

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA

DE INGENIERIA ELECTRICO – MÉCANICA

TÍTULO:

ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACION DE BANCOS DE CAPACITORES EN EL
CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL

AUTOR:

HENRY ANTONINO IZURIETA VALDIVIESO

TUTOR:

ING. ORLANDO PHILCO A.

Guayaquil, Ecuador

2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA
DE INGENIERIA ELECTRICO – MÉCANICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Henry Antonino Izurieta Valdivieso**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico**.

TUTOR (A)

Ingeniero Orlando Philco A.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ingeniero Armando Heras Sánchez

Guayaquil, a los 3 días del mes de Septiembre del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA
DE INGENIERIA ELECTRICO – MÉCANICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Henry Antonino Izurieta Valdivieso**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Estudio para la implementación de un banco de capacitores en el Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil** previo a la obtención del Título **de Ingeniero Eléctrico Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo Teórico referido.

Guayaquil, a los 3 días del mes de Septiembre del año 2015

EL AUTOR (A)

Henry Antonino Izurieta Valdivieso



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA
DE INGENIERIA ELECTRICO – MÉCANICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Henry Antonino Izurieta Valdivieso

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Estudio para la implementación de un banco de capacitores en el Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 3 días del mes de septiembre del año 2015

EL (LA) AUTOR(A):

Henry Antonino Izurieta Valdivieso

DEDICATORIA

A mis padres que me supieron guiar siempre por un buen camino, que estuvieron junto a mí apoyándome en cada momento. A mi madre por apoyarme en esta etapa de mi vida y a mi padre que estaría orgulloso de lo que logró inculcarme y guiarme hasta su último día de vida.

A mis hermanos, a mis abuelas, a mis tíos y tías que siempre brindaron su apoyo. Y muy en especial a mi abuela Lucila que siempre estuvo ahí para mí ayudándome y dándome el empujón que a veces nos hace falta a todos.

AGRADECIMIENTO

Les agradezco a todos los profesores de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil que transmitieron todos sus conocimientos en las aulas de clase. Permitiéndome crecer cada día y poder demostrar mis conocimientos en el ámbito laboral y personal.

Agradezco a toda mi familia por el apoyo que me dieron en todo momento. A mis padres por la excelente crianza que me dieron y como siempre me incentivaban a hacer mejora las cosas y poder siempre ser una persona de bien con buenos valores.

A todas las personas que han formado parte de mi vida durante este proceso de formación profesional y durante toda mi vida. Amigos, familia, profesores y compañeros.

INDICE GENERAL

Portada	
Certificación.....	i
Declaración de Responsabilidad.....	II
Autorización.....	III
Dedicatoria	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
CAPITULO I	
GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Tipo de Investigación.....	4
1.6. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Conceptos Básicos.....	5
2.2. Potencia.....	5
2.2.1. Potencia Aparente	6
2.2.2. Potencia Activa	6
2.2.3. Potencia Reactiva	7

2.3.	Triangulo de Potencias.....	8
2.4.	Tipos de Cargas.....	9
2.4.1.	Cargas Inductivas.....	9
2.4.2.	Cargas Resistivas.....	10
2.4.3.	Cargas Capacitivas.....	13
2.4.4.	Cargas Compuestas.....	14
2.5.	Factor de Potencia.....	15
2.6.	Corrección del Factor de Potencia.....	16
2.6.1.	Compensación en grupo.....	17
2.6.2.	Compensación individual.....	19
2.6.3.	Compensación Central.....	20
2.6.3.1.	Compensación Central Convencional.....	21
2.6.3.2.	Compensación Central Automática.....	22
2.7.	Formas de Corregir el bajo factor de potencia.....	23
2.7.1.	Mediante la aplicación de Capacitores.....	23
2.7.1.1.	Definición de un capacitor.....	25
2.7.1.2.	Carga y Descarga de un capacitor.....	27
2.7.1.3.	Energía almacenada por un capacitor.....	28
2.8.	Causas del bajo factor de potencia.....	29
2.9.	Consecuencias del bajo factor de potencia.....	30
2.9.1.	Incremento de las caídas de tensión.....	32
2.9.2.	Incremento del costo de la electricidad.....	32
2.9.3.	Sobrecarga de Transformadores.....	32
2.9.4.	Incrementos de las pérdidas por el efecto Joule.....	33
2.10.	Tipos de bancos de capacitores.....	33
2.10.1.	Bancos de Capacitores Fijos.....	33
2.10.2.	Bancos de Capacitores Automáticos.....	35

CAPÍTULO III

PARÁMETROS PARA INSTALAR UN BANCO DE CAPACITORES.....	36
3.1. Capacitor de Potencia.....	36
3.2. Conexiones de los bancos de capacitores.....	39
3.2.1. Estrella sólidamente aterrizada.....	39
3.2.2. Estrella con neutro flotante.....	41
3.2.3. Delta.....	41
3.3. Efecto Resonancia.....	41
3.3.1. Resonancia Serie.....	44
3.3.2. Resonancia Paralelo.....	45
3.4. Componentes armónicas.....	46
3.5. Protecciones.....	49
3.5.1. Breaker principal.....	51
3.5.2. Fusibles.....	52
3.5.3. Conductores.....	53
3.5.4. Gabinete o tablero.....	53
3.5.5. Contactores.....	55
3.5.6. Controlador de factor de potencia.....	57
3.5.7. Lectores de Corriente.....	58
3.5.8. Lectores de Tensión.....	58
3.5.9. Lectores de Factor de Potencia.....	58

CAPÍTULO IV

SITUACIÓN ACTUAL DE LA UNIVERSIDAD.....	59
4.1. Cuarto de Transformadores.....	59
4.2. Recolección de parámetros eléctricos.....	59
4.3. Multímetro de Tenaza Marca Extech Modelo 380976-K.....	60

4.4.	Banco de Transformadores.....	62
4.5.	Tipos de Carga en la Universidad Catolica.....	62
CAPÍTULO V		
ANÁLISIS DE DATOS.....		
5.1.	Facultad Tecnica.....	64
5.1.1.	Factor de Potencia en el panel de Distribución	65
5.2.	Facultad de Multimedia y Diseño Web (Canal)	66
5.2.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	67
5.3.	Facultad de Especialidades Empresariales.....	68
5.3.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	69
5.4.	Area de Computo	70
5.4.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	71
5.5.	Area de Computo B	72
5.5.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	73
5.6.	Biblioteca General	74
5.6.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	75
5.7.	Facultad de Jurisprudencia	76
5.7.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	77
5.8.	Edificio Principal/Administracion Central.....	78
5.8.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	79
5.9.	Facultad de Idiomas.....	80
5.9.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	81
5.10.	Aula magna	82
5.10.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	83
5.11	Facultad de Ingenieria.....	84
5.11.1	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	85
5.12.	Facultad de Arquitectura	86

5.12.1	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	87
5.13.	Facultad de Psicología.....	88
5.13.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	89
5.14.	Facultad de Economía.....	90
5.14.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	91
5.15.	Facultad de Medicina.....	92
5.15.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	93
5.16.	Facultad de Medicina B.....	94
5.16.1.	Factor de Potencia en el Panel de Distribución.....	95
5.17.	Análisis del factor de potencia.....	96
CAPÍTULO VI		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
Conclusiones.....		98
Recomendaciones.....		99
Bibliografía.....		105
Glosario.....		106

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 1: Potencia Aparente (S) al sumar la potencia Activa (P) y la potencia reactiva (Q).....	6
Figura 2: Potencia Activa cuando se encuentra en fase con la tensión	7
Figura 3: Potencia Reactiva en adelanto (QC) o Atraso (QL) con respecto a la tensión.....	8
Figura 4: Triangulo de Potencias.....	8
Figura 5: Diagrama Fasorial con cargas puramente inductivas.....	10
Figura 6: Onda de la corriente y el voltaje (Tensión) en cargas inductivas.....	10
Figura 7: Reflector Sylvania 400 W.....	11
Figura 8: Onda de la corriente y el voltaje (Tensión) en fase.....	12
Figura 9: Diagrama Fasorial con cargas puramente Resistivas.	12
Figura 10: Condensador marca Electronicon.	13
Figura 11: Diagrama fasorial con cargas puramente capacitivas.	13
Figura 12: Onda de la corriente y el voltaje (Tensión) en cargas capacitivas.....	14
Figura 13: Compensación Grupal.	18
Figura 14: Compensación Individual.	20
Figura 15: Compensación Central.....	22
Figura 16: Capacitor.....	26
Figura 17: Grafica de carga y descarga de un capacitor.....	28
Figura 18: Banco de Capacitores. Ingeniería Velásquez Colombia.	34
Figura 19: Banco de Capacitores Automáticos.	35
CAPITULO III	
Figura 20: Ilustración de la armadura de un capacitor.	37
Figura 21: Vista interna de un capacitor.....	38

Figura 22: Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente aterrizado.....	40
Figura 23: Conexión estrella con neutro flotante con protección en el neutro...	41
Figura 24: Conexión de Bancos de Capacitores en Delta.	42
Figura 25: Gráfico de un circuito resonante en serie.	45
Figura 26: Gráfico de un circuito resonante en paralelo.	46
Figura 27: Ondas Sinusoidales de la 2da, 3era, 4ta y 5ta armónica.	47
Figura 28: Ubicación de las protecciones del banco de capacitores.	50
Figura 29: Breaker marca Schneider Electric.	52
Figura 30: Tablero de Capacitores.....	55
Figura 31: Contactor marca ZeZ Silko.	57
Figura 32: Controlador de factor de potencia marca Schneider Electric.	58
 CAPITULO IV	
Figura 33: Multímetro de Tenaza Marca Extech Modelo 380976-K.	61
 CAPITULO V	
Figura 34: Medición Fase R.....	65
Figura 35: Medición del Factor de Potencia Fase R.....	66
Figura 36: Medición del Factor de Potencia Fase R.....	68
Figura 37: Medición del Factor de Potencia Fase T.....	70
Figura 38: Medición del Factor de Potencia Fase R..	72
Figura 39: Medición del Factor de Potencia Fase R.	74
Figura 40: Medición del Factor de Potencia Fase T.....	76
Figura 41: Medición del Factor de Potencia Fase S.....	78
Figura 42: Medición del Factor de Potencia Fase R.....	80
Figura 43: Medición del Factor de Potencia Fase T.....	82
Figura 44: Medición del Factor de Potencia Fase S.....	84
Figura 45: Medición del Factor de Potencia Fase S.....	86

Figura 46: Medición del Factor de Potencia Fase T.....	88
Figura 47: Medición del Factor de Potencia Fase R.....	90
Figura 48: Medición del Factor de Potencia Fase R.....	92
Figura 49: Medición del Factor de Potencia Fase S.....	94
Figura 50: Medición del Factor de Potencia Fase S.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO IV

Tabla 1: Capacidades para los bancos de capacitores trifásicos en baja tensión.....	43
-------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPITULO V

Tabla 2: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de transformadores.....	64
------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 3: Factor de Potencia Promedio.....	65
-------------------------------------------	----

Tabla 4: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	67
------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 5: Factor de Potencia Promedio.....	67
-------------------------------------------	----

Tabla 6: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	68
------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 7: Factor de Potencia Promedio.....	69
-------------------------------------------	----

Tabla 8: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	70
------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 9: Factor de Potencia Promedio.....	71
-------------------------------------------	----

Tabla 10: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	72
-------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 11: Factor de Potencia Promedio.....	73
--------------------------------------------	----

Tabla 12: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	74
-------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 13: Factor de Potencia Promedio.....	75
--------------------------------------------	----

Tabla 14: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	76
-------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 15: Factor de Potencia Promedio.....	77
--------------------------------------------	----

Tabla 16: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	78
Tabla 17: Factor de Potencia Promedio.....	79
Tabla 18: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	80
Tabla 19: Factor de Potencia Promedio.....	81
Tabla 20: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	82
Tabla 21: Factor de Potencia Promedio.....	83
Tabla 22: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	84
Tabla 23: Factor de Potencia Promedio.....	85
Tabla 24: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	86
Tabla 25: Factor de Potencia Promedio.....	87
Tabla 26: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	88
Tabla 27: Factor de Potencia Promedio.....	89
Tabla 28: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	90
Tabla 29: Factor de Potencia Promedio.....	91
Tabla 30: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	92
Tabla 31: Factor de Potencia Promedio.....	93
Tabla 32: Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.....	94
Tabla 33: Factor de Potencia Promedio.....	95

RESUMEN

Este trabajo de titulación tiene como finalidad conocer todos los elementos que conforman los bancos de capacitores a nivel de baja tensión. Además de conocer todos los factores que intervienen en la red eléctrica previo a realizar un estudio para determinar si es factible o no instalar un banco de capacitores en el campus de la Universidad Católica o en cualquier otro lugar.

Se realizaron mediciones durante el proceso para poder determinar la factibilidad de instalar un banco de capacitores, estas mediciones fueron analizadas y revisadas para determinar las necesidades del Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Un factor importante a tomar en cuenta es el ahorro energético, que actualmente se ha convertido en un problema por el incremento de la energía eléctrica, por esto es necesario estudiar las diferentes formas que existen para reducir los costos energéticos en el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Adicionalmente al momento de realizar las mediciones se revisaron de forma visual los tableros y transformadores, en este trabajo de titulación también hablaremos de esto para poder dar un valor adicional al trabajo.

Factor de Potencia, Energía Reactiva, Cosenofimetro, Capacitores y Ahorro Energético.

ABSTRACT

The meaning of this work is to know all the elements that a condenser bank needs in order to work in low tension. Is important to know the factors that intervene in the electric net in the moment that we want to make a study to determine if it is necessary or not to install a condenser bank in the campus of the Universidad Católica de Santiago de Guayaquil or in any other place.

Readings were taken during the process to determine if it was necessary to install a condenser bank, this reading was analized and checked in order to know all the needs of the Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

A very important factor is the electric save, that nowadays has become an issue due to the increase of the cost of electricity, this is why is necessary to study all the different forms that exist to reduce the electric consume in the Facultad Técnica.

Plus at the moment of the readings a visual check was made to the Transformers and the distribution panels, in this degree work we are also going to talk about this, to add an additional value to this work.

Power Factor, Reactive Energy, Capacitors, Energy Saving and Power Factor Meter.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Este proyecto tiene como finalidad detallar los diversos elementos que se requieren para instalar un banco de capacitores en el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, así como realizar mediciones en el área de baja tensión de los transformadores para poder determinar las necesidades existentes en la actualidad.

A pesar de haberse realizado un estudio al ser creada la Universidad, esta ha ido creciendo con la cantidad de equipos que se han adquirido y las diferentes áreas que se han incrementado, y de igual manera es claro que va a seguir creciendo para poder brindar a sus estudiantes una mejor calidad de servicio en las diferentes carreras existentes.

Se estudiará y se analizarán los diferentes factores, elementos y normas para la implementación de un banco de capacitores, así como el conocimiento de todos los elementos que se van a utilizar y analizar en lo largo del trabajo de ser el caso.

Durante este estudio se dará la información necesaria para poder solucionar problemas como: Caídas de tensión en los conductores, reducción de la energía reactiva desperdiciada, reducción del costo eléctrico de la Universidad, reducción de caídas de tensión, incremento de la vida útil de todos los elementos eléctricos y aumento de la disponibilidad de las líneas y de los transformadores.

Así que, por medio de este estudio podremos determinar las necesidades que tiene la Universidad Católica y los trabajos a realizarse para solucionar las necesidades de energía capacitiva de ser el caso.

1.2. Justificación

Con el aumento del costo de la energía eléctrica y los costos de todos los elementos eléctricos y electrónicos, no podemos permitir que existan problemas en la red eléctrica. El factor de potencia se ha convertido en un problema en la actualidad, si nos ponemos a ver desde el punto de vista económico puede generar multas por contar con un bajo factor y así mismo desperdiciar energía eléctrica al consumir más energía reactiva de la que necesitamos, ya que al reducir la potencia reactiva que requerimos de la Empresa Eléctrica, aumentaremos la potencia que podemos utilizar y reduciremos costos de energía.

Desde el punto de vista técnico este bajo factor de potencia va a provocar que la vida útil de los elementos y equipos se reduzcan e incluso puede ocasionar que estos no trabajen con normalidad. Por ende el estudio para la implementación es algo necesario tanto desde el punto de vista técnico, como desde el punto de vista económico.

1.3 Planteamiento del Problema

La caída de voltaje en las diferentes áreas de la Universidad es evidente, ya sea está provocada por la distancia que existe entre los transformadores y la carga, sino también por los conductores que fueron usados en su momento. Estos conductores fueron calculados para una cantidad de carga determinada pero con el incremento que se ha generado por diversos equipos y más aun con un incremento que se desea tener más adelante con laboratorios más equipados, mayor cantidad de motores, etc.

Estos conductores necesitan un alivio y al mismo tiempo se pueden solucionar más problemas como lo es el factor de potencia, este será nuestro enfoque principal, que es un punto a tomar en cuenta al momento de estudiar las caídas de voltaje, el aumento de carga reactiva y la potencia que se usa de los transformadores del campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Es necesario luego de tantos años de su creación, el realizar un estudio para ver si es necesario implementar un banco de capacitores.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar las necesidades de energía capacitiva en el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la carga existente en todo el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Estudiar los elementos del banco de capacitores.
- Diseñar un plan de ahorro energético para el campus UCSG

1.5 Tipo de Investigación

Para ese trabajo se implementó el método teórico y científico. Estos fueron implementados debido a que necesitábamos conocer todos los elementos necesarios para implementar un banco de capacitores, así como realizar mediciones y revisar todos los datos que se pueden obtener en la red eléctrica de la Universidad Católica.

1.6. Hipótesis

Es necesario implementar un Banco de Capacitores en el Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Conceptos Básicos

Es necesario recordar varios términos que vienen directamente relacionados con los bancos de capacitores, sean estos conceptos completamente necesarios para este trabajo que nos pueden servir para otros estudios de bancos de capacitores para otras áreas. Los términos a revisar van a ser sobre las potencias que vamos a encontrar en los circuitos y elementos que utilizan corriente alterna.

2.2. Potencia

Potencia es la capacidad de un elemento para solicitar o entregar energía eléctrica por unidad de tiempo, la unidad de potencia mundial es el WATT o Vatio como se conoce en la lengua castellana.

En todos los sistemas eléctricos se contemplan varias potencias, las cuales son:

- Potencia Aparente (S)
- Potencia Activa (P)
- Potencia Reactiva (Q)

2.2.1. Potencia Aparente

Es la suma geométrica total de las potencias (Activa y reactiva) o también el producto del voltaje y la corriente. Se la reconoce con la letra S y su unidad es el Voltamperio (VA).

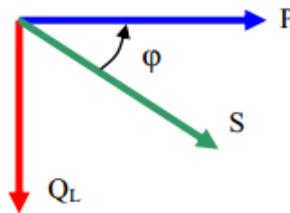


Figura 1. Potencia Aparente (S) al sumar la potencia Activa (P) y la potencia reactiva (Q)

Fuente: (Gómez, 2009)

2.2.2. Potencia Activa

Esta es la potencia real que tenemos en un sistema, esta potencia es la que nos sirve para transformar la energía eléctrica en mecánica, calorífica, lumínica, etc. La unidad de esta potencia es el Watt (W) o Vatio, y es representada con la letra P.

Expresada en la fórmula siguiente:

$$P = V \times I (\text{Cos } \varphi)$$

Donde:

P= Potencia Real

I= Valor eficaz de la corriente

V= Valor eficaz del voltaje

Cos φ = Factor de Potencia

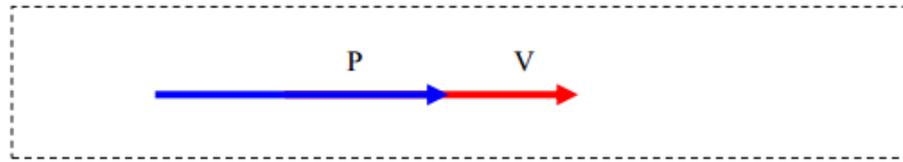


Figura 2. Potencia Activa cuando se encuentra en fase con la tensión. Fuente: (Gómez, 2009)

2.2.3. Potencia Reactiva

Esta es la potencia más conocida como potencia de magnetización, esta no existe en todos los elementos eléctricos, solo en ciertos que tengan que crear campos magnéticos, como motores, relés, bobinas, transformadores, etc. Esta energía permite que los elementos antes mencionados funcionen normalmente, pero así mismo esta energía se tiende a desperdiciar, y es el mayor causal de la disminución del factor de potencia en las instalaciones eléctricas.

Es decir, esta energía no puede transformarse en energía mecánica o calorífica útil, pero si pueden causar pérdidas adicionales en los equipos que transportan energía. La sobre intensidad de esta potencia puede provocar:

- Pérdida de potencia en las instalaciones
- Aumenta las pérdidas de las instalaciones eléctricas
- Recarga los transformadores

Por estas razones es necesario compensar la energía reactiva. Esta es representada por la letra Q y su unidad es el Voltamperio reactivo (VAR).

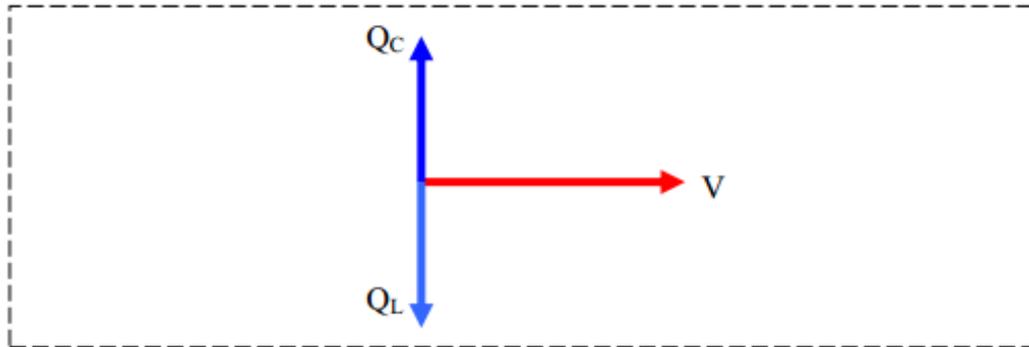


Figura 3. Potencia Reactiva en adelante (QC) o Atraso (QL) con respecto a la tensión.

Fuente: (Gómez, 2009)

2.3. Triangulo de Potencias

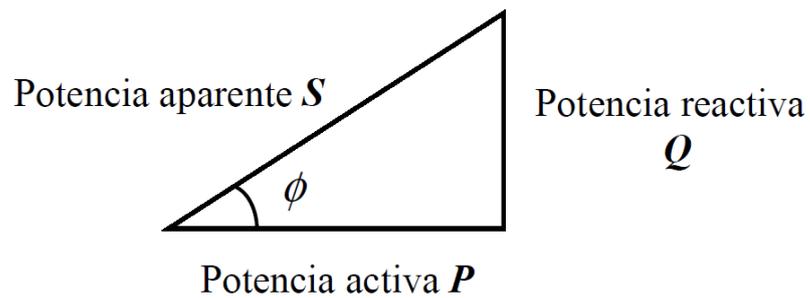


Figura 4. Triangulo de Potencias. Fuente: Autor

Donde:

S= Potencia Aparente (KVA)

P= Potencia Activa (KW)

Q= Potencia Reactiva (Q)

Según el triángulo de potencias podemos concluir en tres cosas dependiendo del coseno del ángulo φ :

- Igual a 1: Un factor de potencia igual a 1 significa que la tensión y corriente están en fase, es decir que la potencia aparente es igual a la potencia activa.
- Adelantado: Un factor de potencia adelantado significa que la corriente se adelanta con respecto a la tensión, lo que implica carga capacitiva.
- Retrasado: Un factor de potencia atrasado significa que la corriente se retrasa con respecto a la tensión, lo que implica carga inductiva.

2.4. Tipos de Cargas

En una red eléctrica vamos a encontrar diversos tipos de cargas, ya que cada equipo trabaja de forma diferente con elementos diferentes, las cargas que podemos encontrar en nuestras redes eléctricas son las inductivas, resistivas, capacitivas y compuestas.

2.4.1. Cargas Inductivas

Son todas las cargas que utilizan campos magnéticos para su operación, es decir los elementos que utilizan el paso de energía eléctrica por sus componentes para crear trabajo, sean estos transformadores, bobinas, etc. Estas cargas se atrasan en 90° en la fase, por esto se obtiene un factor de potencia retrasado al presentarse estas cargas.

En un circuito puramente inductivo la corriente va a estar retrasada 90° con respecto al voltaje. Por ende nuestro diagrama fasorial quedara de la siguiente forma:

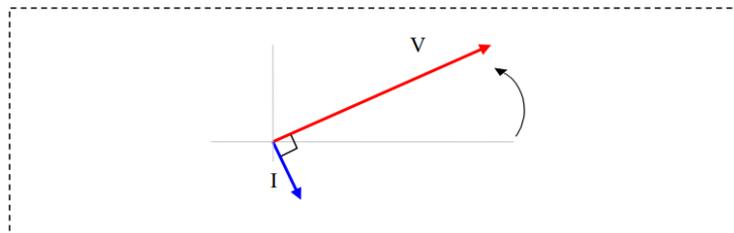


Figura 5. Diagrama fasorial con cargas puramente inductivas. Fuente: (Gómez, 2009)

Al estar la corriente atrasada en 90° con el voltaje, podemos ver las ondas senoidales entre ellas con respecto al tiempo, además del desfase que existe entre ellas.

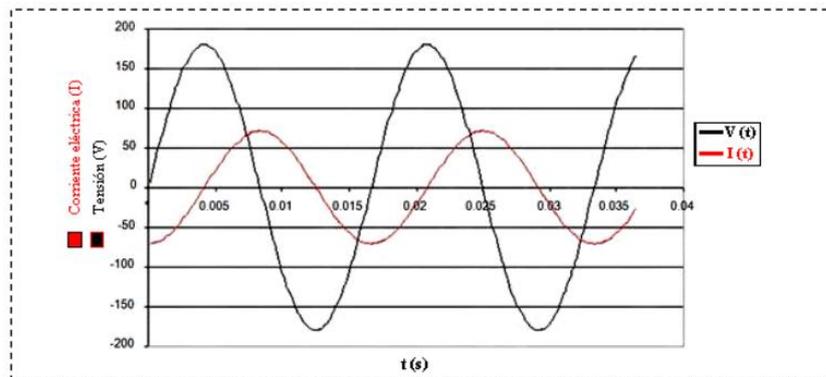


Figura 6. Onda de la corriente y el voltaje (Tensión) en cargas inductivas. Fuente: (Gómez, 2009)

2.4.2. Cargas Resistivas

Es toda la carga que es transformada de energía eléctrica a energía luminosa o calorífica. Sean estas lámparas incandescentes, reflectores incandescentes, planchas, etc. Esta energía se encuentra en fase con el

voltaje y la corriente por lo que tiene un ángulo de 0° y no adelanta ni atrasa el factor de potencia.

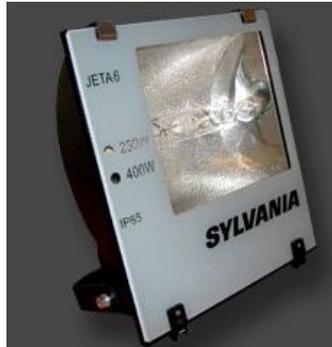


Figura 7. Reflector Sylvania 400 W. Fuente: (Catalogo Sylvania, 2012)

Cuando la corriente está en fase con el voltaje, significa que tenemos un sistema puramente resistivo, entonces vamos a obtener la siguiente formula:

$$I = V/R$$

Donde:

I = Corriente Eléctrica (Amperios)

V = Voltaje (Voltios)

R = Resistencia (Ohmios)

Al estar la corriente en fase con el voltaje, podemos ver las ondas senoidales entre ellas con respecto al tiempo, además del desfaseamiento que existe entre ellas, al estar en fase esto es igual a 0.

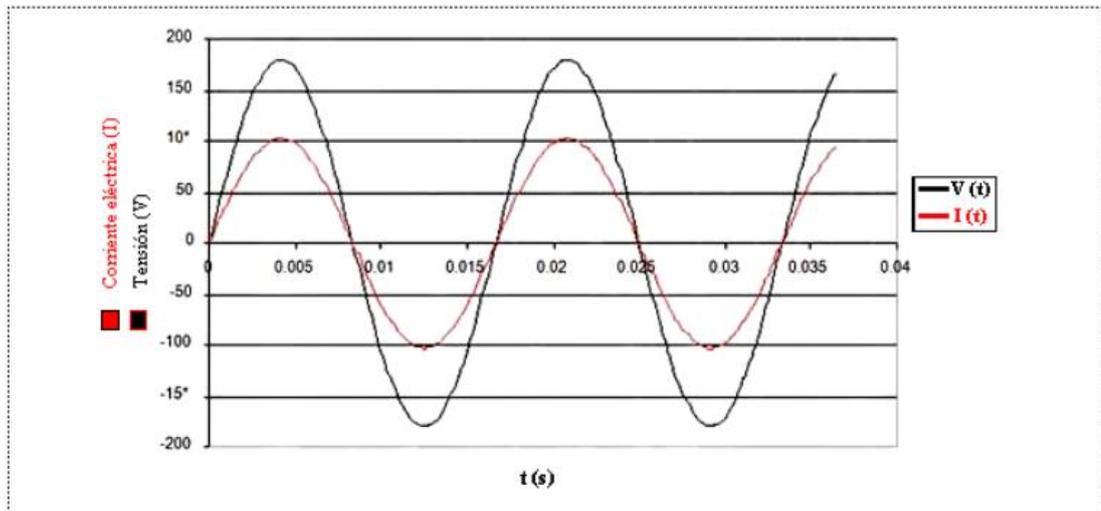


Figura 8. Onda de la corriente y el voltaje (Tensión) en fase. Fuente: (Gómez, 2009)

Como sabemos la resistencia eléctrica absorbe la potencia generada en Watts o Vatios que es igual a:

$$P = V \cdot I = R \cdot I^2 = V^2 / R$$

Donde:

P = Potencia Activa (Watts)

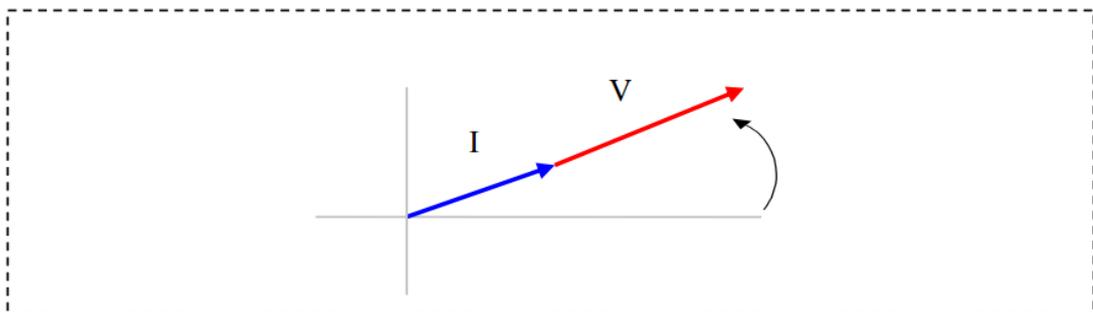


Figura 9. Diagrama Fasorial con cargas puramente Resistivas. Fuente: (Gómez, 2009)

2.4.3. Cargas Capacitivas

Es toda la carga comprendida por condensadores o capacitores, que tienen como función el almacenar carga eléctrica y luego liberarla según el sistema lo solicite. Estas cargas se adelantan en 90° en la fase, por esto se obtiene un factor de potencia adelantado al presentarse estas cargas.



Figura 10. Condensador marca Electronicon. Fuente: Catalogo Electronicon (2013)

En un circuito puramente capacitivo la corriente va a estar adelantada 90° con respecto al voltaje. Por ende nuestro diagrama fasorial quedara de la siguiente forma:

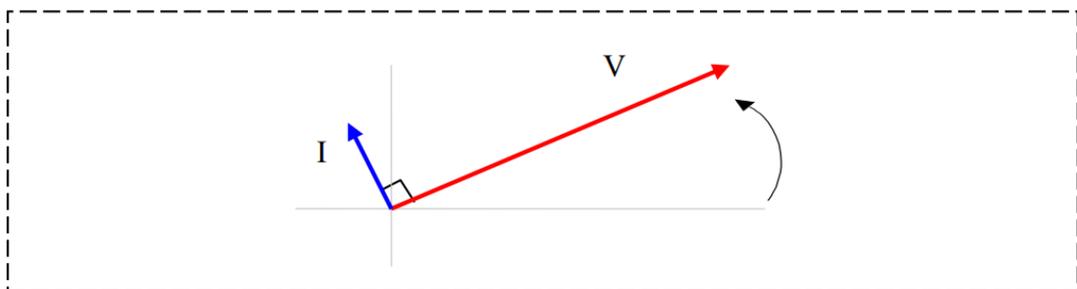


Figura 11. Diagrama fasorial con cargas puramente capacitivas. Fuente: (Gómez, 2009)

Al estar la corriente adelantada en 90° con el voltaje, podemos ver las ondas senoidales entre ellas con respecto al tiempo, además del desfaseamiento que existe entre ellas.

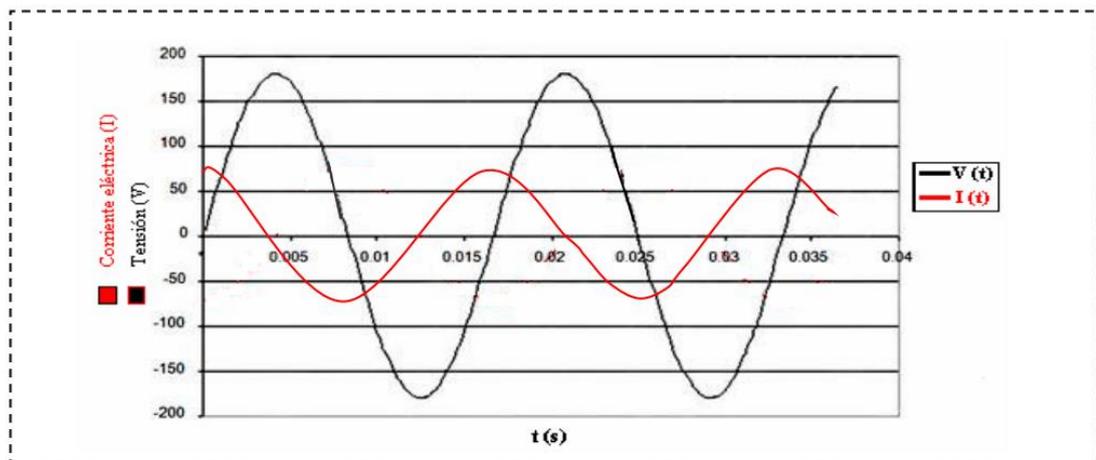


Figura 12. Onda de la corriente y el voltaje (Tensión) en cargas capacitivas. Fuente: Enrique Gómez Morales (2009)

2.4.4. Cargas Compuestas

Esta está compuesta por carga resistiva, y junto en paralelo con una carga reactiva. Esto se presenta en sistemas de iluminación, calefacción, etc. Es decir esto ocurre cuando los elementos requieren dos tipos de cargas, resistiva y reactiva.

2.5. Factor de Potencia

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, es decir, la relación entre la potencia real y la potencia total consumida. Este es el $\text{Cos } \varphi$ entre la potencia aparente y la activa. Esta dada entre 0 y 1.

$$FP = \text{Cos } \varphi = P/S$$

Donde:

FP= Factor de Potencia

P= Potencia Real

S= Potencia Aparente

El factor de potencia es el desfaseamiento de la corriente con respecto al voltaje o la no existencia de este. Esto determina el aprovechamiento o no de la energía eléctrica, la cual como detallamos previamente varía entre 0 y 1, siendo 0 = 0% y 100 = 100% del aprovechamiento de la energía suministrada por la red eléctrica. Entonces podremos concluir que al tener un factor de potencia inferior a 1, la energía eléctrica no está siendo aprovechado al máximo y se está necesitando de una mayor cantidad de energía para poder realizar el trabajo necesario. Al tener el factor de potencia en 1 esto quiere decir que estamos utilizando al máximo la energía y toda esta energía fue transformada en trabajo de manera eficiente y sin pérdidas.

2.6. Corrección del Factor de Potencia

El factor de potencia se ve afectado directamente por las cargas reactivas de las que hablamos previamente, estas al ser cargas que no realizan trabajo disminuyen el factor de potencia, sin embargo son necesarias al momento de crear el campo electromagnético de los motores, transformadores, etc. Estas cargas son las que predominan en cualquier fábrica, industria, etc. y a diferencia de la energía resistiva, la cual toma los Watts y los transforma directamente en calor solo con el hecho de consumirlos.

Esta energía reactiva es suministrada por la empresa eléctrica, pero así como es suministrada también es cobrada, al tener un exceso de energía reactiva tendremos una disminución del factor de potencia, debemos corregirla para reducir los costos de energía y también para garantizar el mejor funcionamiento de nuestros equipos y mayor vida útil.

La forma correcta de realizar esta corrección es con la implementación de bancos de capacitores, estos pueden ser de entradas automáticas o directamente en la carga. También se implementan motores síncronos, pero lo más práctico es la implementación de los bancos de capacitores o condensadores.

También existen otras soluciones pero estas requieren una mayor inversión y un mayor análisis, como por ejemplo: cambiar los motores existentes por unos de mayor eficiencia, regular el voltaje de tal manera que los motores trabajen lo más cercano a su voltaje óptimo y no por debajo de este y finalmente existe en optimizar la operación de los motores, para no

tenerlos trabajando cuando no son necesarios o realizando labores de menor demanda para el que fueron construidos.

Al momento de hablar de la implementación de bancos de capacitores, podemos detallar a breves rasgos los tipos de conexiones que podemos realizar según sea requerido:

- Compensación en Grupo
- Compensación Individual
- Compensación Central

2.6.1. Compensación en Grupo

Se usa principalmente cuando tenemos áreas de operación o trabajo que contengan varios motores, compresores, u otros equipos, y estos entren a operar de manera simultánea para cumplir una tarea, aquí realizamos una compensación para todo este grupo, ya con todos los cálculos previamente realizados, de tal forma que mantengamos el factor de potencia estable cuando estos entren a operar, y de igual forma se desconecten una vez que este grupo de trabajo deje de funcionar.

Esta compensación va a mejorar los niveles de voltaje de todos sus grupos de trabajo pero las pérdidas que son ocasionadas en donde se encuentra la carga no van a ser reducidas en una proporción importante.

Ventajas:

- Es una inversión económica ya que se requiere solo de un banco y sus diferentes seccionadores para los grupos a trabajar.
- Los bancos de capacitores pueden ser instalados en el centro de control de motores así como en las barras de distribución principal.

Desventajas:

- No va a solventar las pérdidas de corriente ya que va a seguir circulando potencia reactiva por todo el sistema.
- Al estar formado en grupos de cargas con potencias diferentes pero tiempos de trabajo similares no se podrá compensar directamente a la carga.

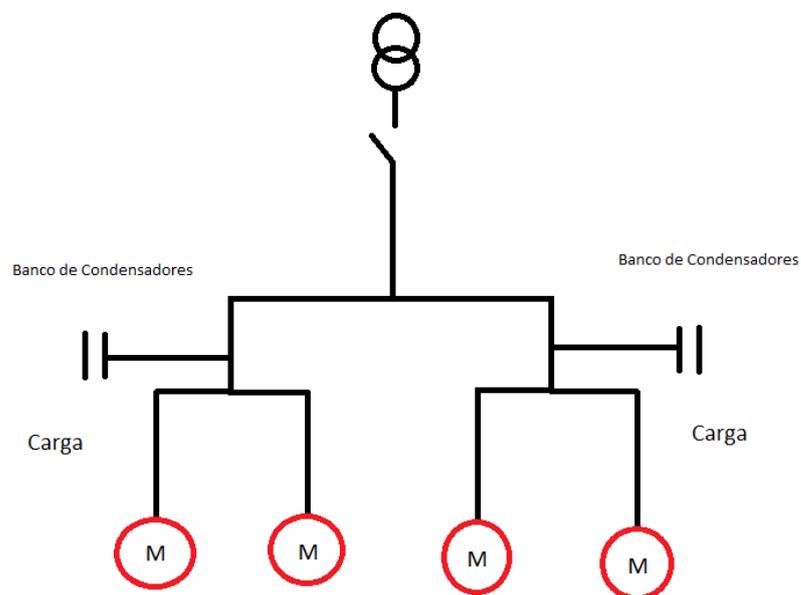


Figura 13. Compensación Grupal. Fuente: Autor

2.6.2. Compensación Individual

Las tendencias a realizar todo de forma más especializada y enfocada a cada equipo como una unidad, ha permitido que el enfoque sea más específico a la hora de implementar los capacitores, ya que al compensar la energía reactiva directamente donde se lo requiera, va a reducir las pérdidas de manera precisa y óptima para las instalaciones. El problema que esto genera es el costo, debido que se requiere un capacitor con sus debidos elementos de protección y control para cada carga a ser instalada.

Esta compensación es lo más cercano a lo óptimo, ya que va a mejorar los niveles de voltaje y a compensar las pérdidas que se generan directamente en la fuente, que es la carga instalada. Además según estudios realizados por el Estado de New York en su departamento de energía, esta corrección ayuda a disminuir las armónicas creadas en la red eléctrica. NYSERDA (2012)

Ventajas:

- Los capacitores son instalados directamente en la carga, entonces la potencia reactiva va a ser suministrada al segmento más pequeño de la red eléctrica.
- Se mejora la regulación del voltaje en todo el sistema independientemente.
- Los capacitores solo entran a trabajar cuando la carga entra a trabajar, de esta forma solo trabaja cuando es requerido y no generan una sobre corrección.

- Todas las líneas que no se encuentran trabajando quedan libres de la potencia reactiva que es suministrada por los capacitores.

Desventaja:

- El costo es mayor debido al incremento de equipos de control y de los mismos capacitores.

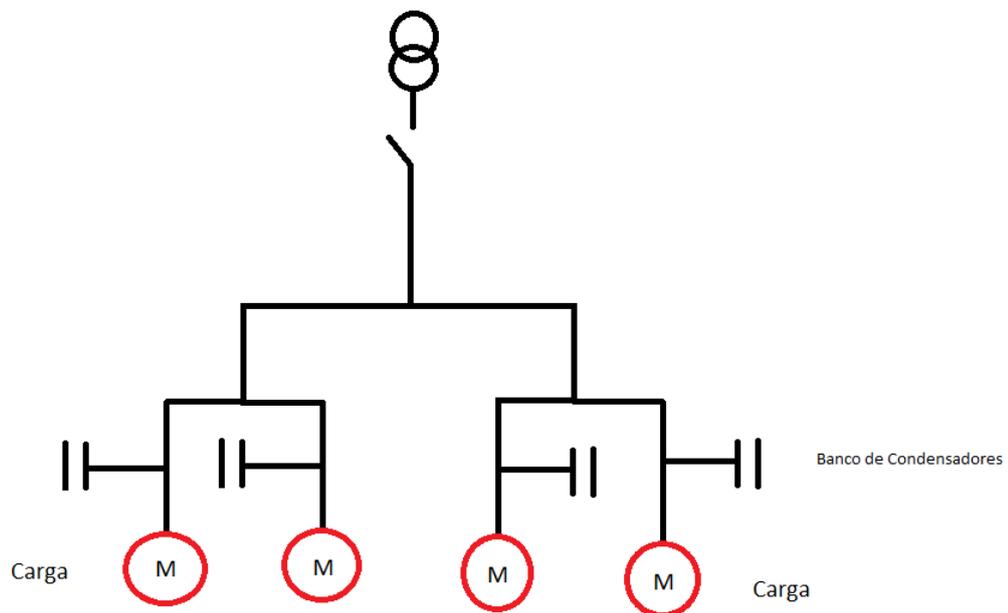


Figura 14. Compensación Individual. Fuente: Autor

2.6.3. Compensación Central

Esta podemos dividirla en dos:

- Central convencional
- Central automática

2.6.3.1. Compensación Central Convencional

Esta es la compensación más usada a través de los años, la ventaja que tiene esta es la inversión que es más reducida ya que se coloca en un área luego de los transformadores para compensar la energía reactiva desde ese punto, sin embargo la compensación generalmente no es la óptima, el cálculo que se realiza se hace a plena carga cuando entran los capacitores y en ciertos casos variable, pero generalmente no se puede obtener un factor de potencia óptimo, sino solo uno bueno que cumple las expectativas pero puede mejorarse aún más.

Esta compensación va a mejorar los niveles de voltaje indudablemente pero las pérdidas que son ocasionadas en donde se encuentra la carga no van a ser reducidas.

Ventajas:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.
- Se tiene una mejora en la regulación de tensión en el sistema.
- La inversión económica será la más baja de todas.

Desventajas:

- No se reduce la sobrecarga en las líneas debido a que la carga esta en todo el sistema.
- No se reducen las pérdidas ocasionadas en cada carga.

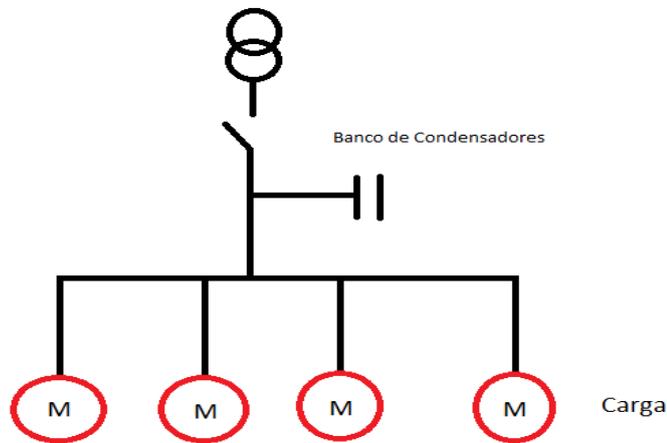


Figura 15. Compensación Central. Fuente: Autor

2.6.3.2. Compensación Central Automática

Este tipo de compensación brinda una solución general al problema del bajo factor de potencia, pero de igual manera tiene gran impacto económico, estos son instalados a nivel de la distribución en baja tensión, y el trabajo es efectuado principalmente por los controladores de factor de potencia y los contactores especiales para bancos de capacitores.

Aquí la potencia total que controla el banco de capacitores está dividido en bloques de trabajo, estos se encuentran conectados al controlador y este asigna la operación de cada grupo o de cada capacitor según sea requerido. Esta operación primero pasa por el contactor para que pueda generar el trabajo.

Ventajas:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.
- Se tiene una mejora en la regulación de tensión en el sistema.
- La inversión económica será la más baja de todas.
- Fácil supervisión
- Suministro de energía reactiva según las necesidades de operación.

Desventajas:

- No se reduce la sobrecarga en las líneas debido a que la carga está en todo el sistema.
- No se reducen las pérdidas ocasionadas en cada carga.
- Mayor inversión económica.

2.7. Formas de Corregir el Bajo Factor de Potencia

Actualmente se utilizan dos formas para corregir:

- Mediante la aplicación de Capacitores
- Mediante el uso de Maquinas Síncronas

2.7.1. Mediante la Aplicación de Capacitores

Este es el método más usado para las instalaciones eléctricas, principalmente por su economía, por la facilidad de aplicarlo, y porque no

contiene partes móviles que se puedan desgastar, además su operación es muy sencilla y en el caso de haber un daño en un elemento, solo se lo remueve y se coloca uno nuevo. Como hablamos previamente de las cargas capacitivas, sabemos que los capacitores se adelantan a la carga y por ende solventan el exceso de energía inductiva del sistema.

Los capacitores al ser conectados en paralelo a la carga van a proporcionar de energía reactiva directamente al sistema, por esto ya no es necesario solicitarlo a la red eléctrica proveedora, y de esta manera reducimos la cantidad de corriente necesaria.

Esta implementación nos va a presentar varias ventajas como por ejemplo:

- Al ser un equipo de alto rendimiento, va a permitir que sus desperdicios sean mucho menores y es perfecto para pequeñas cargas.
- Estos no requieren un mantenimiento preventivo para continuar operando normalmente, solo un correctivo en caso de dañarse algún elemento.
- No requieren de energía eléctrica considerable para su operación, la potencia absorbida es tan mínima que no es si quiera considerada.
- La conexión es bien básica debido a que se instalan en baja tensión luego de los transformadores, se puede conectar directamente de las barras de distribución.
- Al ser equipos económicos pero altamente eficientes, la recuperación de la inversión es casi inmediata.

También presenta desventajas como por ejemplo:

- Cuando se implementa un banco de capacitores central o en grupo, se pueden generar armónicas cuando se encuentran trabajando con pequeñas cargas. Principalmente porque el banco se encuentra en resonancia con el transformador.
- Estos capacitores requieren estar protegidos individualmente por sus fusibles, debido a que cuando se genere un problema en el capacitor, el cortocircuito ocasionado no dañe ningún elemento de la instalación eléctrica.

La implementación del banco de capacitores nos va a brindar más ventajas que desventajas, por lo cual es viable su instalación y es necesario contar con este.

2.7.1.1. Definición de un Capacitor

Un capacitor es un elemento que tiene como principal característica el acumular electricidad, ya sea esta alterna o continúa. Sus componentes principales son dos placas conductoras que se encuentran dispuestas una frente a la otra las cuales son conocidas como electrodos, y en el espacio que existe entre ellas hay un aislante que puede variar según el fabricante, por ejemplo aire, plástico, etc. este material aislante se denomina dieléctrico.

En las caras externas de estas placas se conecta una fuente de tensión que genera un campo electrostático en el espacio comprendido entre las dos

placas. Donde G es una fuente de energía, la cual podría ser un generador o una batería tanto de corriente alterna como de corriente continua.

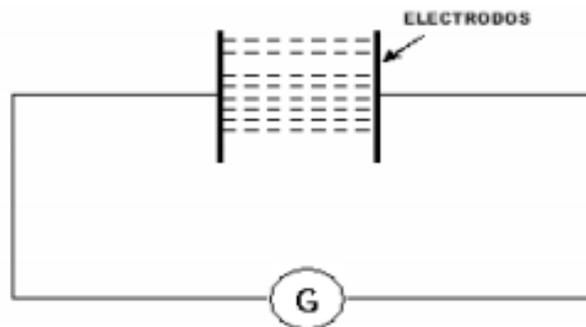


Figura 16. Capacitor. Fuente: (Gómez, 2009)

Enrique Gómez Morales. 2009 indica que: “El coulomb es una cantidad de carga eléctrica que puede ser almacenada o descargada en forma de corriente eléctrica durante un cierto periodo de tiempo tomado como unidad”

Entonces para el caso de los capacitores o cualquier dispositivo que almacena energía, podremos decir que el Coulomb es la unidad de carga o descarga de 1 Amperio en 1 segundo, es decir, que en 1 segundo se descargan $6,25 \times 10^{18}$ Electrones.

Ahora la unidad de carga de los capacitores es el Faradio, esta unidad es la capacidad de carga eléctrica de un capacitor o condensador para almacenar 1 coulomb bajo una tensión aplicada de 1 V en las terminales de sus electrodos. Las características de los capacitores van ligadas directamente con la capacidad de almacenamiento que tienen.

Esta podremos apreciarla en la siguiente formula:

$$C = Q / V$$

Donde:

C = Capacidad del Capacitor (Faradios)

Q = Carga (Coulomb)

V = Voltaje (Voltios)

2.7.1.2. Carga y Descarga de un Capacitor

Carga:

Esto se refiere al almacenamiento de los electrones, es la cantidad de energía que almacena el capacitor, es decir la cantidad de electrones que se desplazan al capacitor y se quedan almacenados, es decir, el capacitor se encuentra cargado. Todo esto en un periodo de tiempo según la capacidad del capacitor.

Descarga:

Luego de que el capacitor está cargado, este se mantiene siempre cargado incluso cuando deja de estar conectada la carga eléctrica, eso solo se empieza a descargar una vez que la configuración o los debidos actuadores lo realicen. Esto ocurre por la fuerza de atracción entre las placas. Por esta razón los capacitores deben contar en sus terminales de una resistencia de descarga de seguridad, esto es por seguridad al momento que el capacitor va a ser manipulado.

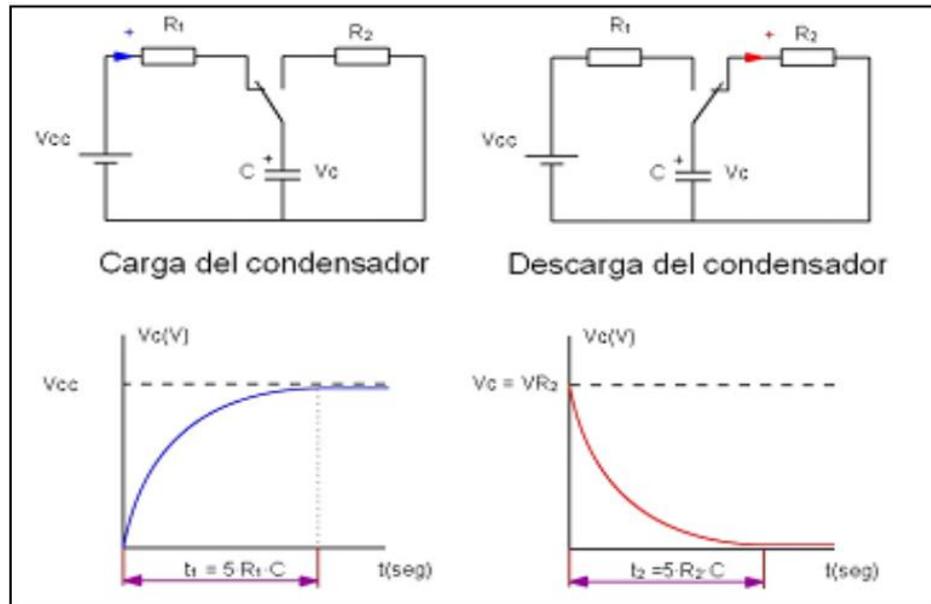


Figura 17. Grafica de carga y descarga de un capacitor. Fuente: (Gómez, 2009)

2.7.1.3. Energía Almacenada por un Capacitor

La energía almacenada en un capacitor es energía que circula dentro del capacitor, y se acumula en su campo eléctrico, esta energía se puede obtener por medio de la siguiente ecuación:

$$E = 1/2 \times C \times V_m^2$$

Donde:

E = Energía almacenada (Joules)

C = Capacidad del capacitor (Faradios)

V_m = Tensión aplicada en su valor pico (Voltios)

2.1.5.2. Mediante el uso de Maquinas Síncronas

Las maquinas síncronas se utilizan en la mayor parte de los casos para compensar el bajo factor de potencia, se dice que es un capacitor de gran capacidad cuando este empieza a operar en vacío para aumentar el factor de potencia cuando este se encuentra debajo de lo normal.

Este motor al estar conectado en vacío va a aumentar el factor de potencia en el sistema, debido a que este cuando opera en vacío, el campo de corriente continua sobrecitado, y esto es solo con la finalidad de absorber toda la corriente adelantada, por esta razón se lo conoce también como un condensador síncrono, debido a la función que realiza.

Para que la maquina genere energía reactiva y de esta manera compensar el sistema, este aparte de trabajar en vacío, debe de estar sobrecitado y su velocidad debe ser variada para obtener los mejores resultados, dando la cantidad de energía reactiva necesaria. Es decir, si las maquinas síncronas no operan sobrecitadas estas van a trabajar como un motor a inducción y se adelantara a la corriente en vez de atrasarse a la misma.

2.8. Causas del bajo factor de potencia

Sabemos que todo lo que requiera energía reactiva para su operación provoca reducción del factor de potencia, en varias magnitudes y formas, esto se debe a que son cargas inductivas y estas se atrasan con respecto al voltaje, estas son cargas no lineales y provocan la contaminación de la red eléctrica.

Entre las mayores causas tenemos las siguientes:

- Motores de Inducción
- Motores sobredimensionados
- Motores operando en vacío
- Transformadores sobredimensionados
- Niveles de Voltaje por arriba o abajo del nominal
- Soldadoras de corriente alterna
- Hornos Eléctricos y a inducción
- Lámparas fluorescentes

Todos estos afectan al factor de potencia en diferentes magnitudes, por ejemplo los transformadores sobredimensionados al estar operando por largas jornadas, alimentando cargas que están muy por debajo de la capacidad del transformador, esto oscila según la carga instalada pero es un error muy común a cometerse.

2.9. Consecuencias del bajo factor de potencia

Cuando una instalación eléctrica no cuenta con un buen factor de potencia, esta empieza a deteriorarse, reduce la vida útil de los motores, cables y todos los elementos eléctricos existentes ya que reduce el voltaje con el que trabaja y al mismo tiempo aumenta los costos de la energía eléctrica.

Al momento de requerir una mayor cantidad de energía reactiva por la cantidad de carga inductiva que tenemos instalada, va a hacer que la empresa eléctrica tenga que generar más energía y por ende la transmisión también

tendrá que aumentar para poder satisfacer todas las necesidades de los clientes. Todo esto tiene un costo, el cual es proporcional al consumo de esta energía, toda energía reactiva es cobrada actualmente e incluso es penalizada la empresa que cuente con un bajo factor de potencia, en la actualidad son penalizados los que tengan un factor de potencia inferior a 0.92.

Las caídas y variaciones de tensión son lo primero que se originaran, desde el sistema de distribución hasta la carga instalada, estos es directamente proporcional a la caída del factor de potencia. Todo esto traerá como consecuencias sobrecalentamiento de los conductores, motores y demás elementos, así como la reducción de la vida útil de estos.

Entre las consecuencias principales podemos obtener las siguientes:

- Mayor consumo de corriente
- Calentamiento de los bobinados de los transformadores
- Disparo de los elementos de protección
- Aumento de pérdidas en los conductores
- Creaciones de Harmónicas
- Sobrecargas de transformadores y líneas de distribución
- Incremento de las caídas de tensión
- Incremento de pérdidas por el efecto joule

Hablaremos detalladamente de algunas de estas causas las cuales se consideran como las más importantes.

2.9.1. Incremento de las caídas de tensión

Al tener un bajo factor de potencia vamos a tener una mayor caída de tensión desde los transformadores hasta donde se encuentra la carga, y al tener la conducción de corriente por los conductores que ya están trabajando con más energía de la que se requiere normalmente para poder satisfacer las necesidades de la carga, la caída de tensión será evidente y las diferentes cargas instaladas no podrán operar con normalidad.

2.9.2. Incremento del costo de la electricidad

La energía reactiva al ser suministrada por la empresa eléctrica va a tener un costo adicional en nuestra facturación, por lo que va a influenciar directamente a nuestra economía, además de esto la penalidad que existe sino nos mantenemos por arriba del valor mínimo que debe tener el factor de potencia en nuestras instalaciones, lo cual llega a valores considerables.

2.9.3. Sobrecarga de Transformadores

Al tener un bajo factor de potencia, también tendremos un exceso de corriente circulando por todos los elementos, por ende los transformadores trabajarán con una sobrecarga, lo cual ocasionará una disminución de su vida útil, y deterioro de sus elementos aisladores y demás elementos.

2.9.4. Incrementos de las Pérdidas por el Efecto Joule

Al existir un sobrecalentamiento en los conductores, también se incrementaran las perdidas térmicas por el efecto joule, donde estas pérdidas son iguales a I^2R . Donde I es la corriente que circula por los conductores y R la resistencia de los elementos, tales como bobinas, conductores, etc.

Además de tener claras desventajas como:

- Los conductores deben ser de mayor calibre
- Los embobinados de los transformadores se calentaran
- Los equipos de protección y control deberán ser de mayor capacidad
- Perdida del aislamiento en menor tiempo

2.10. Tipos de Bancos de Capacitores

Los bancos de capacitores se pueden utilizar en dos formas principales.

Las cuales son:

- Bancos de Capacitores Fijos
- Bancos de Capacitores Automáticos

2.10.1. Bancos de Capacitores Fijos

Este tipo o configuración de bancos de capacitores se utilizan generalmente cuando se tiene carga constante de trabajo, es decir cuando toda la carga o gran parte de la carga se encuentra trabajando al unísono durante el tiempo que el banco se encuentra trabajando. Todo esto debido a

que la potencia reactiva es suministrado constantemente, independiente del estado del lugar a donde fue instalada.

Idem. L8 (2012) indica que: "...Se podrá realizar compensación fija para uno o varios receptores siempre que funcionen por medio de un único interruptor, es decir simultáneamente. Para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático"



Figura 18. Banco de Capacitores. Ingeniería Velásquez Colombia. Fuente: (Ingeniería Velásquez, 2013)

Generalmente se utilizan en los siguientes casos:

- Instalaciones con carga constante
- Para compensar pérdidas reactivas lineales en transformadores
- Para compensar de manera individual a los motores

2.10.2. Bancos de Capacitores Automáticos

Son bancos utilizados generalmente cuando la carga es variable, cuando existen grupos o segmentos de trabajo que entran en diferentes momentos y también poseen diferentes capacidades y características. Este banco está conformado por actuadores automáticos que cuando entra más carga al sistema, este activa otro grupo de capacitores para solventar la potencia reactiva necesaria, de igual manera todos los grupos de capacitores que trabajan en este banco se encuentran conectados en paralelo.



Figura 19. Banco de Capacitores Automáticos. Marca ONRAN Perú. Fuente: (Catalogo Onran, 2012)

Generalmente se utilizan en los siguientes casos:

- Instalaciones que tengan variaciones de cargas
- Instalaciones que necesiten potencia reactiva en segmentos de trabajo
- Para compensar tableros de distribución

CAPÍTULO III

PARÁMETROS PARA INSTALAR UN BANCO DE CAPACITORES

Luego de estudiar todos los aspectos tratados en el capítulo anterior podemos ahora dar paso al estudio más detallado que consiste en todo lo necesario para poder implementar un banco de capacitores, así como también hablaremos de todas las partes, conexiones y demás información necesaria al momento de implementar el banco de capacitores.

3.1. Capacitor de Potencia

Hablamos brevemente lo que es un capacitor en general, pero el objetivo de este trabajo es el de implementar un banco de capacitores para una facultad, por ende debemos hablar de los capacitores a implementarse, como lo son los de potencia.

Estos capacitores son la pieza fundamental del banco de capacitores, estos serán los encargados de proveer la energía reactiva para el sistema eléctrico y así compensar el bajo factor de potencia. Estos capacitores serán de forma cilíndrica y para corriente trifásica.

Las partes principales de un capacitor de potencia son:

- Carcaza
- Armadura
- Resistor de Carga

La carcasa contiene la parte activa del capacitor, lo que incluye:

- La placa de características
- Los aisladores
- Los ganchos en ojales para el levantamiento
- Los soportes para la fijación

Esta parte esta generalmente construida de una placa de acero, el espesor de la misma puede variar según el tamaño del capacitor. Aquí la placa característica contiene toda la información proporcionada por el fabricante del capacitor como potencia en KVAR, voltaje, capacitancia, etc. desde la carcasa se hace el levantamiento del capacitor.

La armadura está constituida por hojas de aluminio, las cuales están enrolladas junto con el dieléctrico (véase figura #22), el objetivo es el de mantener bajos niveles de perdidas dieléctricas y mantener las capacitancias normales.

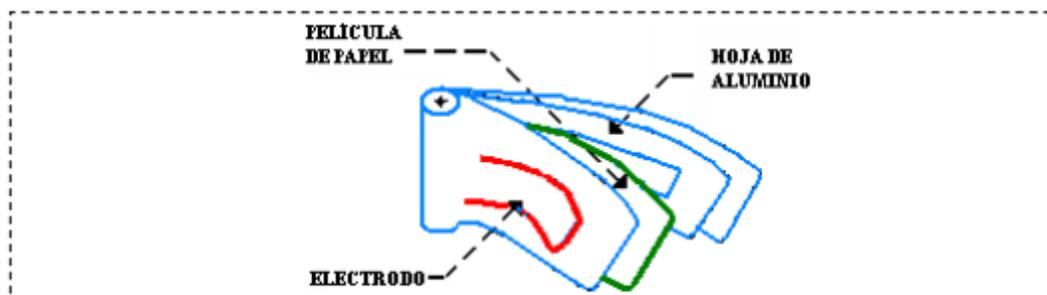


Figura 20. Ilustración de la armadura de un capacitor. Fuente: (Gómez, 2009)

Además existen dos tipos de capacitores según el dieléctrico que usan. Los cuales son:

- Capacitores del tipo autoregenerable: Son aquellos cuyo dieléctrico está formado por una fina película de polipropileno esencial, de igual manera debe estar hecho de tal manera que evite las pérdidas dieléctricas.
- Capacitores de tipo impregnado: Están formados por una sustancia que generalmente es biodegradable, su estructura es a base de hidrogeno y carbono, para evitar daños en el medio ambiente.

El resistor de carga tiene la función directa de descargar el capacitor, permitiéndole reducir la tensión que existe en su interior y permitiéndole descargarse en un tiempo determinado. Este puede estar en el interior o en el exterior del capacitor. (Véase figura #23)

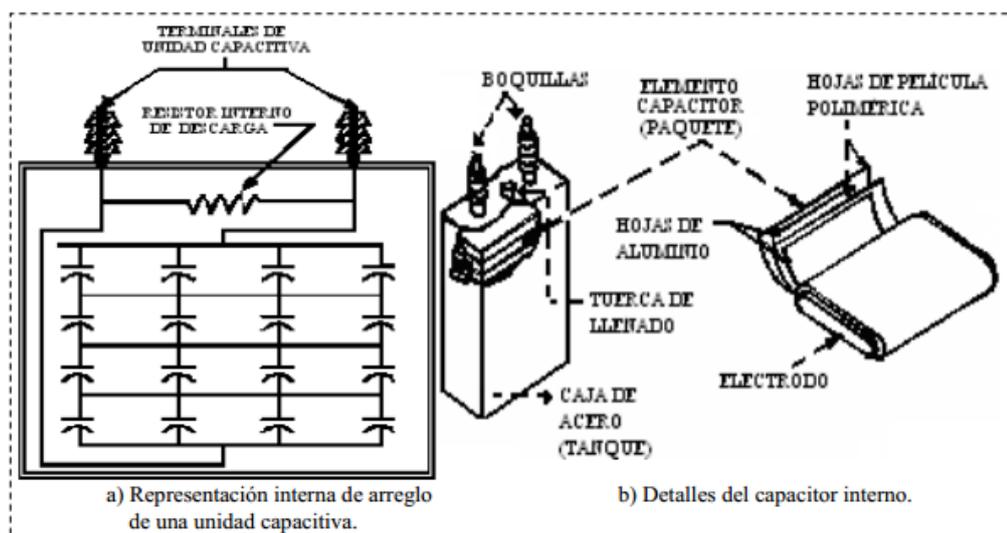


Figura 21. Vista interna de un capacitor. Fuente: (Gómez, 2009)

Los condensadores cuentan con un elemento de desconexión interno por sobrepresión que lo protege contra la ruptura interna del mismo. Estos capacitores están especialmente indicados para la compensación individual de pequeñas cargas inductivas y para construir bancos de capacitores.

3.2. Conexiones de los Bancos de Capacitores

Hablaremos de las tres conexiones clásicas de los bancos de capacitores. Estrella sólidamente aterrizada, estrella con neutro flotante y delta.

3.2.1. Estrella Sólidamente Aterrizada

Esta conexión está diseñada generalmente para utilizarla en los sistemas de distribución eléctrica en tensiones hasta los 35 KV, no es el caso que se está analizando en este trabajo pero es necesario conocerlo. El voltaje que tiene que ser proporcionado por las unidades capacitivas de nuestro banco, deben ser iguales o superiores a las que tengamos en la relación fase a neutro de nuestro sistema.

Al igual que en todos los bancos de capacitores, los cálculos para proporcionar la energía reactiva en KVAR deben ser las necesarias para solventar las demandas del sistema.

Como tenemos en la figura #23 (a) podemos ver la forma de conexión de los capacitores, estos son colocados en paralelo y consecuentemente estos grupos colocados en serie para poder solventar las necesidades.

Para la protección del sistema siempre son requeridos los fusibles, estos pueden ser colocados de forma grupal para proteger el banco cuando son capacidades bajas que no requieran protección independiente o de forma individual para proteger cada capacitor. Como vemos en la figura #23 (b) está utilizándose el método de protección de forma individual para cada unidad capacitiva.

La ventaja más importante que se obtiene al realizar este tipo de conexión es el de poder balancear las fases de forma más fácil, pero así mismo como existen ventajas también existe una desventaja importante, aquí cuando existe una falla en alguna unidad capacitiva genera una sobretensión en todas las demás unidades creando mayores esfuerzos para los aisladores, es decir mayores esfuerzos dieléctricos.

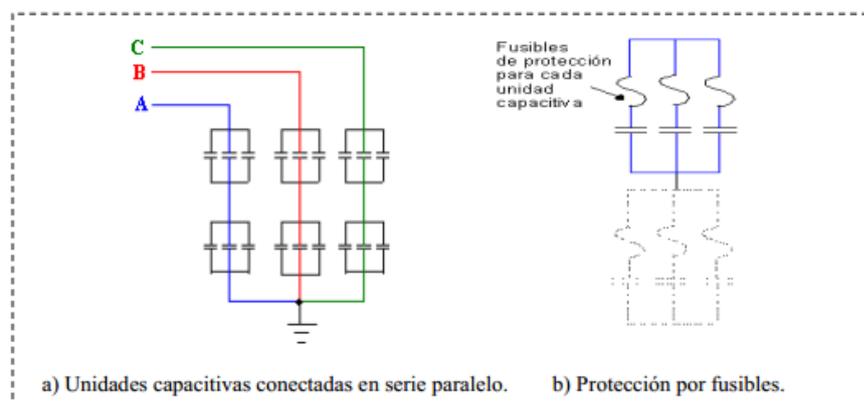


Figura 22. Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra. Fuente:

(Gómez, 2009)

3.2.2. Estrella con neutro flotante

Esta conexión está diseñada generalmente para sistemas mayores a los 13.4 KV, de igual manera no es el caso que se está analizando en este trabajo pero es necesario conocerlo. La principal ventaja que presenta esta conexión es la de evitar de forma muy amplia la presencia de transitorios de sobretensión y además permite adicionalmente la protección contra sobre corrientes. Y el problema que presenta esta conexión es lo opuesto a la anterior, aquí se crea un desbalance del voltaje, de tal forma que incluso existe tensión en el neutro y para solucionar este problema es necesario incluir protecciones contra sobretensiones en el neutro. Véase Figura #25

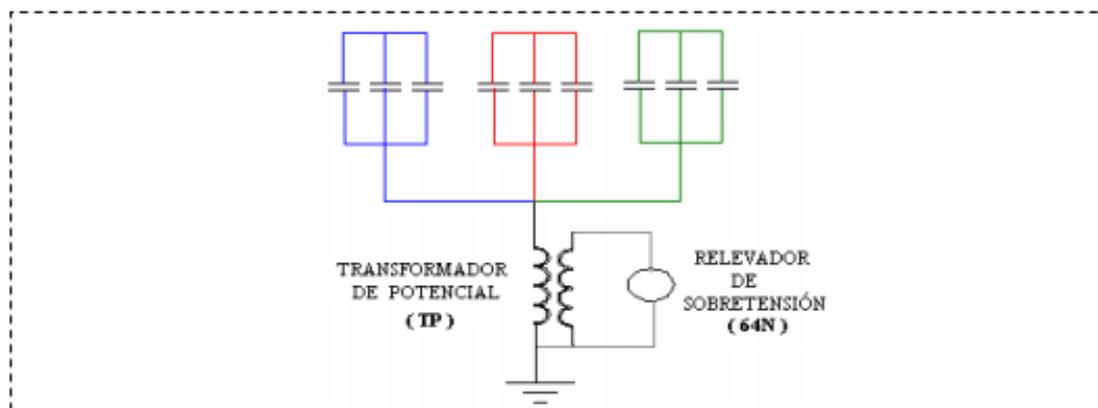


Figura 23. Conexión estrella con neutro flotante con protección en el neutro. Fuente:

(Gómez, 2009)

3.2.3. Delta

Esta conexión está diseñada generalmente para utilizarla en los sistemas de baja tensión, es el que se utilizaría en el caso de la implementación de los

bancos de capacitores en la facultada. Este tiene la ventaja de solventar todos los problemas generados por desbalances de cargas en las fases, aísla las corrientes armónicas. El costo de esta conexión es mucho más económico que realizarlo en estrella y además se utiliza generalmente cuando no requerimos la implementación al neutro. Véase Figura #26.

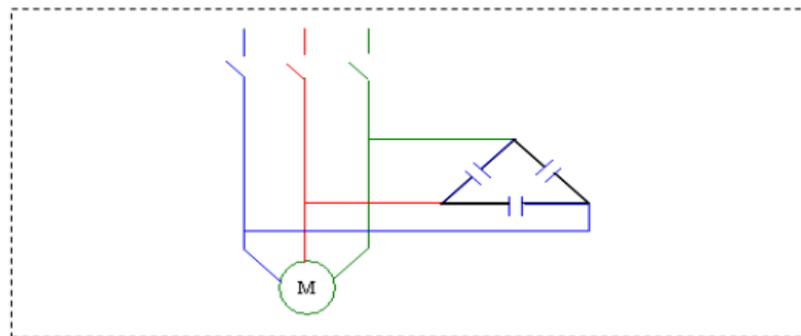


Figura 24. Conexión de Bancos de Capacitores en Delta. Fuente: (Gómez, 2009)

Aquí las protecciones a utilizarse es la de un interruptor electromagnético o breaker principal, luego de esto los capacitores a conectarse en todo el sistema deben ser protegidos por un fusible, además la protección debe de incluir relés térmicos y relés electromagnéticos.

Para las capacidades de los capacitores podemos tomar como referencia la tabla #1 Correspondiente a bancos de capacitores trifásicos en baja tensión.

Tabla 1. Capacidades para los bancos de capacitores trifásicos en baja tensión.

Tensión de línea (V)	Potencia (kVAr)		Capacitancia nominal (µF)	Corriente nominal (A)		Fusible NH ó Dz (A)	Conductor de conexión mm ²
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz		
220	2.1	2.5	137.01	5.5	6.6	10.0	2.5
	4.2	5.0	274.03	10.9	13.1	25.0	2.5
	6.3	7.5	411.04	16.4	19.7	32.0	6.0
	8.3	10.0	548.05	21.8	26.2	50.0	10.0
	10.4	12.5	685.07	27.3	32.8	63.0	16.0
	12.5	15.0	822.08	32.8	39.4	63.0	16.0
	14.6	17.5	959.09	38.2	45.9	80.0	25.0
	16.6	20.0	1096.12	43.7	52.5	100.0	25.0
	18.7	22.5	1233.12	49.1	59.0	100.0	35.0
20.8	25.0	1370.14	54.6	65.6	125.0	35.0	
380	2.1	2.5	45.92	3.2	3.8	10.0	2.5
	4.2	5.0	91.85	6.3	7.6	16.0	2.5
	6.3	7.5	137.77	9.5	11.4	20.0	2.5
	8.3	10.0	183.7	12.7	15.2	25.0	4.0
	10.4	12.5	229.62	15.8	19.0	32.0	6.0
	12.5	15.0	275.55	19.6	22.8	32.0	6.0
	14.6	17.5	321.47	22.2	26.6	50.0	10.0
	16.6	20.0	367.39	25.3	30.4	50.0	10.0
	18.7	22.5	413.32	28.5	34.2	63.0	16.0
	20.8	25.0	458.24	31.7	38.0	63.0	16.0
	25.0	30.0	551.09	38.0	45.6	80.0	25.0
	29.2	35.0	642.94	44.3	53.2	100.0	25.0
	33.3	40.0	734.79	50.6	60.8	100.0	35.0
37.5	45.0	826.64	57.0	68.4	125.0	50.0	
41.6	50.0	918.48	63.3	76.0	125.0	50.0	
440	2.1	2.5	34.25	2.7	3.3	6.0	2.5
	4.2	5.0	68.51	5.5	6.6	10.0	2.5
	6.3	7.5	102.76	8.2	9.8	16.0	2.5
	8.3	10.0	137.01	10.9	13.1	25.0	2.5
	10.4	12.5	171.26	11.7	16.4	32.0	4.0
	12.5	15.0	205.52	16.4	19.7	32.0	6.0
	14.6	17.5	239.77	19.2	23.0	50.0	6.0
	16.6	20.0	274.003	21.8	26.2	50.0	10.0
	18.7	22.5	308.28	24.6	29.5	50.0	10.0
	20.8	25.0	342.53	27.3	32.8	63.0	16.0
	25.0	30.0	411.04	32.8	39.4	63.0	16.0
	29.2	35.0	479.54	38.2	45.9	80.0	25.0
	33.3	40.0	548.05	41.7	52.5	100.0	25.0
37.5	45.0	616.56	49.1	59.0	100.0	35.0	
41.6	50.0	685.07	54.6	65.6	125.0	35.0	
480	4.2	5.0	57.56	5.1	6.0	10.0	2.5
	8.3	10.0	115.13	10.0	12.0	20.0	2.5
	12.5	15.0	172.69	15.0	18.0	32.0	4.0
	16.6	20.0	230.26	20.1	24.1	50.0	6.0
	20.8	25.0	287.82	25.1	30.1	50.0	10.0
	25.0	30.0	346.39	30.1	36.1	63.0	16.0
	29.2	35.0	402.95	35.1	42.1	80.0	16.0
	33.3	40.0	460.52	40.1	48.1	80.0	25.0
	37.5	45.0	518.08	45.1	54.1	100.0	25.0
41.6	50.0	575.65	50.1	60.1	100.0	35.0	

Fuente: (Gómez, 2009)

3.3. Efecto Resonancia

Para continuar con todos los factores a saber previos a la implementación de un banco de capacitores, es necesario hablar del efecto resonancia ya que causan sobretensiones y sobre corrientes. Existen dos posibilidades de las condiciones de resonancia, las cuales son en serie y paralelo.

3.3.1. Resonancia Serie

Al existir una combinación de reactancias de tipo inductiva y capacitiva en serie crean un circuito resonante en serie. En estos casos la impedancia se reduce a un valor muy bajo y tiene sus componentes de naturaleza resistiva. Al existir esta impedancia baja en esta frecuencia, causa un aumento en varias ocasiones de la corriente.

Al existir armónicas en el primario del transformador es muy frecuente que ocurra la resonancia en serie. Esto debido a que la baja tensión del transformador junto con los capacitores existentes crea este efecto de resonancia en serie en la media tensión, en el caso de que la frecuencia de la combinación de L y C llegue a coincidir con la frecuencia armónica generada, esto puede generar una sobrecarga en el equipo.

La resonancia finalmente puede distorsionar el área de baja tensión, si se cumplen todos los parámetros revisados previamente. Podemos ver en la figura #27 el comportamiento de la impedancia en el circuito.

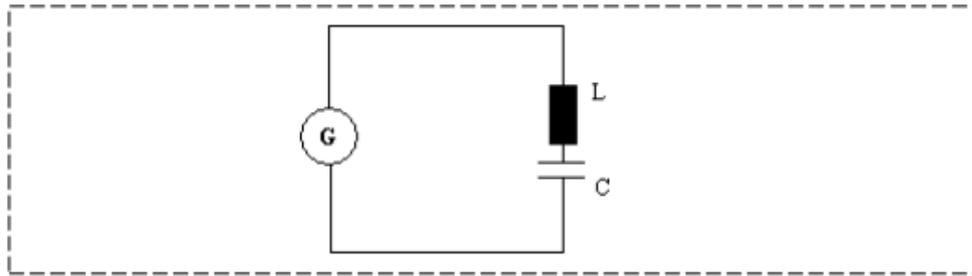


Figura 25. Gráfico de un circuito resonante en serie. Fuente: (Gómez, 2009)

3.3.2. Resonancia Paralelo

Al existir una combinación de reactancias de tipo inductiva y capacitiva en paralelo crean un circuito resonante en paralelo. En este caso la reactancia inductiva iguala a la capacitiva.

La impedancia existente en el circuito puede llegar a valores muy altos en la frecuencia de la impedancia. Por esta razón al momento que existe un circuito resonante en paralelo, este al ser excitado causa una tensión muy alta sobre las impedancias y corrientes del sistema.

Al existir ya un banco de capacitores instalado, esta capacitancia forma un circuito resonante paralelo con las impedancias de la carga y del transformador en baja tensión. Por esta razón el generador de armónicas va a encontrar un incremento de la reactancia en la red. Posteriormente se genera una tensión armónica aumentada producto de la corriente armónica. Por el capacitor y la red pasan corrientes de características similares, y pueden aumentar la corriente armónica y por causa de esta los capacitores y transformadores pueden sufrir sobrecargas.

La resonancia en paralelo como mencionamos previamente depende de la inductancia de la red y de la potencia capacitiva. Entonces lo ideal es ubicar el punto de resonancia en un punto que genere la menor perturbación posible. Podemos ver en la figura #28 el comportamiento de la impedancia en el circuito.

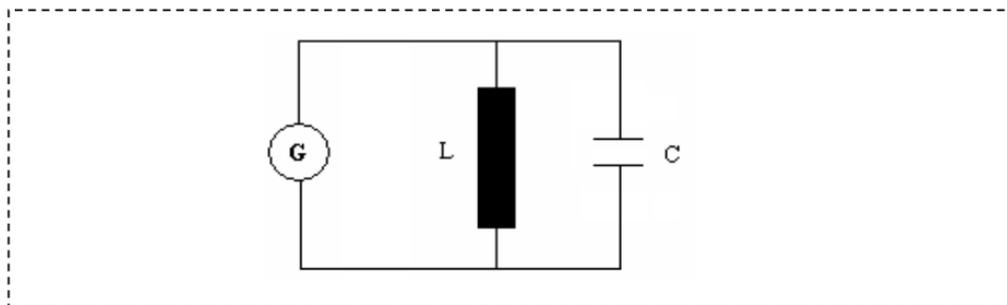


Figura 26. Gráfico de un circuito resonante en paralelo. Fuente: (Gómez, 2009))

En general, es evidente que la ocurrencia de resonancia serie o paralelo puede causar sobretensiones y sobre corrientes de niveles peligrosamente altos. Las armónicas que crean una posibilidad de resonancia no sólo sobrecargan los componentes del sistema sino también deterioran la calidad de energía en términos de distorsión y caídas de tensión.

3.4. Componentes Armónicas

Los armónicos son producidos en su gran parte por cargas no lineales, la impedancia entonces no es constante. Los armónicos a pensar de ser alimentados por un voltaje sinusoidal, absorbe también una corriente no sinusoidal lo cual puede dar como consecuencia una corriente desfasada del voltaje. Entonces podemos concluir que toda carga no lineal que ingresa al sistema, introducen armónicos al sistema.

Las corrientes armónicas se manifiestan dentro del sistema eléctrico en múltiplos de la frecuencia (60 Hz). Teniendo como referencia la 3ra armónica (180 Hz), la 5ª (300hz), etc.

Entonces podemos concluir en la siguiente ecuación:

$$F \text{ armónicas} = n \times 60 \text{ Hz}$$

Donde:

$N = 1, 2, 3, \dots, n$ (número de la armónica)

Según la formula detallada podemos ilustrar la siguiente onda sinusoidal:

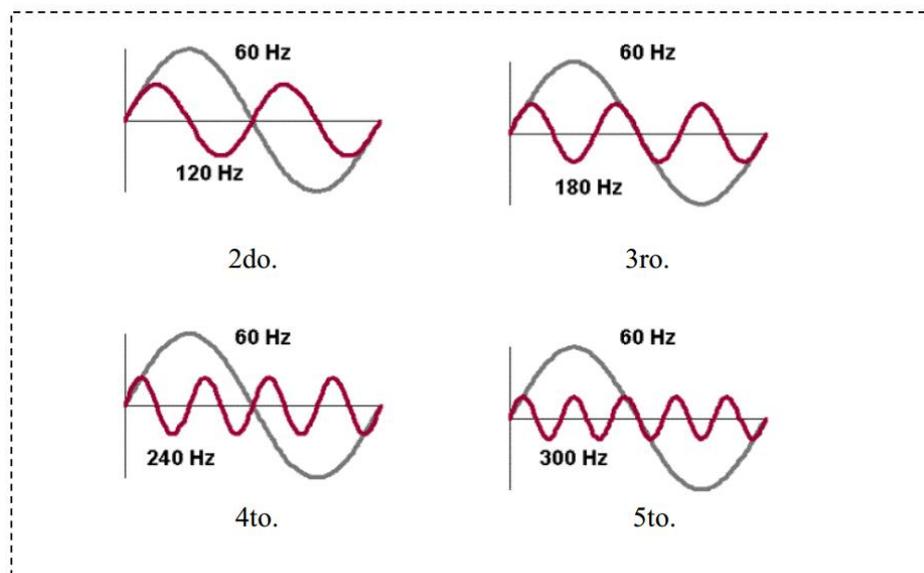


Figura. 27. Ondas Sinusoidales de la 2da, 3era, 4ta y 5ta armónica. Fuente: (Gómez, 2009)

Podemos mencionar las cargas armónicas no lineales más comunes, estas se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como: variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. además podemos agregar otros tipos de carga como son las reactancias saturables,

equipos de soldadura, hornos de arco, etc., todos estos también inyectan armónicos al sistema.

Se podría decir que existen dos categorías generadoras de armónicos. La primera es la de cargas no lineales, en estas la corriente que fluye no es proporcional a la tensión, por ende cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia.

Varios elementos existentes en el sistema pueden trabajar de manera similar a una carga no lineal, como son los transformadores, reguladores, etc. aparte podemos mencionar los semiconductores y diodos que al saturarse son grandes generadores de armónicos.

La segunda categoría incluye a todos los tipos de elementos que tengan una impedancia que dependa directamente de la frecuencia. Es decir elementos que estén trabajando directamente en función de frecuencia, estos son por ejemplo los filtros electrónicos, variadores de velocidad, etc. Todos estos elementos no generan armónicos si son energizados con una tensión de una sola frecuencia pero si distorsionan la entrada, pero por el contrario si existen varias frecuencias estos elementos van a introducir armónicos a la red.

La generación de armónicos es muy común en el medio, ya que cualquier elemento que tengamos puede entrar en las categorías antes mencionadas, ya sean computadoras, microondas, ventiladores, etc. por más pequeñas que sean las cantidades de armónicos generados por estos elementos, la sumatoria de todos ellos pueden crear problemas al sistema de potencia.

Las consecuencias más vistas cuando se generan armónicos en exceso son:

- Calentamiento permanente de las resistencias del sistema de tierra del neutro en alternadores.
- La activación de los relés de carga para protección contra defectos de aislamiento.
- Generación de calor excesivo en los conductores y elementos eléctricos de todo tipo.

3.5. Protecciones

Los bancos de capacitores son equipos muy susceptibles a los daños, estos al ser equipos costosos en su totalidad, deben estar correctamente protegidos en todos los puntos necesarios. Por ende la protección que tiene que llevar, debe ser correctamente analizada y calculada para evitar futuros problemas y demás inconvenientes que puedan ocasionarse, tanto en la vida de las personas que operen el banco, así como las instalaciones que estos controlen y regulen.

Actualmente se han cambiado mucho las prioridades y las consecuencias que puedan generarse, como bien sabemos actualmente debemos conservar nuestros equipos eléctricos en la mayor cantidad posible, pero el fin mayor es el de dar continuidad al servicio. Este servicio es nuestra prioridad y el mismo nunca debe ser interrumpido por problemas de nuestros equipos, salvo para los mantenimientos programados.

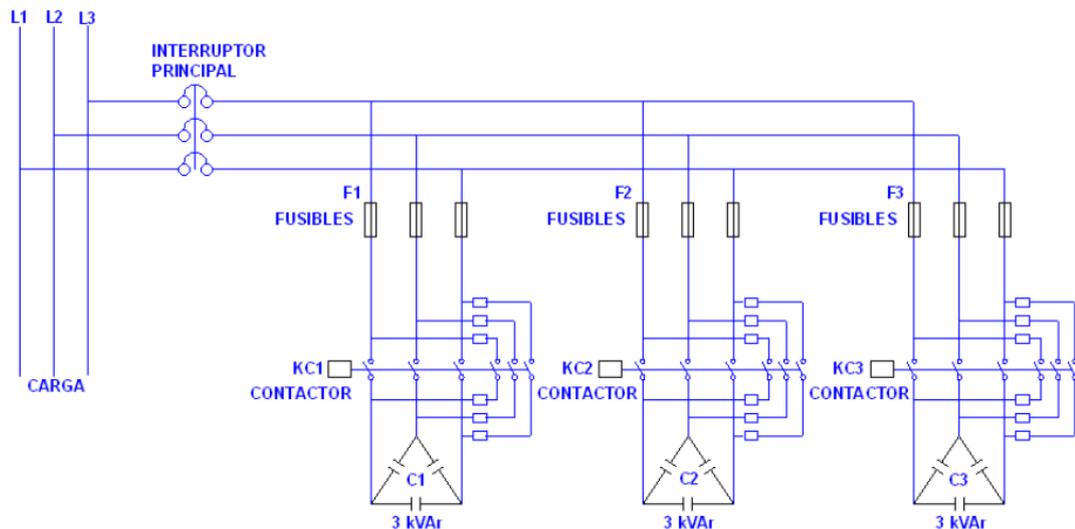


Figura 28. Ubicación de las protecciones del banco de capacitores. Fuente: (Llumiquina, 2012)

Existen ciertos criterios que deben tomarse en cuenta al momento de realizar los cálculos respectivos para las protecciones, como son:

- Tener una capacidad de sobrecarga del 35%
- Estar en capacidad de soportar corrientes transitorias en pequeños periodos de tiempo
- Desconectar cualquier elemento de manera inmediata cuando exista alguna falla en el mismo

Además de los criterios para realizar cualquier cálculo o análisis también debemos tomar en cuenta las razones que tenemos para implementar estas protecciones, es decir dejar claros los objetivos de estas protecciones, estos son:

- Evitar que cualquier daño en los capacitores origine un corte del suministro eléctrico
- Proteger a las áreas del banco que no presenten problemas
- Evitar daños de las personas que trabajen en las instalaciones donde está ubicado el banco
- Que las unidades que continúan en operación luego de cualquier daño trabajen sin sobrecarga

Todo esto se tiene que tomar en cuenta en el momento del diseño e implementación de todos los sistemas de protección de los bancos de capacitores.

3.5.1. Breaker Principal

Este tiene como principal tarea el proteger contra sobrecargas y cortocircuitos a todos los elementos contenidos en el gabinete del banco de capacitores. En la figura #31 podemos apreciar un breaker electromagnético y térmico marca Schneider Electric.

Tomando las normas utilizadas por el proveedor de este breaker, tenemos los siguientes puntos a tomar en cuenta para su elección:

- El breaker debe ser de protección termo magnético.
- La capacidad del breaker debe ser de 1.43 veces la corriente nominal del banco de capacitores.
- Se debe proteger de cortocircuitos con corrientes de al menos 10 veces la corriente nominal del condensador.



Figura 29. Breaker marca Schneider Electric. Fuente: (Catalogo Schneider, 2012)

3.5.2. Fusibles

Para proteger todos los capacitores es indispensable la implementación de fusibles de manera individual y de esta forma mantener las normas de protección correspondientes. Al implementar esto obtendremos las siguientes ventajas:

- Al momento de una sobrecarga el fusible sacara de servicio al capacitor averiado, permitiendo que el resto del banco de capacitores siga trabajando, así aprovecharemos la instalación al máximo y solamente removeremos el condensador dañado para cambiarlo así como su fusible.
- Evita daños a los demás capacitores cercanos al que tuvo la falla o daño, además de proteger a las personas alrededor y a las instalaciones.

- Al momento de actuar el fusible queda visible para poder ser cambiado, facilitando el saber la unidad que falló, es decir, simplifica la tarea de mantenimiento.

Las capacidades de los fusibles a implementarse tienen que seguir la relación de 1.7 veces la corriente nominal.

3.5.3. Conductores

Para poder decidir el calibre de los conductores a implementarse debemos conocer la corriente que va a desplazarse a través de ellos. Como hablamos previamente estos pueden aumentarse por sobrecarga hasta un 35% de la corriente nominal. Entonces utilizaremos la corriente nominal de cada capacitor para determinar el conductor. Según la carga requerida finalmente utilizaremos el conductor requerido. Es recomendado utilizar conductores con aislamiento THHN.

3.5.4. Gabinete o tablero

El tablero es el elemento físico donde van a ir ubicados todos nuestros capacitores y demás elementos de operación y protección, además este debe tener ciertas características de fabricación, las cuales estarán determinadas por las capacidades de los elementos a instalarse.

La ventilación es una parte fundamental del tablero, ya que este tiene que disipar todo el calor acumulado por la operación de los capacitores y demás elementos.

Podemos detallar las siguientes características principales:

- Debe ser fabricado para poder montarse en una pared o en una base sólida ubicada en el piso.
- Todo el gabinete en sus componentes metálicos debe estar cubierto con elementos anticorrosivos para los ambientes húmedos y/o salinos.
- La puerta debe estar sellada contra polvo por medio de algún elemento de goma o caucho.
- La lámina del gabinete debe estar fabricado por una lámina de acero al frío, con un espesor mínimo de 2.8mm.
- La puerta debe tener bloqueo de seguridad para que solo las personas autorizadas puedan abrirla y operarla.
- Debe tener la rotulación correspondiente de sus funciones, así como de elementos visuales y mecánicos para la operación del banco.
- El acceso de los cables debe ser por la parte superior o inferior para su correcta distribución interna.
- Debe contar con ventilación natural y además de contar con un ventilador o más para disipar el calor según sea requerido.
- Va a ser fabricado según los elementos a instalarse y de esto dependerá sus dimensiones.
- Debe contar con conexiones pertinentes para la puesta a tierra



Figura 30. Tablero de Capacitores. Fuente: (Quirquincho, 2013)

3.5.5. Contactores.

Es el elemento que va a realizar el trabajo de conexión y desconexión en los bancos de capacitores, para que estos entreguen únicamente la energía reactiva necesaria que el sistema requiera, estos se utilizan únicamente en bancos de capacitores automáticos.

Este elemento es necesario ya que se producen elevadas sobre corrientes transitorias al momento del cambio de operación o al actuar cada capacitor, estas pueden llegar a valores de hasta 30 veces la corriente nominal del capacitor. Como fue mencionado previamente, los contactores están diseñados para soportar sobrecargas de esta magnitud y nos va a permitir proteger los capacitores y a toda la red eléctrica. Al momento de maniobrar estos contactores se pueden presentar corrientes de hasta 150 veces la

corriente nominal, por ende es necesario tener estos contactores en nuestro sistema y así evitar los daños ocasionados por sobre corrientes.

Para los bancos de capacitores no se emplean contactores normales o convencionales, se utilizan contactores especiales para condensadores, ya que estos requieren un cambio de trabajo según como sean requeridos en el tiempo establecido. Estos contactores cuentan con una resistencia interna para amortiguación que limita el valor de la corriente de activación a 60 veces la corriente nominal, esta limitación de la corriente al momento de activarse va a aumentar la vida útil de todos los elementos de los bancos de capacitores, principalmente a las protecciones y a los capacitores.

Además estos contactores cuentan con un bloque de contactos de precierre, contactos auxiliares equipados con resistencias de pre-carga. La función de estos contactos es la de cerrarse antes de que se cierren los de potencia para que puedan trabajar las resistencias mientras opera normalmente el contactor.

La ventaja adicional y principal que obtenemos de estos contactores es la de limitar de manera muy notable las sobre corrientes. Entonces se concluye que para bancos automáticos es necesario la implementación de los contactores especiales para bancos de capacitores.

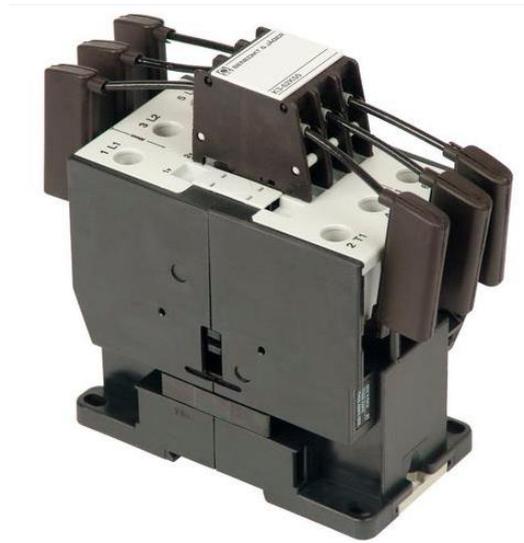


Figura 31. Contactor marca ZeZ Silko. Fuente: (Catalogo ZeZ, 2014)

3.5.6. Controlador de factor de potencia

Este elemento tiene como función principal el de medir el factor de potencia de la instalación ($\text{Cos } \varphi$), además de ser el encargado de dar las indicaciones necesarias al sistema para que estos entren en operación cuando los capacitores sean necesarios, esto con la finalidad de que el factor de potencia este siempre lo más cercano a 1.

Este controlador opera en los diferentes escalones de la potencia reactiva, es decir trabaja directamente con los contactores de los bancos de capacitores automáticos para que los capacitores entren a medida que son requeridos, aparte de poder brindar una visualización correcta y oportuna del factor de potencia en el momento.



Figura 32. Controlador de factor de potencia marca Schneider. Fuente: (Catalogo Schneider, 2012)

3.5.7. Lectores de Corriente

Es necesario conocer la carga total existente con la que opera el banco de capacitores, para esto es necesario incluir en la conexión un transformador de corriente para poder visualizar correctamente los valores en nuestros lectores digitales.

3.5.8. Lectores de Tensión

Para constatar y censar la correcta operación del banco, es necesario incluir el lector de tensión, este va directo en el banco de capacitores sin necesidad de incluir algún transformador o reductor.

3.5.9. Lectores de Factor de Potencia

La pieza fundamental para verificar que el sistema se encuentre trabajando correctamente. Para esto se requieren transformadores de corriente y de voltaje, para poder visualizarlo, además se requieren contabilizar las señales de tensión y corriente para poder determinar el valor correcto del factor de potencia por medio de nuestro cosenofimetro.

CAPÍTULO IV

SITUACIÓN ACTUAL DE LA UNIVERSIDAD

4.1. Cuarto de Transformadores

Para poder determinar si es factible la implementación de un banco de capacitores en el campus de la Universidad Católica, se realizó una inspección a los Cuartos de transformadores donde se encontraban los bancos de transformadores, el panel principal de distribución y el panel de transferencia automático (Para las áreas que tienen Generador).

Todo esto con la finalidad de identificar todos los elementos que forman parte del área de distribución de cada una de las áreas de la Universidad. Como parte fundamental se realizaron las mediciones pertinentes de carga en:

- Secundario de los transformadores
- Panel de Distribución General

4.2. Recolección de Parámetros Eléctricos

En la recolección de toda la información necesaria para poder determinar si es factible o no la implementación de un banco de capacitores en la Universidad Católica se utilizó el multímetro de tenaza Marca Extech Modelo 380976-K, el cual tiene entre sus funciones principales las de medir Corriente (hasta 800 Amperios), medir el factor de potencia, Voltaje y Potencia.

Todos los parámetros antes mencionados son necesarios para poder determinar la capacidad de nuestro banco y para información general relevante de la Universidad.

4.3. Multímetro de Tenaza Marca Extech Modelo 380976-K

El multímetro de Tenaza es un elemento ideal para realizar mediciones de todo tipo, principalmente por su versatilidad, tamaño, diseño y la pantalla digital que nos permite tener mediciones exactas de lo que se necesita. Además de contar con características fundamentales como lo son la de medir corriente, voltaje, potencia y factor de potencia.

A continuación la Ficha técnica del equipo

- Pantalla doble; LCD de 4 dígitos, 10,000 cuentas (0 a 9999)
- Apertura de la quijada 42 mm (1.6")
- Límite Max. de entrada Voltaje máximo entre cualquier terminal y tierra:
600 Vrms
- Tasa de muestreo 2.5 veces por segundo (Pantalla digital); Una vez cada 6 segundos (KW, KVA, y KVAR)
- Suspensión temporal Después de aprox. 30 minutos (la función puede ser desactivada) Indicación de batería débil El símbolo batería aparece en la LCD
- Fuente de energía Batería 9V
- Vida de la batería Aprox. 32 horas con batería alcalina
- Temperatura de operación 0 a 50 °C (32 a 122°F)

- Humedad de operación < 80% RH
- Altitud de operación 2000 metros (7000 ft) máxima.
- Temperatura de almacenamiento -10 a 60 °C (14 a 140 °F)
- Humedad de almacenamiento < 70% HR
- Coeficiente de temperatura 0.1 x (precisión especificada) / °C a < 18°C (64°F), > 28°C (82°F) Dimensiones 228 x 76 x 39 mm (9.0 x 3.0 x 1.5")
- Peso Aprox. 465g (1.0 lb.)
- Aprobación CE, UL
- Seguridad Este medidor es para uso en interiores y protegido, contra los usuarios, por doble aislante conforme a EN 61010-1 y IEC 61010-1 2° Edición (2001) para CAT III 600V; Grado de contaminación 2. El medidor cumple además con UL 61010A, 1a edición
- Enlistado por UL La marca UL no indica que este producto ha sido evaluado en cuanto a la precisión de sus lecturas.



Figura 33. Multímetro de Tenaza Marca Extech Modelo 380976-K. Fuente: (Catalogo Extech, 2012)

4.4. Banco de Transformadores

El suministro viene por parte de la distribución interna de la universidad católica, todas las áreas se encuentran suministradas en media tensión, a nivel de los 13.8 KV.

4.5. Tipos de Carga en la Universidad Católica

Según las inspecciones y revisiones realizadas a las diversas áreas de la Universidad, se pudieron encontrar diferentes tipos de carga. Entre los diferentes equipos eléctricos que se encontraron en la universidad, podemos mencionar los siguientes:

- Antenas
- Acondicionadores de Aire de Ventana
- Acondicionadores de Aire tipo Split
- Centrales acondicionadoras de Aire
- Congeladores
- Cámaras de Congelación
- Cámaras de Seguridad
- Computadoras
- Equipos de Audio y Video
- Focos Ahorradores
- Impresoras
- Luces Fluorescentes
- Luces de Campana

- Luminarias de Sodio de 250 W
- Molinos de Carne y Embutidos
- Proyectores
- Plumas de Acceso
- Reflectores
- Sistemas de Seguridad
- Transformadores
- Motores
- Resistencias
- Unidades Odontológicas

Todos estos son los principales elementos eléctricos y electrónicos que se encontraron a lo largo de la Universidad Católica.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE DATOS

5.1. Facultad Técnica

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad Técnica (lunes a viernes de 18:00 a 20:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 2. Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores.

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	122,8	122,1	122,6
Corriente	248	228	262

Fuente: Autor

Podemos apreciar en la figura 34 las mediciones realizadas en la actualidad a la facultad Técnica. Donde se puede apreciar claramente la carga en cada una de sus fases. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios de carga y voltaje obtenidos durante el tiempo que duro la medición.



Figura 34. Medición Fase R. Fuente: Autor

5.1.1. Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en la facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 3. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,98	0,95	0,97

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en la figura 35 las mediciones realizadas en la actualidad a la facultad. Donde podemos ver el factor de potencia en cada fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición.



Figura 35. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.2. Facultad de Multimedia y Diseño Web (Canal)

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Multimedia y Diseño Web (lunes a viernes de 18:00 a 20:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 4 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	127,2	124,3	121,6
Corriente	284	292	289

Fuente: Autor

5.2.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en la facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 5. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,97	0,939	0,99

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 36 las mediciones realizadas en la actualidad a la facultad. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 36. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.3. Facultad de Especialidades Empresariales

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la de Especialidades Empresariales (lunes a viernes de 18:00 a 20:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 6 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	129,4	128,9	127,7
Corriente	277	284	282

Fuente: Autor

5.3.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en la facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 7. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,97	0,973	0,979

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 37 las mediciones realizadas en la actualidad a la facultad. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 37. Medición del Factor de Potencia Fase T. Fuente: Autor

5.4. Área de Cómputo

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en el área de computo (lunes a viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 8 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	126,2	122,9	123,5
Corriente	114	108	102

Fuente: Autor

5.4.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta área de la universidad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 9. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,994	0,998	0,99

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 38 las mediciones realizadas en la actualidad a la facultad. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 38. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.5. Área de Cómputo B

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en el área de cómputo (lunes a viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 10 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	122,2	123,9	121,4
Corriente	74.4	82.8	75.8

Fuente: Autor

5.5.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta área de la universidad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 11. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,954	0,974	0,984

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 39 las mediciones realizadas en la actualidad a la facultad. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 39. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.6. Biblioteca General

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la biblioteca general (lunes a viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 12 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	127,3	124,3	124,2
Corriente	209.4	204.8	215.8

Fuente: Autor

5.6.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta área de la universidad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 13. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,988	0,976	0,984

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 40 las mediciones realizadas en la actualidad a la biblioteca general. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 40. Medición del Factor de Potencia Fase T. Fuente: Autor

5.7. Facultad de Jurisprudencia

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Jurisprudencia (lunes a viernes de 18:00 a 20:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 14 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	129,3	127,8	122,2
Corriente	286	294	315

Fuente: Autor

5.7.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta facultad de la universidad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 15. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,99	0,998	0,97

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 41 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Jurisprudencia. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 41. Medición del Factor de Potencia Fase S. Fuente: Autor

5.8. Edificio Principal/ Administración Central

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en el Edificio Principal (lunes a viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 16 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	124,3	123,8	128,2
Corriente	435	447	429

Fuente: Autor

5.8.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta área de la universidad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 17. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,964	0,947	0,973

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 42 las mediciones realizadas en la actualidad al Edificio Principal. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 42. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.9. Facultad de Idiomas

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Idiomas (lunes a viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 18 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	127,1	128,8	122,4
Corriente	196	202	189

Fuente: Autor

5.9.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 19. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,996	0,99	0,993

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 43 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Idiomas. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 43. Medición del Factor de Potencia Fase T. Fuente: Autor

5.10. Aula Magna

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en el Aula Magna (Día de Evento de música de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 20 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	125.8	119,3	122,4
Corriente	92.8	95.2	87.4

Fuente: Autor

5.10.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Área.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 21. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,986	0,976	0,954

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 44 las mediciones realizadas en la actualidad a el Aula Magna. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 44. Medición del Factor de Potencia Fase S. Fuente: Autor

5.11. Facultad de Ingeniería

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Ingeniería (Lunes a Viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 22 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	125.8	119,3	122,4
Corriente	92.8	95.2	87.4

Fuente: Autor

5.11.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Área.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 23. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,99	0,968	0,996

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 45 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Ingeniería. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 45. Medición del Factor de Potencia Fase S. Fuente: Autor

5.12. Facultad de Arquitectura

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Arquitectura (Lunes a Viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 24 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	128.8	129,3	124,2
Corriente	212.8	221.2	207.4

Fuente: Autor

5.12.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Área.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 25. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,965	0,968	0,988

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 46 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Arquitectura. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 46. Medición del Factor de Potencia Fase T. Fuente: Autor

5.13. Facultad de Psicología

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Psicología (Lunes a Viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 26 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	125.4	125.3	127,2
Corriente	228.4	229.2	237.4

Fuente: Autor

5.13.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Área.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 27. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,999	0,974	0,984

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 47 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Psicología. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 47. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.14. Facultad de Economía

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Economía (Lunes a Viernes de 9:00 a 12:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 28 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	123.6	127.2	124,1
Corriente	563	548	558

Fuente: Autor

5.14.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 29. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,994	0,936	0,957

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 48 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Economía. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 48. Medición del Factor de Potencia Fase R. Fuente: Autor

5.15. Facultad de Medicina

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Medicina (Lunes a Viernes de 18:00 a 20:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 30 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	123.6	127.2	124,1
Corriente	468	447	454

Fuente: Autor

5.15.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 31. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,998	0,924	0,987

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 49 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Medicina. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 49. Medición del Factor de Potencia Fase S. Fuente: Autor

5.16. Facultad de Medicina B

Al realizarse las mediciones pertinentes al banco de transformadores en horas consideradas como picos en la Facultad de Medicina (Lunes a Viernes de 18:00 a 20:00). Podemos referirnos a las mediciones en la siguiente tabla:

Tabla 32 Promedio de voltaje y amperaje en las 3 Fases del Banco de Transformadores

	Fases		
	R	S	T
Voltaje	124.6	121.2	127,1
Corriente	228	247	213

Fuente: Autor

5.16.1 Factor de Potencia en el Panel de Distribución

Luego de realizar las mediciones de carga y voltaje en el banco de transformadores es necesario realizar el análisis más importante de este trabajo, el factor de potencia en esta Facultad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las mediciones en todas sus fases fueron los siguientes:

Tabla 33. Factor de Potencia Promedio

	Fases		
	R	S	T
Factor de Potencia	0,982	0,965	0,99

Fuente: Autor

Se puede ver claramente en las figura 50 las mediciones realizadas en la actualidad a la Facultad de Medicina. Donde podemos ver el factor de potencia en una fase. Cabe recalcar que la tabla anterior detalla los promedios del factor de potencia obtenido durante el tiempo que duro la medición en cada una de las fases.



Figura 50. Medición del Factor de Potencia Fase S. Fuente: Autor

5.17. Análisis del Factor de Potencia

Al culminar las mediciones en el cuarto de transformadores, teniendo en cuenta que se midió tanto el banco de transformadores como el tablero de distribución, encontramos los datos claros del factor de potencia en todo el campus de la Universidad Católica a la actualidad.

Una vez realizado el análisis se puede observar que el factor de potencia se encuentra en un parámetro considerado como muy bueno, cercano al perfecto en la mayor parte de las áreas. Este resultado nos deja entonces en

claro que no se requiere la implementación de un banco de capacitores en la Universidad.

Será necesario realizar otro análisis al cabo de unos años con la finalidad de determinar si la carga inductiva aumenta y es necesaria la compensación de la energía reactiva por capacitores.

Es necesario recordar que cualquier valor del factor de potencia superior a 0.92 es considerado como bueno y además no es penalizado con multas por parte de la CNEL.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo a toda la información recolectada en el Campus de la Universidad Católica, esta información incluye revisión visual de los equipos instalados, mediciones en el cuarto de transformadores, los cuales incluye el secundario de los transformadores y los paneles de distribución generales. Podemos concluir que la energía reactiva y activa se encuentran en un balance muy bueno y no requiere la implementación de un banco de capacitores.

La Universidad cuenta con equipos de climatización de baja eficiencia en la mayor parte de sus instalaciones, los cuales generan un alto consumo de energía eléctrica, además de que estos no siempre son apagados luego de su uso y se mantienen encendidos sin necesidad y todo esto genera un consumo innecesario de energía eléctrica.

Los transformadores requieren mantenimiento de forma inmediata, estos ya se encuentran con fugas en sus empaques y se desconoce la calidad actual del aceite y de sus elementos internos.

Recomendaciones

Es siempre necesario tener en cuenta el factor de potencia en todos lados, por lo que se recomienda la instalación de un cosenofimetro digital para poder evaluar las variaciones del factor de potencia en la Universidad. De igual manera instalar un voltímetro y amperímetro en el tablero de distribución general en las áreas que no lo posean o se encuentren averiados.

Es indispensable darle mantenimiento al cuarto de transformadores, al tablero de distribución general y al tablero de transferencia. Todos estos requieren atención en la mayor parte de las áreas, los transformadores presentan fugas de aceite y acumulación de polvo, los tableros de distribución se encuentran sucios e incluso existen cables sulfatados.

Al ser una Universidad en constante crecimiento, el incremento de carga puede darse más adelante, por lo que es necesario realizar nuevamente este estudio en unos años cuando se aumente la capacidad instalada.

El ahorro energético es vital para la economía, por lo cual se debe de contribuir al mismo, desde preocuparse que la oficina quede apagada, hasta desconectar las cosas que no se utilizan. Se debe cambiar la luminaria por LED y los equipos de climatización por nuevos de mayor eficiencia.

- Ahorro Energético

Siendo un objetivo importante en este trabajo, debemos de mencionar todas las formas con las que podemos obtener un ahorro de energía, no se puede lograr de manera satisfactoria con la implementación de un banco de capacitores por los factores mencionados en el capítulo anterior, sin embargo existen otras alternativas.

El ahorro energético en la actualidad se ha convertido en un gran tema de estudio y de análisis, tanto en residencias hasta grandes industrias. El costo de la energía eléctrica se ha incrementado de manera continua en los últimos años, y principalmente se puede detallar que los consumidores en media tensión no están excluidos de esto.

El costo por KWH en el Ecuador para consumidores en media tensión era de \$0.061 en el comienzo del año 2014, pero en la actualidad esto se ha incrementado a \$0.08. Esta cifra representa un aumento del 31.15% aproximadamente de lo que costaba el KWH lo cual ha logrado que el tema de ahorro energético tome fuerza y sea el primer detalle que se vea en la actualidad para adquirir un equipo eléctrico de cualquier característica.

- Formas de Ahorrar Energía

En la actualidad se han desarrollado notables formas de reducir el consumo energético en hogares, fábricas, etc. y la implementación de todas las recomendaciones existentes llegan a brindar excelentes resultados para la economía.

El ahorro energético lo podemos separar en dos categorías:

- Ahorro energético por inversión
- Ahorro energético por hábitos de consumo
- Ahorro Energético por Inversión

En la actualidad podemos destacar que este es el más común, ya que existen muchas formas de invertir para reducir los costos y siempre se anda optimizando la energía.

- Acondicionadores de Aire de alta Eficiencia

La tecnología nos ha llevado a lograr optimizar los recursos hasta cifras que no considerábamos posibles. Actualmente en la Universidad se cuenta con acondicionadores de aire tipo ventana en las aulas (en Gran Mayoría), siendo estos los causantes de desperdicios de energía, por ser unidades con tecnología antigua generan un mayor consumo energético.

Al ser equipos viejos y de baja eficiencia, están creando un consumo excesivo de energía, estos deben ser reemplazados por aires de alta eficiencia o inverters. Esto traerá como resultados la reducción del consumo de cada aula en un 40% a 60% siendo estos equipos los de mayor consumo en toda la Universidad.

- Luminaria LED

La iluminación es un punto de gran importancia en la vida cotidiana, y la ciencia nos ha demostrado que se puede mejorar constantemente, así fue en el momento que surgió la luminaria LED, proporcionando iluminación de tipo

fría, mejorando notablemente el consumo de energía. El reemplazo total de la luminaria convencional por LED ha sido implementada por todo el mundo, y obteniendo resultados excelentes y es una inversión que aparte de brindar un ahorro energético, a la larga resulta más económico que continuar con lo convencional. El costo de estos elementos es alto, pero su durabilidad se extiende notablemente y se aprecia una amortización rápida y garantizada.

- **Mantenimiento**

El mantenimiento del sistema eléctrico es un punto de suma importancia al momento de hablar del ahorro energético, ya que todo elemento ajeno al de un tablero, panel, motor, contactor, etc. va a crear un problema en su operación, ya sea este por pérdidas de transformación o por exceso de trabajo debido a filtros sucios o dañados en los sistemas de aire.

- **Ahorro Energético por Hábitos de Consumo**

Esta forma de ahorro es la más común cuando no se tiene el capital para invertir en equipos de alta eficiencia o equipos nuevos. Este es una guía que depende directamente de las personas que utilizan los equipos eléctricos de cualquier índole.

- **Regulación de Termostatos**

Generalmente esto se puede implementar en lugares que tienen climas cálidos y que exista una gran exigencia de los equipos Acondicionadores de

Aire. Esto tiene un impacto directo en el consumo de energía pero tiene que crearse una cultura en los usuarios.

Al momento de encender los equipos de climatización los usuarios con la finalidad de obtener mayor confort de manera inmediata, encienden los equipos con la temperatura más baja posible creyendo que esto va a generar mayor extracción de calor en el área donde se encuentran. Esto no es una realidad, sino más bien es un problema debido a que los equipos de climatización trabajan al máximo de capacidad en el total del tiempo que se encuentran encendidos provocando un trabajo en exceso de todos sus elementos y por consiguiente consumiendo una mayor cantidad de energía.

Entre las funciones del termostato está la de censar la temperatura del ambiente en el cual están instalados, al momento que estos son calibrados a la menor temperatura posible, estos van a continuar trabajando hasta llegar a dicha temperatura, esto es casi imposible porque existe siempre movimiento y fugas de aire en el lugar y el compresor seguirá trabajando ya que no llega a su objetivo de la temperatura deseada.

Por estas razones es siempre recomendable colocar los termostatos a una temperatura confortable y que logre mantenerse constante. Esta temperatura podemos determinar que es entre 22 y 24 C°.

- Apagar las Luces

Todas las luces que no se utilicen en cualquier área deben de ser apagadas, además de que exigen mayor trabajo a los equipos de

climatización son fuentes de consumo que pueden eliminarse para tener una mejor optimización de los recursos.

- Apagar los Equipos de Climatización

Al retirarse de cualquier lugar por más de 30 minutos o 1 hora es recomendable cerrar las puertas y apagar el Equipo de climatización ya que el evaporador sigue trabajando y en muchos casos se abandona el lugar hasta el día siguiente teniendo un gran desperdicio de energía.

- Desconectar

La mejor forma de ahorrar no es simplemente apagar las cosas, es necesario en muchos casos la desconexión de los mismos, ya que todas las pequeñas cargas existentes al sumarse generan consumos considerables y más aún al ser cosas que no se están utilizando.

Bibliografía

EPCOS (2014). Catalogo 2014, Alemania

Rotor (2011). Catálogo de Motores, Reino Unido

Electropar (2010). Capacitores y corrección del Factor de Potencia, Paraguay

Havells Sylvania (2014). Catalogo 2014 – 2015, Ecuador

Zamora Catagua Bosco Rodolfo y Calderón León Julio Israel (2013). Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para corregir el Factor de Potencia. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.

LLumiQuinga Loya Fredy Santiago (2012) Banco De Condensadores, Corrección Factor De Potencia. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil

Motor Challenge (2012) Reducing Power Factor Cost. Nysesda, New York

Gómez Morales Enrique (2009). Compensación De Potencia Reactiva. Instituto Politécnico Nacional, México D.F.

Zambrano Sabando Luis Marcelo (2014). Estudio, Análisis Y Solución De Las Transientes En El Área Administrativa De La Facultad Técnica Y Como Afectan A Los Equipos Electrónicos. Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Guayaquil.

Glosario

Factor de Potencia: Se define factor de potencia de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P , y la potencia aparente, S .

Triangulo de Potencias: Es la mejor forma visual de apreciar el factor de potencia.

Potencia activa: Es la potencia en que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo.

Potencia reactiva: Es la potencia disipada por las cargas reactivas.

Capacitor: Es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

Luminaria LED: es una lámpara de estado sólido que usa ledes (Diodos Emisores de Luz) como fuente luminosa que trabajan con corriente continua.

Cosenofimetro: También conocido como Cosímetro, cofimetro o fasímetro es un aparato que se usa para medir el factor de potencia.

Multímetro: También denominado polímetro, o tester, es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales o/y pasivas como resistencias, capacidades y otras.

Contactador: es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando

Armonicas: son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo

Efecto Resonancia: Es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica

Efecto Joule: se lo nombra así al fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo