/2007	13:58:00	130	129	0.989	-28700	29100	4340	59.9	8.73	29.64	9.95	0.69	17800	21300	6400	131	129	130	105	118	106	-13700	-15100	0	0
10/8/2007	13:59:00	133	31.8	0.432	-3160	7320	6600	60	8.73	29.79	10.22	0.69	17800	21300	6400	134	132	133	24.5	32.6	34.3	6080	-2690	0	0
10/8/2007	14:00:00	133	31.7	0.477	-3480	7290	6410	60	8.73	29.89	10.27	0.69	17800	21300	6400	134	132	133	24.5	33.1	31.6	6080	-3000	0	0
10/8/2007	14:01:00	133	31.7	0.473	-3440	7280	6410	60	8.73	30	10.33	0.69	17800	21300	6400	134	132	133	24.5	33	31.6	6090	-2980	0	0
10/8/2007	14:02:00	133	32.1	0.434	-3190	7360	6630	60	8.73	30.11	10.38	0.69	17800	21300	6400	134	132	133	24.4	33.1	31.6	6090	-2730	0	0
10/8/2007	14:03:00	132	27.6	0.564	-3570	6330	5230	60	8.73	30.21	10.44	0.69	17800	21300	6400	133	132	132	19.4	30.4	29.5	5900	-2920	0	0
10/8/2007	14:04:00	132	27.5	0.56	-3530	6310	5230	60	8.73	30.3	10.5	0.69	17800	21300	6400	133	132	132	19.4	30.2	29.6	5910	-2890	0	0
10/8/2007	14:05:00	132	27.2	0.596	-3710	6220	5000	60	8.73	30.38	10.56	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	19.4	30.2	29.7	5910	-3070	0	0
10/8/2007	14:06:00	132	27.7	0.625	-3970	6360	4960	60	8.73	30.47	10.62	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	19.5	30.8	29.3	5790	-3210	0	0
10/8/2007	14:07:00	132	27.7	0.622	-3940	6330	4950	60	8.73	30.55	10.69	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	19.5	30.9	29.1	5840	-3220	0	0
10/8/2007	14:08:00	132	27.6	0.618	-3890	6300	4960	59.9	8.73	30.63	10.75	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	19.4	30.6	28.9	5820	-3160	0	0
10/8/2007	14:09:00	132	27.5	0.542	-3400	6280	5280	60	8.73	30.72	10.82	0.69	17800	21300	6400	132	132	132	19.6	29.5	28.9	5870	-2720	0	0
10/8/2007	14:10:00	132	28.8	0.635	-4160	6550	5060	60	8.73	30.8	10.89	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	19.5	33	29.7	5870	-3470	0	0

10/8/2007	14:11:00	132	27.3	0.585	-3840	6230	5060	60	8.73	30.88	10.95	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	19.5	29.7	29.8	5850	-2940	0	0	0	0
10/8/2007	14:12:00	132	27.2	0.578	-3590	6210	5070	59.9	8.73	30.97	11.01	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	19.5	29.6	29.6	5870	-2900	0	0	0	0
10/8/2007	14:13:00	131	27.1	0.687	-4230	6160	4480	60	8.73	31.05	11.08	0.69	17800	21300	6400	132	131	131	19.6	30.7	30	5810	-3480	0	0	0	0
10/8/2007	14:14:00	132	36.5	0.381	-3180	8360	7730	60	8.73	31.16	11.14	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.4	35.7	30.5	6240	-3070	0	0	0	0
10/8/2007	14:15:00	132	36.2	0.408	-3370	8260	7540	60	8.73	31.29	11.2	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.5	35.4	39	6220	-3030	0	0	0	0
10/8/2007	14:16:00	132	36.6	0.374	-3120	8360	7750	60	8.73	31.41	11.25	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	30.4	35.6	38.9	6230	-2800	0	0	0	0
10/8/2007	14:17:00	132	33.2	0.458	-3460	7570	6730	60	8.73	31.54	11.3	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	33.3	37.2	37.2	6060	-2970	0	0	0	0
10/8/2007	14:18:00	131	25.1	0.692	-3950	5710	4120	60	8.73	31.64	11.36	0.69	17800	21300	6400	132	131	131	16.7	28.5	29.3	5660	-3080	0	0	0	0
10/8/2007	14:19:00	132	27.9	0.597	-3800	6360	5100	60	8.73	31.72	11.43	0.69	17800	21300	6400	132	131	132	19.9	30.1	31.7	5730	-2970	0	0	0	0
10/8/2007	14:20:00	131	27.6	0.632	-3960	6270	4860	60	8.73	31.8	11.49	0.69	17800	21300	6400	132	131	131	20	29.8	28.2	5680	-3080	0	0	0	0
10/8/2007	14:21:00	132	27	0.698	-4310	6170	4420	60	8.73	31.87	11.56	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	19.6	30.9	28.1	5800	-3550	0	0	0	0
10/8/2007	14:22:00	131	26.6	0.872	-5260	6030	2950	60	8.73	31.93	11.64	0.69	17800	21300	6400	132	130	131	16.7	34.1	26.6	5620	-4330	0	0	0	0
10/8/2007	14:23:00	132	26.5	0.747	-4500	6030	4010	60	8.73	31.99	11.72	0.69	17800	21300	6400	133	130	132	19.5	31.3	28	5840	-3780	0	0	0	0
10/8/2007	14:24:00	132	26.4	0.743	-4470	6030	4040	60	8.73	32.05	11.8	0.69	17800	21300	6400	133	130	132	19.5	31.2	27.7	5830	-3760	0	0	0	0
10/8/2007	14:25:00	132	23.1	0.887	-4670	5260	2430	60	8.73	32.11	11.88	0.69	17800	21300	6400	133	130	132	13	29.4	24.4	5580	-3690	0	0	0	0
10/8/2007	14:26:00	132	26.4	0.69	-4160	6030	4360	59.9	8.73	32.16	11.95	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	19.6	29.9	27.7	5830	-3440	0	0	0	0
10/8/2007	14:27:00	132	35.7	0.467	-3820	8190	7250	60	8.73	32.27	12.01	0.69	17800	21300	6400	134	131	132	30.4	35.7	35.1	6130	-3400	0	0	0	0
10/8/2007	14:28:00	133	37.3	0.46	-3940	8570	7610	60	8.73	32.4	12.08	0.69	17800	21300	6400	134	131	132	30.5	37.8	35.9	6090	-3480	0	0	0	0
10/8/2007	14:29:00	132	36.2	0.407	-3370	8290	7570	60	8.73	32.53	12.14	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.4	35.1	34.6	6120	-2930	0	0	0	0
10/8/2007	14:30:00	132	37.7	0.344	-2970	8630	8100	60	8.73	32.65	12.19	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.4	36.6	38.9	6120	-2530	0	0	0	0
10/8/2007	14:31:00	132	37.8	0.391	-3380	8640	7950	60	8.73	32.79	12.25	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.5	37.4	37.4	6100	-2920	0	0	0	0
10/8/2007	14:32:00	132	39	0.358	-3200	8940	8340	60	8.73	32.92	12.31	0.69	17800	21300	6400	133	132	132	30.5	38.9	37.5	6100	-2750	0	0	0	0
10/8/2007	14:33:00	132	39.7	0.384	-3470	9040	8340	60	8.73	33.06	12.36	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.4	40.5	40	6100	-3020	0	0	0	0
10/8/2007	14:34:00	132	38.1	0.359	-3130	8710	8130	60	8.73	33.2	12.41	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.4	37.4	39.9	6100	-2680	0	0	0	0
10/8/2007	14:35:00	132	38.1	0.355	-3090	8730	8160	60	8.73	33.34	12.47	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.5	37.3	40	6120	-2650	0	0	0	0
10/8/2007	14:36:00	132	38.6	0.388	-3420	8810	8120	59.9	8.73	33.45	12.52	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.4	38.7	39.9	6110	-2970	0	0	0	0
10/8/2007	14:37:00	132	37.6	0.37	-3190	8610	8000	60	8.73	33.59	12.57	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	30.5	36.7	51.3	6120	-2750	0	0	0	0
10/8/2007	14:38:00	132	27	0.597	-3680	6170	4950	60	8.73	33.67	12.64	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	19.6	29.4	31.1	5850	-2970	0	0	0	0
10/8/2007	14:39:00	132	23.6	0.71	-3830	5390	3800	60	8.73	33.75	12.7	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	19.6	26	35	5870	-3150	0	0	0	0
10/8/2007	14:40:00	132	31.3	0.492	-3520	7160	6240	60	8.73	33.86	12.75	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	24.5	32.5	35	6030	-3000	0	0	0	0
10/8/2007	14:41:00	132	32	0.485	-3550	7310	6390	60	8.73	33.96	12.81	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	24.5	33.4	35	6010	-3000	0	0	0	0
10/8/2007	14:42:00	132	32.3	0.486	-3580	7370	6450	60	8.73	34.07	12.88	0.69	17800	21300	6400	133	131	132	24.6	33.7	35.1	5980	-3010	0	0	0	0
10/8/2007	14:43:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:44:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:45:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:46:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:47:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:48:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:49:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:50:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:51:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:52:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:53:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:54:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:55:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:56:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:57:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:58:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	14:59:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	15:00:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2007	15:01:00	0	0	0	0	0	0	0	8.73	34.13	12.91	0.69	17800	21300	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10/8/2007	15:55:00	128	24.7	0.645	-3530	5470	4180	60	8.73	36.03	13.64	0.69	17800	21300	6400	129	127	128	17.7	26.5	27.8	5650	-2630	0	0	0	0
10/8/2007	15:54:00	129	23.6	0.616	-3240	5260	4140	60	8.73	36.1	13.7	0.69	17800	21300	6400	129	128	128	16.9	25.5	26.8	5820	-2500	0	0	0	0
10/8/2007	15:55:00	129	26	0.7	-4060	5800	4140	60	8.73	36.17	13.76	0.69	17800	21300	6400	130	128	129	17.1	30.2	27.1	5730	-3240	0	0	0	0
10/8/2007	15:56:00	128	25.4	0.644	-3630	5640	4320	60.1	8.73	36.24	13.82	0.69	17800	21300	6400	130	128	128	16.9	26.9	26.9	5850	-2920	0	0	0	0
10/8/2007	15:57:00	129	25	0.684	-3600	5570	4250	60.1	8.73	36.31	13.88	0.69	17800	21300	6400	130	128	129	16.8	28.4	26.7	5850	-2890	0	0	0	0
10/8/2007	15:58:00	129	25.4	0.677	-3840	5670	4180	60.1	8.73	36.38	13.94	0.69	17800	21300	6400	130	128	129	17	28.8	27.2	5730	-3010	0	0	0	0
10/8/2007	15:59:00	129	25.7	0.677	-3880	5740	4220	60.1	8.73	36.45	14.01	0.69	17800	21300	6400	130	128	129	17.1	29	27.4	5670	-3000	0	0	0	0
10/8/2007	16:00:00	129	25	0.636	-3560	5600	4330	60	8.73	36.52	14.07	0.69	17800	21300	6400	130	128	129	16.9	28.3	27	5840	-2850	0	0	0	0
10/8/2007	16:01:00	129	24.7	0.686	-3800	5530	4020	60.1	8.73	36.59	14.14	0.69	17800	21300	6400	130	129	129	16.9	28.1	24.3	5790	-3030	0	0	0	0
10/8/2007	16:02:00	130	24.5	0.684	-3760	5500	4010	60	8.73	36.66	14.2	0.69	17800	21300	6400	130	129	130	16.9	27.8	25.3	5800	-3010	0	0	0	0
10/8/2007	16:03:00	130	24.7	0.715	-3970	5560	3890	60.1	8.73	36.72	14.26	0.69	17800	21300	6400	131	129	130	17	28	24.8	5700	-3120	0	0	0	0
10/8/2007	16:04:00	130	25	0.752	-4240	5630	3720	60.6	8.73	36.79	14.33	0.69	17800	21300	6400	131	129	130	17	29.6	27	5760	-3440	0	0	0	0
10/8/2007	16:05:00	130	25.4	0.76	-4340	5720	3710	59.9	8.73	36.85	14.4	0.69	17800	21300	6400	131	129	130	17.2	29.7	27.5	5660	-3450	0	0	0	0
10/8/2007	16:06:00	131	25.3	0.73	-4170	5710	3910	59.9	8.73	36.91	14.47	0.69	17800	21300	6400	132	130	131	17.2	28.9	27.5	5650	-3270	0	0	0	0
10/8/2007	16:07:00	131	23.8	0.81	-4370	5390	3160	60	8.73	36.97	14.54	0.69	17800	21300	6400	132	130	131	17.2	28.3	27.6	5690	-3500	0	0	0	0
10/8/2007	16:08:00	131	25.6	0.77	-4470	5800	3700	59.8	8.73	37.02	14.62	0.69	17800	21300	6400	132	130	131	17.3	30.1	27.7	5640	-3560	0	0	0	0
10/8/2007	16:09:00	131	25.2	0.766	-4400	5740	3690	60	8.73	37.08	14.7	0.69	17800	21300	6400	133	130	131	17.3	29.5	27.7	5640	-3490	0	0	0	0
10/8/2007	16:10:00	132	25.9	0.792	-4670	5900	3600	60	8.73	37.14	14.77	0.69	17800	21300	6400	133	130	132	17.3	31.1	27.7	5640	-3760	0	0	0	0
10/8/2007	16:11:00	132	25.5	0.782	-4550	5820	3630	60	8.73	37.2	14.85	0.69	17800	21300	6400	134	130	132	17	30.7	27.4	5710	-3710	0	0	0	0
10/8/2007	16:12:00	132	25.4	0.782	-4550	5820	3630	60	8.73	37.27	14.93	0.69	17800	21300	6400	134	131	132	17.1	30.5	27.5	5690	-3690	0	0	0	0
10/8/2007	16:13:00	133	25.1	0.735	-4250	5770	3910	60	8.73	37.33	15	0.69	17800	21300	6400	134	131	133	17.1	29.3	27.5	5710	-3400	0	0	0	0
10/8/2007	16:14:00	133	22.1	0.917	-4660	5080	2030	60	8.73	37.37	15.08	0.69	17800	21300	6400	134	131	133	11.3	28.4	23	-1060	-3600	0	0	0	0
10/8/2007	16:15:00	133	21.9	0.916	-4630	5050	2030	60	8.73	37.4	15.15	0.69	17800	21300	6400	134	132	133	11.1	28.2	22.9	-1040	-3580	0	0	0	0
10/8/2007	16:16:00	133	22.6	0.922	-4770	5180	2000	60.1	8.73	37.44	15.23	0.69	17800	21300	6400	134	131	133	11.2	29.4	22.9	-1030	-3740	0	0	0	0
10/8/2007	16:17:00	133	24.8	0.72	-4120	5730	3980	60	8.73	37.48	15.31	0.69	17800	21300	6400	134	133	133	17.1	28.6	22.3	5740	-3310	0	0	0	0
10/8/2007	16:18:00	133	24.7	0.723	-4130	5710	3940	59.9	8.73	37.55	15.38	0.69	17800	21300	6400	134	133	133	17	28.4	23.5	5730	-3300	0	0	0	0
10/8/2007	16:19:00	134	24.7	0.702	-4030	5740	4090	59.9	8.73	37.62	15.44	0.69	17800	21300	6400	135	133	134	17	28.2	22.9	5740	-3220	0	0	0	0
10/8/2007	16:20:00	134	24.9	0.696	-4020	5770	4140	60	8.73	37.69	15.51	0.69	17800	21300	6400	136	132	134	17.1	28.2	28.1	5700	-3160	0	0	0	0
10/8/2007	16:21:00	134	25.1	0.696	-4060	5830	4180	60	8.73	37.76	15.57	0.69	17800	21300	6400	136	132	134	17.2	28.5	30.3	5690	-3190	0	0	0	0
10/8/2007	16:22:00	134	25	0.693	-4020	5800	4180	60	8.73	37.83	15.64	0.69	17800	21300	6400	135	132	134	17.2	28.4	30.2	5700	-3170	0	0	0	0
10/8/2007	16:23:00	134	24.9	0.698	-4020	5770	4130	60	8.73	37.9	15.71	0.69	17800	21300	6400	135	132	134	17.1	28.3	30.1	5700	-3160	0	0	0	0
10/8/2007	16:24:00	134	25.1	0.659	-3820	5790	4360	60	8.73	37.97	15.77	0.69	17800	21300	6400	135	132	134	17.2	28	30.2	5710	-2970	0	0	0	0
10/8/2007	16:25:00	133	24.9	0.654	-3760	5750	4350	60	8.73	38.04	15.84	0.69	17800	21300	6400	135	132	133	17.1	27.8	30.4	5730	-2940	0	0	0	0
10/8/2007	16:26:00	133	26.9	0.735	-4560	6210	4220	60	8.73	38.11	15.91	0.69	17800	21300	6400	135	132	133	17.2	32.2	28.5	5700	-3710	0	0	0	0
10/8/2007	16:27:00	133	26.8	0.734	-4540	6180	4200	60	8.73	38.18	15.99	0.69	17800	21300	6400	135	132	133	17.1	32	28.4	5700	-3690	0	0	0	0
10/8/2007	16:28:00	134	26.4	0.719	-4390	6110	4250	60	8.73	38.26	16.06	0.69	17800	21300	6400	135	132	134	17.1	31.8	28.2	5820	-3660	0	0	0	0
10/8/2007	16:29:00	133	26.5	0.725	-4440	6120	4210	60	8.73	38.33	16.14	0.69	17800	21300	6400	135	132	133	17	31.8	28.3	5770	-3650	0	0	0	0
10/8/2007	16:30:00	133	26.5	0.772	-4720	6110	3880	60	8.73	38.39	16.21	0.69	17800	21300	6400	135	132	133	17.1	32.7	28.3	5780	-3950	0	0	0	0