

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO:

“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA Y EN EL TRANSFORMADOR DE 50KVA, SITUADOS EN LAS INSTALACIONES DEL INGENIO AZUCARERO MONTERREY MALCA”.

*TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECAÁNICA*

AUTOR: LUIS ADRIAN QUEVEDO CELI.

DIRECTOR: ING. NORMAN AUGUSTO JIMÉNEZ.

TUTOR: DR. ORLYS TORRES BREFFE

LOJA – ECUADOR

2008

1859

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo general analizar los parámetros vinculados con la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el Transformador de 50 kVA, situados en las instalaciones del Ingenio Azucarero Monterrey MALCA, siendo necesario elaborar una propuesta de mejoramiento de la Calidad de Energía Eléctrica.

Primeramente se recopila la información más relevante acerca de los problemas que causan mala Calidad de Energía Eléctrica, así como la generación y efectos de los armónicos y el análisis de los diferentes métodos para su eliminación.

Posteriormente se realiza la descripción del Ingenio Monterrey MALCA, con lo cual se pudo conocer su actual flujo tecnológico, el suministro y la distribución de energía eléctrica dentro de la fábrica. Se describe el equipo utilizado para el registro y mediciones de los parámetros eléctricos llamado A2000, el cual incluye un software llamado Metrawin para el análisis de los datos, también se detalla completamente los centros de carga en estudio, los elementos constitutivos y sus aspectos más importantes.

Finalmente se presenta varias propuestas o acciones para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica en los centros de carga en estudio, la primera propuesta se refiere a la instalación de un filtro pasivo de absorción regulado en el centro de carga Meladura y la segunda propuesta es la instalación de condensadores en las líneas secundarias del Transformador de 50 kVA, partiendo del hecho que son equipos simples y modernos, que no representan un excesivo gasto en su implementación siendo viables técnica y económicamente para la empresa.

Abstract

The present project has as general objective to analyze the parameters linked with the Quality of the Electric power in the load center Meladura and in the Transformer of 50 kVA, located in the facilities of the Sugar Genius Monterrey MALCA, being necessary to elaborate a proposal of improvement of the Quality of Electric power.

Firstly the most outstanding information is gathered about the problems that cause bad Quality of Electric power, as well as the generation and effects of the harmonic and the analysis of the different methods for their elimination.

Later on one is carried out the description of the Genius Monterrey MALCA, with that which one could meet their current technological flow, the supply and the electric power distribution inside the factory. The team is described used for the registration and mensurations of the called electric parameters A2000, which includes a called software Metrawin for the analysis of the data, is also detailed completely the load centers in study, the constituent elements and their more important aspects.

Finally it is presented several proposals or actions for the improvement of the electric power quality in the load centers in study, the first proposal refers to the installation of a passive filter of absorption regulated in the load center Meladura and the second proposal is the installation of condensers in the secondary lines of the Transformer of 50 kVA, leaving of the fact that are simple and modern teams that don't represent an excessive expense in their implementation being viable technical and economically for the company.

Índice

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Introducción.....	6
1.2. Definiciones básicas y terminología de la Calidad de la Energía Eléctrica.....	6
1.3. Potencia en Condiciones Sinusoidales y no Sinusoidales.....	18
1.4. Generación de armónicos.....	22
1.5. Efectos de los Armónicos.....	37
1.6. Instrumentos para la Medición de Armónicos.....	41
1.7. Eliminación de Armónicos.....	43
1.8. Conclusiones.....	54
CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL INGENIO AZUCARERO MONTERREY “MALCA”.....	55
2.1. Introducción.....	55
2.2. Generalidades del Ingenio Azucarero Monterrey dentro de la Agroindustria Ecuatoriana.....	56
2.3. Flujo Tecnológico Actual.....	61
2.4. Sistema Eléctrico de Potencia.....	67
2.5. Equipo Analizador de Red, Multifunción A2000.....	70
2.6. Centro de Carga Meladura.....	72
2.7. Distribución Secundaria del Transformador de 50 kVA.....	82
2.8. Conclusiones.....	94
CAPITULO 3. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	95
3.1. Introducción.....	95
3.2. Medidas para el control de los armónicos y factor de potencia en el centro de Carga Meladura.....	96
3.3. Medidas para el control del factor de potencia en las fases primarias del Transformador de 50 kVA.....	102
3.4. Valoración Técnica-Económica de las variantes.....	106

3.5	Impacto Ambiental.....	113
3.5	Conclusiones.....	113
	Conclusiones.....	115
	Recomendaciones.....	117
	Bibliografía.....	119
	Anexo I	121
	Anexo II	124
	Anexo III	125
	Anexo IV	126
	Anexo V	127
	Anexo VI	128
	Anexo VII	129
	Anexo VIII.....	130
	Anexo IX	131
	Anexo X.	135
	Anexo XI	137
	Anexo XII	142

Introducción General

Hoy en día la generación de Energía Eléctrica en el Ecuador juega un papel muy relevante en el área industrial puesto que influye, de manera directa, en el sector productivo de una empresa permitiéndola ser mas eficiente, en una economía que tiende a la globalización. Por lo tanto, el ahorro de energía eléctrica es una alternativa viable para reducir costos de operación y mejora de los niveles de competitividad dentro del mundo industrial.

La variación de la tensión, corriente y frecuencia en el sistema eléctrico que no se encuentran dentro de los estándares de calidad, ocasionan problemas de operación y daño en los equipos eléctricos que se encuentran alimentados con dicha energía, efectuándose un suministro con mala Calidad de Energía.

Las alteraciones de la “calidad de la onda” tienen lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución, así como en su utilización por determinados tipos de receptores. Son, por lo tanto, inevitables. Sin embargo, sólo en los últimos años se están convirtiendo en un motivo de preocupación. Y ello, por dos causas:

Por un lado, el producto final requiere cada día más una mayor calidad de todos los procesos industriales y estos a su vez una eficiente calidad de los insumos en particular la energía eléctrica, la cual es más sensible a las alteraciones que puedan existir.

Por otro lado, la creciente utilización de receptores que generan perturbaciones hace que el nivel de contaminación general de las redes eléctricas esté aumentando, lo que puede incidir en el normal funcionamiento de los demás receptores a ellas conectados, extendiendo el problema.

Actualmente en el Ecuador se cuenta con el Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, en el que se establecen las disposiciones que fijan los estándares mínimos de calidad que garantizan a los usuarios un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno. El reglamento también establece que los usuarios finales de la energía eléctrica están obligados a cumplir ciertos requerimientos mínimos que aseguren un buen empleo de la energía eléctrica y que no ocasionen perturbaciones en las redes eléctricas.

Por lo tanto debido a lo extenso de los problemas, en este proyecto ha sido necesario desarrollar técnicas y una propuesta para la instalación de equipos que mejoren la Calidad de Energía Eléctrica, basándose en las normas del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE-519) y de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI 61000-3-4), contrastando con los lineamientos nacionales establecidos por la Ley de régimen del sector eléctrico (LRSE), que por medio del CONELEC ha dictado la regulación N°004/01. Para de esta manera llegar a establecer la mejor instalación eléctrica industrial desde el punto de vista técnico y económico.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El Ingenio Azucarero Monterrey “MALCA”, es una empresa privada dedicada a la elaboración de los derivados de la caña de azúcar, caracterizándose por ser una de las primeras fabricas en la provincia de Loja en proveer puestos de trabajo para la mayoría de personas que viven en el Cantón Catamayo y en sus cercanías.

Hoy en día la empresa mantiene una política encaminada a la automatización de los procesos industriales para la elaboración del azúcar, para lo cual se instala equipos electrónicos por su uso más eficiente y aumentan considerablemente la productividad pero, por otra parte, han provocado una situación problemática, este hecho tiene una explicación, estos equipos distorsionan la onda de corriente y de voltaje lo cual provoca mala calidad de energía eléctrica que hace que los equipos fallen incidiendo en la disminución de la productividad.

Por lo cual se pudo establecer mediante prácticas técnicas en la fábrica y un sondeo verbal a los técnicos encargados del mantenimiento eléctrico, que existe problemas de la Calidad de la Energía Eléctrica, que se presentan por medio de dos orígenes:

El primero origen se debe, por la presencia de equipos variadores de frecuencia que realizan el control de algunos motores, evidenciándose alta carga reactiva inductiva producto de los motores de inducción conectados al centro de carga de Meladura que es uno de los procesos en la cual el jugo clarificado es mezclado con cal, ácido fosfórico y floculante para posteriormente evaporarlo y obtener el jarabe llamado Meladura, la cachaza residual en este proceso pasa a utilizarse como abono en las plantaciones de caña.

El suministro de energía eléctrica tomado en cuenta en este estudio será el perteneciente al turbogenerador marca WEG, el cual alimenta de electricidad a toda la fábrica incluso a la red eléctrica destinada a los motores instalados en el campo, la misma energía eléctrica no puede operar en paralelo con la red de la Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA).

El segundo origen del problema, al cual se destina la investigación es en la acometida de baja tensión del transformador de 50 kVA la cual abastece de energía eléctrica a los circuitos de iluminación, tomacorriente y motores de pequeña potencia, en esta instalación se puede comprobar la presencia de equipos electrónicos modernos (computadoras, UPS, balastos electrónicos e inductivos) que utilizan dispositivos de electrónica de potencia (diodos, transistores, tiristores) que convierten la corriente alterna en corriente directa y trabajan en un modo de interrupción (switching), que funciona a manera de pulsaciones que no tienen forma de onda de voltaje sinusoidal. Aproximadamente el 50% de la energía pasa por estos dispositivos antes de ser finalmente aprovechada produciendo distorsión armónica y consumos no lineales.

Estos orígenes han provocado una situación problemática para el personal de mantenimiento eléctrico del Ingenio Monterrey MALCA, ya que en la actualidad no cuentan con los equipos eléctricos, que les permita medir y analizar la calidad de la energía eléctrica en diferentes puntos del sistema de distribución de la fábrica y en la distribución secundaria de los transformadores, lo cual implica dificultad en el trabajo diario de los electricistas por el desconocimiento de los problemas que trae consigo la mala calidad de la energía eléctrica.

Todo lo anterior se traduce en mayores costos por incremento de pérdidas en la red eléctrica y por los daños frecuentes que se producen en los equipos, ya que incluso se los llega a cambiar totalmente.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Gran cantidad de variadores de frecuencia y consumo de energía reactiva inductiva en el centro de carga Meladura y la presencia de cargas no lineales en el transformador de 50 KVA, los cuales son alimentados de Energía Eléctrica por el Turbogenerador WEG, lo cual incide en la Calidad de la Energía Eléctrica y en la eficiencia de los equipos electromecánicos, electrónicos y electromagnéticos.

OBJETIVO GENERAL

Analizar los parámetros vinculados con la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el Transformador de 50 kVA y elaborar una propuesta de mejoramiento de la Calidad de Energía Eléctrica.

1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-  Evaluar los parámetros eléctricos de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA.
-  Desarrollar una propuesta alternativa para implementar equipos de última generación, necesarios para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA.
-  Desarrollar un estudio técnico-económico de la propuesta alternativa para implementar equipos que mejoren los parámetros eléctricos de la energía eléctrica contrastando su factibilidad con su actual instalación.

HIPÓTESIS GENERAL

Al realizar un estudio sobre la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el Transformador de 50 kVA, ubicados en las instalaciones eléctricas del Ingenio Monterrey “MALCA”, se elaborará una propuesta de mejoramiento de la calidad de energía eléctrica actual del centro de carga Meladura y del Transformador de 50 kVA.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

-  Al realizar una evaluación sobre los parámetros eléctricos de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA, se podrá conocer su estado actual.
-  El desarrollo de una propuesta alternativa para implementar equipos de última generación para mejorar la calidad de energía eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA, permitirá a la

industria reducir costos de mantenimiento de equipos eléctricos, electrónicos y electromecánicos, aumentando su eficiencia.

- El desarrollo de un estudio técnico - económico de la propuesta de mejoramiento de calidad de Energía eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA, ayudará a verificar su factibilidad con su actual instalación.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En el presente trabajo de tesis se elaboró tres Capítulos, el primero empieza describiendo la importancia, definiciones y terminología de la Calidad de la Energía Eléctrica, luego se determinan los índices armónicos en base a la Norma IEEE-519 para desarrollar el análisis de las mediciones, por consiguiente se describe la generación, los efectos de los armónicos y los instrumentos utilizados para su medición y se describe diferentes métodos para la eliminación de armónicos. En el segundo capítulo se realiza una descripción de las generalidades del Ingenio Monterrey, se establece las fuentes de energía eléctrica disponibles, se describe el sistema eléctrico de potencia y el equipo de medición utilizado como también el análisis de comportamiento energético del centro de carga Meladura y del transformador de 50 kVA

En el tercer capítulo se expone las medidas para el control armónico y factor de potencia en el centro de carga Meladura como también las medidas para el control del factor de potencia en el transformador de 50 kVA, consta además de un análisis técnico económico de las variantes.

Lo antes mencionado dará la información necesaria para desarrollar una propuesta de mejoramiento de la Calidad de la Energía Eléctrica basándonos en la Norma IEEE-519 y en las conclusiones se definirá los aspectos más importantes del trabajo, además, se presentarán recomendaciones que servirán para futuros proyectos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

-  INTRODUCCIÓN
-  DEFINICIONES BÁSICAS Y TERMINOLOGÍA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA
-  POTENCIA ELÉCTRICA EN CONDICIONES SINUSOIDALES Y NO SINUSOIDALES
-  GENERACIÓN DE ARMÓNICOS
-  EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS
-  INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE ARMÓNICOS
-  ELIMINACIÓN DE ARMÓNICOS
-  CONCLUSIONES

1.1. INTRODUCCIÓN

El tema de la CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (que en USA se utiliza el termino POWER QUALITY) no es nuevo, ya que nunca la tensión generada por las empresas suministradoras del servicio, ni la corriente consumida por las industrias ha sido completamente sinusoidal, lo que ha sucedido es que en los últimos años los equipos usados en la industria han vuelto crítico este problema. Este hecho tiene una explicación, la industria moderna busca el aumento de la productividad utilizando para ello equipos más eficientes (equipos electrónicos), estos equipos distorsionan la onda de corriente y de voltaje pero a la vez necesitan para su funcionamiento de una onda sinusoidal de tensión; de forma que si la onda no es sinusoidal estos equipos fallan y la productividad disminuye.

1.2. DEFINICIONES BÁSICAS Y TERMINOLOGÍA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El término de la Calidad de la Energía Eléctrica se aplica a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que ocurren en los sistemas de potencia. El aumento del

1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSITORIOS

El término transitorio es usado generalmente al analizar variaciones en el sistema de potencia para denotar un evento que es indeseable pero de naturaleza momentánea. En general los transitorios pueden ser clasificados en dos categorías, tipo impulsos y oscilatorios. Ambos términos son usados para describir la forma de onda de tensión o corriente transitoria.

1.2.2.1. TRANSITORIOS DE IMPULSOS

Es una perturbación repentina unidireccional en polaridad, a una frecuencia diferente a la del sistema, que cambia la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambas. Se caracteriza por el tiempo de elevación y decaimiento, lo cual es revelado por su contenido espectral.

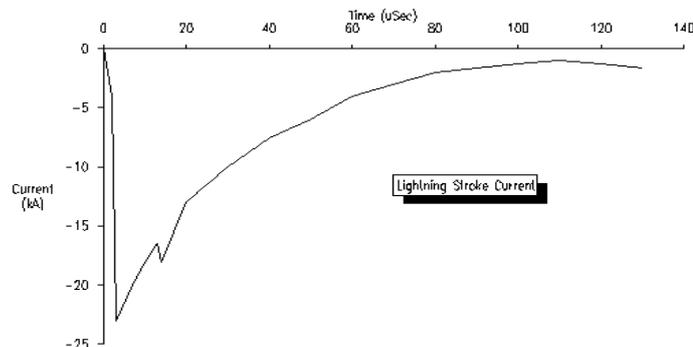


Figura 1.1 Transitorio de impulso de corriente causado por la caída de un rayo.

Por ejemplo la causa más común del transitorio de impulso es un rayo, la figura 1.1 muestra la forma típica de un impulso transitorio de corriente causado por un rayo que se eleva desde cero a su valor pico de -23 kA en $1.5 \mu\text{s}$ y luego decae a la mitad de su valor pico en $25 \mu\text{s}$.

1.2.2.2. TRANSITORIOS OSCILATORIOS

Es una perturbación repentina que cambia de polaridad a una frecuencia diferente a la del sistema, cambiando la condición de estado estable de la tensión, corriente o ambas. Esta constituido por ondas de tensión y corriente que cambian su polaridad rápidamente. Es descrito por su contenido espectral en duración y magnitud, la tabla 1.1 define a los transitorios oscilatorios en sub-classes de alta, media y baja frecuencia.

Los transitorios oscilatorios con un componente de frecuencia primaria tan grande como 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o algunos ciclos de la frecuencia fundamental) se consideran como transitorios oscilatorios de alta frecuencia.

Es típico que en la conmutación de los capacitores se pueda encontrar las resultantes de las corrientes transitorias oscilatorias en el orden de las decenas de kilohertz como se ilustra en la Figura 1.2 donde existe un transitorio que alcanza 1.7 V en pu, manteniendo su variación durante 10 ms.

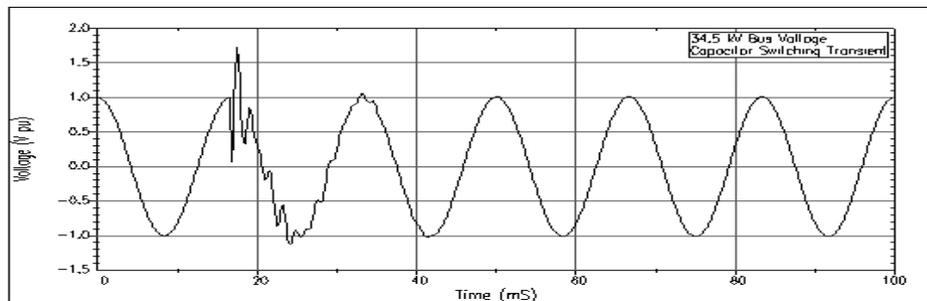


Figura 1.2 Ejemplo de transitorio oscilatorio en la energización de un banco de Capacitores.

El equipo electrónico generalmente no tiene la misma capacidad de aguante como los equipos eléctricos más tradicionales. De hecho el uso de pararrayos que limitan los transitorios a dos o tres veces la tensión nominal pico puede no proporcionar una protección adecuada a este equipo.

En ese caso, los dispositivos de protección para equipo electrónico pueden necesitar reactores en serie, capacitores en paralelo y/o dispositivos electrónicos adicionales, para proporcionar una protección adecuada.

Cuando no se logra esta protección pueden ocurrir fallas o mal funcionamiento.

El fenómeno más frecuente es la energización de condensadores los cuales típicamente resultan en un transitorio oscilatorio de voltaje con una frecuencia de primario entre 300 y 900 Hz. La magnitud pico puede aproximarse a 2.0 pu, pero es típicamente 1.3 – 1.5 p.u con una duración de entre 0.5 y 3 ciclos dependiendo del sistema.

El transitorio oscilatorio con frecuencia principal menos a 300 Hz, también puede encontrarse en los sistemas de distribución.

Estos son generalmente asociados con energización de transformadores con fenómeno de la ferorresonancia, que es un caso particular que aparece cuando la autoinducción es en hierro saturable pudiendo producir un amplio margen de frecuencias, entre las que están los 60 Hz y sus armónicos.

Como se muestra en la figura 1.3 donde la forma de onda es inestable llegando a tener picos de 400kV y caídas de voltaje de 1kV manteniéndose su variación.

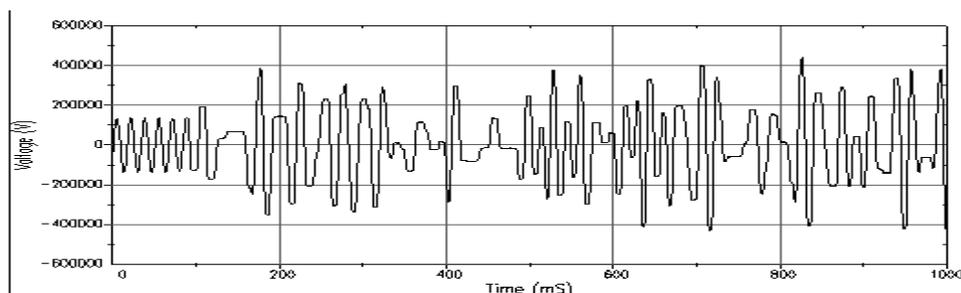


Figura 1.3 Transitorio oscilatorio de baja frecuencia causada por la ferorrresonancia de un transformador

También se producen variaciones de frecuencia en un sistema eléctrico de corriente alterna cuando se produce una alteración del equilibrio entre carga y generación.

1.2.2.2.1. EFECTOS QUE PRODUCE LA VARIACIÓN DE FRECUENCIA DE LAS MÁQUINAS ROTATIVAS

En los márgenes normales de tolerancia, el principal efecto de las variaciones de frecuencia es el cambio en la velocidad de las máquinas rotativas. [2]

En tales condiciones, pueden producirse los siguientes fenómenos:

-  Los motores transmiten más o menos potencia.
-  Los relojes eléctricos sincronizados con red, se atrasan o adelantan.

También tienen efecto sobre otros equipos:

-  Los filtros de armónicos sufren un efecto distorsionador.
-  Los equipos electrónicos que utilizan la frecuencia como referencia de tiempo se ven alterados.

1.2.3. VARIACIONES DE VOLTAJE DE CORTA DURACIÓN

Las variaciones de voltaje de corta duración son causadas por: energización de grandes cargas que requieren alta corriente de arranque, o por pérdidas intermitentes de las conexiones de las líneas de distribución del sistema. Se clasifican en:

-  Instantáneas.- cuando la variación dura de 0.5 – 30 Ciclos.
-  Momentáneas.- cuando la variación se mantiene desde 30 Ciclos - 3s.
-  Temporal.- cuando la variación perdura desde los 3s – 1 min.

Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema la falla puede causar una caída temporal de voltaje (sags), o una elevación temporal de voltaje (swells) o una pérdida completa del voltaje (interrupción).

1.2.3.1 SAG (DIPS) O (PANDEO)

Es la disminución del voltaje o la corriente eficaz a un valor entre 0.1 a 0.9 pu, por un tiempo que no exceda de un minuto. En Europa la Comisión electrotécnica Internacional usa la denominación dip, siendo ambas palabras sinónimos. Este fenómeno es causado normalmente por fallas a tierra pero también puede ser causado por la conexión de cargas pesadas como grandes motores de inducción como se muestra en la figura 1.4 donde existe una caída de voltaje en porcentaje del 100 % al 15 % durante 50 ms.

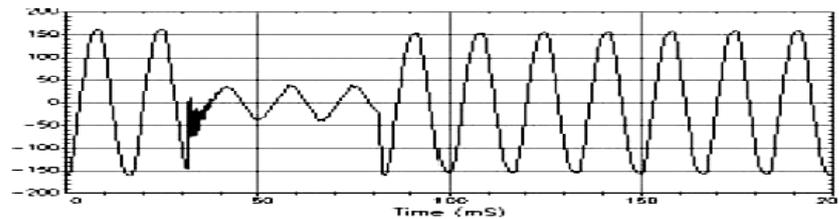


Figura 1.4. Voltaje sag causado por la conexión de un motor de inducción.

1.2.3.2. SWELL (HINCHAZÓN)

Un Swell es un incremento del voltaje o la corriente eficaz a un valor entre 1.1 a 1.8 pu a la frecuencia del sistema, por un tiempo que va de 0.5 ciclos a un minuto.

Al igual que los voltajes Sags, los Swell están asociados a fallas del sistema pero se presentan en menor número, también pueden ser causados por desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de condensadores. La figura 1.5 muestra el voltaje Swell causado por una falla línea simple a tierra donde el voltaje representado en porcentaje permanece estable en 100 % y cuando se produce la falla se eleva al 115% con una duración de 0.07 segundos.

La severidad del un SWELL de voltaje durante una condición de falla esta en función de la localización de la falla, impedancia del sistema y aterramiento. En un sistema mal aterrado, con una impedancia infinita de secuencia cero, el voltaje de línea a tierra en las fases no aterradas será de 1.73 pu durante la condición de falla simple de línea a tierra.

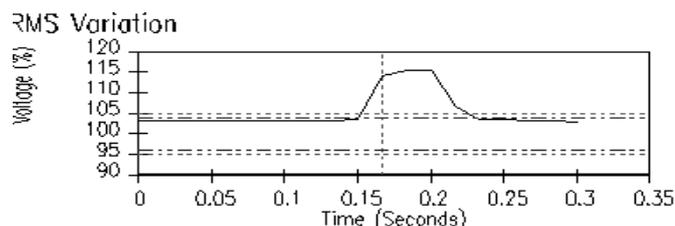


Figura 1.5 Voltaje swell causado por una falla línea simple a tierra.

1.2.3.3. INTERRUPCIÓN

Ocurre cuando el voltaje aplicado o la corriente de carga decrecen a un valor menor a 0,1 pu, por un periodo de tiempo que no excede 1 minuto. Una interrupción puede ser causada por fallos en el sistema, en los equipos o mala operación del control del sistema. La duración de una interrupción debida a fallas en el sistema de potencia está determinada por el tiempo de operación de los elementos de protección del sistema. Normalmente los recierres instantáneos limitan la interrupción causada por una falla no-permanente a menos de 30 ciclos. Los recierres retardados pueden causar una interrupción temporal o momentánea.

En la figura 1.6 se muestra que durante 1.9 segundos se interrumpe el voltaje dado en porcentaje que se mantiene constante en el 100 % con una caída al 0 % y el posterior recierre efectuado por los equipos de protección.

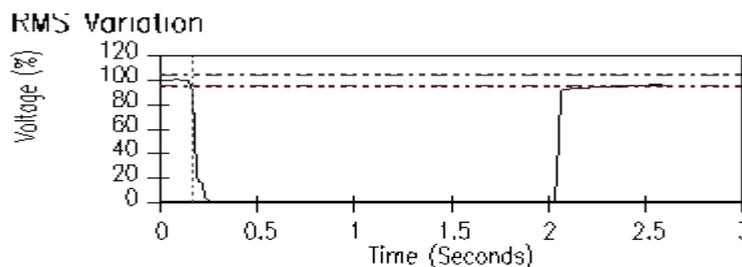


Figura 1.6. Interrupción momentánea debido a una falla y la posterior operación de recierre.

1.2.4. VARIACIONES DE VOLTAJE DE LARGA DURACIÓN

Se considera que ocurre una variación de larga duración cuando la onda se desvía de su valor eficaz manteniendo la frecuencia del sistema por un tiempo mayor a 1 minuto.

Las variaciones de larga duración pueden ser sobrevoltajes o bajo voltajes; estos fenómenos no son causados por fallas del sistema sino por variaciones de cargas en el sistema u operaciones de conexión y desconexión del sistema.

1.2.4.1. SOBREVOLTAJES

El sobrevoltaje es un incremento del valor eficaz de la tensión a un valor mayor al 110% del valor nominal a la frecuencia nominal y con una duración mayor a 1 minuto, pueden ser causados por desconexión de grandes cargas o la energización de banco de condensadores o por el incorrecto ajuste de taps de los transformadores.

1.2.4.2. BAJO VOLTAJE

Un bajo voltaje es una disminución del valor eficaz de la tensión a un valor menor al 90% del valor nominal a la frecuencia nominal y con una duración mayor a 1 minuto.

Los bajos voltajes pueden ser causados por eventos contrarios a los que causan sobrevoltajes, por ejemplo la conexión de grandes cargas o la desenergización de banco de condensadores, la sobrecarga en los circuitos también puede causar bajos voltajes.

1.2.4.3. INTERRUPCIONES SOSTENIDAS

Cuando el voltaje aplicado desaparece por un tiempo mayor a 1 minuto, la variación de voltaje de larga duración se considera una interrupción sostenida; Las interrupciones de voltajes mayores a 1 minuto son frecuentemente permanentes y requieren de la intervención humana para reparar el sistema y su restauración.

1.2.5. DESBALANCE DE VOLTAJE

Ocurre cuando las tensiones de línea no son iguales, este fenómeno se puede definir como la desviación máxima respecto al valor promedio del voltaje trifásico o corriente trifásica, dividida por el promedio del voltaje de las tres fases o corrientes y expresado en porcentaje.

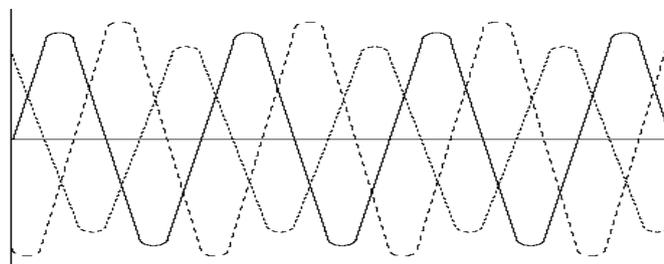


Figura 1.7 Sistema sinusoidal trifásico desbalanceado.

Las fuentes más comunes que causan desbalance de voltaje menor a 2% son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos. Todas las formulaciones hechas para la tensión también pueden ser hechas para las corrientes que recorren las fases del sistema trifásico.

1.2.5.1. GRADO Y DURACIÓN DE LA ASIMETRÍA DE VOLTAJE

Las condiciones de compatibilidad en el Punto de Acoplamiento Común (PCC) son las siguientes: En las redes de media y baja tensión, el grado de asimetría no puede superar el 2% en valoraciones de más de un minuto; en las de alta tensión, no debe ser mayor de un 1% en ese mismo período de tiempo.

1.2.5.2. CAUSAS QUE ORIGINAN TENSIONES ASIMÉTRICAS

La conexión de cargas monofásicas en baja, media y alta tensión absorbe en cada fase intensidades diferentes que producen tensiones asimétricas. Las cargas monofásicas entre conductor de fase y conductor neutro, que sólo son posibles en las redes de baja tensión no tienen general relevancia. Esto se debe a que en el PCC, la relación entre la potencia de las cargas conectadas y la potencia de cortocircuito es baja.

Las principales cargas monofásicas conectadas entre dos fases que producen asimetrías en las redes de alta y media tensión son las siguientes:

-  Hornos de inducción (cuando trabajan a la frecuencia de la red).
-  Hornos de fusión de resistencia.
-  Instalaciones inductivas por calentamiento.
-  Hornos de resistencia para la fabricación de electrodos.
-  Instalaciones de calentamiento por arco voltaico.
-  Máquinas de soldadura por resistencia.
-  Hornos de fusión de acero de arco voltaico.
-  Sistemas de tracción eléctrica, por la conexión fase-tierra.

1.2.5.3. EFECTOS QUE PRODUCEN LAS TENSIONES ASIMÉTRICAS

Las tensiones asimétricas producen diferentes efectos según cuál sea el tipo de receptor:

Transformadores y líneas.

Para una misma carga activa, la intensidad causada por la asimetría puede ser el doble de la que existiría en situación de simetría. Por ello, cuando en la red hay conectadas cargas que producen asimetría, estos equipos trabajan con unos niveles de utilización máxima del 60%.

Motores síncronos y asíncronos.

En los **motores asíncronos**, los aumentos de temperatura por calentamiento son significativos para valores de U_{sim} superiores a un 1%. Y son especialmente perjudiciales cuando se llega al 2% en máquinas totalmente cargadas. En los **motores síncronos**, se admite una intensidad del sistema inverso equivalente entre el 5% y el 10% de su intensidad de dimensionamiento I_{rG} , lo cual es tanto como decir que toleran un valor de U_{sim} de entre un 1% y un 2%. [3]

1.2.5.4. ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN DE TENSIONES ASIMÉTRICAS

Es posible disminuir el grado de asimetría aplicando una o varias de estas acciones:

-  Repartir las cargas monofásicas, consiguiendo una distribución más homogénea entre las tres fases.
-  Instalar equipos y dispositivos correctores, tales como condensadores y bobinas de inductancia. En el caso de que se puedan registrar fuertes variaciones de la carga, estos dispositivos deberán ser regulables.
-  Separar la carga monofásica de la red por medio de convertidores estáticos. Esta opción da lugar a la generación de intensidades armónicas que deberán ser tenidas en cuenta.
-  Conectar la carga monofásica en un punto que tenga una potencia de cortocircuito o una tensión más elevada.

1.2.6. DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA

La distorsión de la forma de onda es definida como la desviación en estado estable respecto a una onda ideal sinusoidal a la frecuencia de la red, y esta caracterizada por el contenido espectral de la desviación. Existen 5 tipos de distorsión de la forma de onda:

- 1) Nivel de Corriente Directa DC.
- 2) Armónicos.
- 3) Interarmónicos.
- 4) Huecos de tensión (notching).
- 5) Ruido.

1.2.6.1. NIVEL DE DC (DC OFFSET)

La presencia de un voltaje o corriente directa en el sistema de potencia de corriente alterna se denomina nivel de DC. Este fenómeno puede ser causado por disturbios geomagnéticos o debido a los efectos de rectificadores de media onda. La CD en un sistema de energía alterna puede ser perjudicial en los núcleos de los transformadores ya que pueden llevar a la saturación en la operación normal, esto causa adicionalmente calentamiento y disminución en la vida de un transformador. La corriente directa puede causar erosión electrolítica de barras de aterramiento y otros conectores

1.2.6.2. ARMÓNICOS

Son ondas de tensión o corriente sinusoidal de una frecuencia que es un entero múltiplo de la frecuencia fundamental del sistema de potencia que normalmente es de 60 Hz en (USA, Sudamérica). Las ondas distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de ondas de la frecuencia fundamental más los armónicos. La distorsión se origina debido a las características no-lineales de los elementos y cargas en el sistema eléctrico.

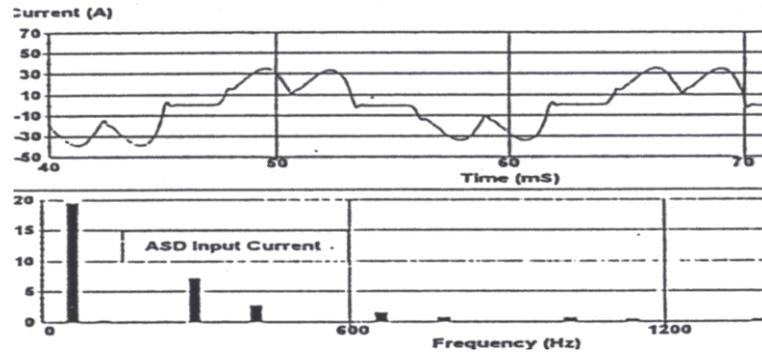


Figura 1.8 Forma de onda de corriente de entrada de un accionamiento de velocidad variable.

El nivel de distorsión armónica es descrito por el espectro completo de los armónicos con sus magnitudes y ángulos de fase de cada uno de ellos. Es también común usar la cantidad llamada Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en ingles Total Harmonics Distortion) como una medida efectiva del nivel de distorsión armónica. La figura 1.8 ilustra la forma de onda de corriente de entrada típica de un accionamiento de velocidad variable (adjustable – speed drives) con su espectro de armónicos. El nivel de distorsión de corriente puede ser caracterizado por su valor THD o nivel armónico individual expresado en porcentaje.

1.2.6.3. INTERARMÓNICOS (INTERHARMONICS)

Se llaman interarmónicos a las ondas de voltaje o corriente que tienen una frecuencia que no es múltiplo de la frecuencia del sistema eléctrico (60 Hz). Ellos pueden aparecer en un pequeño rango de frecuencias de 0 – 6 kHz con una magnitud típica de 0 – 2%.

La principal fuente de ondas con distorsión interarmónica son los convertidores estáticos de frecuencia (inversores o accionamientos de frecuencia variable), cicloconvertidores, motores de inducción y elementos que producen arcos. No hay un registro sobre los efectos de los interarmónicos, sin embargo se piensa que afectan a los sistemas de energías llevando señales, e inducen flicker visibles en los circuitos.

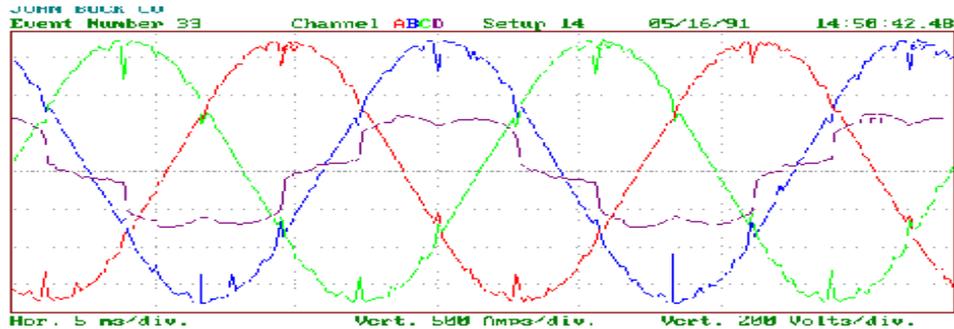


Figura 1.9 Forma de ondas con presencia de interarmónicos

1.2.6.4. HUECOS DE TENSIÓN PERIÓDICOS (NOTCHING)

El Notching es un disturbio periódico del voltaje causado por la operación normal de los elementos de electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Como los Notching ocurren periódicamente estos pueden ser caracterizados a través del espectro de armónicos de la onda de voltaje afectada. Sin embargo normalmente se trata como un caso especial, pues las componentes de la frecuencia asociadas a los notching pueden ser muy altas y no pueden ser fácilmente caracterizados con los equipos de medida normalmente usados en el análisis de armónicos. La figura 1.10 muestra el voltaje notching de un convertidor trifásico que produce corriente continua afectando a la forma de onda por lapsos de tiempo no mayores a 2 ms, con valores que no sobrepasan los 0.3 p.u de voltaje.

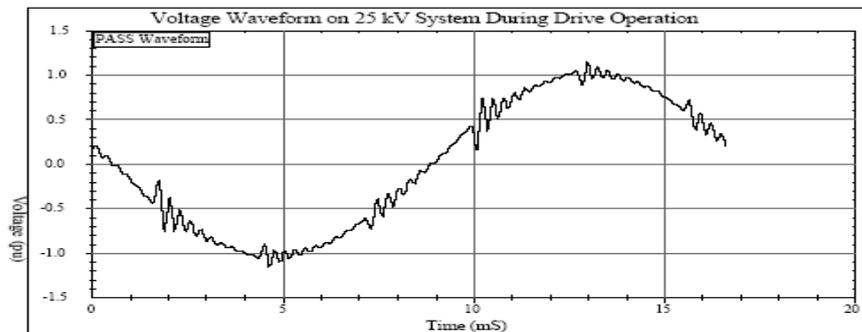


Figura 1.10 Forma de la tensión en 25 kV que ilustra oscilaciones excitadas por el notching .

1.2.6.5. RUIDO

Se entiende por Ruido a las señales eléctricas indeseadas con un amplio espectro de banda debajo de 200 kHz superpuesto sobre los cables de fase de tensión y corriente, o sobre el conductor neutro, con un margen de voltaje de 0 – 1%. Los ruidos en los sistemas eléctricos pueden ser causados por elementos de la electrónica de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes de potencia conmutadas.

1.2.7. FLUCTUACIONES DE VOLTAJE

El “Flicker” o parpadeo es el fenómeno de variación de la intensidad luminosa que afecta la visión humana, principalmente en el rango de fracciones menores a 25 Hz. Este fenómeno depende de los niveles de percepción de los individuos, sin embargo se ha comprobado estadísticamente que la visión humana responde a una curva de respuesta de frecuencia cuya sensibilidad máxima está en 8.8 Hz. [4] Según la tabla 1.1, la magnitud de la variación del voltaje no debe exceder los valores de 0.1 a 7%. El flicker se produce por consumos de naturaleza esencialmente variable como hornos de arco, soldadoras de arco, laminadores siderúrgicos, partidas y paradas de grandes motores, sistemas de tracción eléctrica de CA, compresores, bombas, grupos elevadores, etc.

También la generación de interarmónicas puede provocar una mezcla de frecuencias que contribuyen a variaciones lentas en el rango de 0-25 Hz. En la figura 1.11 un Horno de Arco produce variaciones de voltaje en la forma de onda que llegan a los 1.3 pu de voltaje.

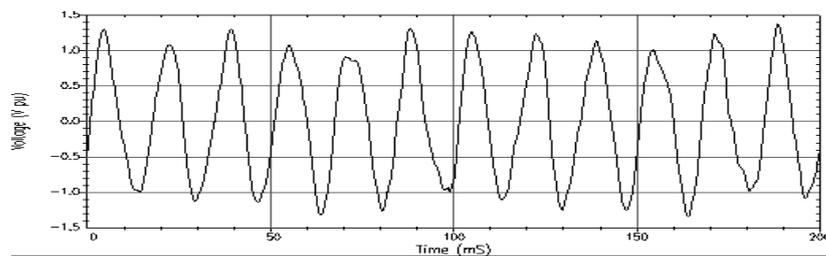


Figura 1.11 Voltaje Flicker causado por las operaciones de un horno de arco.

1.3. POTENCIA ELÉCTRICA EN CONDICIONES SINUSOIDALES Y NO SINUSOIDALES

1.3.1. POTENCIA EN CONDICIONES SINUSOIDALES

En condiciones sinusoidales, es decir en condiciones donde solo existe una frecuencia, la potencia eléctrica instantánea se define como el producto del voltaje y la corriente instantánea, así:

$$P(t) = v(t) \times i(t) \quad (1.1)$$

Si se define la tensión y el voltaje instantáneo por:

$$V(t) = V_{max} \text{ Sen}(\omega t) \quad (1.2)$$

$$i(t) = I_{max} \text{ Sen}(\omega t + \Phi) \quad (1.3)$$

Entonces la potencia instantánea vendrá dada por la relación:

$$P(t) = v(t) \times i(t) = V \max \text{Sen}(\omega t) I \max \text{Sen}(\omega t + \Phi) \quad (1.4)$$

En la figura 1.12 se muestra la tensión y la corriente instantánea y luego se grafica también la potencia instantánea.

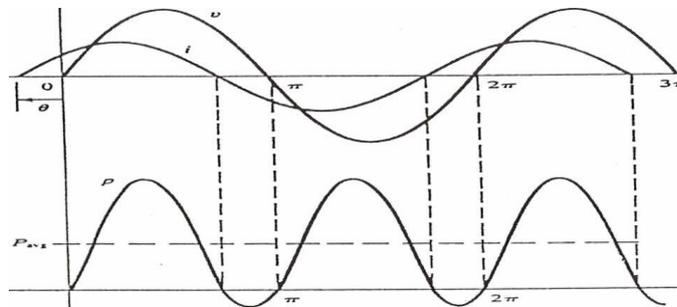


Figura 1.12 Grafico de la potencia instantánea.

1.3.2. POTENCIA EN CONDICIONES NO SINUSOIDALES

Cuando las ondas de tensión y de corriente no son sinusoidales cada una de estas ondas se tendrá que descomponer en sus componentes armónicos usando la Serie de Fourier:

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_{n \max} \text{sen}(n\omega t + \theta_n) \quad (1.5)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{n \max} \text{sen}(n\omega t + \phi_n) \quad (1.6)$$

Por lo tanto cuando existe distorsión, la potencia instantánea contiene términos con frecuencias múltiplos al fundamental.

$$p(t) = [V_1 \text{sen}(\omega t + \theta_1) + V_2 \text{sen}(2\omega t + \theta_2) + \dots][I_1 \text{sen}(\omega t + \phi_1) + I_2 \text{sen}(2\omega t + \phi_2) + \dots]$$

Los términos que contienen el producto de voltajes y corrientes de distinta frecuencia solo se presentaran cuando existe distorsión en la forma de onda, por lo tanto lo llamaremos potencia de distorsión. Los términos de la potencia de distorsión al igual que la potencia reactiva no tienen un valor promedio y son ortogonales a todos los demás términos de la expresión de potencia.

Para desarrollar las expresiones de potencia cuando existe distorsión es decir en condiciones no sinusoidales, procederemos análogamente al caso sinusoidal pero consideraremos el total de los términos presentes.

En el caso sinusoidal sabemos que: $S = V_e I_e$

Cuando esta presenta la distorsión, usamos la misma expresión para S, pero el voltaje y la corriente eficaz la expresamos en función de todos los términos así:

$$Ve = \left(V_{e1}^2 + V_{e2}^2 + V_{e3}^2 + \dots \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.7)$$

$$Ie = \left(I_{e1}^2 + I_{e2}^2 + I_{e3}^2 + \dots \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.8)$$

Entonces:

$$VeIe = \sqrt{\left(V_{e1}^2 + V_{e2}^2 + \dots \right) \left(I_{e1}^2 + I_{e2}^2 + \dots \right)} \quad (1.9)$$

Luego calculamos P y Q como:

$$P = \frac{V_1 I_1}{2} \cos(\phi_1 - \theta_1) + \frac{V_2 I_2}{2} \cos(\phi_2 - \theta_2) + \dots \quad (1.10)$$

$$Q = \frac{V_1 I_1}{2} \sen(\phi_1 - \theta_1) + \frac{V_2 I_2}{2} \sen(\phi_2 - \theta_2) + \dots \quad (1.11)$$

En términos de las cantidades de potencia en valor eficaz. Ahora definimos la potencia de distorsión D, como:

$$D = \left(S^2 - P^2 - Q^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.12)$$

En otras palabras la potencia de distorsión D, es la cantidad que queda al restar de la potencia aparente la potencia activa y reactiva.

En este caso el triangulo de potencia ya no estará en un plano como en el caso tradicional, sino en el espacio, como la potencia de distorsión D es perpendicular a P y Q estará ubicada en otro eje como se muestra en la figura 1.13.

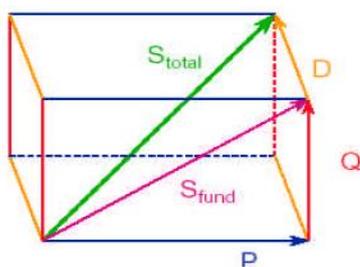


Figura 1.13 Representación grafica de las potencias cuando hay armónicos presentes.

1.3.3. FACTOR DE POTENCIA EN CONDICIONES NO SINUSOIDALES

El factor de potencia es definido como:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (1.13)$$

Donde S es diferente al caso sinusoidal pues ahora tiene un término adicional, así:

$$S = \left(P^2 - Q^2 - D^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

El concepto de que el factor de potencia esta definido por el coseno del ángulo que hacen el voltaje y la corriente ya no puede ser aplicado en condiciones no-sinusoidales, este concepto solo puede ser usado cuando se trabaja con ondas puramente sinusoidales.

Usando las ecuaciones (1.9) y (1.10) obtenemos:

$$FP = \frac{V_{e1}I_{e1} \cos(\phi_1 - \theta_1) + V_{e2}I_{e2} \cos(\phi_2 - \theta_2) + \dots}{\sqrt{(V_{e1}^2 + V_{e2}^2 + V_{e3}^2 + \dots)} \sqrt{(I_{e1}^2 + I_{e2}^2 + I_{e3}^2 + \dots)}} \quad (1.14)$$

Una aplicación interesante de lo anterior es que puede ser imposible corregir el factor de potencia hasta la unidad mientras halla condiciones no sinusoidales. La colocación de condensadores para minimizar Q puede resultar en una mayor distorsión y empeorar el factor de potencia.

En circuitos no-lineales el valor de Q ya no es útil para determinar la cantidad de potencia reactiva a compensar como si lo es en circuitos lineales.

En rigor, Q y D no representan propiedades físicas que sean útiles para comprender el problema del flujo de potencia en circuitos no-lineales. Estas cantidades solo representan agrupamientos matemáticos de términos que quedan luego de restar de la potencia aparente la potencia activa, que siempre se conserva.

Un parámetro muy usado para medir la distorsión armónica es el THD (Total Harmonic Distorsion) conocido como factor de distorsión armónica. [5] El THD se define para la tensión y para la corriente:

El THD de tensión se define:

$$THD_V = \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (V_i)^2} \times 100\% \quad (1.15)$$

Y el THD de corriente como:

$$THD_I = \frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (I_i)^2} \times 100\% \quad (1.16)$$

La ecuación (1.7) que da el valor eficaz de V en presencia de armónicos, se puede transformar en base a las ecuaciones 1.15 y 1.16 en:

$$V_e = V_{e1} \sqrt{1 + \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{en}^2}{V_{e1}^2}} = V_{e1} \sqrt{1 + (THD_V)^2} \quad (1.17)$$

Análogamente la ecuación (1.8) se transforma en función del THD I en lo siguiente:

$$I_e = I_{e1} \sqrt{1 + (THD_I)^2} \quad (1.18)$$

Remplazando la (1.9) y (1.10) en la ecuación (1.13) resulta:

$$FP = \frac{V_{e1} I_{e1} \cos(\phi_1 - \theta_1) + V_{e2} I_{e2} \cos(\phi_2 - \theta_2) + \dots}{V_{e1} I_{e1} \sqrt{(1 + THD_V^2)} (1 + THD_I^2)} \quad (1.19)$$

En la mayoría de los casos la contribución de los armónicos en la potencia media es pequeña y puede despreciarse y por lo tanto solo consideramos la fundamental. También en la mayoría de los casos el THD V es muy bajo y puede despreciarse y por lo tanto la ecuación (1.19) se transforma en:

$$FP = \frac{V_{e1} I_{e1} \cos(\phi_1 - \theta_1)}{V_{e1} I_{e1}} \frac{1}{\sqrt{(1 + THD_I^2)}} \quad (1.20)$$

Finalmente se obtiene la relación:

$$FP = \frac{\cos \phi}{\sqrt{(1 + THD_I^2)}} \quad (1.21)$$

La ecuación (1.21) muestra que en casos no sinusoidales el factor de potencia real debe ser corregido por el THD I.

En caso de que el Factor de Potencia sea inferior a 0,85, implica que los artefactos tienen elevados consumos de energía reactiva, produciéndose una circulación excesiva de corriente eléctrica en sus instalaciones, provocando daños en las mismas por efecto de sobrecargas.

Además, produce alteraciones en las regulación de la calidad técnica del suministro (variaciones de tensión), con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los artefactos. [6]

1.4. GENERACIÓN DE ARMÓNICOS

Aunque el termino de armónicos es muy usado en la ingeniería, muchas veces no se le da el significado adecuado. El término de armónico esta ligado al matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier quien en 1807 demostró el teorema de que cualquier oscilación periódica se puede descomponer en una suma de ondas sinusoidales, uno denominado fundamental y los demás armónicos del mismo.

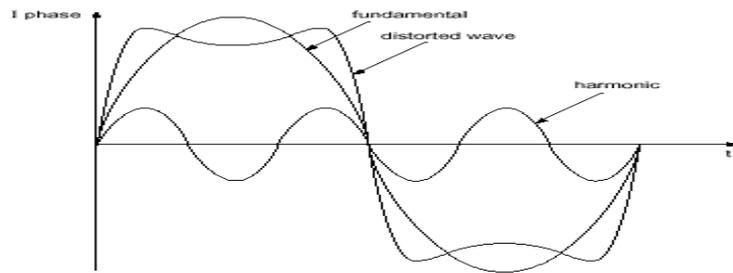


Figura 1.14 Onda con presencia de armónicos

En la figura 1.14 se muestra el armónico de la fase A que al ser sumada a la onda fundamental tiende a distorsionarla. La onda fundamental está a la frecuencia de la onda periódica, llamada frecuencia fundamental, mientras los armónicos están a una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

1.4.1 TEOREMA DE FOURIER

Cualquier función periódica $f(t)$ con periodo T , es decir que la función sea continua por tramos e integrable sobre cualquier intervalo, se puede representar mediante la suma de una componente senoidal fundamental y una serie de componentes armónicos que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Esta serie se llama Serie de Fourier y se expresa matemáticamente así:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (1.22)$$

Donde:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1.23)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt \quad (1.24)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega t) dt \quad (1.25)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(n\omega t) dt \quad (1.26)$$

La serie de Fourier es un caso particular de la transformada de Fourier que convierte una función en el intervalo de $-\infty$ a ∞ . En la práctica industrial no se trabaja casi con funciones continuas sino con muestras de datos que captan la amplitud de la señal en intervalos fijos de duración limitada. Cuando la información se obtiene así la

transformada de Fourier se convierte en transformada discreta de Fourier y su solución rápida por computadora se conoce como transformada rápida de Fourier.

1.4.1. DEFINICIONES

Las Definiciones dadas aquí están ajustadas específicamente a los armónicos generados por convertidores de potencia estática a las frecuencias del sistema eléctrico. [7]

Armónico, característico.- Aquellos armónicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal. En un convertidor de seis pulsos, los armónicos característicos son los armónicos impares diferentes a los múltiplos de tres, por ejemplo, los 5th, 7th, 11th, 13th, etc. Los armónicos característicos producidos por un convertidor de potencia estática requieren impedancias balanceadas en el sistema AC e igual disparo de los tiristores en el convertidor.

Armónico, no característico.- Armónicos que no son producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal. Estos pueden ser el resultado de frecuencias oscilatorias o un desbalance en los sistemas de potencia AC o el funcionamiento del cicloconvertidor. Estos normalmente son pequeños, pero con una resonancia paralela en uno de ellos, pueden amplificarse a un valor que podría causar problemas.

Conmutación.- Transferencia de corriente unidireccional entre los elementos del circuito convertidor del tiristor (o diodo).

Convertidor.- Un dispositivo que cambia la energía eléctrica de una forma a otra. Un convertidor semiconductor usa semiconductores como elementos activos en el proceso de conversión.

Muesca de Voltaje Lineal.- La caída del voltaje de suministro en un convertidor debido al cortocircuito momentáneo de la línea AC durante un intervalo de conmutación.

Número de Pulso.- El número total de conmutaciones no simultáneas sucesivas ocurridas dentro del circuito convertidor durante cada ciclo cuando se opera sin el control de fase.

Fenómeno de Conmutación.- Cuando la inductancia está presente, la corriente no se transfiere de una fase a otra al instante; en cambio, hay un solapamiento (o

conmutación) período durante el cual los dos dispositivos están conduciendo. Durante el solapamiento, hay un corto circuito transitorio AC a través de los dispositivos que conducen. Esta clase de circuito es interrumpido por la corriente inversa en el dispositivo de salida. La duración del período de solapamiento depende del ángulo cerrado entre el corto circuito AC y éste valor respectivo.

Escalonamiento de Tensión.- El escalonamiento de tensión de la onda de voltaje AC es causado por la acción de cambio del rectificador.

Armónicos en el lado DC de un convertidor.- Los armónicos son relacionados al número de pulsos de los circuitos convertidores: seis pulsos, sexto armónico y 12 pulsos, 12^{vo} armónico.

1.4.2. ÍNDICES PARA LA MEDICIÓN DE ARMÓNICOS

Para analizar los efectos producidos por los armónicos se utilizan generalmente unos índices que cuantifican el nivel de contaminación armónica de las ondas. Para el análisis los índices son comparados con valores límites dados por la norma IEEE-519 y con valores de soportabilidad de los equipos. A continuación se presentan las definiciones de los índices más utilizados.

1.4.2.1. ÍNDICES PARA ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Para corriente se tienen dos tipos de índices, los de distorsión armónica individual y los de distorsión armónica total.

El índice de distorsión armónica individual se define mediante la siguiente ecuación:

$$Di = \frac{Ii}{In} \times 100\% \quad (1.27)$$

Donde: Di: Distorsión armónica individual de corriente.
Ii: Corriente de cada armónico.
In: Corriente nominal del alimentador.

Los índices de distorsión armónica total se definen como:

$$THD_I = \frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (Ii)^2} \times 100\%$$
$$TDD = \frac{1}{I_d} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (Ii)^2} \times 100\% \quad (1.28)$$

1.4.2.2. ÍNDICES PARA ARMÓNICOS DE TENSIÓN

El índice de distorsión armónica individual de tensión se define mediante la siguiente ecuación:

$$Dv = \frac{Vi}{Vn} \times 100\% \quad (1.29)$$

Donde: DV: Distorsión armónica individual de tensión.
Vi: Tensión de cada armónico.
Vn: Tensión nominal del alimentador.

El índice de distorsión armónica total de tensión se define como:

$$THD_v = \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (Vi)^2} \times 100\%$$

1.4.2.3. LÍMITES ACEPTABLES, RECOMENDACIONES Y NORMAS

Es importante tener siempre la idea de tener normas que limiten los contenidos armónicos en los sistemas eléctricos con el fin de:

-  Controlar la distorsión de corriente y de tensión de un sistema eléctrico a niveles que las componentes asociadas puedan operar satisfactoriamente, sin ser dañadas, asegurando a los usuarios que puedan disponer de una fuente de alimentación de calidad aceptable.
-  Prevenir que el sistema eléctrico interfiera en la operación de otros sistemas (Protección, Medición, Comunicación y/o Computación).
-  Limitar el nivel de distorsión que un cliente puede introducir a la red.

Las normas de la Calidad de la Energía (Power Quality) proveen las guías, recomendaciones y límites para ayudar a asegurar una compatibilidad entre los usuarios finales de los equipos y los sistemas donde están siendo aplicados. La Norma establecida por el CONELEC se muestra en el (ANEXO I). La Norma a la cual nos regiremos es IEEE 519, publicada en 1981 para niveles de tensión inferiores a 69 kV recomendaba mantener la distorsión de tensión a menos del 5%. Para tensiones de operación mayores del sistema se recomendaban niveles de distorsión menores.

La Norma IEEE 519 se revisó en 1992. La limitación del 5% de la tensión permanece, mientras que existe una limitación en distorsión de corriente en el punto en el que la empresa eléctrica y el usuario se enlazan. Este límite en distorsión de corriente está en el rango de 2.5% a 20% dependiendo del tamaño del usuario y de la tensión del sistema.

A continuación se muestra la tabla 1.2 en la que se indican los valores límites aceptables para los armónicos de voltaje, note que los límites recomendados se indican para el componente armónico individual máximo y para el THD en porcentaje. Muchos de los equipos de los usuarios finales no son afectados por una distorsión del voltaje con niveles por debajo del 8%. [8]

Tabla 1.2 Valores límites aceptables para los armónicos de voltaje

Bus Voltage en PCC (V_n)	Distorsión de las Armónicas de voltaje (%)	Distorsión total de Voltaje - THD V_n (%)
$V_n \leq 69kV$	3.0	5.0
$69kV < V_n \leq 161kV$	1.5	2.5
$V_n > 161kV$	1.0	1.5

Se puede observar en la tabla 1.3 los límites de la distorsión armónica de corriente con rangos individuales expresados en porcentaje, teniendo en cuenta los diferentes niveles de voltaje.

Tabla 1.3 Límites de distorsión de las armónicas de corriente (I_h) en % de I_L

$V_n \leq 69kV$						
I_{sc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	<i>TDD</i>
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69kV < V_n \leq 161kV$						
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161kV$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≤ 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

Donde: I_{sc} = es la corriente de cortocircuito en el punto de medición PCC.

I_L = es la corriente de demanda máxima (con la componente de frecuencia fundamental) en el punto **PCC**

Si la carga productora de armónicos consiste en un convertidor de potencia con un número de pulsos (q) mayor a seis, los límites indicados en la tabla serán incrementados

por un factor igual a $\sqrt{(q/6)}$, proveyendo que las magnitudes de las armónicas no características son menores al 25% de los límites especificados en la tabla.

1.4.2.4. LIMITES GENERALES

Los niveles de compatibilidad electromagnética en las instalaciones industriales de potencia BT ó MT a 50 ó 60 Hz, para distintas clases de entorno electromagnético son:

-  Clase 1: Redes protegidas que tienen niveles de compatibilidad más bajos que los de las redes públicas.
-  Clase 2: Entorno industrial en general. Los niveles de compatibilidad son los mismos que en las redes públicas.
-  Clase 3: Entorno industrial severo.

Se puede apreciar en la tabla 1.4 los diferentes porcentajes de armónicos de voltaje a los que deben mantenerse las clases de entorno electromagnético.

Tabla 1.4 Valores límites para las distintas clases de entorno electromagnético.

armónicos impares no múltiplos de 3			
Nº de Armónico	Clase 1 Uh (%)	Clase 2 Uh (%)	Clase 3Uh (%)
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3.5	5
13	3	3	4.5
17	2	2	4
19	1.5	1.5	4
23	1.5	1.5	3.5
25	1.5	1.5	3.5
>25	0.2 + 12.5/h	0.2 + 12.5/h	5 x 12.5/h
THD (V)	5	8	10

La existencia de sistemas y equipos que bajo condiciones de operación rutinaria inyectan armónicos a la red desde donde son alimentados, originan problemas no solo a nivel local sino también a niveles más remotos.

Como consecuencia de la inyección de armónicos en un sistema eléctrico pueden citarse, entre otros, los siguientes efectos indeseables:

-  Sobrecalentamiento de máquinas.
-  Sobrecarga de capacitores, la cual origina su sobrecalentamiento y hasta su explosión.

-  Mal funcionamiento de los equipos electrónicos de control, protección, medición y de comunicaciones.
-  Errores en medidores tipo inducción.
-  Pérdidas adicionales en cables y transformadores.
-  Sobrevoltajes armónicos.
-  Distorsión en voltajes de los sistemas industriales y de la empresa distribuidora de energía.
-  Oscilaciones en los sistemas de iluminación debidas al efecto FLICKER.
-  Fenómenos de resonancia.

Los efectos de los armónicos pueden eliminarse reduciendo la magnitud de las componentes armónicas en las señales de voltajes y corriente que se presentan en el sistema. Las técnicas más usuales utilizadas para limitar el contenido armónico en las señales de voltaje y corriente son: [9]

-  Diseño e instalación de filtros.
-  Inyección de corrientes armónicas.
-  Multiplicación de fases.

Este trabajo muestra de manera clara el problema generado por los armónicos, las causas que los producen, métodos de medición de análisis y métodos de reducción.

1.4.3. CARGAS QUE PRODUCEN ARMÓNICOS

A continuación se hace una descripción detallada de las causas que producen distorsiones armónicas en los procesos industriales.

1.4.3.1. CONVERTIDORES ESTÁTICOS

Los convertidores estáticos de potencia eléctrica son las mayores cargas no lineales y son usados en la industria para una gran variedad de propósitos, tales como fuentes de alimentación electromecánicas, variadores de velocidad para motores y fuentes para suministro ininterrumpido de energía eléctrica. Estos dispositivos son muy útiles por cuanto pueden convertir CA a CD, CD a CD, CD a CA y CA a CA.

Sin embargo, la característica no lineal de la carga cambia la forma sinusoidal de la onda de corriente en CA y por lo tanto de la forma de la caída de voltaje en CA.

Esto se traduce en la aparición de un flujo de corrientes armónicas en el sistema de suministro de energía, las cuales pueden producir interferencias en los circuitos de comunicaciones y efectos indeseados en otros equipos.

El propósito de un convertidor de potencia es cambiar la energía eléctrica de una forma a otra. Este proceso se realiza a través de conmutaciones periódicas en los circuitos conductores del convertidor. Como ejemplo puede analizarse el funcionamiento del puente trifásico de la figura 1.15.

Se observa que durante el periodo de conducción del convertidor, se conecta el voltaje de la línea con el más alto valor instantáneo del voltaje en la carga. Los dispositivos de conmutación en este caso son tiristores. El circuito en CD y en sí la carga conectada al mismo, contiene inductancias, las cuales contribuyen a aplanar la corriente de carga.

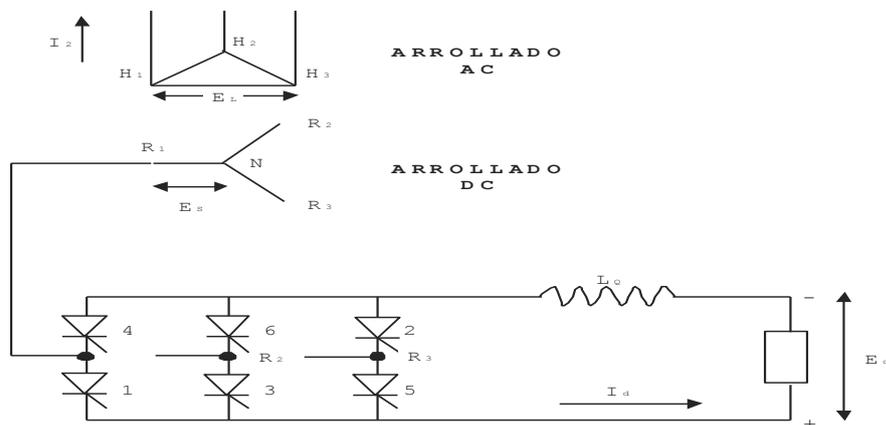


Figura 1.15 Muestra un Convertidor Estático

1.4.3.2. CONVERTIDORES DE GRAN POTENCIA

Los convertidores de gran potencia (capacidad en MW) generalmente tienen mucha más inductancia en el lado CD que en el lado CA. La corriente directa es así razonablemente constante y el convertidor actúa como una fuente de voltaje armónico en el lado CD y de corriente armónica en el lado CA. Además, con un sistema CA perfectamente simétrico, las corrientes resultantes son exactamente iguales en todas las fases.

1.4.3.3. CONVERTIDORES DE TAMAÑO MEDIO

El número de convertidores de tamaño medio (en decenas y cientos de KW) se está incrementando rápidamente por toda la industria. Las primeras aplicaciones fueron desarrolladas alrededor del control de velocidad (DRIVE) de CD. Sin embargo, el énfasis ahora se está trasladando hacia el estudio de inversores y motores de inducción.

Más aún, el uso de transistores de potencia y tiristores apagados desde la compuerta (GTO) gradualmente ganan aceptación en el área del control del motor CA.

1.4.3.4. CONVERTIDORES QUE ALIMENTAN DRIVES CD.

La carga CD debe ahora representarse como un circuito equivalente el cual en su forma más simple incluye resistencia, inductancia y fuerza electromotriz (como se muestra en la figura 1.16).

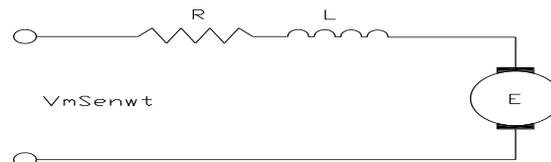


Figura. 1.16 Circuito equivalente del motor CD.

Cuando los motores CD están diseñados especialmente para uso con convertidores a tiristores sus inductancias de armadura a menudo se incrementan para evitar discontinuidades de corriente.

1.4.3.5. INVERSORES QUE ALIMENTAN DRIVERS CA.

El puente inversor trifásico básico usado comúnmente en el control del DRIVE de CA está hecho de seis semiconductores controlados, teniendo cada uno un diodo de retroalimentación conectado en antiparalelo como se muestra en la figura 1.17; esta figura no incluye los componentes auxiliares requeridos para forzar las conmutaciones. El puente se alimenta desde un voltaje variable CD, suministrado por un rectificador controlado, o desde un voltaje CD constante.

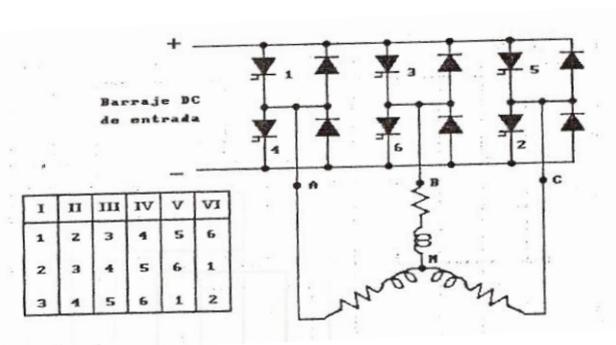


Figura 1.17 Inversor trifásico básico con su motor balanceado de carga.

1.4.3.6. CONVERTIDORES DE BAJA POTENCIA.

Dos tipos de cargas con convertidores de baja potencia necesitan considerarse a causa de su contribución a la distorsión armónica. Una de ellas, los grupos de televisión y los

computadores personales. La otra, el cargador de baterías, cuyo empleo se incrementa día a día con la popularización de los vehículos eléctricos.

1.4.3.7. CONTRIBUCIÓN ARMÓNICA DE MONITORES DE VÍDEO

Los grupos modernos de monitores de video usan rectificadores de onda completa, con un tiristor el cual se dispara después del pico principal, por lo tanto el circuito se expone a menos del pico principal de voltaje, sin embargo, esto da como resultado un gran pico de corriente correspondiente a un alto contenido de armónicos. Los monitores a color demandan un pico de corriente que es dos o tres veces más grande que el tomado por un monitor monocromático.

La tabla 1.5 muestra la corriente armónica en diferentes tipos de monitores de video, siendo los más utilizados los de color.

Tabla 1.5 Corrientes armónicas en monitores de video (en amperios)

Orden del Armónico	Tipo de monitor			
	Blanco y negro	Blanco y negro a	A color de puente	A color
3	0,53	0,32	0,73	0,82
5	0,31	0,25	0,59	0,66
7	0,13	0,15	0,43	0,34
9	0,055	0,08	0,27	0,14
11	0,045	0,04	0,15	0,09
15	0,03	0,03	0,045	0,04

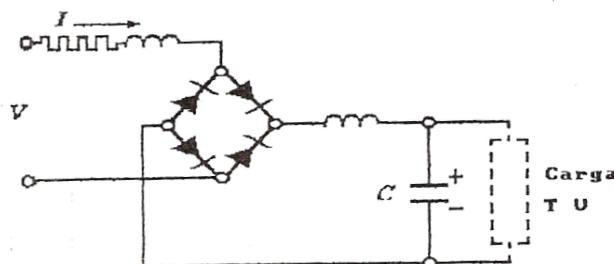


Figura 1.18 Puente rectificador de cuatro diodos

En la figura 1.18 se observa los diferentes componentes de los que esta formado el puente rectificador de un monitor de video.

En la tabla 1.6 se ilustra los niveles armónicos individuales de corriente, presentes en el neutro y en la fase como ejemplo se encuentra el tercer armónico que se suma en el circuito del neutro, dando incremento a grandes corrientes indeseables.

Tabla 1.6 Corrientes armónicas en monitores de video (en Amperios).

			Orden Armónico				
			1	3	5	7	9
1 Monitor		Corriente I1(A)	0,8	0,67	0,48	0,29	0,09
10 Monitores (por fase)	Neutro	Corriente I10(A)	8	5,8	3,5	1,7	0,7
		I10/I0I1	1	0,86	0,73	0,58	0,77
	Fase	Corriente I10(A)	1	17,4	0,7	0,6	2,1
		I10/I0I1	0,12	2,6	0,14	0,2	2,3
80 Monitores (por fase)	Neutro	Corriente I80(A)	64	37,6	13,2	3,8	1,7
		I80/80I1	1	0,7	0,34	0,16	0,23
	Fase	Corriente I80(A)	9,6	116	3	0,9	4,6
		I80/80I1	0,15	2,1	0,08	0,04	0,63

1.4.3.8. HORNOS DE ARCO

Un horno de arco es una maquina eléctrica que transforma la energía eléctrica en energía térmica, a través de arcos eléctricos. Normalmente son empleados para fundir diversos materiales, o para acelerar reacciones químicas de reducción.

1.4.3.8.1. TIPOS DE HORNOS DE ARCO

En la industria se emplean fundamentalmente tres tipos de hornos de arco que a continuación se describen.

Horno con arco directo.- El arco se forma entre los electrodos, generalmente de grafito y en la superficie se encuentra el material a fundir.

Horno con arco resistencia.- Conocidos como hornos de arco sumergido, ya que el arco arde debajo de la carga de material a fundir.

Horno con arco indirecto.- El arco arde permanentemente entre los electrodos colocados horizontalmente encima de la carga, el calor se transmite por radiación y por flexión de las paredes.

1.4.3.8.2. DISTORSIÓN CAUSADA POR HORNOS DE ARCO

La combinación de los retardos en la ignición del arco y de las características voltaje-corriente, altamente no lineales, del arco introducen armónicos de la frecuencia fundamental. Los niveles de las corrientes armónicas individuales representadas en porcentaje varían marcadamente con el tiempo y quedan mejor representados en la forma de gráficos probabilísticos en la figura 1.19.

La tabla 1.7 indica el porcentaje armónico individual creado por hornos de arco, respecto al nivel de capacidad de fundición:

Nivel 1.- ≤ 150 t. Nivel 2.- De 150 t. a 300 t. Nivel 3.- ≥ 300 t.

Tabla 1.7 Niveles armónicos promedio para hornos de arco expresados como porcentaje del fundamental.

Orden	Niveles		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
2	3,2	4,1	4,5
3	4,0	4,5	4,7
4	1,1	1,8	2,8
5	3,2	2,1	4,5
6	0,6		1,7
7	1,3	1,0	1,6
8	0,4	1,0	1,1
9	0,5	0,6	1,0
10	> 0,5	> 0,5	> 1,0

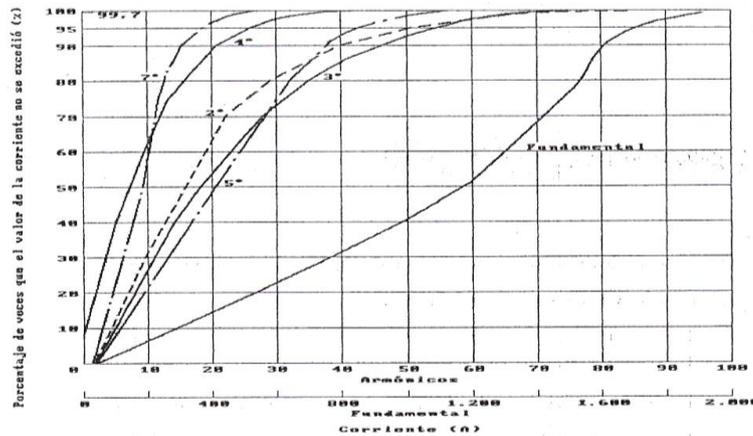


Figura 1.19 Magnitud probalística de los armónicos.

1.4.3.9. ARMÓNICOS EN TRANSFORMADORES

1.4.3.9.1. PRINCIPIOS DE TERCEROS ARMÓNICOS EN SISTEMAS TRIFÁSICOS SIMÉTRICOS

Hay dos formas generales de conexión de sistemas trifásicos a considerar:

1.4.3.9.1.1. CONEXIÓN ESTRELLA

En cualquier sistema de conductores conectado en estrella es una ley básica que la suma instantánea de corrientes que fluyen hacia y desde la unión o punto de estrella es cero.

En la discusión de aspectos referentes a terceros armónicos en conexiones en estrella de transformadores trifásicos, tenemos por lo tanto las siguientes bases para trabajar:

- Con una conexión en estrella de tres hilos, los voltajes del tercer armónico pueden existir entre las líneas y el neutro o la tierra, pero no entre líneas.

- 🏠 Con una conexión de tres hilos, corrientes del tercer armónico no pueden existir.
- 🏠 Con una conexión en estrella de cuatro hilos, los voltajes del tercer armónico desde las líneas al neutro o tierra son suprimidos parcialmente o completamente de acuerdo con la impedancia del circuito al tercer armónico.
- 🏠 Con una conexión en estrella de cuatro hilos, las corrientes del tercer armónico pueden fluir a través de los hilos de línea y el cuarto hilo desde el neutro.

En el (**Anexo II**) se muestra como los voltajes del tercer armónico a tierra se cancelan, por lo tanto, en lo que concierne a los voltajes entre líneas, quedan libres de su influencia.

1.4.3.9.1.2. CONEXIÓN DELTA

En cualquier sistema de conductores conectado en delta el voltaje resultante fundamental alrededor de la delta, es cero.

En referencia a los terceros armónicos en conexiones en delta para operación de transformadores trifásicos, se considera lo siguiente:

- 🏠 Con una conexión en delta de tres hilos, los voltajes del tercer armónico en las fases y por lo tanto en las líneas son suprimidos.
- 🏠 Con una conexión en delta de tres hilos, la corriente del tercer armónico puede fluir alrededor de la delta cerrada, pero no en las líneas.

1.4.3.9.2. ORIGEN DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL TERCER ARMÓNICO EN TRANSFORMADORES

El comportamiento de las chapas de acero para laminaciones de transformadores cuando están bajo la influencia de un campo electromagnético alterno, producen una apreciable distorsión en la forma de onda.

El flujo y los voltajes inducidos, cualquier distorsión de las mismas se debe a la permeabilidad variable de las láminas de acero del núcleo y la cíclica histéresis magnética.

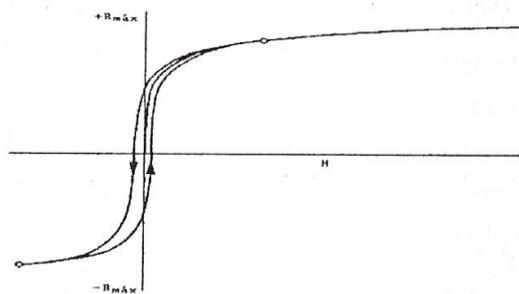


Figura 1.20 Curva típica B/H para el acero.

La figura 1.20 muestra una curva típica B/H con el ciclo de histéresis para el acero laminado en frío; el ciclo de histéresis ilustra las condiciones generales que ocurrirían en la práctica.

1.4.3.9.3. ARMÓNICOS EN LA CORRIENTE INRUSH

Si un transformador es desenergizado puede quedar con una densidad de flujo residual en el núcleo de magnitud $+B_r$ o $-B_r$ (o bajo algunas circunstancias cero). Cuando el transformador es reenergizado la densidad de flujo puede alcanzar niveles pico de $2B_{máx}$ o $B_r + 2B_{máx}$ (casi tres veces el flujo de trabajo). Cuando se compara con los niveles de densidad de flujo de saturación de alrededor de 2,05 T. de sobreexcitación simétrica esperada, puede verse que el núcleo del transformador será llevado a niveles extremos de saturación y producirá así excesivos amperios vuelta en el núcleo. Este efecto da aumento a las corrientes de magnetización hasta 5 – 10 por unidad de la nominal (comparado con la corriente de magnetización normal de unos pocos por ciento). Una de tales corriente inrush se muestra en la figura 1.21.

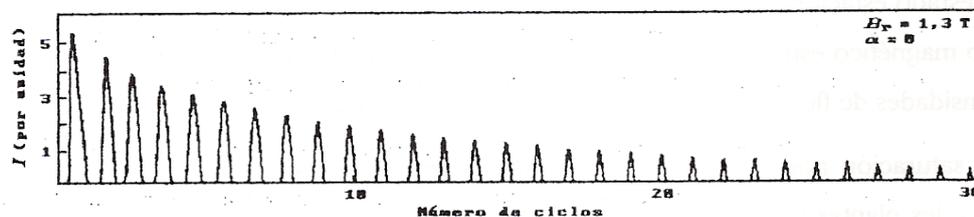


Figura 1.21 Corriente inrush de un transformador de 5 MVA

1.4.3.10. ARMÓNICOS EN ILUMINACIÓN FLUORESCENTE

La descarga luminosa y en particular los tubos fluorescentes son altamente no lineales y dan lugar a considerables corrientes armónicas de orden impar. Los circuitos de iluminación a menudo involucran largas distancias y tienen muy poca diversidad de carga. Con capacitores individuales para corrección de factor de potencia los circuitos complejos LC pueden aproximar una condición de resonancia al tercer armónico. Con el

punto de estrella de los capacitores conectados al neutro, la corriente de tercer armónico del neutro puede exceder el valor nominal calculado por el método convencional basado en tres veces la corriente nominal de la lámpara. Con el punto de estrella desconectado la corriente de neutro es menor que el valor nominal.

Siempre que sea posible, el procedimiento de diseño recomendado para evitar resonancia es evitar compensación individual por lámpara proveyendo bancos de capacitores adyacentes a los tableros de distribución conectados ya sea en estrella con neutro flotante o en delta.

1.5. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

Los principales efectos de los armónicos de voltaje y corriente en los sistemas de potencia son: [10]

-  Amplificación de niveles armónicos como resultado de resonancias serie y paralelo.
-  Reducción de la eficiencia en la generación, transmisión y utilización de la potencia.
-  Envejecimiento del aislamiento de los componentes y por consiguiente acortamiento de su vida útil.

1.5.1. RESONANCIAS

La reactancia y consecuentemente la impedancia de bobinas y condensadores dependen de la frecuencia. La conexión en serie o paralelo de inductancias y condensadores dan lugar a situaciones singulares, denominadas resonancias.

1.5.1.1. RESONANCIA PARALELO

La resonancia paralelo da como resultado una alta impedancia que se presenta en la fuente armónica a la frecuencia de resonancia. Ya que la mayoría de las fuentes armónicas pueden considerarse como fuentes de corriente, esto da como resultado incremento en los voltajes armónicos y altas corrientes armónicas en cada rama de la impedancia paralelo.

Las resonancias paralelo pueden ocurrir en diferentes formas, siendo la más simple aquella donde se conecta un capacitor al mismo barraje que la fuente armónica. Una

resonancia paralelo puede ocurrir entonces entre la fuente y el capacitor: Asumiendo que la fuente es enteramente inductiva, la frecuencia resonante es:

$$f_p = f \sqrt{\left(\frac{S_s}{S_c}\right)}, \quad (1.30)$$

Donde: f es la frecuencia fundamental (Hz),
 f_p es la frecuencia resonante paralelo (Hz),
 S_s es la capacidad de cortocircuito de la fuente (VAr),
 S_c es la capacidad del capacitor (VAr).

Para determinar que condición de resonancia existe es necesario medir las corrientes armónicas en cada carga consumidora y en la fuente, junto con el voltaje armónico en el barraje. En general, si la corriente que fluye dentro del sistema de potencia desde el barraje es pequeña mientras que el voltaje armónico es alto, indica una resonancia dentro del sistema de potencia. Si en cambio una gran corriente armónica fluye en la carga consumidora y adelanta al voltaje armónico en el barraje, indica una resonancia entre la inductancia del sistema y el capacitor de la carga.

1.5.1.2. RESONANCIA SERIE

Considere el sistema de la figura 1.22. A las frecuencias más altas la carga puede ignorarse ya que la impedancia capacitiva se reduce. Bajo estas condiciones una condición resonante serie existiría cuando:

$$f_s = f \sqrt{\left(\frac{S_t}{S_c Z_t} - \frac{S_L^2}{S_c^2}\right)}, \quad (1.31)$$

Donde: f_s es la frecuencia resonante serie (Hz),
 S_t es la capacidad del transformador,
 Z_t es la impedancia por unidad del transformador,
 S_L es la capacidad de la carga (resistiva).

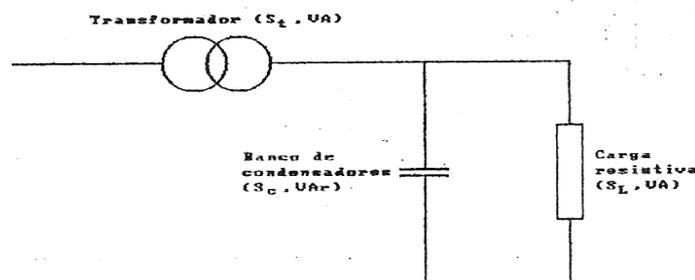


Figura 1.22 Circuito con resonancia serie.

Lo importante con la resonancia serie es que pueden fluir varias corrientes por el capacitor para voltajes armónicos relativamente pequeños. La corriente real que fluirá depende del factor de calidad Q del circuito.

1.5.2. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN MÁQUINAS ROTATIVAS

Las pérdidas en los conductores del estator y del rotor son mayores que aquellas asociadas con la resistencia CD a causa de las corrientes parásitas y el efecto piel.

Los campos de fuga ocasionados por corrientes armónicas en los finales de los devanados del estator y rotor producen pérdidas adicionales.

1.5.2.1. PÉRDIDAS ARMÓNICAS

En el caso de motores de inducción con rotores transversales los cambios de flujo tanto en el rotor como en el estator y la alta frecuencia pueden producir pérdidas sustanciales en el hierro.

Los motores de inducción de rotor en jaula toleran altas pérdidas y temperaturas en el rotor permitiendo que esto no de cómo resultado temperaturas inaceptables en el estator, mientras que máquinas con devanados aislados en el rotor pueden estar más limitadas.

Los niveles probables aceptables pueden obtenerse a partir del hecho que el nivel continuo de corriente de secuencia negativa está limitado a cerca del 10% para generadores, y el voltaje de secuencia negativa a cerca del 2% para motores de inducción.

Es por lo tanto razonable esperar que si el contenido armónico excede estos límites para secuencia negativa, entonces pueden ocurrir problemas.

1.5.2.2. TORQUES ARMÓNICOS

Las corrientes armónicas presentes en el estator de una maquina de CA producen acción motora de inducción (deslizamientos armónicos positivos S_n).

Esta acción motora da lugar a torques en el eje en la misma dirección de las velocidades en los campos armónicos, por lo tanto todos los armónicos de secuencia positiva desarrollarán torques en el eje que refuerzan la rotación, mientras que los armónicos de secuencia negativa tendrán el efecto opuesto.

1.5.3. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS SOBRE EL SISTEMA DE POTENCIA

1.5.3.1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El flujo de corrientes armónicas en una red produce dos efectos principales: el aumento de las pérdidas y la caída de tensión. Ambos son fenómenos perjudiciales para el eficiente y eficaz funcionamiento del sistema eléctrico de distribución. Uno son las pérdidas adicionales en la transmisión causadas por el incremento en el valor RMS de la forma de onda de corriente,

$$\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 R_n, \quad (1.32)$$

Donde I_n es la corriente armónica n-ésima y R_n es la resistencia del sistema a aquella frecuencia armónica. El segundo efecto del flujo de corriente armónica es la creación de caída de voltaje de armónicas a través de las diferentes impedancias del circuito. Esto significa en efecto que un sistema débil (con una gran cantidad de impedancia y por lo tanto bajo nivel de falla) dará como resultados mayores disturbios en el voltaje que en un sistema fuerte, con un alto nivel de falla y bajas impedancias.

1.5.3.2. BANCO DE CAPACITORES

Las resonancias serie y paralelo entre los capacitores y el resto del sistema pueden causar sobrevoltajes y altas corrientes incrementando dramáticamente las pérdidas y el sobrecalentamiento de los capacitores y a menudo conduciendo a su destrucción. Normalmente, cuando se requiere corregir el factor de potencia en instalaciones industriales la primera opción es instalar bancos de capacitores, para lo cual un estudio de flujos de carga es suficiente. Sin embargo, cuando existe evidencia de armónicos en sistemas industriales es necesario hacer no solo el estudio de flujos de carga sino también un estudio de armónicos generalmente acompañado de mediciones en el campo que permitan determinar el orden y la magnitud de dichos armónicos. Muchas veces es posible seleccionar los bancos de capacitores adecuados para corregir el factor de potencia y que a la vez eviten las resonancias con los armónicos presentes en el sistema de potencia. No obstante, otras veces es necesario llegar al diseño de filtros que provean la potencia requerida y además permitan evacuar del sistema los armónicos predominantes.

1.5.4. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS SOBRE EQUIPOS DE CONSUMO

- a) Receptores de Televisión.- Los armónicos que afectan el pico de voltaje pueden causar cambios en el tamaño del cuadro y el brillo del televisor.
- b) Iluminación de Descarga Fluorescente y de Mercurio.- Los balastos algunas veces tienen capacitores que, con las inductancias del balasto y del circuito, tienen una frecuencia resonante. Si ésta corresponde a un armónico generado, puede dar como resultado calentamiento excesivo y falla.
- c) Computadores.- Hay límites impuestos a los diseñadores para la distorsión armónica aceptable en circuitos de suministro para computadores y sistemas de procesamiento de datos. La razón armónica (geométrica) medida en vacío debe ser menor que el 3%.
- d) Los armónicos pueden teóricamente afectar equipos con velocidad variable controlados por tiristores del mismo consumidor de varias maneras: (1) las muescas en el voltaje (que causan breves caídas de voltaje en la fuente) causan desde mala operación hasta errores en el disparo de los tiristores; (2) los voltajes armónicos pueden causar el disparo de los circuitos de compuerta en instantes diferentes de los requeridos; (3) los efectos de resonancia entre varios equipos pueden dar como resultado sobrevoltaje y calentamiento.

1.5.5. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LA MEDICIÓN DE POTENCIA

Los instrumentos de medición inicialmente calibrados sobre una corriente alterna sinusoidal pura y seguidamente utilizados sobre una fuente eléctricamente distorsionada son propensos a error. La magnitud y dirección del flujo de potencia armónica son importantes para consideraciones de beneficio ya que el signo del error en el medidor está determinado por la dirección del flujo.

Diferentes estudios han demostrado que los errores debidos a corrientes armónicas varían grandemente con el tipo de medidor y que es posible encontrar tanto errores positivos como negativos durante la medición.

1.6. INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE ARMÓNICOS

Los instrumentos para medición de armónicos han evolucionado considerablemente en los últimos años. Los diseños más modernos consisten en analizadores digitales que

registran componentes armónicas con frecuencias hasta de 50 veces la frecuencia fundamental (3000 Hz) o más. Presentan 7 canales de entrada: 3 para voltajes de línea, 3 para corrientes de línea y un canal adicional que permite medir la corriente de neutro o de tierra.

Normalmente, los registros son entregados como tablas de datos y formas de onda, los cuales incluyen la siguiente información: [11]

-  Tabla resumen con parámetros de los siete canales (3 voltajes y 4 corrientes) registrados. Los parámetros son: Valor RMS, THD, TIF (Factor de interferencia telefónica) y desbalance NEMA.
-  Tabla con distribución espectral en magnitudes por armónico, de los 7 canales, incluyendo la corriente del neutro o de la tierra.
-  Tabla con distribución espectral en ángulo de fase por armónico, de los 7 canales, incluyendo la corriente del neutro o de la tierra.
-  Formas de onda para cada uno de los 7 canales.
-  Espectro de frecuencias para cada uno de los siete canales.

1.6.1. IMPORTANCIA DE LAS MEDICIONES

-  Monitorear los valores existentes de armónicos y chequear nuevamente los niveles admisibles ó recomendados.
-  Probar los equipos que generen armónicos.
-  Diagnosticar y arreglar las situaciones en las que la actuación de los equipos sea inaceptable a la subestación alimentadora ó al usuario.
-  Observar los niveles de tierra existentes y rastrear las tendencias a tiempo de voltajes y corrientes armónicas (modelos diarios, mensuales ó estacionales).
-  Realizar mediciones para la verificación de los estudios por simulación que incluya flujo de carga armónica.
-  Realizar mediciones de corrientes y voltajes armónicos con sus respectivos ángulos de fase. Tales mediciones pueden ser hechas con ó sin una parte de las cargas no lineales conectadas, y puede ayudar el determinar la impedancia del punto de manejo armónico en una situación dada. [10]

1.6.2. ANALIZADORES Y ADQUISIDORES DE SEÑALES

Básicamente, se puede distinguir dos tipos de equipamiento para la adquisición de señales y análisis armónicos, los que se diferencian por sus características y prestaciones:

- a) **Instrumentos Dedicados.-** Son instrumentos electrónicos basados en microprocesadores que toman la señal de voltaje (o corriente) y realizan directamente el análisis de Fourier (FFT), entregando el espectro de magnitud y el espectro de fase en función de la frecuencia (Análisis On-Line). Tienen un buen grado de confort en su uso. En general, son equipos de alto costo. Ejemplo: Analizador de señales A2000, Fluker 434, Topas 1000.
- b) **Sistemas de Adquisición de Datos A/D y Análisis.-** Son sistemas basados en computadores personales y un adquirente Análogo-Digital, que puede estar incorporado como un módulo externo o como una tarjeta de adquisición A/D dentro del computador. Requieren de software para el análisis Off-Line. Presentan una gran flexibilidad, aunque requieren una mayor dedicación del usuario. Su costo es menor que un equipo especializado, pero necesita un mayor tiempo para el desarrollo de programas de aplicación.

Ejemplo: PC + Tarjeta de adquisición + Software de aplicación.

1.7. ELIMINACIÓN DE ARMÓNICOS

Algunos de los métodos utilizados para resolver problemas de armónicos son:

-  Filtros Pasivos en paralelo
-  Filtros Activos
-  Compensación de flujo magnético
-  Inyección armónica
-  Inyección de Rizado CD

1.7.1. FILTROS PASIVOS EN PARALELO

El principal objetivo de un filtro para armónicos es reducir la amplitud de una o más corrientes o voltajes de frecuencia fija. El flujo de corrientes armónicas no deseadas en el sistema de potencia puede prevenirse utilizando uno de los dos métodos:

- 🏠 Usar una alta impedancia serie para bloquearlas.
- 🏠 Drenarlas por medio de un camino de baja impedancia en paralelo.

Los filtros serie deben transportar toda la corriente de carga y estar aislados para el voltaje de línea pleno. En cambio, los filtros en paralelo transportan sólo una fracción de la corriente que pasaría por los filtros serie. Dado el alto costo de un filtro serie y el hecho que los filtros paralelo pueden suministrar potencia reactiva a la frecuencia fundamental, la solución más práctica es usar filtros en paralelo.

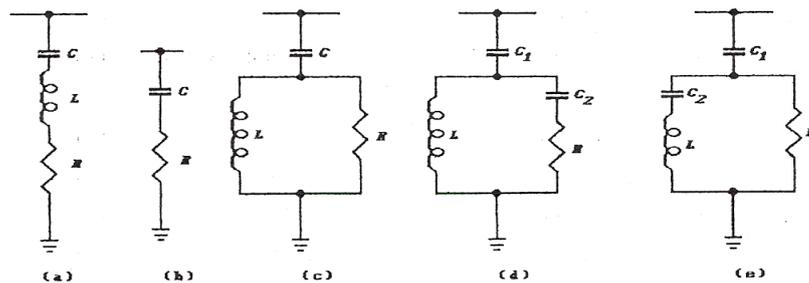


Figura 1.23 Filtros pasivos.

Los filtros en paralelo más comunes son el filtro simple sintonizado y el filtro amortiguado pasa alto. Estos dos tipos de filtros son los menos costosos de implementar. La figura 1.23 muestra la forma general de los filtros en paralelo.

1.7.1.1. CRITERIO DE DISEÑO DE FILTROS

El tamaño de un filtro se define como la potencia reactiva que el filtro suministra a frecuencia fundamental.

El criterio ideal de diseño de filtros es la eliminación de todos los efectos nocivos causados por la distorsión en las formas de onda, incluyendo la interferencia telefónica, que es el efecto más difícil de eliminar completamente. Sin embargo, este criterio ideal es impracticable tanto por razones técnicas como económicas.

Desde el punto de vista económico, la reducción de la interferencia telefónica puede lograrse normalmente de forma más económica tomando algunas medidas preventivas en el sistema telefónico y otras en el sistema de potencia.

Un criterio basado en los voltajes armónicos es más conveniente para el diseño de filtros, porque es más fácil garantizar que se está dentro de un límite de voltaje razonable que en un límite de nivel de corriente cuando cambia la impedancia de la red de CA.

1.7.1.2. DISEÑO DE FILTROS SIMPLES SINTONIZADOS

Es el más común de los filtros en paralelo, a continuación se presenta las ecuaciones para el diseño.

La impedancia de la rama del filtro está dada por:

$$Z = R + j\left(\omega L - \left(\frac{1}{\omega C}\right)\right) \quad (1.33)$$

Donde: R = Resistencia del filtro.
w = Frecuencia de Resonancia.

La frecuencia para la cual el filtro está sintonizado está dada por el valor de ω que da como resultado la resonancia serie:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.34)$$

Definiendo el número armónico n, como la frecuencia del armónico dividida por la frecuencia fundamental del sistema. Las impedancias de las reactancias inductiva y capacitiva en esos términos pueden darse como:

$$X_{Ln} = n\omega L \quad (1.35)$$

$$X_{Cn} = \frac{1}{n\omega C} \quad (1.36)$$

Ya que la parte imaginaria es cero el armónico de resonancia, $n = r$, entonces:

$$X_{Lr} = X_{Cr} \quad (1.37)$$

Resolviendo para r (resonancia) en la formula de diseño:

$$r^2 = \frac{X_C}{X_L} \quad (1.38)$$

1.7.1.3. FACTOR DE CALIDAD

La calidad del filtro es una medida de la agudeza de la sintonía. Esto se simplifica como:

$$Q = \frac{\sqrt{L}}{R} = \frac{X_{Lr}}{R} = \frac{X_{Cr}}{R} \quad (1.39)$$

Donde las reactancias a la frecuencia de resonancia están dadas por X_{Lr} y X_{Cr} .

Los siguientes puntos concernientes al Q de filtros simples sintonizados son de interés:

🏭 El valor de Q rara vez se considera con respecto a la acción del filtrado. Esto se debe a que los valores de R que se usan para alterar significativamente la respuesta del filtro usualmente dan un incremento significativo de las pérdidas en el filtro.

🏭 Entre mayor es el valor de Q, más pronunciado es el valle a la frecuencia de sintonía.

🏭 Típicamente, el valor de R está constituido por la resistencia en el inductor. En este caso, el Q del filtro es igual a r veces la relación X/R del reactor de sintonía. Esto da como resultado un valor muy grande de Q y una acción de filtrado muy aguda.

1.7.1.4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Como se mencionó previamente, la interacción del filtro con la impedancia del sistema de alimentación da como resultado un pico resonante paralelo. Para impedancias del sistema de suministro inductivas (L_s), este punto ocurre a una frecuencia inferior a la cual el filtro está sintonizado. Es decir:

$$f_{sys} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{(L_s + L)C}} \text{ Hz} \quad (1.40)$$

Para instalaciones con múltiples filtros simples sintonizados en paralelo, existirá un pico de resonancia para cada filtro. El cálculo real de esas frecuencias exactas se hace mediante la solución de un grupo de ecuaciones simultáneas.

El pico de resonancia también tiene su propio valor de Q, dado por:

$$Q_{sys} = \frac{1}{(R + R_s)} \sqrt{\frac{(L_s + L)}{C}} \quad (1.45)$$

El problema asociado con estos puntos de resonancia adyacentes es la resintonización del filtro. Si un filtro está sintonizado exactamente a la frecuencia de interés, entonces, un cambio hacia arriba en la frecuencia de sintonía dará como resultado un incremento agudo en la impedancia vista por el armónico. El pico de resonancia puede desplazarse hacia arriba lo suficiente para coincidir con el armónico de interés y la amplificación de voltaje resultante puede ser desastrosa. Los mecanismos más comunes que pueden dar como resultado una desintonización en el filtro son:

- 🏭 Quema de fusibles de capacitores, que disminuye la capacitancia total y por lo tanto, incrementa la frecuencia a la cual el filtro está sintonizado.
- 🏭 Tolerancia en la fabricación tanto en el reactor de sintonía como en las unidades del capacitor.
- 🏭 Variaciones en la temperatura.
- 🏭 Variaciones en el sistema.

Típicamente, los bancos de filtros se sintonizan aproximadamente un 3 – 10% por debajo de la frecuencia deseada.

Otro método para la selección del filtro simple sintonizado se observa en el diagrama del (Anexo III).

1.7.1.5. FILTROS DOBLEMENTE SINTONIZADOS

La impedancia equivalente de dos filtros simples sintonizados figura 1.24 (a), cerca de sus frecuencias de resonancia es prácticamente la misma que aquella de una configuración de filtro doblemente sintonizado, ilustrado en la figura 1.24 (b).

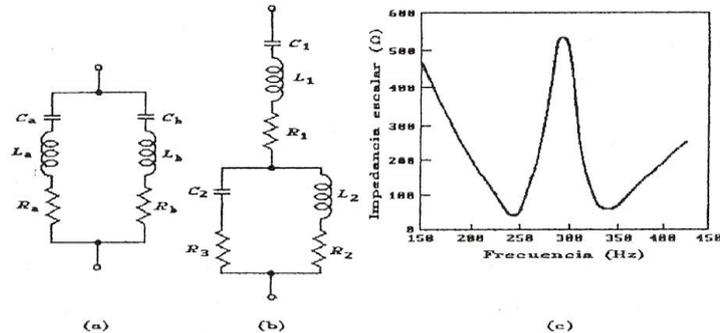


Figura 1.24 (a) Dos filtros simples sintonizados.
 (b) Filtro doblemente sintonizado.
 (c) Respuesta de frecuencia de (b).

La principal ventaja del filtro doblemente sintonizado está en las aplicaciones de alto voltaje, a causa de la reducción en el número de inductores que quedan sujetos a impulsos de voltaje plenos de línea. También pueden diseñarse filtros triples y cuádruplemente sintonizados, pero rara vez se justifican a causa de la dificultad para ajustarlos.

1.7.1.6. FILTROS AUTOMÁTICAMENTE SINTONIZADOS

En el diseño de filtros sintonizados es ventajoso reducir la máxima desviación de frecuencia. Esto puede lograrse haciendo los filtros sintonizables, ya sea por suicheo

automático de los capacitores o por la variación de la inductancia. Un rango de $\pm 5\%$ se considera adecuado. Un sistema de control, el cual mide la potencia reactiva a frecuencia armónica en el filtro y controla la L o C con base en el signo y la magnitud de esta potencia reactiva, se utiliza en convertidores CD de alto voltaje.

Los filtros automáticamente sintonizados ofrecen las siguientes ventajas sobre los filtros fijos:

- a) La capacidad nominal del capacitor es baja.
- b) El capacitor utilizado puede combinar un alto coeficiente de temperatura para la capacitancia y una alta capacidad de potencia reactiva por unidad de volumen y de costo.
- c) A causa del alto Q las pérdidas de potencia son pequeñas.

Las ventajas (a) y (b) reducen el costo del capacitor, el cual es el componente más caro del filtro. La ventaja (c) reduce el costo de resistor y el costo de las pérdidas en el sistema.

1.7.1.7. FILTROS AMORTIGUADOS

Los filtros amortiguados ofrecen varias ventajas:

- a) Su rendimiento y cargabilidad es menos sensible a las variaciones de la temperatura, la desviación en la frecuencia de los componentes, pérdida de elementos capacitivos, etc.
- b) Posee una baja impedancia para un ancho espectro de armónicos sin la necesidad de subdividir en ramas en paralelo lo cual incrementa los problemas de interrupción y mantenimiento.

Las principales desventajas de los filtros amortiguados son las siguientes:

- a) Para lograr un nivel similar en el rendimiento del filtrado, el filtro amortiguado necesita diseñarse para altas capacidades en Volt-Amperios fundamentales aunque en la mayoría de los casos puede encontrarse un buen rendimiento dentro de los límites requeridos para la corrección del factor de potencia.
- b) Las pérdidas en el resistor y el reactor son mayores, generalmente.

1.7.1.8. TIPOS DE FILTROS AMORTIGUADOS

En las figuras 1.23 (b), (c), (d) y (e) se muestran cuatro tipos amortiguados, ellos son el de primer, segundo y tercer orden y el tipo C, respectivamente.

- a) El filtro de primer orden no se usa normalmente, ya que requiere un gran capacitor y tiene pérdidas excesivas a la frecuencia fundamental.
- b) El tipo de segundo orden suministra el mejor rendimiento en el filtrado, pero tiene altas pérdidas a frecuencia fundamental, si se compara con los filtros de tercer orden.
- c) La principal ventaja del filtro de tercer orden sobre el de segundo orden es una reducción sustancial en las pérdidas a frecuencia fundamental, debido al incremento en la impedancia a esa frecuencia, creada por la presencia del capacitor C2. Más aun, la capacidad de C2 es muy pequeña comparada con C1.
- d) El rendimiento en el filtrado del tipo C está entre los de segundo y tercer. Su principal ventaja es una reducción considerable en las pérdidas a frecuencia fundamental ya que C2 y L están sintonizados en serie a esa frecuencia. Este filtro es más susceptible a desviaciones en la frecuencia fundamental y a tolerancias en los valores de sus componentes.

1.7.2. FILTROS ACTIVOS

Los filtros pasivos, como su nombre indica, están contruidos mediante la asociación de inductancias y capacitores, calculados para la eliminación de armónicos concretos. Los filtros activos, en cambio, están contruidos por uno o varios inversores, normalmente de tensión (VSI), controlados. La compensación se consigue mediante la inyección en contratase de corrientes armónicas iguales a las existentes en la instalación , esto permite que antes del punto de conexión del filtro, la señal no presente prácticamente distorsión armónica.

Las cargas no lineales conectadas a la red consumen corrientes que no son senoidales, este efecto se muestra en la parte superior de la figura 1.25. Así mismo la de consumo de corrientes no senoidales, aplicada a una red eléctrica de impedancia no nula, produce una distorsión en la forma de la tensión en los puntos de conexión de los equipos. Este efecto se representa en la parte inferior de la figura 1.25. El propósito de un filtro activo

(APF) es el de reducir los dos problemas anteriores; de forma que la corriente que circule por la red eléctrica sea senoidal y que la tensión aplicada a las cargas también lo sea. [12]

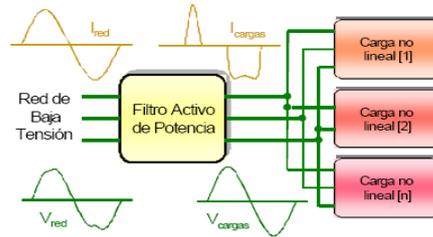


Figura 1.25 Filtro Activo de Potencia

1.7.2.1. FUNCIONES DE UN FILTRO ACTIVO.

A continuación se presenta los distintos tipos de perturbaciones que se pueden presentar en la red eléctrica; para conocer las distintas funciones que puede tener que realizar un APF.

Estas funciones son las siguientes:

- Reducción de los armónicos de corriente que circulen por la red, entre el APF y los centros de generación de energía.
- Reducción de la corriente por el neutro.
- Reducción de los armónicos de tensión en los puntos de conexión de las cargas.
- Corrección del factor de potencia provocado por un $\cos \varphi$ distinto de la unidad.
- Equilibrado de la corriente que circula por las distintas fases.
- Equilibrado de la tensión entre fases y con el neutro.
- Regulación de la tensión y reducción del Flicker

1.7.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS. APLICACIONES DE LAS DISTINTAS ESTRUCTURAS

Los filtros utilizados para la reducción de perturbaciones en la red eléctrica se pueden clasificar de varias formas. En las figuras 1.26 y 1.27 se presenta el efecto de cada una de las topologías de filtros activos: serie y paralelo.

Para la reducción de la distorsión de la corriente en el punto donde se conecta el APLC (modificador lineal de la potencia activa) se acostumbra a utilizar un filtro de tipo paralelo; mientras que para la reducción de la distorsión de la tensión en la carga se utilizan filtros serie.

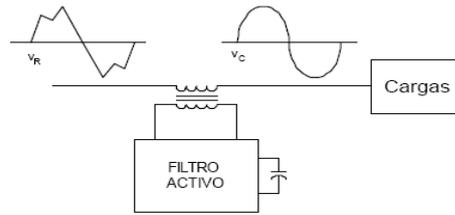


Figura 1.26 Aplicación de un filtro activo topología serie

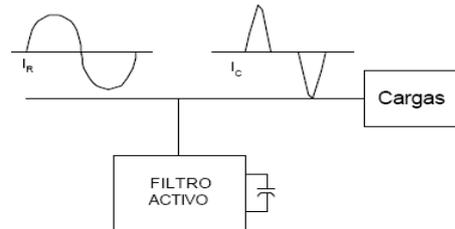


Figura 1.27 Filtro activo topología paralelo.

Por otro lado los filtros se pueden clasificar en filtros pasivos, activos o mixtos. Los filtros de potencia, pueden estar formados por un único filtro o por la combinación de varios. La combinación de filtros activos y pasivos permite reducir el tamaño, y por lo tanto el coste de los filtros activos manteniendo las ventajas que presentan estos últimos frente a los filtros pasivos.

En general las aplicaciones de las distintas estructuras son las siguientes:

Filtros serie:

- a) Reducción de armónicos de tensión en la carga.
- b) Regulación de la tensión.
- c) Reducción del Flicker y los microcortes de tensión.

Filtros Paralelo:

- a) Reducción de los armónicos de corriente.
- b) Compensación del factor de potencia.
- c) Reducción de la corriente por el neutro.

1.7.3. IDEAS ALTERNATIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE ARMÓNICOS

A causa de la complejidad y costo de los filtros, se han hecho muchos intentos para encontrar otros medios apropiados para el control de los armónicos como son:

- a) Eliminación por compensación del flujo magnético.
- b) Eliminación por inyección armónica.
- c) Eliminación por inyección de rizado CD.

1.7.4. COMPENSACIÓN DEL FLUJO MAGNÉTICO

Se utiliza un transformador de corriente para detectar las componentes armónicas que vienen desde la carga no lineal y estas se alimentan a través de un amplificador, en los devanados terciarios de un transformador de manera tal que causan la cancelación de las corrientes armónicas de interés.

La principal área de interés con este sistema involucra el acoplamiento de la salida del amplificador al devanado terciario, de tal manera que el flujo de corriente fundamental no dañe el amplificador. Un cuarto devanado y un filtro, como se muestra en la figura 1.28, se usan para reducir la corriente fundamental en la salida del amplificador.

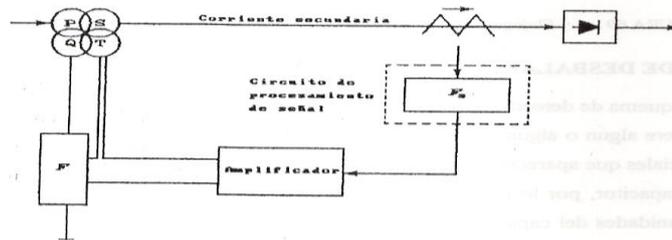


Figura 1.28 Configuración básica del método de eliminación de corrientes armónicas por compensación de flujo.

1.7.5. INYECCIÓN ARMÓNICA

En este método se adiciona una corriente armónica a la forma de onda rectangular producida como se muestra en la figura 1.29. Tal esquema utiliza los armónicos triples y una fuente armónica triple externa. Este principio, ilustrado en la figura 1.30 puede utilizarse para reducir algunos de los armónicos a un punto de operación dado.

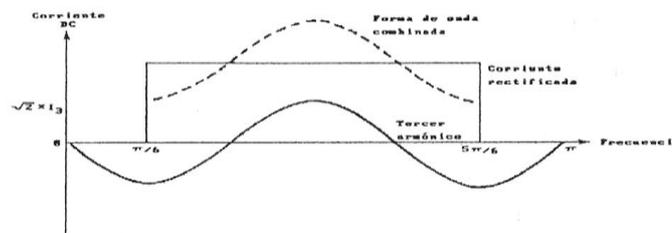


Figura 1.29 Adición de una corriente de tercer armónico a la forma de onda de un rectificador.

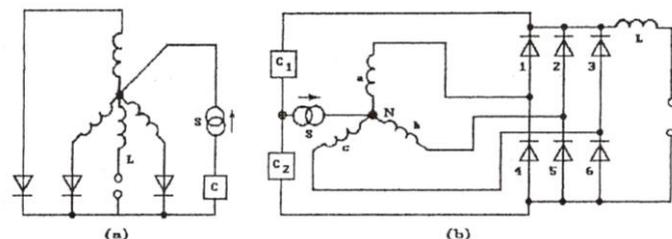


Figura 1.30. Inyección: (a) rectificador trifásico de media onda; (b) puente rectificador trifásico.

La ventaja del esquema sobre el filtrado es que la impedancia del sistema no hace parte

1.7.6. INYECCIÓN DE RIZADO CD

Los esquemas de convertidores estáticos producen un voltaje de rizado en su salida CD. Con rectificación de seis pulsos el rizado tiene un período de $1/6 T$, donde $T = 1/f$.

Sin embargo, con respecto al punto de la estrella de los devanados del transformador del lado del convertidor, cada polo CD tiene un voltaje de rizado no sinusoidal de período $1/3 T$, es decir, un voltaje de frecuencia triple. Este voltaje tiene la misma relación de fase en cada polo CD y se conoce como el voltaje de rizado CD en modo común.

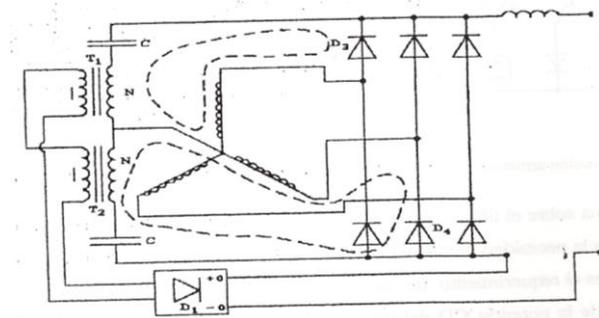


Figura 1.31 Puente rectificador con reinyección de rizado.

El principio de la reinyección del rizado CD, ilustrado en la figura 1.31, es aplicable a convertidores conmutados naturalmente con conducción de 120° . Los transformadores deben estar conectados en Y en el lado del rectificador y tener un devanado primario en Δ o un terciario en Δ .

El devanado primario de un transformador monofásico se conecta al voltaje de rizado CD de modo común. Este transformador suministra el voltaje de conmutación para un rectificador de onda completa monofásico (o convertidor de retroalimentación) conectado al devanado secundario. La salida del convertidor de retroalimentación se conecta en serie con la salida CD de alguna de las configuraciones convertidoras de seis pulsos. La frecuencia de la inyección armónica está determinada por la frecuencia de suministro y por lo tanto el problema de la sincronización de la fuente armónica con la fuente principal ya no existe.

El problema del ajuste de la fase de la corriente inyectada se resuelve utilizando un rectificador controlado de retroalimentación. El control del ángulo de disparo del convertidor de retroalimentación queda así bloqueado con el control del rectificador principal, por ejemplo si, los tiristores del convertidor de retroalimentación se disparan

30° después de los tiristores correspondientes del convertidor principal, entonces resultan las formas de onda ilustradas en la figura 1.32.

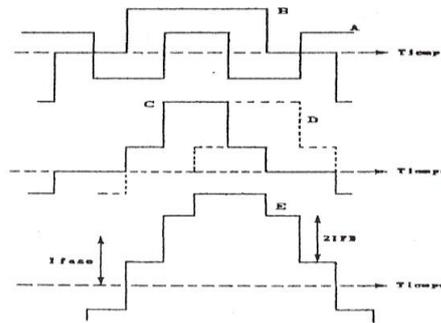


Figura 1.32 Formas de onda de corriente con reinyección de rizado.

1.8. CONCLUSIONES

Al momento de dar por culminado el presente capítulo se han llegado a las siguientes conclusiones:

-  Para desarrollar un método práctico de monitoreo de la Calidad de la Energía Eléctrica es necesario utilizar la terminología de la CEI (International Electrotechnical Commission) que clasifica a los fenómenos electromagnéticos en diferentes categorías.
-  Es improbable corregir el factor de potencia hasta la unidad con la implementación de condensadores que disminuyan la Potencia Reactiva mientras exista condiciones no sinusoidales ya que puede resultar una mayor distorsión y empeorar el factor de potencia, por lo cual se debe determinar el factor de potencia real mediante el THD I.
-  Las mayores cargas no lineales son los convertidores estáticos de potencia eléctrica, usados en la industria para una gran variedad de propósitos, tales como fuentes de alimentación electromecánicas, variadores de velocidad para motores y fuentes para suministro ininterrumpido de energía eléctrica. Estos dispositivos son muy útiles por cuanto pueden convertir CA a CD, CD a CD, CD a CA y CA a CA
-  Algunos de los métodos utilizados para resolver el problema de los armónicos son: la implementación de Filtros Pasivos en paralelo o Filtros Activos, mediante la compensación del flujo magnético, por inyección armónica e inyección de rizado de corriente Directa.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL INGENIO AZUCARERO MONTERREY “MALCA”

-  INTRODUCCIÓN
-  GENERALIDADES DEL INGENIO AZUCARERO MONTERREY DENTRO DE LA AGROINDUSTRIA ECUATORIANA
-  DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y FLUJO TECNOLÓGICO
-  SUMINISTRO Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA
-  ANALIZADOR DE RED, MULTIFUNCIÓN A2000
-  CENTRO DE CARGA MELADURA
-  CENTRO DE CARGA DE ILUMINACIÓN
-  CONCLUSIONES

2.1. INTRODUCCIÓN

La industria es un sistema coordinado de medios humanos y materiales, cuyos objetivos son producir bienes o servicios para obtener beneficios durante un periodo de tiempo determinado. En cualquier tipo de industria, hay siempre un cierto volumen de energía que interviene en la producción de bienes y servicios.

Los recursos energéticos pueden utilizarse eficazmente aplicando medidas que son realizables desde el punto de vista técnico, justificables desde el punto de vista económico e incluso conveniente desde el punto de vista ecológico, basándose en la renovación tecnológica con la que se desarrollan los procesos.[13]

En tal sentido el presente capítulo está encaminado a detallar las generalidades del Ingenio Monterrey MALCA, analizando sus características más importantes como lo es la descripción de los procesos para la elaboración del azúcar. Luego se describe cada una de las fuentes de energía eléctrica que alimentan la fábrica y por ende el sistema de distribución, por consiguiente se detalla el equipo de medición utilizado para el análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica y se describe las características del centro de carga

Meladura y del Transformador de 50 kVA, con la finalidad de determinar las principales falencias sobre todo en lo que se refiere al ámbito de la mediciones.

2.2. GENERALIDADES DEL INGENIO AZUCARERO MONTERREY DENTRO DE LA AGROINDUSTRIA ECUATORIANA



Figura 2.1 Ingenio Monterrey MALCA.

El Ingenio Monterrey geográficamente se ubica en el valle de Catamayo a 50 Km. al Noroeste de la ciudad de Loja. Fue fundado en 1960 por Don Alberto Hidalgo, y desde entonces se ha convertido en el eje del desarrollo del valle de Catamayo y en la principal fuente de trabajo de la provincia de Loja.

La misión de Monterrey Azucarera Lojana, en su calidad de empresa agro industrial, es asegurar plenamente el abastecimiento de productos derivados de la caña de azúcar en la región sur del país. A través de la diversificación y expansión de sus actividades productivas se constituye en el líder empresarial de la provincia de Loja.

Sus operaciones son ejecutadas procurando la calidad total y el aprovechamiento sustentable del medio ambiente, para cuyo fin se propone incorporar procesos y tecnologías de vanguardia, que hagan viable el aprovechamiento óptimo de los recursos y la obtención de productos de alta calidad con el menor precio posible, para satisfacción de todos sus clientes.

Fomenta el desarrollo de la comunidad, brindando plazas de trabajo, remuneraciones justas y principalmente la oportunidad de desarrollo personal de toda su fuerza laboral. Su principal producto es el azúcar blanco, el cual se envasa en sacos de 50 Kg y 2 Kg. y tiene las siguientes características: [14]

Humedad = 0.049%

Cenizas = 0.325%

Color = 249 Icumsa

Turbidez = 187.5 Icumsa

Sulfitos = 5.4 p.p.m.

Insolubles = 79 p.p.m.

Icumsa: norma internacional química para medir el color
p.p.m.: partes por millón.

2.2.1. PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA

A continuación se realiza un análisis productivo y se describe la producción del Ingenio Monterrey en los 10 últimos años, con el fin de evidenciar los factores que incidieron en el aumento de su productividad.

La tabla 2.1 muestra el horario de labores en la fábrica durante todos los años, demostrando que tiene un periodo de trabajo continuo, excepto los días Lunes cada dos semanas por realizar mantenimiento a todos los equipos utilizados en los procesos.

Tabla 2.1 Horario de labores al año del Trabajo Normal en el Ingenio Monterrey.

Turno	Lunes a Viernes		Sábado		Domingo	
	De:	Hasta	De:	Hasta	De:	Hasta
Primero	7:00	15:00	7:00	15:00	7:00	15:00
Segundo	15:00	23:00	15:00	23:00	15:00	23:00
Tercero	23:00	7:00	23:00	7:00	23:00	7:00

2.2.1.1. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE MOLIENDA

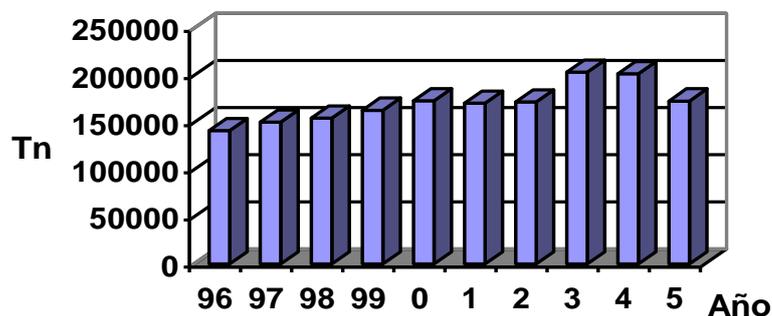


Figura 2.2. Toneladas de caña producidas por año

En la figura 2.2 se puede observar la evolución de la capacidad de molienda en toneladas de caña por cada año.

Tabla 2.2 Toneladas molidas en el Ingenio Monterrey

Año	Toneladas molidas
1996	141529
1997	150605
1998	154850
1999	163318
2000	173214
2001	170655
2002	171910
2003	203821
2004	201942
2005	173103

Se puede observar que en los años 2003 y 2004 se incremento notablemente la molienda de caña, esto debido principalmente a la gran cantidad de caña que fue reservada en su cosecha por el paro de mantenimiento y por la instalación de la nueva caldera que duro alrededor de seis meses.

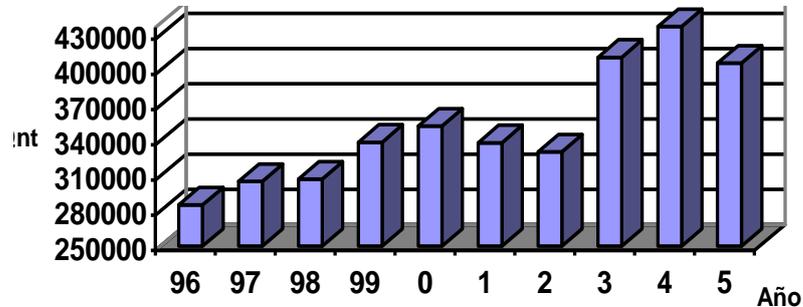


Figura 2.3 Producción de sacos de azúcar blanco al año

Tabla 2.3 Sacos de azúcar producidos en el Ingenio Monterrey.

Año	Sacos de azúcar producidos
1996	285180
1997	305244
1998	307666
1999	338625
2000	352536
2001	338162
2002	330274
2003	411016
2004	437289
2005	406121

NOTA: Datos obtenidos del laboratorio de la fábrica de azúcar MALCA.

Mediante la Figura 2.3 y la tabla 2.3 se puede ver claramente que la escala productiva del Ingenio Azucarero Monterrey comenzó ascender notablemente desde el año 2003 al 2005, creciendo en función de la materia prima disponible y en la implementación de diversos equipos que permitieron mejorar eficientemente los procesos.

2.2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

2.2.1.2.1. ETAPAS INDUSTRIALES:

En cuanto se refiere a la obtención del azúcar, se establece que el proceso, puede ser dividido específicamente en diferentes etapas industriales, por las cuales se experimenta una transformación del jugo de caña en azúcar blanco, como se muestra en el Diagrama de Bloques del (Anexo IV).

Estas etapas industriales se resumen en 9 grandes grupos necesarios para el proceso y que se describirán para obtener una mayor comprensión de la función de cada centro de carga que se encuentra vinculado a un proceso específico: [15]

-  Pesaje
-  Manipuleo
-  Preparación
-  Extracción
-  Purificación
-  Evaporación
-  Cristalización
-  Centrifugación
-  Envase

2.2.1.2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL AZÚCAR DE CAÑA CRUDO.

Pesaje de la caña: La caña se pesa por lo general en grandes básculas de plataforma, junto con la unidad de transporte en la que se recibe (carro de ferrocarril, camión, remolque, carreta, etc.).

Dispositivos de descarga: Todos los ingenios modernos emplean descargadores mecánicos. Es muy común el uso de grúas y tractores para descargar y almacenar la caña.

Extracción del jugo: Moliendo la caña entre pesados rodillos o masas constituye la primera etapa del procesamiento del azúcar crudo. Primeramente la caña se prepara para la molienda, mediante cuchillas giratorias llamados molinos de martillos se cortan los tallos en pedazos pequeños desmenuzando la caña pero no extrayendo el jugo. El molino o trapiche consta de unidades múltiples que utilizan combinaciones de tres rodillos, a través de los cuales pasa sucesivamente la caña. Para ayudar a la extracción del jugo (guarapo) se aplican aspersiones de agua o guarapo diluido sobre la capa de bagazo según sale de cada unidad de molienda; lo anterior contribuye a extraer por lixiviación el azúcar.

El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, fibra leñosa y de un 45 a 55% de agua. Este material pasa por lo general a las calderas como

combustible, pero muchos ingenios compran combustible y utilizan el bagazo en la fabricación de tablas de bagazo prensado para paredes o papel, cama para el ganado, u otra utilización comercial de los productos secundarios.

Purificación del guarapo: Clarificación. El jugo color verde oscuro procedente de los trapiches es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación: término químico para llamar al jugo clarificado), diseñado para remover las impurezas tanto solubles como insolubles, emplea en forma universal cal y calor agentes clarificantes. La lechada de cal, alrededor de 1 lb. (0,5 Kg.) (CaO) por tonelada de caña, neutraliza la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio, en su mayor parte fosfato de calcio.

El calentamiento del guarapo alcalizado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas; el precipitado así formado atrapa los sólidos en suspensión al igual que las partículas más finas. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en tambores rotativos de filtración. El jugo filtrado regresa al proceso o pasa directamente al jugo clarificado y la torta de la prensa (cachaza en Latinoamérica) es desechada o se regresa a los campos como fertilizante. El jugo clarificado transparente y de un color parduzco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional.

Evaporación: El jugo clarificado, que tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal, contiene aproximadamente 85% de agua. Dos terceras partes de esta agua se evaporan en evaporadores al vacío de múltiple efecto. El vapor del cuerpo final pasa a un condensador. El jarabe (meladura en Latinoamérica) sale en forma continua del último cuerpo con aproximadamente 65% de sólidos y 35% de agua.

Clarificación del jarabe crudo: En este caso se añaden al jarabe o meladura, cal y ácido fosfórico, y luego se aérea junto con la adición de un polímero floculante. A continuación el jarabe floculado se pasa directamente a un clarificador.

Cristalización: La cristalización tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que

se llena el tacho. Bajo la vigilancia de un tachero experto (o con instrumentos adecuados) los cristales originales crecen sin que se formen cristales adicionales, de manera que cuando el tacho está totalmente lleno todos los cristales tienen el tamaño deseado, y los cristales y el jarabe forman una maza densa conocida como masa cocida. La templa (el contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristizador.

Centrifugación o purga; reebullición de las mieles: La masa cocida proveniente del mezclador o del cristizador se lleva a máquinas giratorias llamadas centrífugas. El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con tela metálica, entre ésta y las paredes laterales hay láminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada que retiene los cristales de azúcar. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 1000 y 1800 rpm. El licor madre, la miel, pasa a través del revestimiento debido a la fuerza centrífuga ejercida (de 500 hasta 800 veces la fuerza de gravedad), y después de que el azúcar es purgado se corta, dejando la centrífuga lista para recibir otra carga de masa cocida.

Las mieles o melazas finales o residuales, sirve como base para la alimentación del ganado, fabricación de alcohol industrial, producción de levadura y para otros usos diversos.

Envase: Antes de ser envasada el azúcar pasa por un túnel de secado, en el cual se extrae cualquier humedad residual que haya quedado en la misma. Por fin está listo el azúcar para ser envasado en sacos de 50 Kg. y 2 Kg.

2.3. FLUJO TECNOLÓGICO ACTUAL

Para el proceso de obtención del azúcar, el Ingenio Monterrey necesita como parte eléctrica, procesos energéticos que se relacionan con la generación y distribución de la energía eléctrica.

En la figura 2.4 se observa las funciones que se debe seguir para generar energía eléctrica con un turbogenerador, mediante un caldero de la marca SERMATEC se transforma el agua bombeada desde el tanque de almacenamiento en vapor saturado útil para ser utilizado en los diferentes proceso de elaboración del azúcar y alcohol, este vapor también es enviado a la turbina que adquiere una rotación nominal de 6500 RPM que mueve el rotor del generador eléctrico WEG.

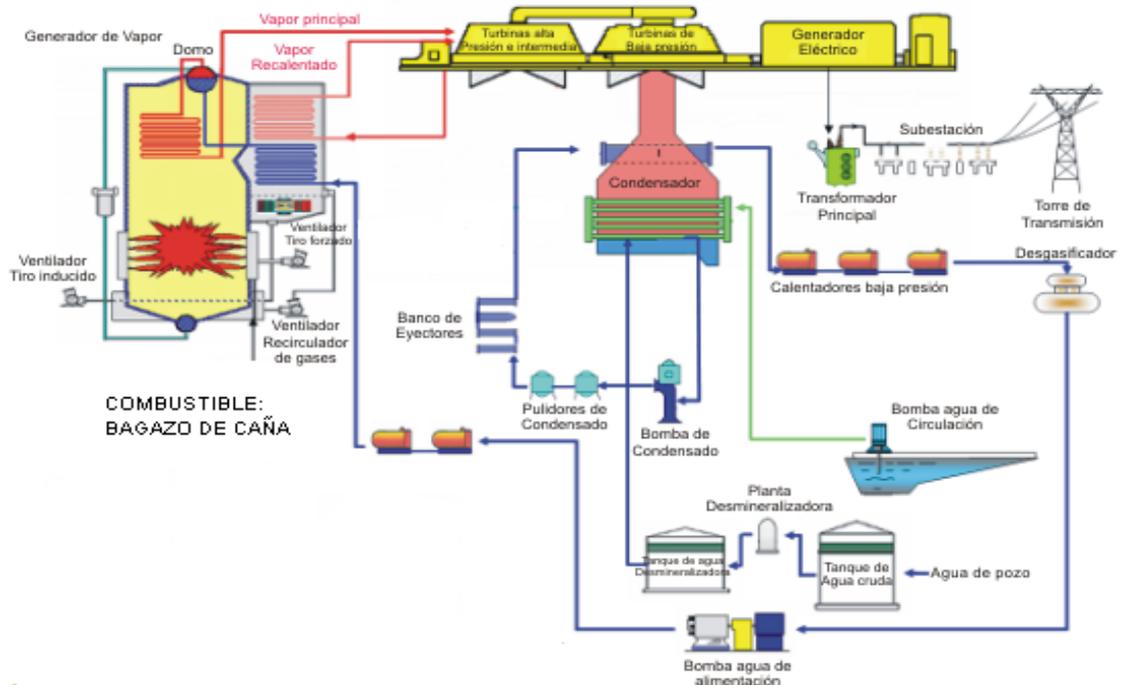


Figura 2.4 Proceso de la Generación Eléctrica del Turbogenerador WEG

2.3.1. GENERACIÓN:

Actualmente, la fábrica de azúcar se encuentra conectada a cinco fuentes de energía eléctrica. Cuatro de ellas son fuentes de autogeneración propias de MALCA y la quinta fuente de energía es tomada del sistema nacional interconectado, la misma que en este caso es proporcionada por la EERSSA.

2.3.1.1. ENERGÍA DEL TURBOGENERADOR NUEVO



Figura 2.5 Turbogenerador WEG

Debido a las necesidades de ampliación del sistema productivo, el Ingenio Monterrey en el año 2002 consideró como necesaria la instalación de un turbogenerador de mayor capacidad debiendo también instalar una caldera que produzca el vapor necesario para mover la turbina del nuevo generador.

Es preciso indicar que en una empresa azucarera el turbogenerador actúa como reductor de presión, la presión del vapor a 200 PSI que entra a la turbina se reduce a 30 PSI a su salida, convirtiéndose en vapor de baja presión útil y necesaria que es aprovechada para los procesos de elaboración del azúcar blanco. La función de generar energía eléctrica en este caso es primordial convirtiéndose en un beneficio satisfactorio para este tipo de industrias, hoy en día se encuentra generando alrededor de los 1600 kW equivalente al 57,14 %, esto debido a la falta de combustible en este caso el bagazo de la caña que alimenta el caldero. Esta generación es utilizada íntegramente por la fábrica reduciendo el costo por compra de energía eléctrica al sistema nacional interconectado.

El turbogenerador sincrónico marca WEG de fabricación brasileña, tiene las siguientes características técnicas:

Tabla 2.4 Características Técnicas Eléctricas del Turbogenerador

Modelo:	SSW.560	Ambiente:	40 °C
Clase:	Industrial	Altitud:	1000 m
KVA:	3500	Corriente de corto circuito pp.:	70427 A
KW:	2800	Corriente de corto circuito Ef.:	27666 A
Factor de potencia:	0.8	Distorsión armónica:	5.0 %
Nº polos:	4	Factor de Interferencia telefónica:	3.0 %
RPM:	1800	Sobrecarga:	1.1 In por 1 h cada 6 h
Hz:	60	Sobrecarga momentánea:	2 In por 20 s
Nº fases:	3	Sobre velocidad:	1.25 n por 120 s
V:	460	ΔT:	100 °C
A:	4592.6	Masa aproximada:	9400 Kg.
Conexión:	4Y	Refrigeración:	aire - agua
Protección:	IP54	Carcasa:	560
Excitación:	BRUSHELSS	Registro:	S1
Regulador:	GRMP04-1	Aislamiento:	F

Una característica especial de este generador es el sistema de excitación con bobinado auxiliar con características compound, que garantiza rápida respuesta, óptima estabilidad, mantenimiento de corriente de corto circuito y excelente desempeño en el arranque de motores de inducción. El regulador automático de voltaje tiene un encapsulamiento que gracias a él se soportan altos niveles de vibración. Facilitándose así su instalación junto a la caja de conexiones del generador. Controla el voltaje de salida del generador regulando la corriente que va al campo del excitador, protege al generador contra operaciones en velocidades bajo la nominal, cortando la excitación. El volumen de protección IP54 según normas DIN 40 050 garantiza: Protección contra roce con elementos auxiliares de cualquier tipo, contra depósitos nocivos de polvo en el interior y sin influencias nocivas contra agua que sobresalga.

Está fabricado para operar en paralelo con otro generador o con la empresa eléctrica local. Además está protegido mecánicamente contra toque de dedos y cuerpos extraños

sólidos de diámetro superior a 12 mm y contra agua en la vertical. El turbogenerador adquirido tiene el respaldo de la certificación del Sistema de calidad ISO serie 9001 por parte de BVQI – Bureau Veritas Quality International.

2.3.1.2. ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Cuenta con una planta ubicada a 10 Km. al Noroeste del Ingenio Monterrey, con dos turbinas generadoras marca General Electric, de 150 kW y 500 kW, respectivamente, actualmente solo presta servicio el generador de 500 kW.

Por problemas de regulación, no está en funcionamiento el generador pequeño, y además las condiciones climatológicas del valle de Catamayo hacen que esta planta genere un máximo de 300 kW, solamente en los meses de invierno.

La planta hidráulica genera un voltaje trifásico de 4160 V a 60 Hz, el cual es elevado a 13200 V para su transmisión hacia el Ingenio Monterrey o hacia las bombas ubicadas en el campo para el riego.

2.3.1.3. ENERGÍA TERMOELÉCTRICA

Posee un generador MAGNAPLUS a diesel de 200 kW, a un voltaje trifásico de 440V a 60 Hz., mediante un sistema de conmutación sirve para realizar el arranque de algunos de los motores de los centros de carga de molinos y bombas de vacío en situaciones de emergencia.

2.3.1.4. ENERGÍA TURBO ELÉCTRICA



Figura 2.6 Turbogenerador Westinghouse y turbogenerador General Electric

Cuenta con dos turbogeneradores, el primero genera 500 kW es de la marca Westinghouse que se encuentra fuera de funcionamiento por problemas mecánicos y otro que genera 350 kW y 2400 V a 60 Hz es de la marca General Electric, generalmente esta turbina opera como equipo de emergencia.

Este tipo de generación es económicamente muy conveniente para la empresa, debido a que utiliza el bagazo como combustible del caldero produciendo el vapor para la generación. Por medio de un sistema de conmutación manual algunos de los centros de carga de la fábrica pueden ser alimentados por las cinco fuentes de energía eléctrica, tal como se muestra en el diagrama unifilar simplificado de generación de la figura 2.7, ver ANEXO XI.

2.3.2. DISTRIBUCIÓN:

La distribución eléctrica se establece principalmente en la fábrica de azúcar, en la cual se tiene el Tablero General de Distribución de los diferentes tipos de energía disponibles hacia los centros de carga del Ingenio Monterrey.

Estos centros de carga, son conectados a dos barras existentes en el Tablero General de Distribución las que cuentan con un sistema de conmutación para cada energía alternativa, una de ellas utiliza la energía del turbogenerador marca WEG y dos energías opcionales y la segunda barra, conecta la energía del Sistema Nacional Interconectado y dos energías también opcionales.

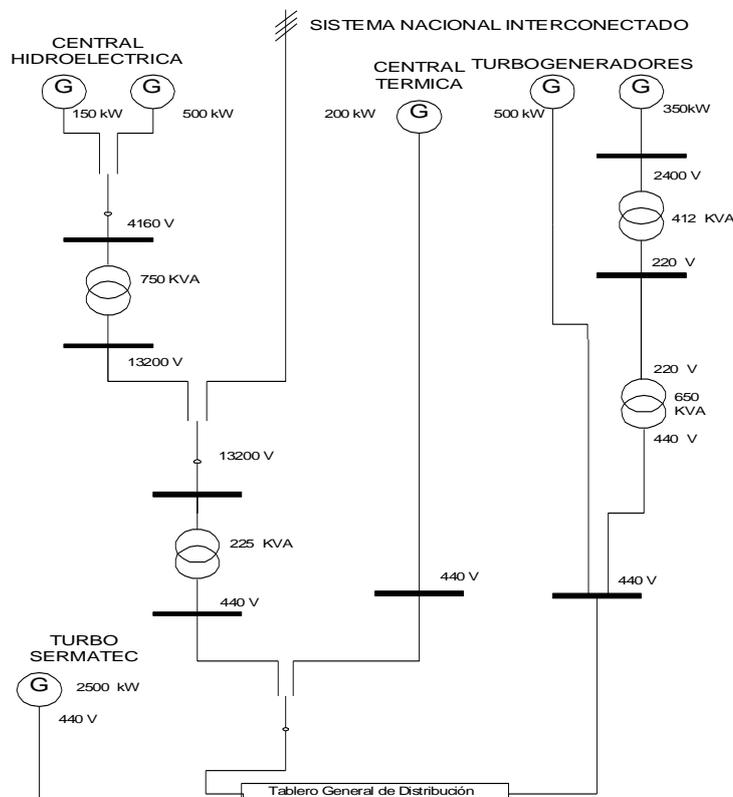


Figura 2.7 Sistema Eléctrico del Ingenio Monterrey, Diagrama Unifilar Simplificado.

2.3.3. CONSUMO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

2.3.3.1. DEMANDA ENERGÉTICA DEL INGENIO MONTERREY

El consumo de energía eléctrica del Ingenio Monterrey durante los últimos diez años, puede resumirse en la tabla 2.5, con datos oficiales del laboratorio del Ingenio Monterrey, que además indica la fuente de procedencia de la energía:

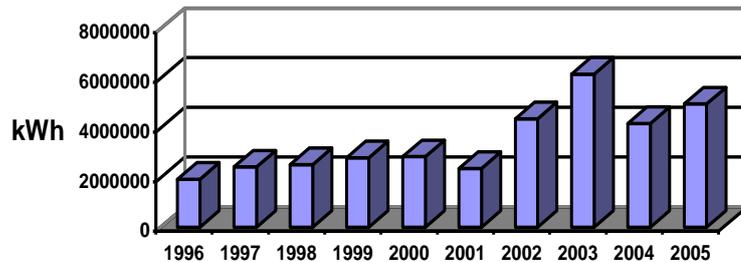


Figura 2.8 Demanda total del Ingenio, y su evolución en los últimos años.

Se puede evidenciar en la figura 2.9 que durante el año 2002 y los siguientes existe un incremento considerable del consumo eléctrico, esto se debe al incremento de la producción en la industria, teniendo en cuenta que la principal fuente de suministro de energía eléctrica es realizada por el turbogenerador de la marca WEG.

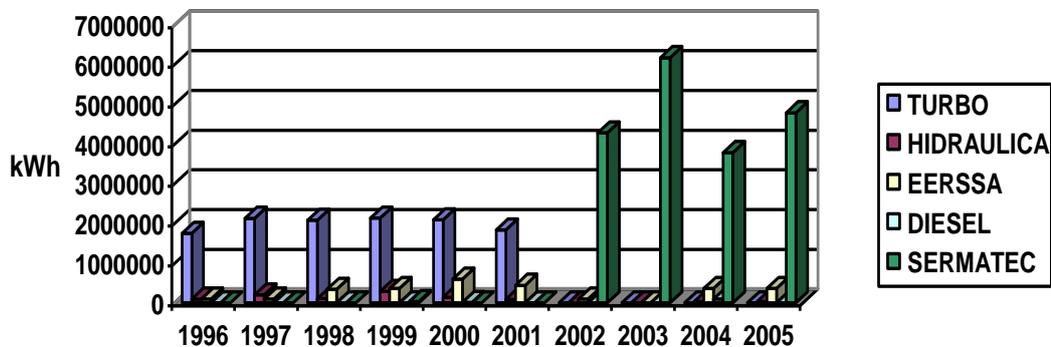


Figura 2.9 Variación y proporción energética de las diferentes fuentes de Energía Eléctrica.

Tabla 2.5 Consumo de Energía Eléctrica del Ingenio Monterrey MALCA

CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA DESDE 1996						
AÑO	TURBO	HIDRÁULICA	TERMICA	TURBO SERMATEC	EERSSA	TOTAL
1996	1749208	99218	0	0	90510	1938936
1997	2129288	199620	0	0	98890	2427798
1998	2081212	109410	0	0	337200	2527822
1999	2130645	286170	26739	0	360000	2803554
2000	2090730	143473	11370	0	597840	2843413
2001	1837113	89940	24	0	441950	2369027
2002	0	0	0	4278002	92728	4370730
2003	0	0	0	6173930	0	6173930
2004	0	35426	0	3782941	360970	4179337
2005	0	27630	0	4786320	151360	4965310

Se observa claramente que la demanda energética del Ingenio Monterrey ha tenido un crecimiento notable en el tiempo. La energía provista por los turbogeneradores viejos se ha mantenido en crecimiento hasta el año 2001, no así la energía de la planta hidráulica. La empresa concesionaria local tiene un importante porcentaje en el consumo durante los años desde 1998 al 2001 siendo mínimo en los dos anteriores a estos.

La planta termoeléctrica viene funcionando desde 1999, el cuadro de la demanda así lo evidencia, pero no es apreciable con respecto a las demás por que es considerado como equipo de emergencia utilizado para alimentar diferentes cargas con lo son: Molinos y Bombas de Vacío.

El único año en el que el consumo de energía bajó es en el 2002, esto se explica debido a que se realizó un periodo de reparación de 6 meses con respecto al año 2001 para la instalación de nuevos equipos.

En los años 1997, 1998 y 1999, se instalaron en el Ingenio equipos y maquinaria nueva, como el puente de grúa y la grúa hilo. Es por esto que se ha registrado un incremento considerable en la energía de este periodo, incidiendo directamente en la molienda.

2.4. SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

2.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS CENTROS DE CARGA.

En la fábrica de azúcar Ingenio Monterrey Azucarera Lojana, se cuenta con instalaciones eléctricas tipo industrial con alimentación trifásica a un voltaje de 460V con una frecuencia de 60 Hz, con el objetivo de evitar las variaciones de voltaje. La circuitería eléctrica del Ingenio se encuentra dividida por centros de carga.

Cada centro de carga agrupa a una cantidad predeterminada de elementos eléctricos. Esta agrupación se ha hecho de acuerdo a la localización física y de acuerdo a la función que desempeñan estos elementos eléctricos que intervienen en el proceso industrial de producción del azúcar.

Existen 18 centros de carga que están asociados en 9 grandes grupos, tratando de esta manera de balancear la carga instalada en el Ingenio, los mismos que tienen la opción de desconexión individual, por lo que pueden estar energizados y operando independientemente de los otros, esta agrupación se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Asociación de Centros de Carga.

Centro	Nombres	Hp
CC01	CALDERA NUEVA SERMATEC	512.5
CC02	TALLER INDUSTRIAL # 1	292.47
	TALLER INDUSTRIAL # 2	49.25
	CALDERO DE BAGAZO # 2	212.72
	ILUMINACIÓN	55
	TOTAL	609.44
CC03	MOLINOS	312.85
	BOMBAS DE VACÍO	159.3
	TOTAL	472.15
CC04	ALCALIZACIÓN	54.5
	LABORATORIO	12
	MELADURA	154.2
	TOTAL	220.7
CC05	CENTRÍFUGA DE PRIMERA	125
	CENTRÍFUGA SILVER-WEILBULL	145
	CENTRÍFUGAS	204.11
	TOTAL	474.11
CC06	MOTOR DEL MOLINO ELÉCTRICO # 4	145
CC07	PICADORAS	120
	DESFIBRADORA	250
	TOTAL	370
CC08	MOLINOS HIDRÁULICOS	301.24
CC09	BUNKER Y DESTILERÍA DE ALCOHOL	137

2.4.2. CIRCUITOS DE FUERZA.

La tecnología con que fue montado el Ingenio es antigua, una muestra de ello es que todavía existen arranques manuales, como los arranques por auto-transformador que hay en las Picadoras de caña # 1 y # 2 y en la centrífuga de primera. Si bien es cierto que estos mecanismos son confiables y han venido funcionando eficientemente, es necesario auditarlos por posibles cambios que puedan presentar en la implementación de nuevas tecnologías.

La mayoría de los motores vienen funcionando por un tiempo no menor a diez años a los que se han rebobinado por lo menos una vez provocando que sus potencias sean menores a las que se muestran en su placa. Algunos carecen de sus datos de placa y en otros casos esta es ilegible. Pocos motores son originales y muy pocos nuevos, el normal funcionamiento y las reparaciones a las que han sido sometidos, desgastan el aislamiento de los bobinados del estator produciendo la avería de los mismos. Las instalaciones de fuerza de los motores se encuentran protegidos por el breaker, contactor y relé térmico con calentadores. Es importante señalar que la protección contra

cortocircuito no es la adecuada, evidenciándose en algunos casos la colocación de calentadores en los relés térmicos de protección sin las recomendaciones del fabricante y debido a la no disponibilidad de los mismos en el almacén de la empresa. La maniobra de arranque directa es frecuente para motores de baja potencia, para los motores de potencias superiores a 75 HP se utiliza el arranque por auto-transformador.

La mayoría de los motores instalados en el Ingenio operan con un amperaje menor al que tendrían a plena carga. Como consecuencia de esto el factor de potencia de las instalaciones decrece, consumiendo mucha energía reactiva. Al incrementar la carga de operación de dichos motores la intensidad llegaría a valores nominales provocando una mayor capacidad de producción y mejorando la eficiencia y el factor de potencia de las cargas instaladas.

Para la corrección del factor de potencia existen instalados bancos trifásicos de capacitores en conexión triángulo a las barras de la Empresa Eléctrica Regional del Sur, obteniéndose así un factor de potencia de 0,92 para el momento de conectar los centros de carga a esta energía, para el caso de la energía eléctrica del turbogenerador el cual no posee compensación del factor de potencia ha sido imposible determinar sus valores, debido a que el Ingenio no cuenta con la instrumentación adecuada para realizar estas medidas.

2.4.3. CIRCUITOS DE MANDO

En lo referente a los circuitos de mando, es necesario puntualizar las siguientes observaciones. Generalmente el mando de los circuitos del Ingenio, funcionan a 230 V 60 Hz por lo que en cada centro de carga se encuentran instalados transformadores de 460V a 230V para su funcionamiento.

El mando o control de los circuitos existentes en la fábrica, son generalmente circuitos diseñados para hacer arranque directo a los motores, no tienen protección por fusible y han sido diseñados sin ubicar enclavamientos eléctricos debido a que el control de un motor cualquiera es independiente del funcionamiento de otro.

Para el arranque y parada de los motores se ha previsto como regla general accionarlos con botonera Start-Stop. El operador acciona al motor de acuerdo a los requerimientos de producción en determinado instante, desde un tablero de control ubicado cerca de cada proceso respectivamente.

2.4.4. DETALLE TÉCNICO DE LOS CENTROS DE CARGA EN ESTUDIO

Se procedió a realizar el estudio de Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de Carga Meladura, por contar con un número significativo de variadores de frecuencia que realizan el control de algunos motores necesarios para realizar diferentes procesos, también se evidencia la alta carga reactiva inductiva producida por los motores de inducción.

También se realizó el estudio en la acometida de baja tensión del transformador de 50 kVA, por abastecer de energía eléctrica a los circuitos de iluminación, tomacorriente y motores de mínima potencia de la fábrica, en esta instalación se puede comprobar la presencia de equipos electrónicos modernos (computadoras, UPS, balastos electrónicos e inductivos) utilizan dispositivos de electrónica de potencia (diodos, transistores, tiristores) que convierten la corriente alterna en corriente directa y trabajan en un modo de interrupción (switching), que funciona a manera de pulsaciones que no tienen forma de onda de voltaje sinusoidal.

Para el estudio de este proyecto se ha tomado en consideración el suministro de energía eléctrica perteneciente al turbogenerador de la marca WEG, por que es utilizado en forma constante para la alimentación de electricidad a toda la fábrica incluso a la red eléctrica destinada a los motores instalados en el campo.

2.5. EQUIPO ANALIZADOR DE RED, MULTIFUNCIÓN A2000

Para la realización de la campaña de mediciones se utilizó un analizador de redes trifásicas A2000 de la Marca GOSSEN METRAWATT de fabricación alemana el cual consta de los siguientes accesorios: Pinzas amperimétricas Z3514 con relación de transformación de 2000A/1A a una frecuencia de 30 Hz...1,5 kHz, software MetraWin, interface RS 232, conectores tipo cocodrillo para la alimentación y medida de voltaje.



Figura 2.10 Analizador de redes trifásicas A2000.

2.5.1. Aplicaciones

El instrumento de medida A2000 está diseñado para el análisis y la monitorización de sistemas de corrientes trifásicas. Puede funcionar con transformadores internos en sistemas de corriente trifásicos de hasta 5 A y 500 V de tensión nominal, y puede efectuar medidas en sistemas de media tensión en combinación con transformadores de corriente y tensión externos.

El A2000 adquiere tensiones, corrientes, frecuencia y desfases en sistemas de 3 y 4 conductores. Calcula potencia activa, reactiva y aparente, energía activa y reactiva, así como el factor de potencia a partir de esos valores.

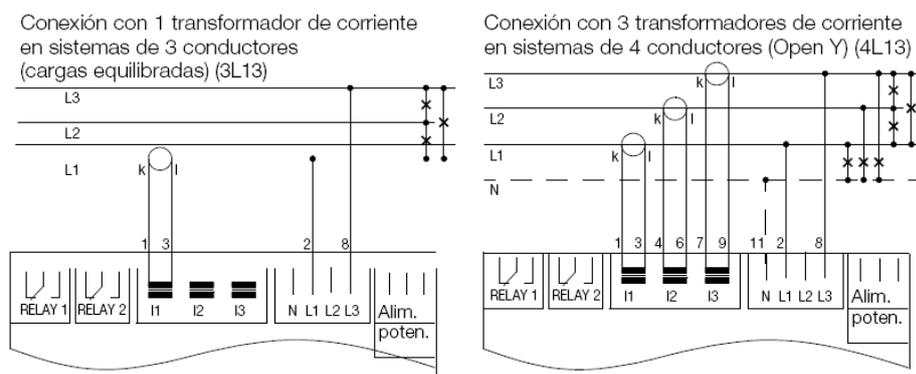
A partir de las corrientes y tensiones de fases se realiza un análisis de armónicas (FFT = Fast Fourier Transformation), calculando las armónicas hasta del 15vo orden. Para las tensiones de fases se visualizan los coeficientes de distorsión no lineales de cada una de las armónicas, así como el coeficiente de distorsión no lineal total, y para las corrientes los correspondientes valores efectivos.

Las relaciones de transformación pueden introducirse en el instrumento, lo que significa que todos los datos de medida primarios pueden visualizarse directamente en el A2000.

Posee una memoria interna con una capacidad de 2 MB para medir aproximadamente 20,000 valores.

Los medidores de energía, registradores, *data loggers* y los bucles de control pueden conectarse a las salidas digital y analógica. El instrumento puede integrarse en un sistema de bus de campo (*field bus system*) o conectarse a una red LON con los interfaces de comunicación, o sus parámetros pueden configurarse con un PC.

2.5.2. Tipo de conexiones del A2000 en las Instalaciones Eléctricas.



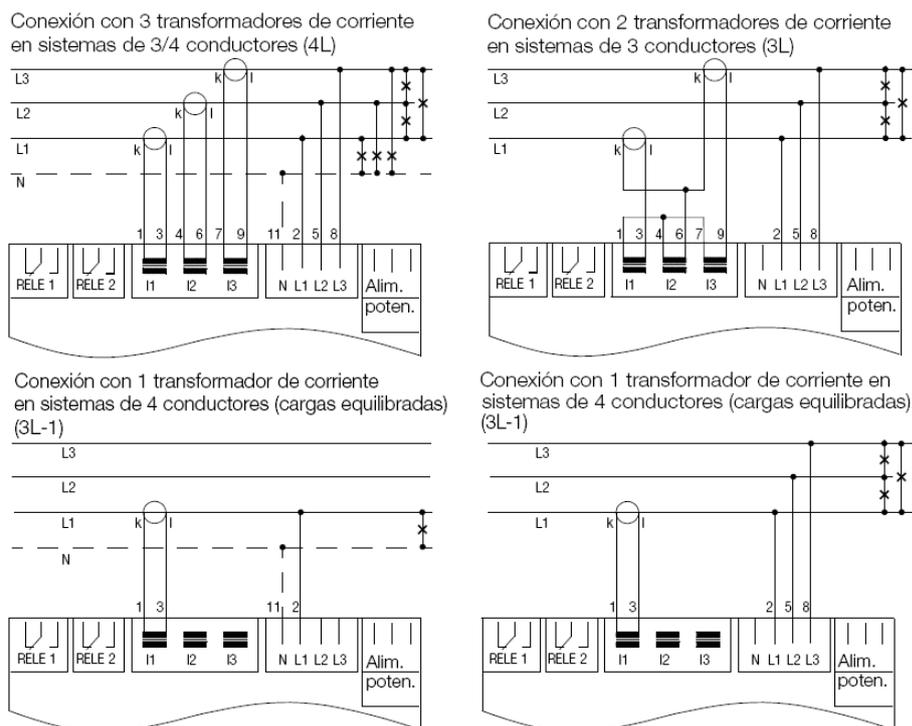


Figura 2.11 Tipo de conexiones del Analizador de redes trifásicas A2000.

2.6. CENTRO DE CARGA MELADURA

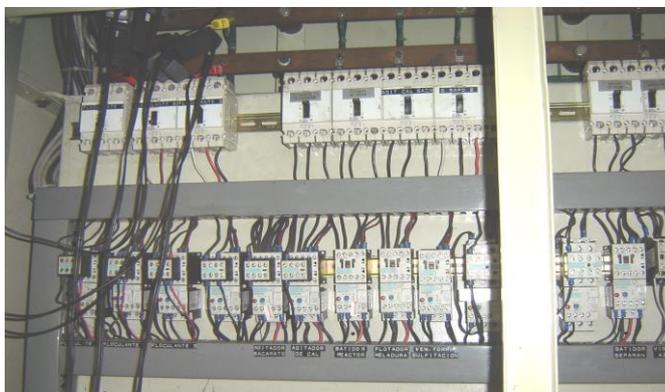


Figura 2.12 Instalación física del Centro de Carga Meladura.

El centro de carga Meladura se encuentra actualmente operando con 27 motores eléctricos con diferentes potencias en la tabla 2.7 se puede observar su potencia, intensidad nominal y como están denominados dentro de la fábrica.

Alrededor de 9 motores son accionados por variadores de frecuencia, por lo que en los próximos años se irá incrementado su número tratando de automatizar la mayor parte de centros de carga de la fábrica, se puede evidenciar que el tipo de arranque en el 70% de los motores es directo, esto debido a que son motores de baja potencia.

Tabla 2.7 Características de los motores del Centro de Carga Meladura

Nominación de los motores	HP	In	Nominación de los motores	HP	In
Agitador de los Filtros	2	7,5	Bomba Floculante No 2	1	2,18
Agitador del Clarificador	1,5	2,6	Bomba de Ácido Fosfórico	1	2,18
Batidor Acidificación	2	7,5	Flotador de Meladura	2	3,1
Batidor Floculante	0,3	0,75	Gusanillo de Cachaza	2	3,1
Bomba Agua Caliente Filtros	1,5	2,2	Gusanillo a la Tolva	2	3,1
Bomba de Cachaza	1,5	2,9	Saranda Eléctrica	2	3,1
Bomba Sapo No 1	0,75	1,8	Tambor Filtro de cachaza	2	3,1
Bomba Jugo Filtrado	3,4	5,4	Batidor Separador	2	3,1
Bomba de Meladura Tratada No 1	10	12,6	Lavador de tubos No 1	2	3,1
Bomba de Meladura Tratada No 2	10	12,6	Bomba Sapo No 2	0,75	1,8
Bomba de meladura No 1	13,5	19	Bomba de Jugo Crudo	10	12,6
Bomba de Jugo Clarificado No 1	15	18	Bomba de Jugo Encalado	20	28,4
Bomba de Jugo Clarificado No 2	15	18	Bomba de Evaporadores	30	52
Bomba de Floculante No 1	1	2,18	TOTAL	154,2	233,89

2.6.1. ESPECIFICIDADES DEL CENTRO DE CARGA MELADURA

Se mantiene un régimen de trabajo permanente en los motores eléctricos a excepción de la Bomba de Meladura Tratada No 1 y No 2, la Bomba de Jugo Clarificado No 1 y No 2, la Bomba de Jugo Crudo, la Bomba de Jugo Encalado y la Bomba de Evaporadores que se accionan de acuerdo al requerimiento. Se evidencia la presencia de bombas conectadas en paralelo en algunos procesos, siendo una la emergente en caso de avería de la que se encuentra trabajando.

2.6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

Todos los motores conectados a este centro de carga son trifásicos y trabajan a 460 V, los cuales soportan una variación de voltaje del 5%, se ha establecido que para un día normal de operación del Ingenio la carga en algunos motores es variable. Se evidencia que en el centro de carga Meladura se cuenta con motores de pequeña potencia de 0.6 - 14 Hp y media potencia de 14 Hp – 200 Hp, [16] trabajando a una frecuencia de 60 Hz.

A continuación se describe la potencia, la intensidad nominal, la marca y el motivo de variación de intensidad de cada motor.

AGITADOR DE LOS FILTROS

Es un motor de 2 Hp con un amperaje nominal de 7.5 A de la marca Asea. Produce el movimiento del mezclador de cachaza, su amperaje varía de acuerdo al vaciado de la mezcla proveniente de los tanques de jugo clarificado y del bagacillo extraído de los molinos.

AGITADOR DEL CLARIFICADOR

Es un motor de 1,5 Hp, con un amperaje nominal de 2.6 A de la marca Asea, tiene como función rotar un eje con una paleta que mueve la mezcla formada por el guarapo y la lechada de cal, la variación del amperaje es producto de la gran cantidad de sólidos disueltos en el tanque de clarificación.

BATIDOR ACIDIFICACIÓN

Es un motor de 2 Hp, con un amperaje nominal de 7.5 A de la marca Westinghouse, su función es batir la mezcla del jugo clarificado, cal y ácido fosfórico en el tanque de sulfatación, la variación del amperaje se debe al ingreso de la mezcla al tanque.

BATIDOR DEL FLOCULANTE

Es un motor de 0,3 Hp, con un amperaje de 0.75 A de la marca Weg su función es batir constantemente la mezcla de floculante con agua depositada en un tanque de acero inoxidable la misma que será utilizada en el clarificación del jarabe crudo, existe variación del amperaje en el momento que se ingresa agua a la mezcla.

BOMBA AGUA CALIENTE FILTROS

Es una bomba con un motor de 1,5 Hp, con un amperaje nominal de 2.2 A de la marca U.S. Electrical su objetivo es bombear agua caliente proveniente del tanque de condensados a los filtros de cachaza donde se depositan los residuos de los tanque de clarificación, la variación del amperaje se produce al momento de bombear el agua a una altura de 15 m desde el tanque de agua de la fábrica.

BOMBA DE CACHAZA

Es una bomba con un motor de 1,5 Hp, de un amperaje nominal de 2.9 A de la marca U.S. Electrical su propósito es bombear la composición de la mezcladora de cachaza formada por la maceración (bagacillo) producida en el molino N° 4 junto a la cachaza del tanque de clarificación directo al tambor filtro de cachaza, el amperaje varía en el momento que se vacía el tanque cuando se encuentra lleno.

BOMBA SAPO N° 1

Conformada por un motor eléctrico de 0.75 Hp con un amperaje nominal de 1.8 A de la marca Alconsa. Tiene como propósito bombear los lodos que se separan del tanque de

jugo clarificado N°1 para ser llevados a la mezcladora de cachaza. El amperaje varía producto del bombeado de sedimentos compuestos por piedras, bagacillo, ceniza, etc, originado sobrecargas.

BOMBA JUGO FILTRADO

Es una bomba con un motor de 3,4 Hp, con un amperaje nominal de 5.4 A de la marca Westinghouse, su objetivo es bombear el jugo filtrado proveniente de los filtros de cachaza con destino a la torre de sulfatación. Existe variación del amperaje debido al bombeo del líquido cuando se produce el llenado del tanque.

BOMBA MELADURA TRATADA N° 1 Y N°2

Son bombas con motores de 10 Hp, con amperaje nominal de 12.6 A de la marca General Electric, se encuentran conectadas en paralelo por lo cual funciona una a la vez, su propósito es bombear la mezcla del jugo evaporado con cal y ácido fosfórico aireada con un polímero llamado floculante al recipiente de Meladura, la variación del amperaje se produce en el momento del vaciado del tanque al llenarse, para lo cual trabajan con un variador de frecuencia accionado por sensores de nivel.

BOMBA MELADURA N° 1

Es un bomba que funciona por medio de un motor de 13,5 Hp con una intensidad nominal de 19 A, su finalidad es bombear en el momento del llenado del tanque de Meladura el jarabe directo a los tachos al vacío donde se evapora hasta quedar saturado de azúcar, por lo cual se produce variaciones de amperaje, por medio de los variadores de frecuencia que son accionados por sensores de nivel reducen la velocidad del motor siempre que sea necesario.

BOMBA JUGO CLARIFICADO N° 1 Y N°2

Son bombas que cuenta con motores de 15 Hp con amperaje nominal de 18 A de la marca U.S. Electrical, se encuentran conectadas en paralelo por lo cual funciona una a la vez, tiene como propósito bombear el jugo clarificado al tanque precalentador, se producen variaciones del amperaje cuando se vacía el tanque lleno, trabajan con un variador de frecuencia que es accionado por sensores de nivel que reducen la velocidad del motor en momentos de sobrecarga.

BOMBA FLOCULANTE No 1 Y No 2

Son bombas con motores de 1 Hp con un amperaje nominal de 2.18 A de la marca WEG y se encuentran conectadas en paralelo operando una a la vez, su finalidad es bombear floculante al tanque clarificador, la variación del amperaje se produce cuando se empieza a vaciar el tanque cuando se llena, para lo cual trabajan con un variador de frecuencia que es accionado por sensores de nivel.

BOMBA DE ÁCIDO FOSFÓRICO

Utiliza un motor de 1 Hp, un amperaje nominal de 2.18 A de la marca WEG, la variación del amperaje se produce cuando se bombea del contenedor lleno de ácido fosfórico a la mezcla formada por la meladura, la cal con la adición del floculante.

FLOTADOR DE MELADURA

Es una bomba accionada por un motor de 2 HP con un amperaje de 3.1 A de la marca WEG. La variación del amperaje se origina al momento de la activación.

GUSANILLO DE CACHAZA

Es un eje con forma de tornillo sinfín que es accionado por un motor de 2 Hp con un amperaje de 3.1 A de la marca Dayton. Su finalidad es conducir la cachaza al tambor de filtrado, se produce variación de amperaje al momento de acumularse demasiada mezcla al inicio del proceso o en presencia de piedras. La utilización de un variador de frecuencia permite reducir la velocidad del motor a medida que existe sobrecarga.

GUSANILLO A LA TOLVA

Es un Sinfín accionado por un motor de 2Hp con un amperaje nominal de 3.1 A de la marca WEG. Su propósito es transportar la cachaza residual del tambor de filtrado a la tolva para luego ser enviada como abono a las plantaciones. La variación de amperaje se presenta en el momento del depósito de cachaza con la presencia de piedras al sinfín.

SARANDA ELÉCTRICA

Es accionada por un motor eléctrico de 2 Hp que tiene un amperaje nominal de 3.1 A perteneciente a la marca Westinghouse. Se utiliza para realizar un movimiento vibratorio al líquido proveniente del tanque de jugo clarificado N°1, la variación de amperaje se origina en el momento que el líquido ingresa a la saranda.

TAMBOR FILTRO DE CACHAZA

Utilizada un motor eléctrico de 2 Hp con un amperaje nominal de 3.1 A de la marca WEG. Su propósito es realizar el movimiento giratorio del tambor en la cual se encuentran los filtros de cachaza, la variación del amperaje es causado por la cantidad de cachaza que filtra pudiendo existir residuos impregnados en el filtro que deben ser desechados manualmente. Se utiliza para su accionamiento un variador de frecuencia que permite la reducción de velocidad del motor en el momento de sobrecarga.

BATIDOR SEPARADOR

Es una paleta giratoria ubicada en el tanque de jugo clarificado que utiliza un motor eléctrico de 2 Hp con un amperaje nominal de 3.1 A de la marca WEG. Su finalidad es separar constantemente los sólidos en suspensión del jugo clarificado, la variación del amperaje se produce en el momento de existir el impedimento de gran cantidad de sólidos en la superficie del tanque.

LAVADOR DE TUBOS N° 1

El lavador de tubos es utilizado solamente cuando se realiza el mantenimiento, es accionado por un motor de 2 Hp con un amperaje nominal de 3.1 A de la marca WEG. Tiene como propósito crear el movimiento giratorio a un eje que limpia los sedimentos de la cal en los tubos de los tachos. Su amperaje se produce a medida que ingresa el eje a los tubos encontrando impregnaciones de cal en sus paredes.

BOMBA SAPO No 2

Conformada por un motor eléctrico de 0.75 Hp con un amperaje nominal de 1.8 A de la marca Alconsa. Tiene como propósito bombear los lodos que se separan del tanque de jugo clarificado N°2 para ser llevados a la mezcladora de cachaza y su posterior filtrado en tambores rotativos. El amperaje varía producto del bombeado de sedimentos compuestos por piedras, bagacillo y demás basura.

BOMBA DE JUGO CRUDO

Emplea un motor eléctrico de 10 Hp con un amperaje nominal de 12.6 A de la marca General Electric, su finalidad es bombear el guarapo o jugo crudo del tanque al calentador N°1, la variación de amperaje se presenta en el momento que se produce el llenado del tanque, es accionado por medio de un variador de frecuencia que trabaja con sensores de nivel del tanque.

BOMBA DE JUGO ENCALADO

Emplea un motor eléctrico de 20 Hp con un amperaje nominal de 28.4 A de la marca Siemens, su finalidad es bombear el guarapo o jugo crudo del tanque al calentador N°2, la variación de amperaje se presenta en el momento que se produce el llenado del tanque, es accionado por medio de un variador de frecuencia que trabaja con sensores de nivel del tanque.

BOMBA DE EVAPORADORES

Emplea un motor eléctrico de 30 Hp con un amperaje nominal de 52 A de la marca Siemens, su finalidad es bombear agua fría a los evaporadores, la variación de amperaje se presenta en el momento que se eleva el agua desde el tanque de agua de fábrica a una altura de 25 m, es accionado por medio de un variador de frecuencia que reduce la velocidad del motor a medida que sea necesario.

2.6.3. COMPORTAMIENTO DE LA TENSIÓN

Durante la campaña de mediciones se realizó la medición de la tensión durante las 24 horas por considerarse que existe un proceso continuo. A continuación en la figura 2.13 se puede observar que en el lapso del tiempo desde la 01H00 hasta las 11H00 existe bajo voltaje que se mantiene constante en las fases, debiendo llegar a lo nominal que es 265 V pero se mantiene dentro de los límites aceptables del $\pm 7\%$. Con respecto al desbalance de voltaje de la Fase 1 no sobrepasa el límite del $\pm 2\%$.

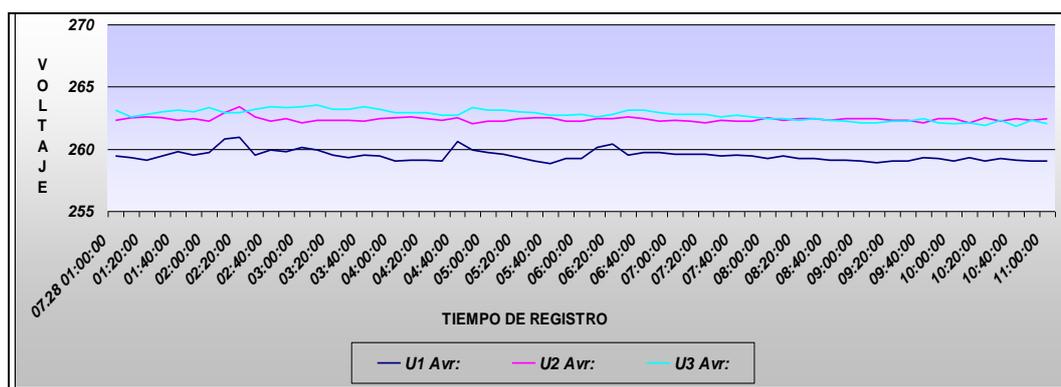


Figura 2.13 Voltaje de Fases en el Centro de Carga Meladura desde la 01H00 AM a 11H00 PM.

2.6.4. COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE.

La medición realizada durante las 24 horas nos muestra la presencia de variaciones de corriente durante las 17H00 a las 06h50. Se evidencia en la Figura 2.14 disminuciones

de la corriente, debido a la desconexión de la Bomba de Evaporadores, y por consiguiente elevaciones de corriente producto de la conexión del motor de la Bomba de Jugo Crudo y después de un lapso de tiempo la conexión de la Bomba de Jugo Encalado.

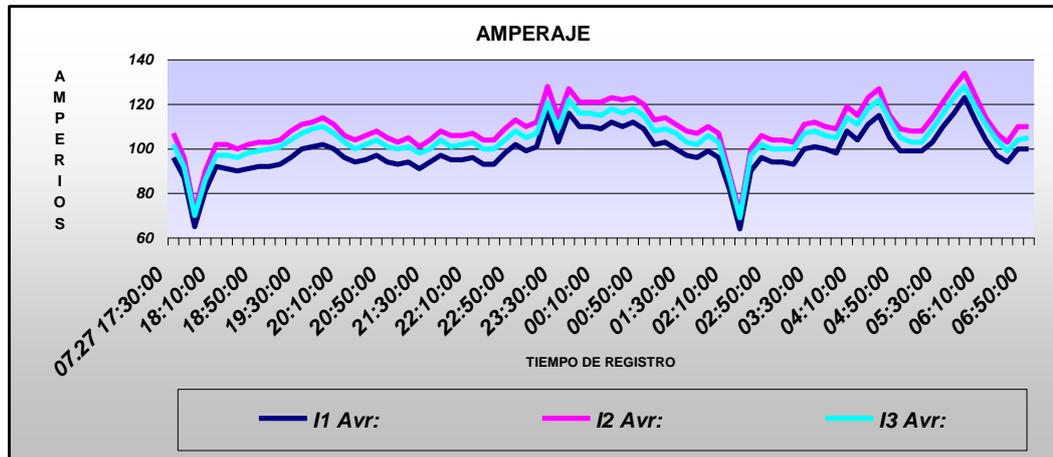


Figura 2.14 Amperaje de las Fases en el Centro de Carga Meladura desde la 17H30 a 06H50.

2.6.5. COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO GENERAL

Con la finalidad de evaluar las posibilidades reales y mejorar la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura, se realizó una campaña de mediciones con equipos eléctricos y electrónicos tales como: multímetros, analizadores de potencia y energía con capacidad de grabar la información de campo para su análisis posterior en el computador. El tiempo de medición que se estimó conveniente es de 24 horas, esto se consideró por que en la planta existe un régimen de trabajo continuo durante todo los días, lográndonos obtener datos significativos cada 10 minutos en la instalación y poder conocer como se encuentran los límites de la Calidad de la Energía Eléctrica.

Los resultados de estas mediciones se presentan en los siguientes Gráficos:

En la figura 2.15 se observa la potencia Aparente, la cual sufre un descenso a las 17H40, debido a la desconexión del motor de la Bomba de Meladura Tratada, posteriormente la potencia absorbida se mantiene constante sin variaciones significativas. Se puede decir que no existe un consumo muy representativo para este centro de carga, debido a que los motores de mayor potencia se accionan de acuerdo al requerimiento del proceso, acción por lo cual no se toma en cuenta una evaluación energética. En cuanto a la Potencia Activa y Reactiva las variaciones están referidas en base a la potencia Aparente como se muestra en la figura 2.16.

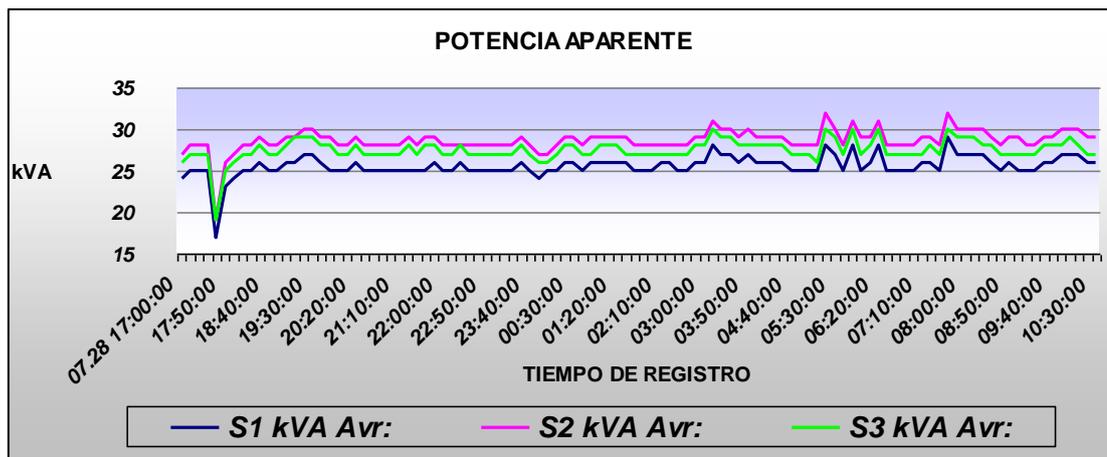


Figura 2.15 Potencia Aparente de Fases desde la 17H00 a 10H30 .

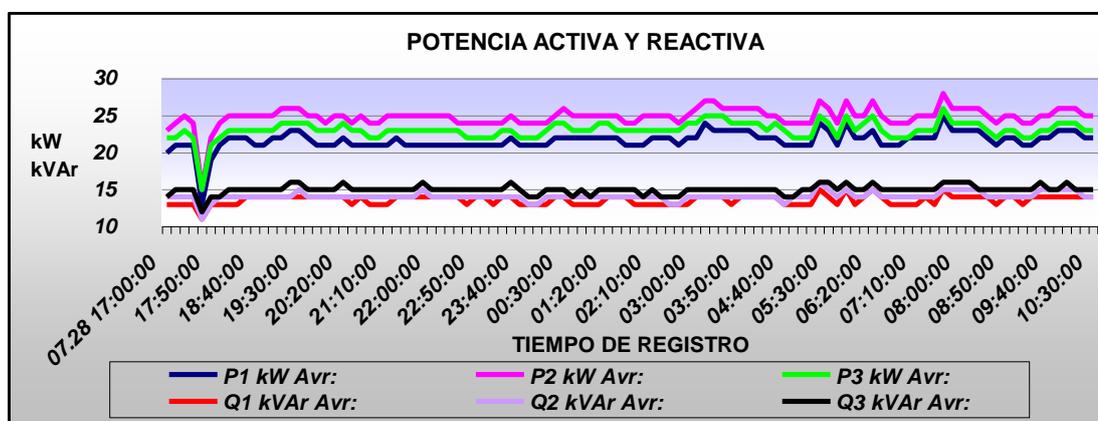


Figura 2.16 Potencia Activa y Reactiva en fases desde la 17H00 a 10H30.

En la figura 2.17 se muestra la tendencia del factor de potencia durante el tiempo de registro, con un promedio igual al 0,85, se establece que se encuentra dentro del rango mínimo permitido, lo cual en un futuro al aumentar la carga en el Centro de Meladura incidirá en la disminución del factor de potencia.

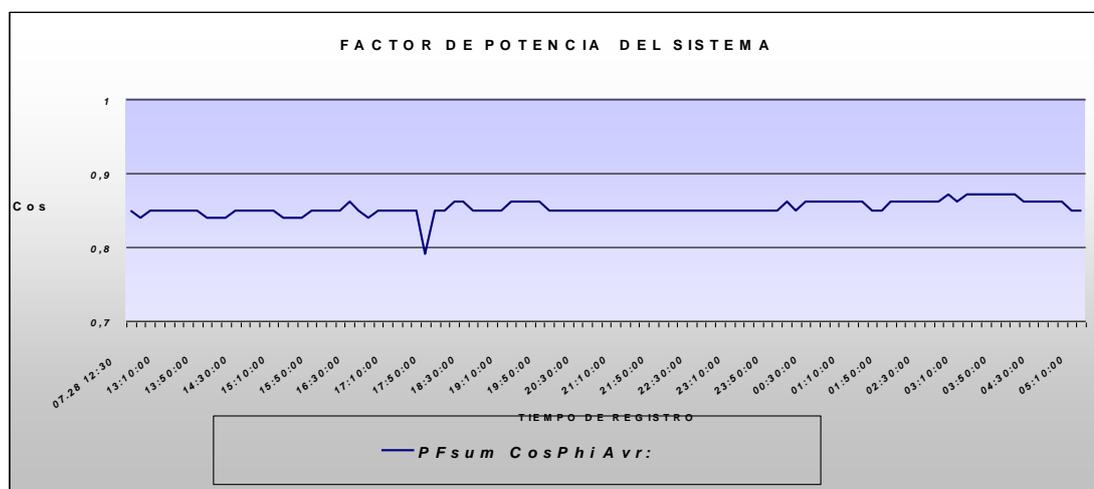


Figura 2.17 Factor de Potencia en el Sistema desde la 12H30 a 05H10.

La Figura 2.18 indica el Nivel de THD de Voltaje en porcentaje de las Fases, se evidencia que la Fase 3 se encuentra sobre el límite máximo, lo cual es producido por la relación entre la corriente armónica circulante de la instalación y su impedancia, provocando que exista en la fuente de alimentación principal una tensión armónica residual que acaba sumándose al suministro de la instalación. La figura 2.19 nos permite determinar que armónico individual esta presentando el problema, se concluye que el tercer armónico en la Fase 3 se encuentra por encima del 3% del límite aceptable en la tabla 1.2. Este factor no presenta problemas en la instalación pero en un futuro será necesario tomar los correctivos pertinentes para mejorar este problema.

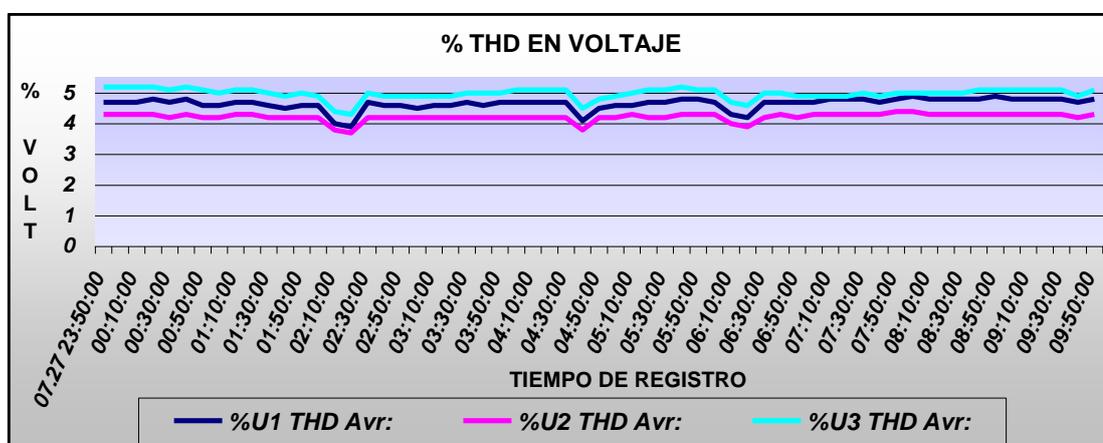


Figura 2.18 Porcentaje de THD en Voltaje de Fases en el Centro de Carga Meladura desde las 23H50 a 09H50.

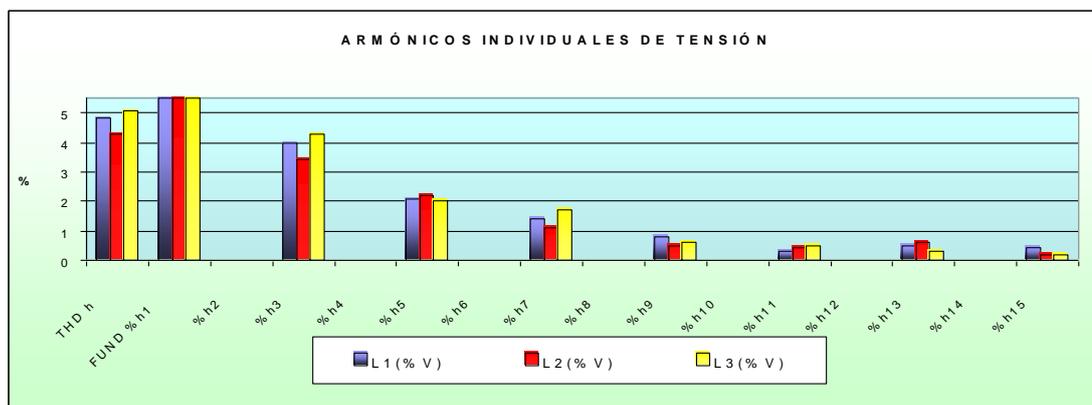


Figura 2.19 Porcentaje de Armónicos Individuales en el Centro de Carga Meladura.

En la Figura 2.20 se realiza el análisis del THD de amperaje de las Fases, lo cual nos indica que se encuentra muy por encima del límite aceptable que es del 5 % como se indica en la tabla 1.3. Mediante la figura 2.21 se logra determinar que el 5 to armónico individual de las Fases llega a niveles de 39 A que representa el 38,9 %, mientras que el 7 mo armónico individual de las Fases llega a niveles de 18 A que representa el 17.6 %, los cuales inciden en el THD de corriente.

La causa de esta distorsión es producida por los rectificadores de 6 pulsos de los variadores de frecuencia, los cuales no cuentan con el respectivo filtro de armónicas interno, solamente se encuentran conectadas inductancias a las entradas de los motores las cuales reducen el amperaje de rizo.

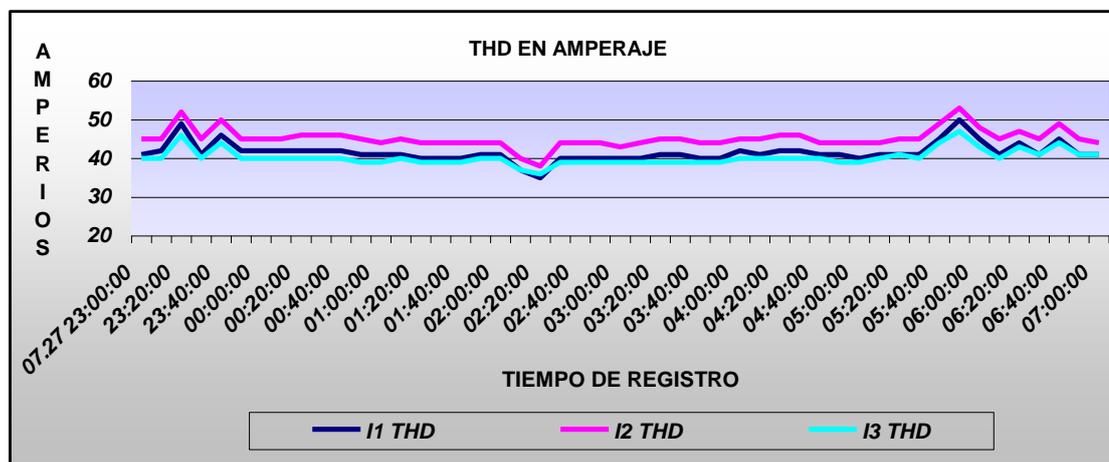


Figura 2.20 THD I de Fases en el Centro de Carga Meladura desde la 11H00 a 07H00.

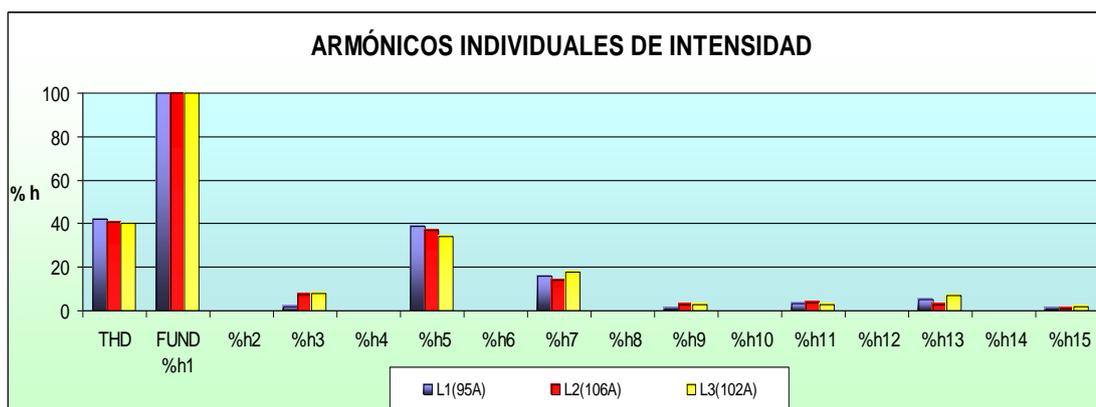


Figura 2.21 Armónicos individuales de intensidad en % de las Fases del Centro de Carga Meladura.

2.7. DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA



Figura 2.22 (a) Transformador de 50 kVA. (b) 3 Barras de Cu de 1" de altura, 1/4" de espesor, 17" de longitud pertenecientes al transformador de 50 kVA.

Para la iluminación de la fábrica y de todos los procesos se cuenta con la distribución secundaria del transformador de 50 kVA, está ubicado en un cuarto bajo los Turbogeneradores viejos, posee conexión monofásica que permite obtener un voltaje de 230 V utilizado para la alimentación de lámparas de mercurio y un voltaje de 115V para la acometida habitual.

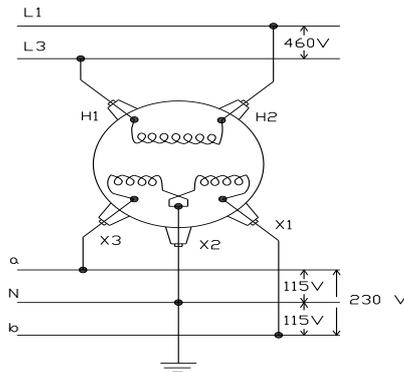


Figura 2.23 Conexión primaria de 2 hilos del transformador monofásico de 50 kVA.

La figura 2.23 indica el tipo de conexión que posee el transformador de 50 kVA y la distribución secundaria de voltaje que alimentan 3 barras, el voltaje primario es de 460 V y el voltaje secundario es de 230 V/115V.

2.7.1. ESPECIFICIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA.

En la iluminación de la fábrica se mantiene un régimen de trabajo constante durante todos los días, la mayor demanda de energía se produce a partir de las 18H00 a 06H00, debido al encendido de las lámparas de sodio y mercurio las cuales tienen una característica especial que pueden soportar una variación de voltaje de $\pm 10\%$, en cuanto a las lámparas fluorescentes funcionan con balastos (autoestabilizadores) que disminuyen la variación de voltaje para mejorar el flujo luminoso.

2.7.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS ACOMETIDAS Y CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN Y TOMACORRIENTES DE LA FÁBRICA.

2.7.2.1. TABLERO GENERAL No 1

La distribución secundaria del transformador de 50 kVA, se realiza por medio de tres barras de cobres como se muestran en la figura 2.22 (b), que alimentan 2 Tableros Generales y estos a su vez alimentan varios Tableros de Distribución, también se comprueba las conexiones directas de tableros de distribución a las barras, a continuación se detalla la circuitería en la fábrica.

El Tablero General No 1 mostrado en la figura 2.24, está ubicado en el cuarto de los turbogeneradores viejos, se alimenta desde el transformador con dos alambres de 6 THW para las fases y un alambre de 6 THW para el neutro, también se evidencia que los circuitos C5, C6, C9, C10, C12 y C13 se encuentran desconectados del tablero general N°1.



Figura 2.24 Tablero General No 1

A continuación se detalla la caracterización de los circuitos conectados:

CIRCUITO No 1 Y No 2: ALUMBRADO PATIO DE CAÑA

Tabla 2.10 Características del Circuito No 1 y No 2

Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
11	Sodio 400 W de 220 V	10 TW	4.4

El alambre es conducido desde el TG1 a las lámparas por tubería de ½” de hierro. Los breakers tienen una capacidad de 30 A cada uno de donde se realiza el encendido y apagado de las lámparas, poseen un régimen de trabajo diario desde las 18H00 a 06H00.

CIRCUITO No 3 Y No 4: ALUMBRADO DE LOS TACHOS

Tabla 2.11 Características del Circuito No 3 y No 4

Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
10	Mercurio 250 W de 220 V	10 TW	2.5

El alambre es conducido por canaletas de metal hasta el sitio del proceso donde es conducido por tubería de hierro de ½” para las derivaciones de las lámparas. El accionamiento se realiza directamente de los breakers que tienen una capacidad de 30 A respectivamente, su régimen de trabajo diario comienza desde las 18H00 a 06H00.

CIRCUITO No 7 Y No 8: ALUMBRADO DEL TURBOGENERADOR NUEVO

Tabla 2.12 Características del Circuito No 7 y No 8

Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
9	Mercurio 250 W de 220 V	10 THW	2.25

El alambre en este circuito es conducido por tubería de hierro de ½” desde TG1 a las lámparas y son accionadas por breakers que tienen una capacidad de 20 A respectivamente, su régimen de trabajo diario es desde las 18H00 a 06H00.

CIRCUITO No 11: ALUMBRADO BAJO TURBOGENERADORES VIEJOS

Este circuito es accionado por un breaker con una capacidad de 30 A, el cual por medio de 1 cable de 12 THW para la fase y 1 de 12 THW para el neutro alimentan un Tablero de Distribución N°1 que se conforma por los siguientes circuitos:

Tabla 2.13 Características del Circuito No 11

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C1	10	Fluorescentes 40W de 110 V	10 THW	0.4
C2	16	Fluorescentes 40W de 110 V	10 THW	1.6
C3	6	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.24
			TOTAL =	2.24

En los circuitos pertenecientes al Tablero de Distribución N°1, los accionamientos son realizados por breakers que tienen una capacidad de 15, 15, 20 Amperios respectivamente. Toda la circuitería es conducida por tubería de hierro de ½”, el régimen de funcionamiento diario empieza desde las 18H00 a 06H00.

2.7.2.2. TABLERO GENERAL No 2



Figura 2.25 Tablero General No 2.

El Tablero General No 2 se encuentra ubicado junto al Tablero General N°1 en el cuarto de los turbogeneradores viejos, es alimentado desde el transformador con dos alambres de 6 THW para las fases y uno de 6 THW para el neutro, también se evidencia la desconexión de los circuitos no descritos, los mismos que pueden habilitarse

dependiendo del requerimiento que sea necesario, la caracterización de los circuitos conectados se detallan a continuación:

CIRCUITO No 6: ILUMINACIÓN DEL TALLER ELÉCTRICO Y MECÁNICO.

Este circuito es accionado por un breaker con una capacidad de 20 A, el cual por medio de un cable de 10 TW para la fase y uno de 10 TW para el neutro alimentan un Tablero de Distribución N°1 que se conforma por los siguientes circuitos:

Tabla 2.14 Características del Circuito No 6

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C1	12	Fluorescentes 40W de 110 V	10 THW	0.48
C2	16	Fluorescentes 40W de 110 V	14 THW	1.6
C3	8	Fluorescentes 40W de 110 V	14 THW	0.32
C6	1	Ventilador de 300W	12 THW	0.3
			TOTAL =	2.7

En el Tablero de Distribución N°1, el accionamiento en los circuitos de iluminación son realizados por interruptores, incluso al ventilador. Toda la circuitería es conducida por tubería de hierro de ½”, posee un régimen de funcionamiento diario las 24 Horas a excepción del taller mecánico que funciona desde las 06H00 a 16H00, siendo necesario el alto nivel de iluminación que se requiere en áreas de inspección, selección y mantenimiento.

En los circuitos de tomacorrientes se conectan máquinas herramientas con un régimen eventual, lo cual no representa una carga significativa.

CIRCUITO No 9 y No 11: ALUMBRADO CALDERA N°2 Y BODEGA DE BAGAZO.

Tabla 2.15 Características del Circuito No 9 y No 11

Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
8	Mercurio 250 W de 220 V	12 THW	2

El alambre es conducido por canaletas de metal hasta la bodega de bagazo para luego ser distribuido por tubería de hierro de ½” para las derivaciones de las lámparas. El accionamiento se realiza directamente de los breakers que tienen una capacidad de 20 A respectivamente, este circuito posee un régimen de trabajo diario que empieza desde las 18H00 a 06H00.

CIRCUITO No 10: ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE GUARAPERA.

Este circuito es accionado por un breaker con una capacidad de 30 A, el cual por medio de un cable de 10 TW para la fase y uno de 10 TW para el neutro, alimenta los siguientes circuitos los cuales carecen de tablero de distribución:

Tabla 2.16 Características del Circuito No 10

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C1	12	Fluorescentes 20W de 110 V	10 TW	0.24
			TOTAL =	0.24

Toda la circuitería es conducida por tubería de hierro de ½”, posee un régimen de funcionamiento diario las 24 Horas, esto debido al alto nivel de iluminación que se requiere en áreas de procesos.

CIRCUITO No 24 y No 26: ILUMINACIÓN Y TOMACORRIENTES EN EL ÁREA DE CENTRÍFUGAS.

Tabla 2.17 Características del Circuito No 24 y No 26

Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
5	Mercurio 250 W de 220 V	10 THW	1.25

Este circuito es accionado por breakers con una capacidad de 30 A respectivamente, la circuitería es conducida por tubería de hierro de ½”, este circuito posee un régimen de trabajo diario que empieza desde las 18H00 PM a 06H00 AM.

CIRCUITO No 9 y No 11: ALUMBRADO DEL ÁREA DE MOLINOS.

Tabla 2.18 Características del Circuito No 9 y No 11

Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
8	Mercurio 250 W de 220 V	12 THW	2

El alambre es conducido por canaletas de metal hasta el área de los molinos donde luego es distribuido por tubería de hierro de ½” a las derivaciones de las lámparas. El accionamiento se realiza directamente de los breakers que tienen una capacidad de 20 A respectivamente, este circuito posee un régimen de trabajo diario que empieza desde las 18H00 a 06H00.

2.7.2.3. TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN ALIMENTADOS DESDE LAS BARRAS DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN No 1

Es alimentado directamente desde las barras del transformador de 50 kVA, por medio de dos cables de 10 TW para las fases y uno de 10 TW para el neutro, este tablero se conforma por los siguientes circuitos:

Tabla 2.19 Características del Tablero de Distribución No 1

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C1	10	Fluorescentes 20W de 110 V	10 TW	0.2
C2	2	Fluorescentes 40W de 110 V	10 TW	0.08
C2	2	Fluorescentes 20W de 110 V	10 TW	0.04
C4	10	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.4
C4	2	Fluorescentes 20W de 110 V	12 THW	0.04
C5	17	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.68
C6	2	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.08
C6	4	Fluorescentes 20W de 110 V	12 THW	0.08
C7	4	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.16
C7	2	Fluorescentes 20W de 110 V	12 THW	0.04
			TOTAL =	1.8

Toda la circuitería es distribuida por tubería de hierro de ½” el accionamiento se realiza mediante breakers, posee un régimen de funcionamiento diario las 24 Horas, esto debido al alto nivel de iluminación que se requiere en el 1 er, 2 do y 3 er piso de elaboración de los procesos.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN No 2

Es alimentado directamente desde las barras del transformador de 50 kVA, por medio de dos cables de 10 TW para las fases y uno de 10 TW para el neutro, se evidencia que el C1 se encuentran desconectado del tablero de distribución No 2, a continuación se indican los circuitos que conforman el tablero de distribución:

Tabla 2.20 Características del Tablero de Distribución No 2

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C2 y C3	7	Mercurio 250 W de 220 V	10 TW	1.75
C4	12	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.48
C4	2	Fluorescentes 20W de 110 V	12 THW	0.04
C6 y C7	1	Ventilador 500 W de 220 V	10 TW	0.5
C8	10	Fluorescentes 40W de 110 V	14 THW	0.4
			TOTAL =	3.17

Toda la circuitería es distribuida por tubería de hierro de ½” el accionamiento se realiza directamente mediante los breakers con excepción del Circuito 8 donde se utiliza interruptores, el circuito 2 y 3 tiene un régimen de trabajo diario que empieza desde las 18H00 a 06H00, los demás circuitos poseen un régimen de funcionamiento diario las 24 Horas, esto debido al alto nivel de iluminación que se requiere en las áreas de pesaje, enfundadora y bodega de azúcar.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN No 3

Es alimentado directamente desde las barras del transformador de 50 kVA, por medio de dos cables de 10 TW para las fases y uno de 10 TW para el neutro, a continuación se detalla los circuitos:

Tabla 2.21 Características del Tablero No 3

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C1	10	Fluorescentes 40W de 110 V	12 THW	0.4
C2 y C4	1	Aire Acond. de 1200 W	10 THHN	1.2
C7	8	Tomacorrientes	10 THHN	0.35
			TOTAL =	1.95

Toda la circuitería es conducida por tubería de hierro de ½” el accionamiento de las lámparas se realiza mediante interruptores, posee un régimen de funcionamiento diario las 24 Horas, esto debido al alto nivel de iluminación que se requiere en el cuarto de centros de carga. En el circuito 7 de tomacorrientes se mantiene conectado un computador con su respectivo UPS.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN N°4

Es alimentado directamente desde las barras del transformador de 50 kVA, por medio de dos cables de 10 TW para las fases y uno de 10 TW para el neutro, a continuación se indica los demás circuitos:

Tabla 2.22 Características del Tablero de Distribución No 4

Circuito	Cantidad	Tipo de lámparas	Tipo de cable	Carga instalada en kW
C1	6	Fluorescentes 40W de 110 V	14 TW	0.24
C1	2	Focos de 100 W	14 TW	0.2
C2	16	Fluorescentes 40W de 110 V	14 TW	0.64
C3	9	Fluorescentes 40W de 110 V	14 TW	0.36
C4	6	Tomacorrientes	10 THHN	0.7
C7	9	Fluorescentes 40W de 110 V	14 TW	0.36
C8	11	Tomacorrientes	10 THHN	0.35
C9	12	Tomacorrientes	10 THHN	1.05
C10 y C11	2	Aire Acond. de 1200 W	12 TW	2.4
C10 y C11	1	Congelador de 400 W	12 TW	0.4
			TOTAL =	6.7

Toda la circuitería es conducida por tubería de hierro de ½” el accionamiento de las lámparas se realiza mediante interruptores, posee un régimen de funcionamiento diario desde las 07H00 a 17H00.

En el circuito 4 se encuentran conectados 2 computadores con su respectivo UPS, en el circuito 8 se encuentra conectado un computador con UPS, en el circuito 9 se encuentran conectado 3 computadores con UPS cada uno.

2.7.3. COMPORTAMIENTO DE LA TENSIÓN

Al realizar las mediciones en las fases primarias del Transformador de 50 kVA se tuvo en cuenta que el régimen de trabajo es constante por lo cual se registro datos durante las 24 Horas.

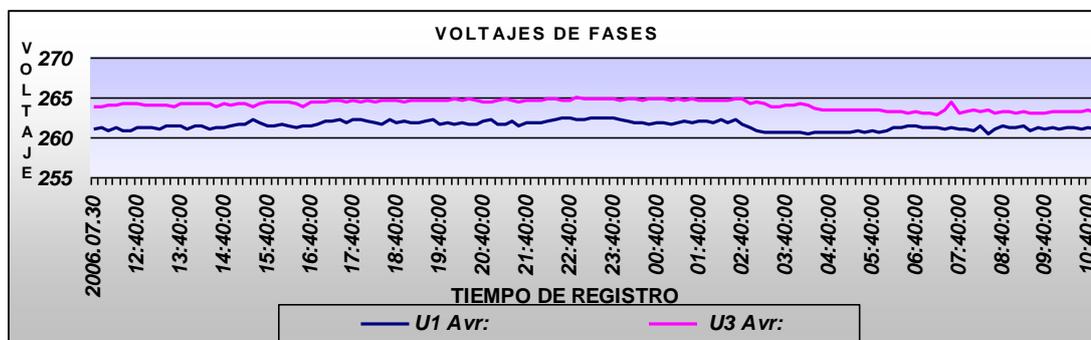


Figura 2.26 Voltaje de Fases en el Transformador de 50 kVA desde la 11H40 a 11H00.

Como se puede observa en la figura 2.26 el voltaje en las Fases presenta variaciones aceptables que se mantienen dentro de los límites $\pm 7\%$ del voltaje nominal de 265 V. Existe desbalance de las Fases, pero se mantiene dentro del límite de $\pm 2\%$.

2.7.4. COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE

En cuanto se refiere a la corriente se observa en la figura 2.27 que las 2 Fases se encuentran balanceadas. A partir de las 17H20 hasta las 06H00 se produce una sobrecarga en las Fases, debido al accionamiento de las Lámparas de mercurio y de Sodio las cuales representan la mayor carga de iluminación en el Transformador de 50 kVA, a las 09H00 se produce una subida del amperaje debido a la carga del tablero de distribución de las oficinas.

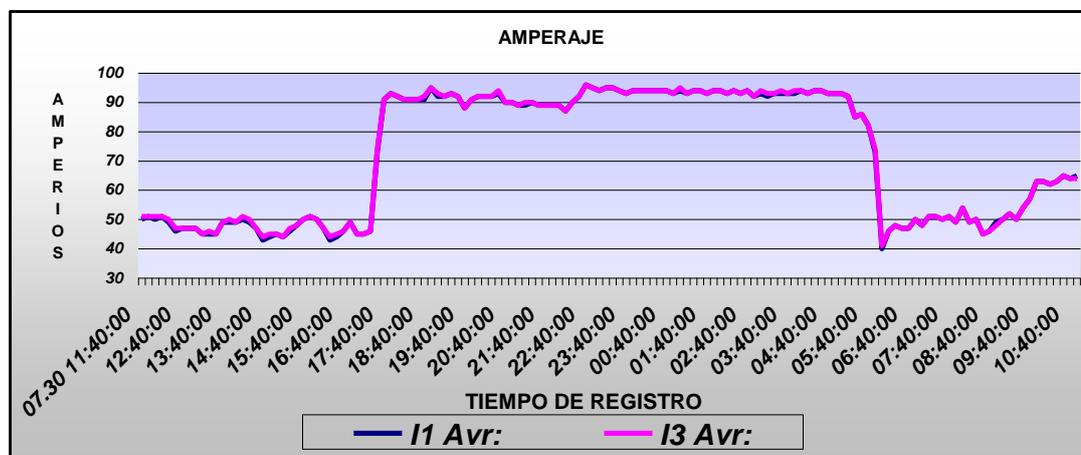


Figura 2.27 Amperaje de Fases en el Transformador de 50 kVA desde la 11H40 a 11H00.

2.7.5 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO GENERAL

El tiempo de la campaña de mediciones que se estimó conveniente fue de 24 horas porque mantiene un funcionamiento constante durante todos los días, las mediciones se realizaron en las Fases primarias del transformador de 50 kVA, a continuación se presentan mediante gráficos como se encuentran los límites de la Calidad de la Energía Eléctrica: En la figura 2.28 se observa la potencia Aparente, la cual asciende a partir de las 17H20 hasta las 06H00, debido a la conexión de las lámparas de mercurio y sodio que representan el mayor consumo de energía en el transformador de 50 kVA que funciona a la mitad de su capacidad. En cuanto se refiere a la Potencia Activa y Reactiva las variaciones están referidas en base a la potencia Aparente como se muestra en la figura 2.29, se puede observar que en la Fase 3 se mantiene una potencia reactiva baja, mientras en la Fase 1 la potencia reactiva es muy elevada que incluso llega a sobrepasar la potencia activa, esto es debido al mayor consumo de potencia reactiva producto de los accionamientos de las lámparas de elevada potencia.

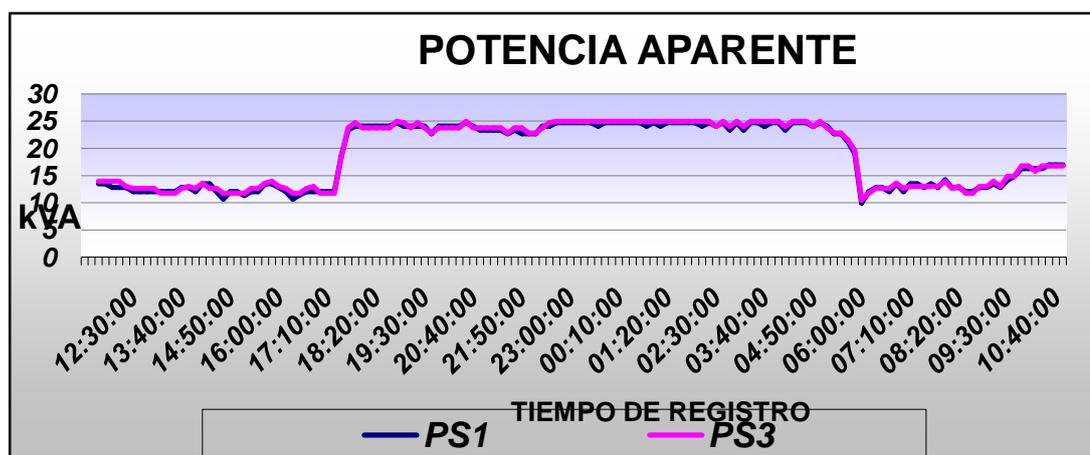


Figura 2.28 Potencia Aparente en las Fases desde las 11H40 a 10H50.

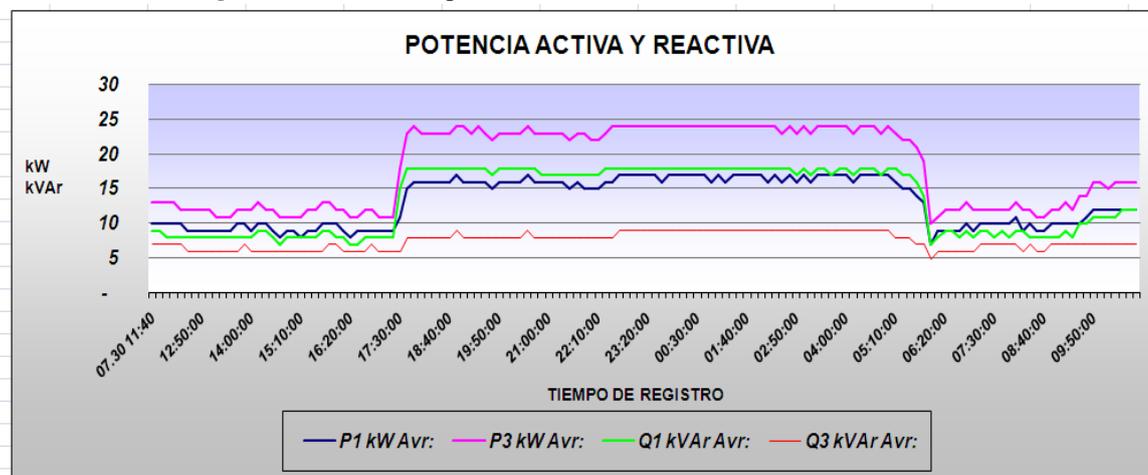


Figura 2.29 Potencia Activa y Reactiva en Fases desde las 11H40 a 10H50.

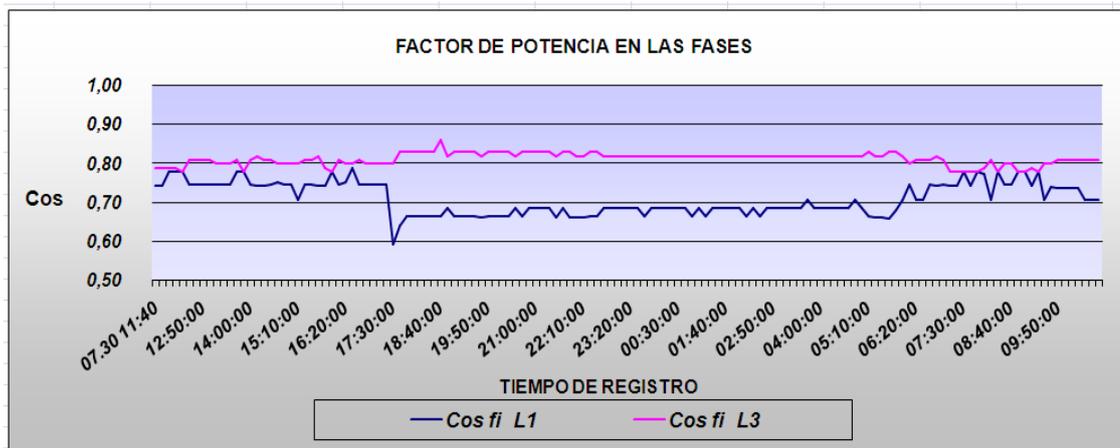


Figura 2.30 Factor de Potencia en las Fases desde las 11H40 a 10H50.

En la figura 2.30 se muestra el nivel del factor de potencia en las Fases durante todo el día, con un promedio igual al 0,64 para la Fase 1 y de 0,81 para la Fase 3, lo cual evidencia que la Fase 3 no se encuentra dentro del rango mínimo permitido, mientras el factor de potencia de la Fase 1 tampoco se encuentra dentro de los límites permitidos, por lo que deben ser compensadas lo antes posible, para que no se produzcan fallos de los equipos y de la propia instalación.

La Figura 2.31 indica el Nivel de THD en porcentaje de las Fases, se evidencia que se encuentran dentro del límite máximo permitido. La figura 2.32 nos permite determinar cual armónico individual esta presentando el problema, concluyendo que el tercer armónico de las dos Fases se encuentra por encima del 3% del límite aceptable en la tabla 1.2. Este factor no presenta problemas en la instalación pero en un futuro será necesario tomar los correctivos pertinentes para mejorar este problema.

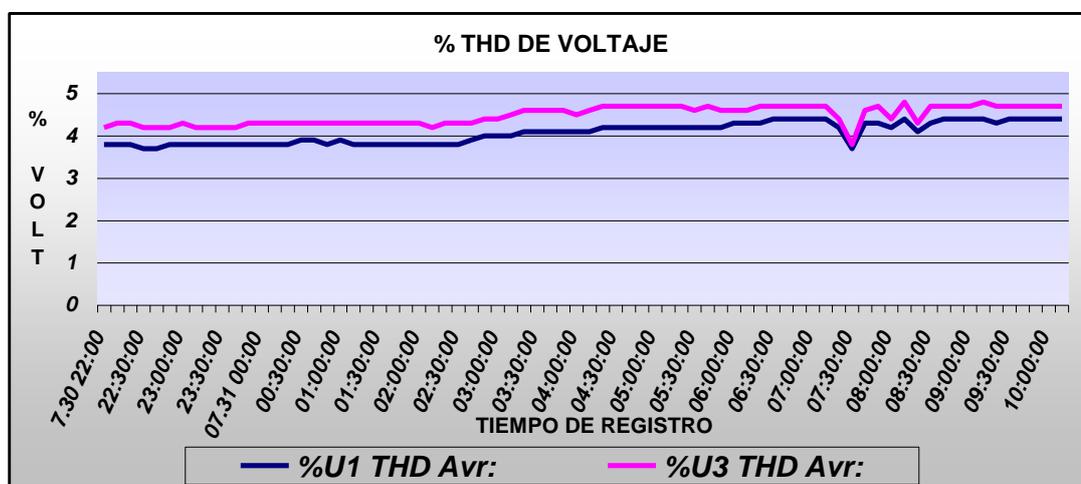


Figura 2.31 Porcentaje THD en Voltaje de Fases del Transformador de 50 kVA desde la 10H00 a 10H00.

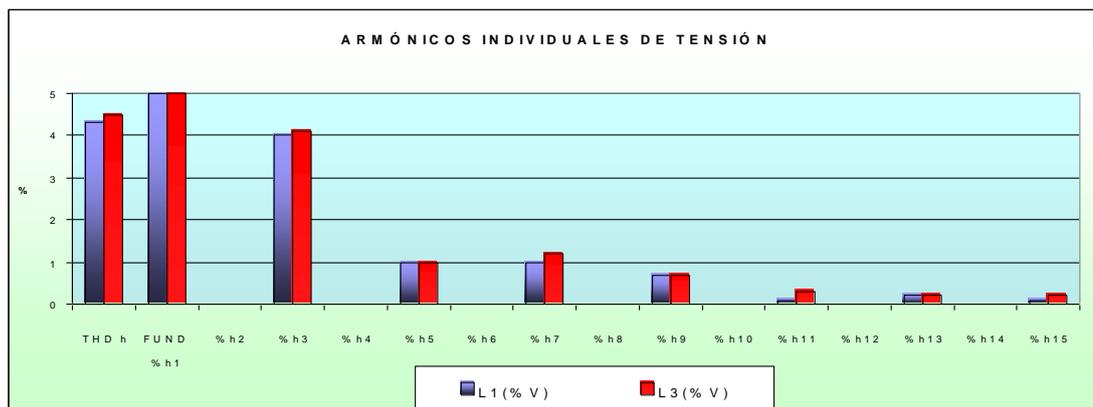


Figura 2.32 Armónicos individuales de Voltaje en % de las Fases del Transformador de 50 kVA.

En la Figura 2.33 se realiza el análisis del THD de amperaje de las Fases, lo cual nos indica que se encuentra dentro del límite aceptable del 5 % como se indica en la tabla 1.3. Mediante la figura 2.34 se logra determinar que el 3 er armónico individual de la Fase 1 llega a un nivel del 2,9 % y el 3 er armónico individual de la Fase 3 llega al nivel del 4.3%, lo cual permite concluir que se encuentran dentro del límite de distorsión del 4 %.

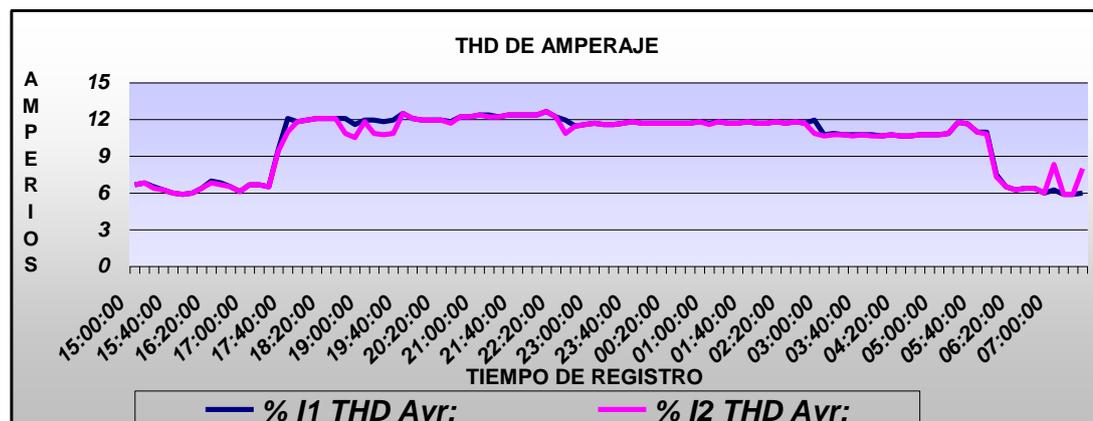


Figura 2.33 THDI de las Fases en el Trasformador de 50 kVA, desde la 15H00 a 07H30.

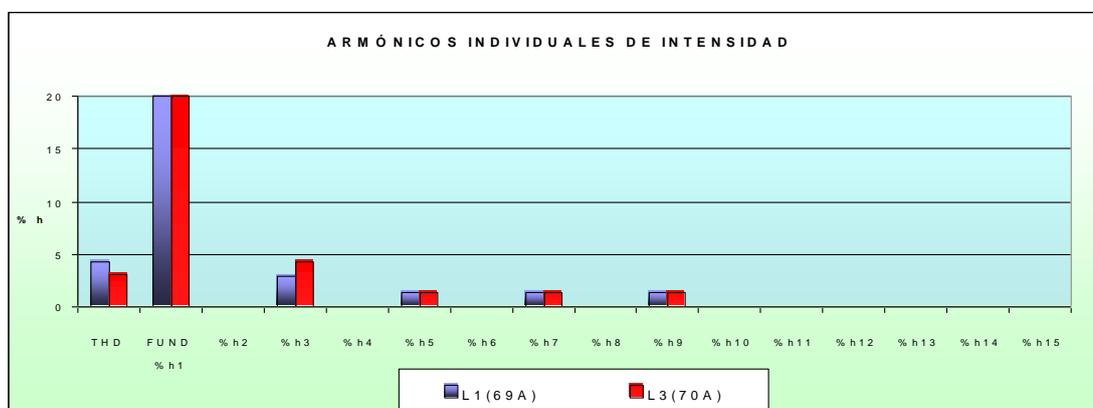


Figura 2.34 Armónicos individuales de Intensidad en % de las Fases del Transformador de 50 kVA.

2.8. CONCLUSIONES

-  La descripción del Ingenio Monterrey MALCA ha permitido conocer su función en la agro industria y los principales sistemas energéticos de la cual dependen, logrando apreciar la falta de instrumentación adecuada para la medición de los principales parámetros eléctricos que interfieren en la Calidad de la Energía Eléctrica, así como la falta de un registro continuo de datos que permita analizar, planificar y mejorar su consumo energético.

-  La caracterización de las maquinas eléctricas en el centro de carga Meladura nos ha permitido saber cuales son los principales generadores de perturbaciones, por lo cual se evidencia que los motores de mayor potencia accionados por medio de variadores de frecuencia generan un 5 to y 7 mo armónico de corriente que se encuentra por sobre los niveles aceptables de los índices de distorsión, también se determina que en este centro de carga se mantiene un bajo factor de potencia de 0,85 que incide en la maniobra de los diferente motores.

-  La descripción de los circuitos de iluminación y tomacorrientes alimentados por el transformador de 50 kVA, ha permitido determinar como se encuentra la instalación, las mediciones realizadas en las Fases del primario del transformador muestran que el mayor consumo de potencia es a partir de las 17H20 hasta las 06H00, debido a la conexión de las lámparas de mercurio y sodio utilizadas para la iluminación de la fábrica, se evidencia que en la Fase 1 el factor de potencia promedio es igual al 0,64 y para la Fase 3 es de 0,81, estando bajo los limites recomendables por (INELAP) siendo del 0,85.

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

-  INTRODUCCIÓN
-  MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA
-  MEDIDAS PARA EL CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA EN LAS FASES PRIMARIAS DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA.
-  VALORACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LAS VARIANTES
-  IMPACTO AMBIENTAL
-  CONCLUSIONES

3.1. INTRODUCCIÓN

Son conocidos los problemas causados por un bajo factor de potencia en Sistemas Eléctricos, como son la regulación de voltajes, funcionamiento inadecuado de máquinas y aumento de pérdidas, lo que en definitiva se traduce en una reducción de la capacidad y eficiencia eléctrica del sistema. La solución ampliamente utilizada ha sido la instalación de bancos de condensadores para la compensación de potencia reactiva. Desafortunadamente estos bancos interactúan con el sistema eléctrico formando circuitos R-L-C que producen resonancias, siendo las frecuencias naturales del sistema una función de las componentes inductivas y capacitivas de la red.

Por otro lado, la presencia de cargas no lineales originan corrientes armónicas, por lo que las frecuencias naturales del sistema pueden ser excitadas por alguna componente armónica cuya frecuencia está cerca o coincide con este modo natural, produciéndose una severa amplificación de voltajes y corrientes.

Por lo tanto es necesario considerar la instalación de Filtros que deban ser capaces de aportar la potencia reactiva necesaria a la red y además absorber las corrientes armónicas, evitando su propagación hacia el resto de la instalación. [17]

En el sistema de iluminación, las características de las lámparas cuando funcionan subtensionadas, se ven afectadas en muchos aspectos que inciden en la Calidad de la iluminación; básicamente, en el flujo que emiten y en el color de la luz que proporcionan.

Por consiguiente, si el circuito al que se conecta una lámpara está subdimensionada y la tensión de suministro de energía eléctrica es menor que la nominal, la calidad de la iluminación puede ser muy inferior a lo previsto o deseado.

Por todo lo indicado, el presente capítulo establece diferentes métodos que mejoran la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de Carga Meladura y en el transformador de 50 kVA, lo cual está basado en un estudio técnico-económico que debe ser viable para la empresa.

3.2. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA

La campaña de mediciones y el análisis de la información de campo realizado en el centro de carga Meladura nos ha permitido identificar y clasificar las mejoras de acuerdo a su importancia en cuanto a la implementación técnica y el nivel de inversión.

Estas mejoras fueron clasificadas en el siguiente orden:

- a) Compensación de la Potencia Reactiva.
- b) Reducción del 5 to y 7 mo armónico en el centro de carga Meladura

3.2.1. COMPENSACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA Y LA REDUCCIÓN DEL 5 to y 7 mo ARMÓNICO EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA

El primer aspecto a tener en cuenta, es la incorporación de un equipo de corrección del factor de potencia y/o filtrado de armónicas; para las características de las cargas a compensar en el centro de carga de Meladura, se ha establecido conveniente presentar varios métodos que sean opcionales para el Ingenio Monterrey MALCA, y viables económicamente para su implementación.

La principal causa de la generación de armónicos es el accionamiento de motores de gran potencia, por medio de variadores de frecuencia, a continuación se detalla sus características:

3.2.1.1. VARIADORES DE FRECUENCIA DE LA BOMBA DE MELADURA TRATADA, BOMBA DE JUGO CRUDO Y DE LA BOMBA DE EVAPORADORES



Figura 3.1 Variadores de Frecuencia CFW 09

Los motores son accionados por variadores de frecuencia de diferente capacidad, son de la marca WEG denominados CFW 09, sus principales características se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Características de los Variadores de Frecuencia CFW-09

Entrada nominal de voltaje	380-480 VAC conexión trifásica a 60 Hz.	
Salida nominal de voltaje	0...Red/ línea	0...170/204 Hz.

En la figura 3.2 se observa el rectificador trifásico de 6 pulsos que conforma este tipo de variadores y que es la principal causa de la generación del 5 to y 7 mo armónico en la instalación.

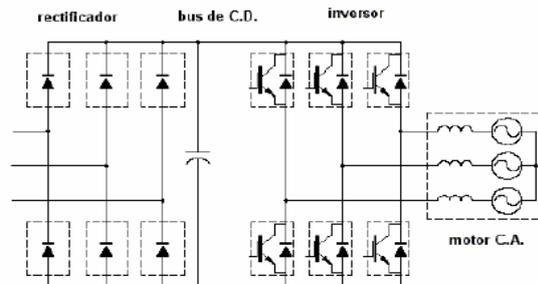


Figura 3.2 Puente Rectificador trifásico de 6 pulsos.

3.2.1.2. VARIADORES DE FRECUENCIA DE LA BOMBA DE JUGO CLARIFICADO Y DE LA BOMBA DE JUGO ENCALADO



Figura 3.3 Variador de Frecuencia PowerFlex 70

Son variadores de frecuencia de la marca ABB denominados PowerFlex 70 para baja tensión, sus principales características se muestra en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Características de los Variadores de Frecuencia PowerFlex 70

Entrada nominal de voltaje	432-628 VAC conexión trifásica de 47 a 63 Hz.	
Salida nominal de voltaje	0...Red/ línea	0...400 Hz.

El tipo de rectificador que conforma este tipo de variadores de frecuencia es trifásico de 6 pulsos igual al mostrado en la figura 3.2.

3.2.2. PRIMER MÉTODO: INSTALACIÓN DE FILTROS EN CADA VARIADOR DE FRECUENCIA

Por recomendación de la marca CIRCUTOR se seleccionan filtros LCL para convertidores, los mismos que son conectados a los variadores de frecuencia de mayor potencia en el centro de carga Meladura.



Figura 3.4 Filtro LCL para Variadores de Frecuencia.

Se trata esencialmente de filtros pasivos a base de una combinación serie-paralelo de inductancias y condensadores, adaptados a filtrar la entrada de los convertidores electrónicos. Los filtros **LCL** son un paso más adelante de la simple reactancia de reducción de rizado y están diseñados para reducir el THD (I) a valores inferiores a un 10 %, de forma que permitan cumplir con las normas IEC-61000-3.4 y IEEE-519. A plena carga se consiguen reducciones de THD (I) por debajo del 5%.

La función principal de los LCL, es la de filtrar los armónicos de corriente de orden 5, 7 y de manera minoritaria 11 y 13, generados por los convertidores de 6 pulsos, reduciendo el THD (I) a valores inferiores al 10 %.

Además, otras ventajas que aporta el filtro es:

-  Eliminación de micro cortes debidos a la conmutación.
-  Disminución del consumo y aumento de la vida de los equipos.
-  Mejora la calidad de la energía eléctrica.
-  Mejora del factor de potencia real (reactiva + armónicos).

Los filtros **LCL** se seleccionan en función de la corriente consumida por el convertidor y de la frecuencia de la red, a continuación en la tabla 3.3 se presentan sus características.

Tabla 3.3 Tabla de características del Filtro para convertidores LCL.

Características	
Tipo	LC L35-32A-400
Código	R73109
Corriente de carga	32 A
Corriente de filtrado	12,8 A
Características Constructivas	
Material armario	Acero tratado y pintado Bastidor RAL 1013, puertas 3005
Grado de protección	IP 20
Sistema de cierre	Llave y cerradura
Ventilación	Natural
Fijación	Sobre suelo
Condiciones ambientales	
Temperatura de trabajo	35 °C
Instalación	Interior
Normas	EN 60439, EN 60831 ; EN-50081-1, EN-50081-2 , clase A

3.2.2.1. TIPOS Y CÓDIGOS SEGÚN EL CATÁLOGO DEL FABRICANTE PARA FILTROS LCL

1.- Filtro LCL para el variador de Frecuencia de la Bomba de Meladura Tratada

Tabla 3.4 Características del filtro para el variador de frecuencia de la Bomba de Meladura

Corriente de la carga $I_c(A)$	Corriente RMS de filtrado $I_F (A)$	Tipo	Código
32	12,8	LC L35-32A-400	R73109

2.- Filtro LCL para el variador de Frecuencia de la Bomba de Jugo Crudo

Tabla 3.5 Características del filtro para el variador de frecuencia de la Bomba de Jugo Crudo

Corriente de la carga $I_c(A)$	Corriente RMS de filtrado $I_F (A)$	Tipo	Código
32	12,8	LC L35-32A-400	R73109

3.- Filtro LCL para el variador de Frecuencia de la Bomba de Evaporadores

Tabla 3.6 Características del filtro para el variador de frecuencia de la Bomba de Evaporadores

Corriente de la carga $I_c(A)$	Corriente RMS de filtrado $I_F (A)$	Tipo	Código
76	30,4	LC L35-76A-400	R73114

4.- Filtro LCL del variador de frecuencia de la bomba jugo clarificado N°1 y N°2

Tabla 3.7 Características del filtro para el variador de frecuencia de la Bomba Jugo Clarificado

Corriente de la carga $I_c(A)$	Corriente RMS de filtrado $I_F (A)$	Tipo	Código
32	12,8	LC L35-32A-400	R73109

5.- Filtro LCL para el variador de frecuencia de la Bomba de Jugo Encalado

Tabla 3.8 Características del filtro para el variador de frecuencia de la Bomba de Jugo Encalado

Corriente de la carga I_c (A)	Corriente RMS de filtrado I_F (A)	Tipo	Código
32	12,8	LC L35-32A-400	R73109

3.2.3. SEGUNDO MÉTODO: INSTALACIÓN DE UN FILTRO EN LAS BARRAS DEL CENTRO DE CARGA MELADURA

Los filtros están formados por tantas ramas o grupos de ramas L-C como armónicos se desee filtrar. La frecuencia de resonancia a 60 Hz de todas las ramas es la misma y suele escogerse entre 180 y 227 Hz de acuerdo al armónico a filtrar, para el 5 to armónico se escoge 300 Hz y para el 7 mo armónico se escoge 420 Hz, dependiendo de esto se genera una determinada sobretensión en los condensadores entre un 5 y 7%. Por consiguiente el filtro de choque permite: [18]

-  Impedir que los capacitores absorban una corriente armónica excesiva.
-  Proteger a los capacitores.
-  Evitar resonancias.
-  Corregir el factor de potencia a frecuencia fundamental.

Mediante las mediciones en el centro de carga Meladura se determinó que el factor de potencia promedio se encuentra en 0,85 la mayoría de las instalaciones no se compensa hasta alcanzar un valor de $\cos \phi 1$, pues entonces podrían aparecer fenómenos de resonancia. Suelen ser suficientes valores menores de 0.9 a 0.95. [19]

3.2.3.1. SELECCIÓN DEL CONDENSADOR

Para compensar el factor de potencia de 0,85 hasta un valor del 0,94 es necesario determinar el factor K en la tabla 3.9:

Factor $K = 0.257$, para elevar el $\cos \phi 0,85$ hasta $\cos \phi 0,94$.

Se multiplica la Potencia Activa de salida del centro de Carga Meladura por el factor K para determinar el valor del Capacitor.

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia, requerida} &= \text{Potencia, Activa} \times K & (3.1) \\
 &= 115 \text{ kW} \times 0.257 = 29,55 \text{ kVAr.}
 \end{aligned}$$

Normalizando se selecciona un condensador de potencia = 30 kVAr.

Tabla 3.9 Tabla para determinar el Factor K

		cos ϕ_p	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
		tan ϕ_p	0,62	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
cos ϕ_p , tan ϕ_p														
0,50	1,73		1,112	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
0,55	1,52		0,898	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
0,60	1,33		0,713	0,849	0,878	0,907	0,938	0,971	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,334
0,65	1,17		0,549	0,685	0,713	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,918	0,966	1,026	1,169
0,70	1,02		0,400	0,536	0,564	0,594	0,625	0,657	0,691	0,728	0,769	0,817	0,878	1,020
0,75	0,88		0,262	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,740	0,882
0,80	0,75		0,130	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,85	0,62	---	---	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,86	0,59	---	---	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,451	0,593
0,87	0,57	---	---	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,88	0,54	---	---	0,055	0,084	0,114	0,144	0,177	0,211	0,248	0,289	0,336	0,397	0,539
0,89	0,51	---	---	0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,262	0,309	0,370	0,512
0,90	0,48	---	---	---	0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484
0,91	0,45	---	---	---	---	0,030	0,060	0,092	0,127	0,164	0,205	0,252	0,313	0,455
0,92	0,42	---	---	---	---	---	0,030	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,283	0,426
0,93	0,39	---	---	---	---	---	---	0,032	0,066	0,103	0,144	0,192	0,253	0,395
0,94	0,36	---	---	---	---	---	---	---	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,95	0,33	---	---	---	---	---	---	---	---	0,037	0,078	0,125	0,186	0,328
0,96	0,29	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,041	0,088	0,149	0,292
0,97	0,25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,047	0,108	0,251

3.2.3.2. SELECCIÓN DEL FILTRO

Mediante recomendación de la marca CIRCUTOR se selecciona un Filtro Pasivo de absorción regulado FAR-H, que sea capaz de mejorar el factor de potencia y reducir el 5 to armónico igual a (39 A) y el 7 mo armónico igual a (18 A), presentes en la instalación, el mismo consta de las siguientes características mostradas en la tabla 3.10:

Tabla 3.10 Características del Filtro FAR-H

Características	
Tipo	FAR6-HP-AP57-70-480
Código	R7F711
Condensador	30 kVAr
Reactancias de filtrado	5 to (50 A), 7 mo (35 A).
Características Constructivas	
Material armario	Acero tratado y pintado Bastidor RAL 1013, puertas 3005
Grado de protección	IP 20
Sistema de cierre	Llave y cerradura
Ventilación	Natural
Fijación	Sobre suelo
Condiciones ambientales	
Temperatura de trabajo	-10 / +35 °C
Instalación	Interior
Componentes	
Condensadores	CF
Regulador Relé	ROYAL
Normas	IEC 61642, IEC 60831, IEC 60439, IEC 60289

El fabricante recomienda que al momento de seleccionar un filtro se debe tener un 20 % mayor al valor eficaz de la corriente de distorsión armónica (Factor seguridad = 20 %).



Figura 3.5 Filtro FAR-H.

El filtro **FAR-H** mostrado en la figura 3.5 está diseñado para reducir los niveles de armónicos en redes con tasa de distorsión en corriente elevada. No obstante, la conexión de condensadores en una red compensa el suministro de energía reactiva. Por tanto, para regular este aspecto, los filtros de absorción **FAR-H** se dividen en diferentes escalones que se regulan en función de la carga existente. La regulación se realiza mediante un relé **ROYAL** hasta un máximo de 4 pasos como se muestra en la figura 3.6, siendo capaz de medir el V, A, Hz, W, V-A, VAR, Cosφ, máxima demanda y THD. De esta manera se regula el aporte de energía capacitiva suministrado al sistema.



Fig. 1

Fig. 2

Tamaño	Tipo	Código	Figura
6 mód.	Royal A4-P	M20241	fig.1
96 x 48	Royal A4	M20242	fig.2

- Medida de V, A, Hz, W, V-A, var, cos φ máxima demanda y THD en sistemas monofásicos o trifásicos equilibrados

Figura 3.6 Relés de Reactiva y Armónicos digitales.

3.3. MEDIDAS PARA EL CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA EN LAS FASES PRIMARIAS DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA

La campaña de mediciones y el análisis de la información de campo realizado en las Fases primarias del transformador de 50 kVA, ha permitido identificar y clasificar las mejoras de acuerdo a su importancia en cuanto a la implementación técnica y el nivel de inversión.

La más importante mejora en el transformador de 50 kVA, es la compensación del factor de Potencia en las fases primarias.

Mejorando el factor de potencia en las Fases primarias del transformador de 50 kVA, se obtendrá las siguientes ventajas técnicas que hacen viable el proyecto para su implementación:

-  Reducción de la intensidad eficaz.
-  Reducción del consumo de energía reactiva entre la fuente y los receptores.
-  Aumento de la potencia disponible en el secundario de un transformador MT/BT.
-  Reducción de la sección de los conductores, ya que para una misma potencia activa la intensidad resultante de la instalación compensada es menor.
-  Reducción de pérdidas por efecto Joule (calentamiento) en los conductores y transformadores.

3.3.1. MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA EN LAS FASES PRIMARIAS DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA

Mediante las mediciones realizadas en las fases primarias del transformador de 50 kVA se determinó que el factor de potencia promedio de la fase 1 es de 0,64 y de la fase 3 es de 0,81 por lo cual se estableció compensar las dos fases.

Se compensara el factor de potencia de las dos fases hasta un valor del 0,94 por las razones expuestas anteriormente.

Para mejorar el factor de potencia en las fases primarias del transformador de 50 kVA, será necesario realizar la compensación automática en las dos fases monofásicas de distribución secundaria por comprobarse variación de la carga instalada, esto permitirá la reducción de pérdidas en el transformador.

Como reglas generales para la compensación automática es necesario seguir las siguientes recomendaciones:

En la compensación de la energía reactiva, la energía absorbida por la red no podrá ser capacitiva. Por lo tanto el $\cos \phi$ de la instalación en el punto de conexión a la compañía nunca podrá tener un valor superior a 1.

La instalación del equipo de compensación automática deberá asegurar que la variación del factor de potencia en la instalación no sea mayor de un $\pm 10\%$ del valor medio obtenido en un prolongado período de funcionamiento.

3.3.1.1. COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA FASE 1

Factor $K = 0.838$, para elevar el $\text{Cos } \phi$ 0,64 hasta $\text{Cos } \phi$ 0,94 establecido en la tabla 3.9. Mediante la ecuación 3.1 se multiplica la Potencia Activa de salida de la Fase 1 por el factor K para determinar el valor del Capacitor.

$$P \text{ activa} \times (K) = 27 \text{ kW} \times 0,838 = 22,626 \text{ kVAr.}$$

Normalizando se selecciona un condensador de potencia = 25 kVAr.

SELECCIÓN DEL CONDENSADOR PARA LA FASE 1

Mediante recomendación de la marca RTR ENERGÍA se ha seleccionado una batería autorregulada Serie Mural Tipo A con interruptor general de corte en carga, es capaz de mejorar el factor de potencia de 0,64 a 0,94 por medio de una potencia de 25 kVAr, posee 6 escalones para la regulación por medio del siguiente orden de los condensadores (2 x 2,5 + 4 x 5), en la tabla 3.11 se muestra las características de los condensadores:

Tabla 3.11 Características Técnicas de los Condensadores.

Serie	EA
Tolerancia de potencia	-5 % + 10 %
Pérdidas dieléctricas	$\leq 0,5 \text{ W / kVAr}$
Sobretensión máxima	1,1 x U_n
Sobreintensidad máxima	1,5 x I_n
THD máx., en tensión	2 %
THD máx., en intensidad	25 %
Resistencia de descarga	incorporada
Temperatura de trabajo	-25°C + 55 °C
Acoplamiento	Interior
Dispositivo de desconexión	Por sobre presión
Dieléctrico	Film metalizado de polipropileno
Protección de terminales	Capuchón de PA-6
Normas	EN 60381-1/2



Figura 3.7 Condensadores monofásicos Serie EA.

Esta batería esta equipada por: contactores adaptados al corte de corrientes capacitivas, posee fusibles de alto poder de corte (tanto general como por escalón), resistencia de descarga rápida y un regulador electrónico con microprocesador.

El Regulador Automático de Energía Reactiva modelo PR-2D, utilizado en esta batería posee las siguientes características representadas en la tabla 3.12:

Tabla 3.12 Características del regulador Automático de Energía Reactiva modelo PR-2D

Tipo	PR-2D 6 escalones
Código	REG06DPR2500000
Tensión de servicio	230 V
Tensión de medida	110-690 V
Frecuencia	50 - 60 Hz
Transformador de intensidad	X / 5 A
Ajuste C / K	Calculo automático, permite reajuste 0,05 a 0,95
Indicador de Cos φ	Digital
Indicador estado condensadores	Indicador luminoso
Tiempo de conexión	10 a 20 seg.
Relés de salida	3,6 y 12
Características mecánicas	
Protección	IP 41
Temperatura	-10 + 60 °C
Peso	1.25 Kg.



Figura 3.8 Regulador Automático PR-2D.

3.3.1.2. COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE FASE 3

Factor $K = 0.361$, para elevar el $\text{Cos } \varphi$ 0,81 hasta $\text{Cos } \varphi$ 0,94 establecido en la tabla 3.9.

Mediante la ecuación 3.1 se multiplica la Potencia Activa de salida de la Fase 3 por el factor K para determinar valor del Capacitor.

$$P \text{ activa} \times (K) = 37 \text{ kW} \times 0,361 = 13,357 \text{ kVAr.}$$

Normalizando se selecciona un condensador de potencia = 15 kVAr.

SELECCIÓN DEL CONDENSADOR PARA LA FASE 3

Por recomendación de la marca RTR ENERGÍA se ha seleccionado una batería autorregulada Serie Mural Tipo A con interruptor general de corte en carga, es capaz de mejorar el factor de potencia de 0,81 a 0,94 por medio de una potencia de 15 kVAr, posee 3 escalones para la regulación por medio del siguiente orden de los condensadores (3 x 5). En la tabla 3.11 se muestra las características de los condensadores, esta batería esta equipada por: contactores adaptados al corte de corrientes capacitivas, posee fusibles de alto poder de corte (tanto general como por escalón), resistencia de descarga rápida y un regulador electrónico con microprocesador. El Regulador Automático de Energía Reactiva modelo PR-3D, utilizado en esta batería posee las características representadas en la tabla 3.12.

3.4. VALORACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LA VARIANTES

A continuación se describe las evaluaciones económicas de cada uno de los métodos propuestos para mejorar la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA, las pérdidas económicas se han elaborado en base a las tarifas eléctricas impuestas por el CONELEC para la Región Sur del país, cada una de las variantes quedarán a criterio de los representantes de la empresa MALCA, sobre cual es mas conveniente y viable para su implementación.

3.4.1. EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA

Las compañías suministradoras de electricidad en las tarifas en baja y media tensión, hacen un cargo mensual por bajo factor de potencia cuando éste es menor al 0.92 inductivo. Este cargo se calcula mediante la ecuación 3.2: [20]

$$Fp \text{ pen} = Fp \text{ normal} / Fp \text{ excedido} \quad (3.2)$$

Donde: $Fp \text{ pen}$ = Factor de potencia penalizado

$Fp \text{ normal}$ = 0.92

$Fp \text{ excedido}$ = Factor de potencia real de la instalación.

Con lo cual el centro de carga Meladura deberá pagar por penalización de bajo factor de potencia:

$Fp \text{ normal}$ = 0.92

$Fp \text{ ex}$ = 0.85

$F_p \text{ pen} = 0.92 / 0.85 = 1.08$ por consumo de reactivos equivalente a un 8 % adicional en la penalización por bajo factor de potencia.

El promedio anual de pagos por el consumo de energía eléctrica es de 110538.15 USD (Ver Anexo V).

Costo de la potencia penalizada = 110538.15 USD x 0.08 = **8843 USD.**

3.4.2. EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR CONSUMO DE LOS ARMÓNICOS PRESENTES EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA

Para el análisis se ha tomado en cuenta las pérdidas por consumo total, la cual será el resultado de la suma de pérdidas a frecuencia fundamental más las pérdidas por los armónicos característicos, como se indica en la siguiente fórmula.

$$\Delta E_T = \Delta E_{60} + \Delta E_n \quad (3.3)$$

Donde: ΔE_T = Pérdidas por consumos totales.

ΔE_{60} = Pérdidas por consumo a frecuencia fundamental.

ΔE_n = Pérdidas por consumo de la armónica.

Con la ecuación 3.3 expresada a continuación se determina las pérdidas totales por los armónicos, para lo cual es necesario obtener el valor de la resistencia de cada uno con el producto de la corriente de cada armónico por los valores de la tensión.

$$\Delta E_n = 3T \sum_{n=5}^{13} K_f^2 \times I_n^2 \times R_n \quad (3.4)$$

Donde: R_n = Resistencia armónica.

K_f = Coeficiente de deformación de la onda.

T = Tiempo de trabajo en horas

El valor numérico del coeficiente de deformación de la onda con respecto al orden armónico se determina en la tabla 3.13, este valor servirá para determinar la potencia consumida por cada armónico:

Tabla 3.13 Valores K_f del 5 to y 7 mo armónico

Número de armónico (h)	Coeficiente (K_f)
5	0,5
7	0,45

En la tabla 3.14 se muestra las corrientes y resistencias de cada uno de los armónicos que intervienen en el cálculo de las pérdidas.

Tabla 3.14 Corrientes y Resistencias del 5 to y 7 mo armónico.

Número de armónico (h)	Intensidad del armónico (I_h)	Resistencia del armónico (R_h)
5	39 A	11.79
7	18 A	25.5

A partir de la ecuación 3.4, se va a calcular la potencia consumida por cada uno de los armónicos característicos presentes en la instalación, en la tabla 3.15 se indican sus valores respectivos (**Ver Anexo V**).

Tabla 3.15 Potencia consumidas por el 5 to y 7 mo armónico.

Número de armónico (h)	Potencia consumida en W
5	4483,14 W
7	1673 W

La potencia total consumida por los armónicos será igual a 127653.719 kWh en un año (**Ver Anexo V**).

Las tarifas eléctricas del kWh impuestas por la EERSSA para la industria en la región sur del país se encuentra en un promedio de 0,12 USD por kWh, por lo que en términos económicos el gasto será:

$$\Delta E = \Delta E_n \times 0.12 \text{ USD}$$

$$\Delta E = 127653.719 \text{ kWh} \times 0.12 \text{ USD}$$

$$\Delta E = \underline{\underline{15318.36 \text{ USD}}}.$$

3.4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.4.3.1. PRIMER MÉTODO DE MEJORAMIENTO

Para realizar el análisis económico se ha tenido en cuenta, los gastos de la inversión, el costo del filtro, costo de instalación y de mantenimiento, por medio de estos datos se podrá determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

En la tabla 3.16 se observa los diferentes datos necesarios para obtener el costo total.

El costo de los Filtros LCL para cada variador de frecuencia viene fijado por el fabricante, el cual viene incluido con el IVA y costos de envío con un plazo de entrega de 6 semanas (**Ver Anexo VI**).

El costo de la instalación y mantenimiento depende del pago a los técnicos de la empresa, que cuenta con la experiencia en el trabajo con estos equipos.

COSTO POR MANO DE OBRA

A continuación se detalla los costos por mano de obra con datos obtenidos de MALCA:

Tiempo de Trabajo: 1 hora diaria 20 días al mes por 12 meses al año = **240 horas al año**

Costo hora USD: Técnico electricista 2.50 USD = 600 USD al año

Ayudante electricista 0.60 USD = 144 USD al año

2 Técnicos = 1200 USD

2 Ayudantes = 288 USD

Total 1200 + 288 = **1488 USD**

Tabla 3.16 Detalle del costo de la instalación del Filtro.

Detalle de Costos	Nº de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
Costo Total del Filtro LC L35-32A-400	4	887,54 USD	3550,16 USD
Costo Total del Filtro LC L35-76A-400	1	1047,54 USD	1047,54 USD
Costo de la Instalación y mantenimiento al año	1	1488 USD	1488 USD
Costo total de la implementación			6085,7 USD

AHORRO EN DÓLARES AL AÑO

El ahorro esta determinado por los gastos de penalización por bajo factor de potencia más el gasto por el consumo eléctrico producto de los armónicos $h = 5$ y $h = 7$.

Ahorro = Gastos por penalización del Fp + Potencia consumida por los armónicos.

Ahorro = 8843 USD + 15318.36 USD = **24161.36 USD AL AÑO**

TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN

El tiempo de recuperación del capital, esta dado por la relación entre la inversión y el ahorro, que se logra con la instalación del filtro:

$$TRI = \frac{Inversión}{Ahorro} \quad (3.5)$$

$$TRI = \frac{6085,7}{24161.36}$$

$$TRI = 0,25$$

El valor obtenido de la relación 3.5, se multiplica por los doce meses que tiene un año, el tiempo de recuperación de la inversión es de **3 meses**.

3.4.3.2. SEGUNDO MÉTODO DE MEJORAMIENTO

Con la misma metodología expuesta anteriormente se realiza el análisis económico.

En la tabla 3.17 se observa los diferentes datos necesarios para obtener el costo total. El costo del Filtro viene fijado por el fabricante, en el cual viene incluido el IVA y los costos de envío con un plazo de entrega de 6 semanas (**Ver Anexo VI**).

El costo de la instalación y mantenimiento depende del pago a los técnicos de la empresa, que cuenta con la experiencia en el trabajo en estos equipos.

COSTO POR MANO DE OBRA

A continuación se detalla los costos por manos de obra con datos de MALCA:

Tiempo de Trabajo: 1 hora diaria 20 días al mes por 12 meses al año = **240 horas al año**

Costo hora USD: Técnico electricista 2.50 USD = 600 USD al año
 Ayudante electricista 0.60 USD = 144 USD al año

1 Técnico = 600 USD

2 Ayudantes = 288 USD

Total 600 + 288 = **888 USD**

Tabla 3.17 Detalle del costo de la instalación del Filtro.

Detalle de Costos	Nº de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
Costo Total del Filtro FAR6-HP-AP57-70-480	1	8072,28 USD	8072,28 USD
Costo de la Instalación y mantenimiento al año	1	888 USD	888 USD
Costo total de la implementación			8960,28 USD

AHORRO EN DÓLARES AL AÑO

El ahorro esta determinado por los gastos de penalización por bajo factor de potencia más el gasto por el consumo eléctrico producto de los armónicos $h = 5$ y $h = 7$.

Ahorro = Gastos por penalización del Fp + Potencia consumida por los armónicos.

Ahorro = 8843 USD + 15318.36 USD = **24161.36 USD AL AÑO.**

TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN

El tiempo de recuperación del capital, esta dado por la relación entre la inversión y el ahorro, que se logra con la instalación del filtro:

$$TRI = \frac{Inversión}{Ahorro}$$

$$TRI = \frac{8960,28}{24161,36}$$

$$TRI = 0.37$$

El valor obtenido de la ecuación 3.5, se multiplica por los doce meses que tiene un año, el tiempo de recuperación de la inversión es de **4 meses.**

3.4.4. EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA EN LAS FASES PRIMARIAS DEL TRANSFORMADOR DE 50 kVA

3.4.4.1. PÉRDIDAS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA EN LA FASE 1

Las compañías suministradoras de electricidad, en las tarifas en baja y media tensión, hacen un cargo mensual por bajo factor de potencia, cuando éste es menor al 0.92 inductivo. Este cargo se calcula mediante la ecuación 3.2:

Con lo cual en la fase primaria No 1 de alimentación del transformador de 50 kVA se deberá pagar por penalización de bajo factor de potencia, en base a los siguientes cálculos:

$$Fp \text{ normal} = 0.92$$

$$Fp \text{ excedido} = 0.64$$

$Fp \text{ pen} = 0.92 / 0.64 = 1.44$ por consumo de reactivos equivalente a un 44 % adicional en la penalización por bajo factor de potencia.

El promedio anual de pagos por el consumo de energía eléctrica es de 22394.88 USD **(Ver Anexo VII)**.

Potencia penalizada = 22394,88 USD x 0.44 = **9853.75 USD** por concepto de esta penalización.

3.4.4.2. PÉRDIDAS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA EN LA FASE 3

Con la metodología expuesta para la fase 1 se calcula mediante la ecuación 3.2 los gastos que se deberá pagar por penalización de bajo factor de potencia en la fase 3 del transformador de 50 kVA, a continuación se presenta los cálculos:

$$Fp \text{ normal} = 0.92$$

$$Fp \text{ excedido} = 0.81$$

$Fp \text{ pen} = 0.92 / 0.81 = 1.14$ por consumo de reactivos equivalente a un 14 % adicional en la penalización por bajo factor de potencia.

El promedio anual de pagos por el consumo de energía eléctrica es de 30689,28 USD **(Ver Anexo VII)**.

Potencia penalizada = 30689,28 USD x 0.14 = **4296.49 USD** por concepto de esta penalización.

3.4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para realizar el análisis económico de mejora del factor de potencia en las fases primarias del transformador de 50 kVA, se ha tenido en cuenta los gastos de la

inversión, el costo de las baterías, costo de instalación y costos de mantenimiento, por medio de estos datos se podrá determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

En la tabla 3.18 se observa los diferentes datos necesarios para obtener el costo total.

El costo de las baterías autorreguladas para las fases secundarias viene establecido por el fabricante, en el cual viene incluido el IVA y costos de envío (**Ver Anexo VIII**).

El costo de la instalación y mantenimiento depende del pago a los técnicos de la empresa, que cuenta con la experiencia en el trabajo con este equipo eléctrico.

COSTO POR MANO DE OBRA

A continuación se detalla los costos por mano de obra con datos obtenidos de MALCA:

Tiempo de Trabajo: 1 hora diaria 20 días al mes por 12 meses al año = **240 horas al año**

Costo hora USD: Técnico electricista 2.50 USD = 600 USD al año
 Ayudante electricista 0.60 USD = 144 USD al año

1 Técnico = 600 USD

2 Ayudantes = 288 USD

Total 600 + 288 = **888 USD**

Tabla 3.18 Detalle del costo de la instalación del Filtro.

Detalle de Costos	Nº de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
Costo Total de la Batería autorregulada de la fase 1	1	960.66 USD	960,66 USD
Costo Total de la Batería autorregulada de la fase 3	1	781,07 USD	781,07 USD
Costos de instalación y mantenimiento	1	888 USD	888 USD
Costo total de la implementación			2629,73 USD

AHORRO EN DÓLARES AL AÑO

El ahorro esta determinado por los gastos de penalización por bajo factor de potencia en la Fase No 1 y en la Fase No 3.

Ahorro = Gastos del bajo Fp de la Fase No 1 + Gastos del bajo Fp de la Fase No 3

Ahorro = 9853.75 USD + 4296.49 USD = **14150,24 USD AL AÑO.**

TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

El tiempo de recuperación del capital, esta dado por la relación entre la inversión y el ahorro, que se logra con la instalación del filtro:

$$TRI = \frac{Inversión}{Ahorro}$$

$$TRI = \frac{2629,73}{14150,24}$$

$$\text{TRI} = 0,185$$

El valor obtenido de la ecuación 3.5, se multiplica por los doce meses que tiene un año, el tiempo de recuperación de la inversión es de **2 meses**.

3.5. IMPACTO AMBIENTAL

Se entiende por impacto ambiental a cualquier alteración, positiva o negativa, producida por la introducción en el territorio de una determinada actividad, la cual interviene sobre los factores que definen al mismo en cuanto al medio físico, biótico y abiótico y sobre las relaciones sociales y económicas del hombre con este medio.

La interacción de equipos eléctricos que mejoran la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el Transformador de 50 kVA, no ocasionan un impacto ambiental negativo, debido a que no consumen energías contaminantes exógenas.

3.6. CONCLUSIONES

 Uno de los métodos propuestos para mejorar la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura, es la instalación de filtros LCL en los variadores de mayor potencia, lo cual permite la eliminación de micro cortes debidos a la conmutación, disminución del consumo, mejoramiento del factor de potencia y aumento de la vida de los equipos por la reducción del 5 to y 7 mo armónico de intensidad, el inconveniente con este método es la alta inversión económica que debe realizar la empresa, teniendo en cuenta que en el futuro se ira incrementando los variadores de frecuencia en este centro de carga.

 El segundo método para mejorar la Calidad de la Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura, es la instalación de un filtro pasivo de absorción regulado FAR-H, el cual impide que los capacitores absorban una corriente armónica excesiva actuando como protección, evita resonancias, filtra el 5 to y 7 mo armónico de corriente y corrige el factor de potencia a frecuencia fundamental, económicamente es viable por la rápida recuperación de inversión.

 La Instalación de condensadores en las fases secundarias del Transformador de 50 kVA, permite eliminar pagos por energía reactiva, mejora el nivel de voltaje, permite reducir pérdidas por el efecto Joule en el transformador y en conductores, etc., contribuyendo de esta manera a mejorar la vida útil de todos los equipos y componentes del sistema eléctrico de la planta.

 Los ahorros logrados en el centro de carga Meladura, producto de las mejoras implementadas, representan un 21,9% de los costos anuales (**24161.36 USD**), tomando los 12 meses previos a la realización de la implementación de las mejoras identificadas.

 El ahorro logrado en el Transformador de 50 kVA, producto de las mejoras implementadas, representan un 26.6% de los costos anuales (**14150.24 USD**), tomando los 12 meses previos a la realización de la implementación de las mejoras identificadas.

Conclusiones Generales

Los resultados más relevantes del trabajo realizado se sintetizan a continuación:

-  Por medio de las mediciones realizadas en el Centro de Carga meladura se ha podido establecer que algunos de los parámetros vinculados a la Calidad de Energía Eléctrica no cumplen con los límites establecidos, como lo es el factor de potencia que tiene un valor de 0,85 y el 5 to armónico de corriente con un valor del 38,9% de la corriente fundamental y el 7 mo armónico de corriente con un valor del 17,6% de la corriente fundamental.

-  Mediante las mediciones en el transformador de 50 kVA, se determinó que uno de los parámetros vinculado a la Calidad de Energía Eléctrica se encuentra bajo los límites establecidos que es el factor de potencia de la fase 1 que tiene un valor de 0,64 y el de la fase 3 que tiene un valor de 0,81.

-  En este proyecto se propone dos métodos para mejorar la calidad de energía eléctrica en el centro de carga Meladura, siendo viable técnico y económicamente el método que consiste en la implementación de un Filtro Pasivo de absorción, regulado por medio de un relé automático, que mejora el factor de potencia y reduce a niveles normalizados el 5 to armónico igual a (39 A) y el 7 mo armónico igual a (18 A).

-  Se propone el mejoramiento del factor de potencia de las fases primarias del transformador de 50 kVA con la implementación de las baterías autorreguladas Serie Mural tipo A instaladas en cada fase del secundario, permitiendo reducir perdidas en el transformador y mediante el regulador automático se compensa de acuerdo a la variación de la carga instalada.

-  En el desarrollo de la evaluación económica en el centro de carga de Meladura y en Transformador de 50 kVA se calculo los costos por consumo de energía eléctrica que se debería pagar a la empresa eléctrica

Regional del Sur (EERSSA) durante un año, pese a que el Ingenio no paga ninguna tarifa por contar con su propia electricidad del Turbogenerador, pero ha sido necesario para concienciar al personal de mantenimiento eléctrico y a la administración de la empresa sobre los efectos técnicos que produce la mala calidad de energía eléctrica y el ahorro que en si conlleva su mejoramiento.

 De acuerdo con los datos estadísticos obtenidos de producción y energía eléctrica consumida en los últimos diez años, es evidente que en este periodo de análisis ha existido un crecimiento sostenido de Monterrey Azucarera Lojana C. A. MALCA, gracias a este crecimiento del ingenio, se justifica plenamente la inversión en la compra de los equipos que se instalarán y entrarán a funcionar en estos dos centros de carga estudiados.

 La formulación de un marco teórico que contenga información vinculada con las causas y efectos de una Mala Calidad de Energía Eléctrica, contribuirá a obtener más conocimientos de este problema para tomar decisiones inmediatas y viables dentro del sector industrial.

 Mediante la descripción del centro de carga Meladura y del transformador de 50 kVA, se encontró que actualmente no cuentan con ningún tipo de registro de sus parámetros y consumos eléctricos que ayude a la implementación de un Programa de Eficiencia Energética en la fábrica que permitiría la reducción efectiva de los costos operativos y la conservación de los recursos energéticos de energía no renovables (en este caso el bagazo de caña).

 Actualmente el Ingenio Monterrey no cuenta con el equipo de medición adecuado para realizar el análisis de los parámetros eléctricos y determinar las condiciones de la instalación eléctrica y de los diversos equipos utilizados en diferentes procesos.

Recomendaciones

El presente proyecto ha cumplido con las propuestas realizadas en un principio, por lo cual se debe tener en cuenta que el mismo ha abierto varias posibilidades para proyectos y correcciones futuras. Estas posibilidades se recomiendan a continuación:

-  Diseñar un sistema de control y monitoreo en los centros de carga del Ingenio Monterrey el cual abarque los mayores consumidores energéticos para implementar un Programa de Eficiencia Energética que permita la reducción efectiva de los costos operativos y la conservación de los recursos energéticos de energía no renovables (en este caso el bagazo de caña).
-  Evaluar detalladamente todos los elementos constitutivos necesarios, esto garantizará el óptimo funcionamiento de la instalación propuesta y minimizará los contratiempos que se hallen en el camino para la instalación de los equipos que mejoran la Calidad de Energía Eléctrica en el centro de carga Meladura y en el transformador de 50 kVA, será necesario.
-  Realizar campañas de concienciación entre el personal para lograr una mejor utilización de los recursos y de esta manera disminuir costos de operación. Además de establecer planes de divulgación, estimulación moral y material, y motivación para alcanzar las metas propuestas y mejorar resultados.
-  Instalar en las lámparas cubiertas para la protección de líquidos que caen de los diferentes procesos, lo cual no permitirá el deterioro de las mismas.
-  Limpiar periódicamente las luminarias, ya que la suciedad disminuye el nivel de iluminación de las lámparas hasta un 20 %.
-  Desarrollar un estudio de iluminación de la fábrica del Ingenio Monterrey que permita establecer mejores condiciones para el trabajo en diferentes áreas de procesos como lo es también la reducción de pérdidas por consumo de energía eléctrica.

-  Preparar al personal técnico involucrado por medio de cursos de entrenamiento periódico, para que no tengan problemas de manipulación y utilización de equipos delicados, impartiendo las normas de seguridad necesarias para el trabajo con estos equipos. Así como de proveer al electricista de los instrumentos necesario para trabajar en caliente como por ejemplo guantes, chalecos y mangas protectoras.
-  Establecer un programa para cambio de los elementos eléctricos que estén deteriorados o que sean muy antiguos para ir implementando nuevas tecnologías que harán más eficiente el sistema industrial. Esto permitirá en un mediano plazo lograr la automatización de procesos, para llegar a un óptimo funcionamiento de los mismos implementando modernos sistemas de control y adquisición de datos.
-  Implementar un Programa de Mantenimiento Preventivo del Sistema Eléctrico del Ingenio Monterrey, con el objetivo de obtener un óptimo funcionamiento del mismo y minimizar los tiempos de mantenimiento correctivo para de esta manera disminuir el tiempo de paros de producción por causa eléctrica.
-  Procurar que todas las protecciones de los circuitos de fuerza del sistema eléctrico tengan una combinación de maniobra, fusible, contactor y relé térmico con calentadores, siendo necesario hacer un estudio de coordinación de las mismas tomando en cuenta su selectividad. Para lograr esto habrá que seguir las recomendaciones de los fabricantes.
-  Cambiar de lugar del transformador de 50 kVA, por encontrarse en un cuarto que no cuenta con la ventilación necesaria dando lugar a la presencia de humedad y por donde fluye constantemente el agua que es derramada del tanque de condensados siendo peligroso un corto circuito, el cuarto es muy estrecho lo mismo que no permite realizar con comodidad las conexiones necesarias.
-  Conducir los circuitos lejos de la tubería de vapor saturado para evitar el deterioro del aislamiento del conductor por la alta temperatura.

Bibliografía y Referencias:

BOLTON. GUÍA DE LA COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y CONTROL DE ARMÓNICAS EN REDES INDUSTRIALES. Editado por LIMUSA. USA 1992. Pág. 79. [17]

CHEN, James C.P. MANUAL DEL AZÚCAR DE CAÑA. Editorial Noriega-LIMUSA. México. 1991. Manual para ingenieros azucareros E. Hugot. Editorial CECSA. México. 1984. [15]

INSTITUTO ELÉCTRICO EN ANÁLISIS DE PROTECCIONES (INELAP). FACTOR DE POTENCIA. USA 1998. Pág. 2. [6]

INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (IEEE). Norma IEEE-519. CONVERTIDORES PARA ALIMENTADORES DE ARMADURA DE MOTORES DC. Editado por el Centro de Servicio del Institute of Electrical and Electronics Engineers. USA.1992 Pág. 7. [7]

INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (IEEE). Norma IEEE-519. LÍMITES DE DISTORSIÓN. Editado por el Centro de Servicio del Institute of Electrical and Electronics Engineers. USA.1992 Pág. 23. [8]

INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (IEEE). Norma IEEE-519. MEDICIONES. Editado por el Centro de Servicio del Institute of Electrical and Electronics Engineers. USA.1992 Pág. 54. [11]

LAMICH AROCAS, Manuel. Filtros ACTIVOS: INTRODUCCIÓN Y APLICACIONES. Editado por la Universidad Politécnica de Cataluña. España. 1998. Pág. 5. [12]

MALCA. Datos tomados de la página WEB de www.malca.com. [14]

MOREL, R. MEASUREMENT AND PREDICTION OF VOLTAGE FLICKER MAGNITUDE AND FREQUENCY. USA Sept., 1994. Pág. 42. [4]

MULLER Wolfgang. ELECTROTECNIA DE POTENCIA CURSO SUPERIOR. Editado por REVERTE. México 1994. Pág. 44. [19]

NOEL FIORINA, Jean. **ARMÓNICOS: RECTIFICADORES Y COMPENSADORES ACTIVOS**. USA 2000. Pág. 7. [18]

PROYECTO PARA AHORRO DE ENERGÍA (PAE) del Ministerio de Energía del Perú. **EFICIENCIA ENERGÉTICA**. Editado por el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. Ecuador 2000. Pág. 31. [13]

PROYECTO PARA AHORRO DE ENERGÍA (PAE) del Ministerio de Energía del Perú. **EFICIENCIA ENERGÉTICA**. Editado por el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. Ecuador 2000. Pág.81. [16]

QUISPE IQUEÑA, Enrique. **CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (FUNDAMENTOS Y DEFINICIONES MODULO 1)**. Editado por la Universidad Autónoma de Occidente. Colombia 2001. Pág. 5. [1]

QUISPE IQUEÑA, Enrique. **CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (ARMÓNICOS: CAUSAS, EFECTOS, MÉTODOS DE ATENUACIÓN MODULO 2)**. Editado por la Universidad Autónoma de Occidente. Colombia 2001 Pág. 66. [9]

QUISPE IQUEÑA, Enrique. **CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (ARMÓNICOS: CAUSAS, EFECTOS, MÉTODOS DE ATENUACIÓN MODULO 2)**. Editado por la Universidad Autónoma de Occidente. Colombia 2001 Pág. 85. [10]

REGULACIÓN DE CONELEC No. – 004/01. **CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN**. Pág. 10. [20]

SCHUELLER, P. **Compatibilidad Electromagnética**. USA 1996. Pág. 20. [2]

THOMAS, Kahn. **HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE VOLTAJE**. Editado por LEM ELMES. USA 1998. Pág. 56. [5]

UNIÓN INTERNACIONAL ELECTROTÉCNICA (UIE). **GUÍA DE CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS**. USA 1993. Pág. 51. [3]

ANEXO I

REGULACIÓN No. CONELEC – 004/01 CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CONELEC

Considerando: Que, para garantizar a los Consumidores un suministro eléctrico continuo y confiable, es necesario dictar las Regulaciones relacionadas con los estándares mínimos de calidad y procedimientos técnicos de medición y evaluación a los que deben someterse las Empresas Distribuidoras del Servicio Eléctrico. En ejercicio de las facultades otorgadas por el literal e) del artículo 13 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

Resuelve: Expedir la siguiente Regulación sobre la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.

1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1 Objetivo

Establecer los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras.

1.2 Responsabilidad y Alcance

Prestar el servicio eléctrico a los Consumidores ubicados en su zona de Concesión, dentro de los niveles de calidad establecidos, en virtud de lo que señala la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, los Reglamentos aplicables, el Contrato de Concesión y las Regulaciones correspondientes.

1.3 Organismo Competente

El cumplimiento de los niveles de Calidad de Servicio será supervisado y controlado por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, a través de los índices que se establecen en la presente Regulación.

1.4 Aspectos de Calidad

La Calidad de Servicio se medirá considerando los aspectos siguientes:

Calidad del Producto:

- Nivel de voltaje
- Perturbaciones de voltaje
- Factor de Potencia

Calidad del Servicio Técnico:

- Frecuencia de Interrupciones
- Duración de Interrupciones

Calidad del Servicio Comercial:

- Atención de Solicitudes
- Atención de Reclamos
- Errores en Medición y Facturación

1.5 Información

El Distribuidor debe implementar y mantener una base de datos con la información sobre los componentes de la red asociados a la alimentación eléctrica de cada Consumidor, esto es:

- Red de AV.
- Subestación de distribución AV/MV.
- Circuito de MV.
- Centros de transformación MV/BV
- Circuito de bajo voltaje y ramal al que está conectado.
- Identificación del cliente (número de suministro).

El levantamiento de la información, su procesamiento y análisis, comprenderá:

- Las mediciones y/o registros de cada uno de los aspectos identificados en 1.5, realizados en la forma señalada mas adelante en los numerales 2 a 4;
- La organización de una base de datos auditable que constituya el soporte de la información anterior;
- El cálculo de los índices de calidad para cada uno de los parámetros; y
- La información relacionada con los desvíos a los límites señalados en los numerales 2 a 4.

2 CALIDAD DEL PRODUCTO

Los aspectos de calidad del producto técnico que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.

2.1 Nivel de Voltaje

2.1.1 Índice de Calidad

2.1.2 Mediciones

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles.

2.1.3 Límites

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje.

Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

límite (V_i' y THD') señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

2.2 Perturbaciones

2.2.1 Parpadeo (Flicker)

2.2.1.1 Índice de Calidad

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas IEC.

2.2.1.2 Mediciones

Las mediciones se deben realizar con un medidor de efecto "Flicker" para intervalos de 10 minutos y de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 60868.

2.2.1.3 Límites

El índice de severidad del Flicker P_{st} en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad.

2.2.2 Armónicos

2.2.2.1 Índices de Calidad

2.2.2.2 Mediciones

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7.

2.2.2.3 Límites

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i') y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $|V_i'|$ o $|THD'|$ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

2.3 Factor de Potencia

2.3.1 Índice de Calidad

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.

2.3.2 Medición

Las mediciones se harán mediante registros en períodos de 10 minutos, con régimen de funcionamiento y cargas normales, por un tiempo no menor a siete (7) días continuos.

2.3.3 Límite

El valor mínimo es de 0,92.

3 CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO

4 CALIDAD DEL SERVICIO COMERCIAL

**PLIEGO TARIFARIO DE LA
EERSSA
Gerencia de Comercialización
Jefatura de Facturación.**

CONELEC
DIRECCION DE TARIFAS
CARGOS TARIFARIOS PARA EL CONSUMO ELECTRICO DE CLIENTES REGULADOS
VIGENTES A PARTIR DEL MES DE NOV DE 2004 HASTA OCTUBRE DEL 2006

EMPRESA	SUR
CATEGORIA	RESIDENCIAL
NIVEL TENSION	BAJA Y MEDIA TENSION
RANGO DE CONSUMO	
ENERGIA (US\$/kWh)	
0-50	0,096
51-100	0,100
101-150	0,104
151-200	0,113
201-250	0,122
251-300	0,125
301-350	0,125
351-400	0,125
Superior	0,125
	RESIDENCIAL TEMPORAL
	0,125
CATEGORIA	GENERAL
NIVEL TENSION	BAJA TENSION SIN DEMANDA
	COMERCIAL, ENTIDADES OFICIALES
0-300	0,085
Superior	0,116
	INDUSTRIAL ARTESANAL
0-300	0,070
Superior	0,116
	ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PUBLICO
0 - 100	0,038
101-200	0,041
201-300	0,044
Superior	0,085
NIVEL TENSION	BAJA TENSION CON DEMANDA
DEMANDA (US\$/kW)	6,031
ENERGIA (US\$/kWh)	0,092
NIVEL TENSION	MEDIA TENSION CON DEMANDA
	COMERCIALES, E. OFICIALES, INDUSTRIALES, BOMBEO AGUA, ESC. DEPORTIVOS, PERIODICOS Y ABONADOS ESPECIALES
DEMANDA (US\$/kW)	5,955
ENERGIA (US\$/kWh)	0,083
	ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PUBLICO (CON DEMANDA)
DEMANDA (US\$/kW)	3,715
ENERGIA (US\$/kWh)	0,071

NIVEL TENSION	MEDIA TENSION CON DEMANDA HORARIA
DEMANDA (US\$/kW)	5,955
ENERGIA (US\$/kWh)	
07h00 hasta 22h00	0,083
22h00 hasta 07h00	0,067
NIVEL TENSION	ALTA TENSION
DEMANDA (US\$/kW)	5,846
ENERGIA (US\$/kWh)	
07h00 hasta 22h00	0,074
22h00 hasta 07h00	0,066
CATEGORIA	ALUMBRADO PUBLICO
DEMANDA (US\$/kW)	3,706
ENERGIA (US\$/kWh)	0,128
COMERCIALIZACION	1,414

PERIODO DE BASE: (22h00 hasta las 07h00)

PERIODO DE DEMANDA MEDIA: (07h00 hasta las 18h00).

PERIODO DE PUNTA: (18h00 hasta las 22h00)

El cargo por potencia será afectado por un factor de corrección que se obtiene de la relación:

$$FC = \frac{DP}{DM}$$

Donde:

DP = Demanda máxima registrada por el consumidor en las horas punta de la empresa (18h a 22h).

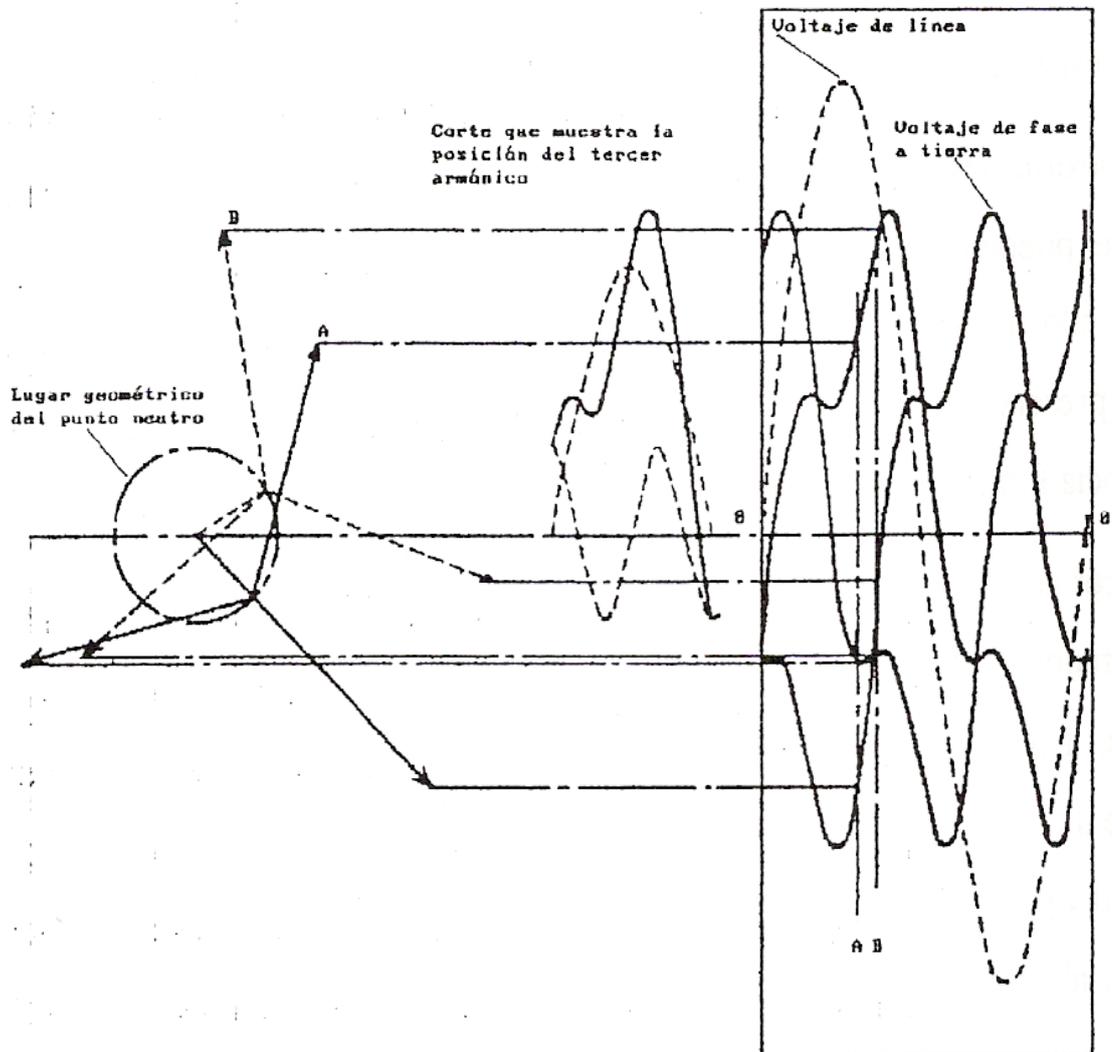
DM = Demanda máxima del consumidor durante un mes.

En ningún caso este factor de Corrección (FC) deberá ser menor que 0,60.

IMPUESTOS Y TASAS			
TARIFAS	ALUMBRADO PÚBLICO	BOMBEROS	FERUM
R y R3	22%	0,68	....
C y C-D	25%	2,03	10%
I-A	25%	4,07	10%
I-D	25%	8,14	10%
A-PU	---	.....	.....
OTRAS	25%	.....	.....

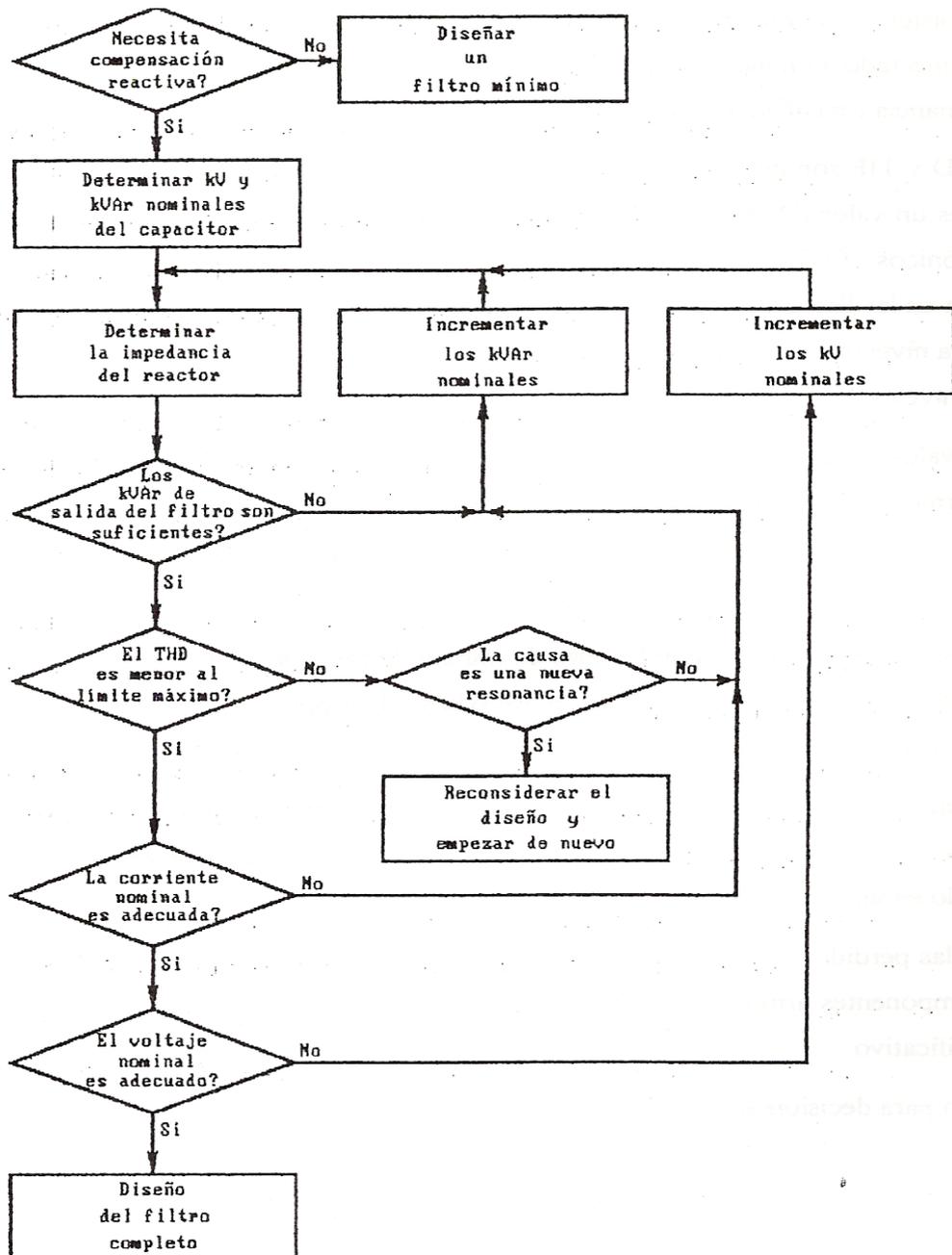
ANEXO II

FENÓMENO DE OSCILACIÓN DEL NEUTRO EN UN SISTEMA TRIFÁSICO SIMÉTRICO DE TRES HILOS, CONECTADO EN ESTRELLA CON NEUTRO NO ATERRIZADO.



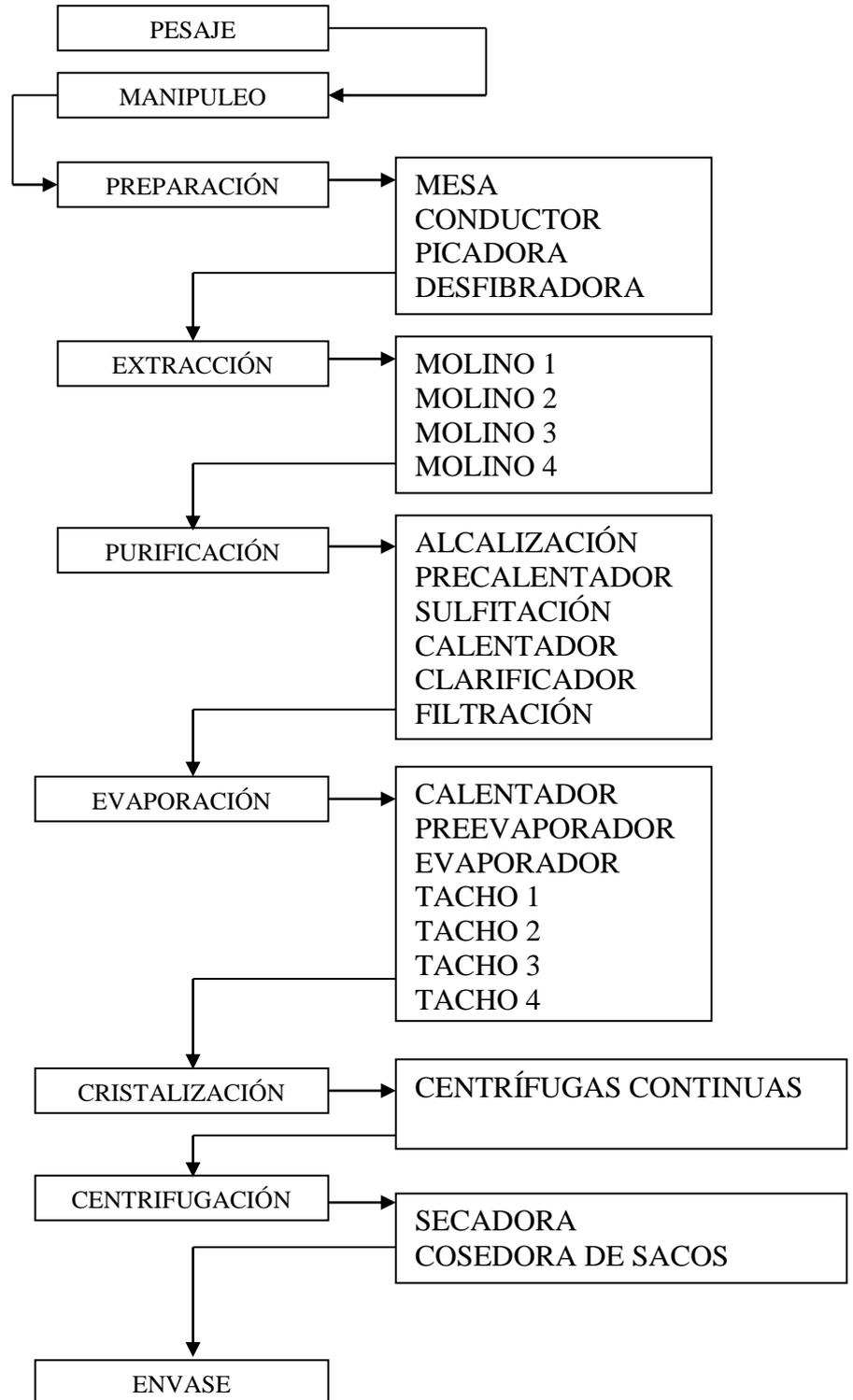
ANEXO III

FLUJOGRAMA PARA EL DISEÑO DE FILTROS SINTONIZADOS CON COMPENSACIÓN REACTIVA.



ANEXO IV

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA INSTALACIÓN INDUSTRIAL PARA ESTABLECER EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL AZÚCAR



ANEXO V

Calculo de las pérdidas consumidas por cada uno de los armónicos.

$$Ph5 = K_f^2 \times I_n^2 \times R_n$$

$$Ph5 = (0.5)^2 \times (39)^2 \times 11.79$$

$$Ph5 = 4483.14 \text{ W}$$

$$Ph7 = K_f^2 \times I_n^2 \times R_n$$

$$Ph7 = (0.45)^2 \times (18)^2 \times 25.5$$

$$Ph7 = 1673 \text{ W}$$

De la ecuación 3.4, la sumatoria de potencias del h=5 y del h=7 será.

$$\sum_{n=5}^7 K_f^2 \times I_n^2 \times R_n = 6156.14 \text{ W}$$

Potencia consumida del h =5 y del h =7 en un año

Tiempo de horas de trabajo = 24 h x 6 días x 4 semanas x 12 meses = 6912 h

$$\Delta E_n = 3T \sum_{n=5}^7 K_f^2 \times I_n^2 \times R_n$$

$$\Delta E_n = 3 \times 6912 \text{ h} \times 6156.14 \text{ W}$$

$$\Delta E_n = 127653719 \text{ Wh}$$

$$\Delta E_n = 127653.719 \text{ kWh}$$

Potencia consumida del centro de carga Meladura, sin considerar la perdida de potencia por los armónicos h = 5 y h =7.

$$\Delta E_{60} = P \times t$$

$$\Delta E_{60} = 114.8 \text{ kW} \times 6912 \text{ h}$$

$$\Delta E_{60} = 793497.6 \text{ kWh}$$

Potencia Total consumida y los costos, sin el uso del filtro sintonizador:

$$\Delta E_T = \Delta E_{60} + \Delta E_n$$

$$\Delta E_T = 793497.6 \text{ kWh} + 127653.719 \text{ kWh}$$

$$\Delta E_T = 921151.319 \text{ kWh} \times 0.12 \text{ USD} = 110538.15 \text{ USD}$$

La potencia consumida y los costos, con la utilización del filtro sintonizador serán:

$$\Delta E = \Delta E_{60}$$

$$\Delta E = 793497.6 \text{ kWh} \times 0.12 \text{ USD} = 95219.712 \text{ USD}$$

ANEXO VI

PROFORMA DE LOS COSTOS TOTALES DE LOS FILTROS LCL PARA CADA VARIADOR DE FRECUENCIA DEL CENTRO DE CARGA MELADURA.

Tabla 1 Detalle del costo del Filtro LCL 35-32A-400.

Detalle de Costos	Nº de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
LC L35-32A-400	4	584 USD	2336 USD
Accesorios	4	153,54 USD	614,16 USD
Costos de envío	4	150 USD	600 USD
Costo total de la Batería			3550,16 USD

Tabla 2 Detalle del costo del Filtro LCL 35-76A-400.

Detalle de Costos	Nº de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
LC L35-76A-400	1	744 USD	744 USD
Accesorios	1	153,54 USD	153,54 USD
Costos de envío	1	150 USD	150 USD
Costo total de la Batería			1047,54 USD

PROFORMA DE LOS COSTOS TOTALES DEL FILTRO FAR6-HP-AP57-70-480 PARA EL CENTRO DE CARGA MELADURA.

Tabla 3 Detalle del costo del Filtro FAR6-HP-AP57-70-480.

Detalle de Costos	Nº de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
Condensadores de 30 kVAr	1	656 USD	656 USD
Reactancia de filtrado para el 5 to armónico a (50 A).	1	1212,56 USD	1212,56 USD
Reactancia de filtrado para el 7 mo armónico a (35 A).	1	974,80 USD	974,80 USD
Regulador Relé marca Royal	1	1270 USD	1270 USD
Accesorios	1	3038,92 USD	3038,92 USD
Costos de envío	1	920 USD	920 USD
Costo total de la Batería			8072,28 USD

ANEXO VII

Cálculos de la potencia y costos de consumo en la fase primaria 1 del transformador de 50 kVA.

$$\text{Potencia consumida} = \text{Potencia de Salida} \times \text{Tiempo}$$

$$= 27 \text{ kW} \times 6912 \text{ h}$$

$$= 186.624 \text{ kWh}$$

$$\text{Costos de Consumo} = \text{Potencia consumida} \times 0.12 \text{ USD}$$

$$= 186.624 \text{ kWh} \times 0.12$$

$$= 22394,88 \text{ USD}$$

$$\text{Tiempo en horas} = 24 \text{ h} \times 6 \text{ días} \times 4 \text{ semanas} \times 12 \text{ meses} = 6912 \text{ h}$$

Cálculos de la potencia y costos de consumo en la fase primaria 3 del transformador de 50 kVA.

$$\text{Potencia consumida} = \text{Potencia de Salida} \times \text{Tiempo}$$

$$= 37 \text{ kW} \times 6912 \text{ h}$$

$$= 255.744 \text{ kWh}$$

$$\text{Costos de Consumo} = \text{Potencia consumida} \times 0.12 \text{ USD}$$

$$= 255.744 \text{ kWh} \times 0.12$$

$$= 30689,28 \text{ USD}$$

$$\text{Tiempo en horas} = 24 \text{ h} \times 6 \text{ días} \times 4 \text{ semanas} \times 12 \text{ meses} = 6912 \text{ h}$$

Cálculos de los costos totales de consumo en las fases primarias del transformador de 50 kVA.

$$\text{Costos Totales} = \text{Costos de bajo Fp Fase No 1} + \text{Costos de bajo Fp Fase No 3}$$

$$\text{Costos Totales} = 22394,88 \text{ USD} + 30689,28 \text{ USD} = \mathbf{53084,16 \text{ USD.}}$$

ANEXO VIII

PROFORMA DE LOS COSTOS DE LA BATERÍA AUTORREGULADA DE 25 KVAR PARA LA FASE SECUNDARIA 1 DEL TRANSFORMADOR DE 50 KVA.

Tabla 4 Detalle del costo de la Batería Autoguiada Mural Tipo A.

Detalle de Costos	N° de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
Condensadores de 2,5 kVAr	2	35,23 USD	70,46 USD
Condensadores de 5 kVAr	4	45,8 USD	183,2 USD
Regulador Automático PR-2D	1	251 USD	251 USD
Accesorios	1	256 USD	256 USD
Costos de envío	1	200 USD	200 USD
Costo total de la Batería			960.66 USD

CÁLCULOS DE LOS COSTOS DE LA BATERÍA AUTORREGULADA DE 15 KVAR PARA LA FASE SECUNDARIA 3 DEL TRANSFORMADOR DE 50 KVA.

Tabla 5 Detalle del costo de la Batería Autoguiada Mural Tipo A.

Detalle de Costos	N° de unidades	Precio c/u	Precio Total en USD
Condensadores de 5 kVAr	3	45,8 USD	137,4 USD
Regulador Automático PR-3D	1	223,67 USD	223,67 USD
Accesorios	1	256 USD	220 USD
Costos de envío	1	200 USD	200 USD
Costo total de la Batería			781,07 USD



Figura 1 Batería autorregulada Serie Mural Tipo A.

ANEXO IX

REGISTRO DE DATOS DE LAS MEDICIONES EN EL CENTRO DE CARGA MELADURA

	C1: 250.U1	C2: 250.U2	C3: 250.U3	C4: 250.I1	C5: 250.I2	C6: 250.I3	TH1: 250.I1	TH2: 250.I2	TH3: 250.I3	THD0: 250.U1	TH1: 250.U2	TH2: 250.U3	THI
	V A C	V A C	V A C	A A C	A A C	A A C	A A C	A A C	A A C	%	%	%	
	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:
16.07.27 11:40	259,4	262,3	262,1	97	109	105	41	45	41	4,8	4,3	5,2	
16.07.27 11:50	259,6	262,3	262,3	95	106	102	41	44	41	4,7	4,3	5,1	
16.07.27 12:00	259,5	262,4	262,1	94	105	101	41	44	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 12:10	259,2	262,6	262,2	96	106	102	40	43	40	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 12:20	259,4	262,5	261,9	96	106	102	40	44	41	4,8	4,4	5,2	
16.07.27 12:30	259,3	262,6	262,1	96	106	101	41	44	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 12:40	259,3	262,5	262,2	96	107	103	41	44	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 12:50	259,4	262,3	262,4	96	106	102	41	44	41	4,7	4,3	5,1	
16.07.27 13:00	259,2	262,5	262,1	96	107	103	40	44	41	4,8	4,4	5,1	
16.07.27 13:10	259,1	262,4	262,2	100	110	106	41	44	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 13:20	259,2	262,5	261,9	98	109	104	41	44	41	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 13:30	259,1	262,4	261,7	100	112	107	41	45	41	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 13:40	259,2	262,5	261,9	98	108	104	42	45	41	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 13:50	259,2	262,4	261,9	101	112	107	41	45	41	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 14:00	259	262,4	261,8	104	116	111	42	46	42	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 14:10	259	262,1	262	105	116	111	41	44	41	4,8	4,4	5,1	
16.07.27 14:20	259	262,2	261,8	103	114	110	42	45	41	4,8	4,4	5,1	
16.07.27 14:30	259,4	262,1	262,2	102	113	109	41	45	41	4,8	4,4	5,1	
16.07.27 14:40	259,2	262,2	262,6	97	109	105	40	44	41	4,6	4,2	4,8	
16.07.27 14:50	259,3	262,4	262,3	90	101	97	41	44	41	4,8	4,3	5	
16.07.27 15:00	259,4	262,4	261,8	93	104	99	41	45	41	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 15:10	259,3	262,3	262,1	96	108	103	41	45	41	4,8	4,4	5,1	
16.07.27 15:20	259,3	262,3	261,9	97	109	104	41	45	41	4,8	4,4	5,1	
16.07.27 15:30	259,1	262,4	261,7	98	110	105	41	45	41	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 15:40	259,2	262,2	262,2	96	108	103	41	44	41	4,7	4,3	5	
16.07.27 15:50	259,2	262,3	262,4	95	107	103	40	44	41	4,8	4,3	5	
16.07.27 16:00	259,2	262,7	262,3	91	102	98	40	44	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 16:10	259,3	262,7	262,2	92	103	98	41	45	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 16:20	259,2	262,6	262,1	95	106	102	41	45	42	4,9	4,3	5,2	
16.07.27 16:30	259,3	262,6	262,1	98	108	104	41	45	42	4,9	4,4	5,2	
16.07.27 16:40	259,1	262,6	262,2	98	108	104	41	45	41	4,9	4,4	5,1	
16.07.27 16:50	259,1	262,6	262,1	99	110	105	41	45	41	4,9	4,3	5,2	
16.07.27 17:00	259,1	262,7	262,1	98	108	103	41	45	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 17:10	259,1	262,7	262,2	96	106	102	41	44	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 17:20	259,1	262,7	262,3	95	105	100	41	45	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 17:30	259,1	262,6	262,2	96	107	102	41	45	41	4,8	4,3	5,1	
16.07.27 17:40	260,3	262,4	262,6	87	96	92	39	42	39	4,3	4	4,6	
16.07.27 17:50	261,4	263	262,4	65	72	70	36	38	36	3,9	3,6	4,2	
16.07.27 18:00	260,2	262,7	262,7	81	90	86	39	42	39	4,3	4	4,6	
16.07.27 18:10	259,2	262,7	262,6	92	102	97	40	44	40	4,7	4,3	5	
16.07.27 18:20	259,1	262,7	262,4	91	102	97	40	44	41	4,7	4,3	5,1	
16.07.27 18:30	259,2	262,9	262,3	90	100	96	41	44	41	4,8	4,3	5,2	
16.07.27 18:40	259,1	263	262,4	91	102	98	41	45	41	4,8	4,3	5,2	
16.07.27 18:50	259,2	263	262,4	92	103	99	41	45	41	4,8	4,3	5,3	
16.07.27 19:00	259,3	262,9	262,5	92	103	100	41	45	41	4,8	4,3	5,3	
16.07.27 19:10	259,1	262,9	262,5	93	104	101	41	45	41	4,8	4,3	5,2	
16.07.27 19:20	258,9	262,9	262,5	96	108	104	41	45	40	4,8	4,3	5,2	

16.07.27 18:00	260,2	262,7	262,7	81	90	86	39	42	39	4,3	4	4,6
16.07.27 18:10	259,2	262,7	262,6	92	102	97	40	44	40	4,7	4,3	5
16.07.27 18:20	259,1	262,7	262,4	91	102	97	40	44	41	4,7	4,3	5,1
16.07.27 18:30	259,2	262,9	262,3	90	100	96	41	44	41	4,8	4,3	5,2
16.07.27 18:40	259,1	263	262,4	91	102	98	41	45	41	4,8	4,3	5,2
16.07.27 18:50	259,2	263	262,4	92	103	99	41	45	41	4,8	4,3	5,3
16.07.27 19:00	259,3	262,9	262,5	92	103	100	41	45	41	4,8	4,3	5,3
16.07.27 19:10	259,1	262,9	262,5	93	104	101	41	45	41	4,8	4,3	5,2
16.07.27 19:20	258,9	262,9	262,5	96	108	104	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 19:30	259	262,8	262,6	100	111	107	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 19:40	259,1	262,8	262,3	101	112	109	41	45	40	4,9	4,3	5,3
16.07.27 19:50	259,1	262,8	262,4	102	114	110	41	45	40	4,8	4,3	5,3
16.07.27 20:00	259,1	262,9	262,4	100	111	107	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 20:10	259,1	262,8	263	96	106	103	40	44	40	4,8	4,2	5,1
16.07.27 20:20	259,2	262,8	262,9	94	104	100	40	44	40	4,7	4,2	5,1
16.07.27 20:30	259,1	262,8	262,9	95	106	102	40	44	40	4,8	4,3	5,1
16.07.27 20:40	259,1	262,9	262,7	97	108	104	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 20:50	259,1	262,9	262,8	94	105	101	40	44	39	4,7	4,3	5,1
16.07.27 21:00	259,2	262,8	262,9	93	103	100	40	44	39	4,7	4,2	5,1
16.07.27 21:10	259,2	262,8	263	94	105	101	40	44	40	4,8	4,2	5,1
16.07.27 21:20	259,2	262,8	263,1	91	101	98	40	44	40	4,7	4,2	5,1
16.07.27 21:30	259	262,8	262,9	94	104	100	40	44	39	4,7	4,2	5,1
16.07.27 21:40	259,1	262,7	262,8	97	108	104	41	44	40	4,7	4,3	5,1
16.07.27 21:50	259,5	262,4	263,1	95	106	101	41	44	40	4,6	4,2	5
16.07.27 22:00	259,4	262,4	263	95	106	102	40	44	40	4,6	4,2	5
16.07.27 22:10	259,1	262,8	262,7	96	107	103	41	45	40	4,8	4,3	5,1
16.07.27 22:20	259,3	262,7	262,8	93	104	100	40	44	40	4,7	4,2	5,1
16.07.27 22:30	259,2	262,8	262,6	93	104	100	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 22:40	259,1	262,7	262,6	98	109	104	42	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 22:50	259	262,7	262,5	102	113	108	42	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 23:00	259,1	262,7	262,5	99	110	105	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 23:10	259,1	262,7	262,4	101	112	107	42	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 23:20	259	262,5	262,1	117	128	121	49	52	46	5	4,5	5,4
16.07.27 23:30	259	262,7	262,5	103	114	109	41	45	40	4,8	4,3	5,2
16.07.27 23:40	258,9	262,6	262,4	116	127	122	46	50	44	4,9	4,4	5,3
16.07.27 23:50	258,9	262,6	262,6	110	121	116	42	45	40	4,7	4,3	5,2
16.07.28 00:00	258,9	262,6	262,7	110	121	116	42	45	40	4,7	4,3	5,2
16.07.28 00:10	258,9	262,6	262,7	109	121	115	42	45	40	4,7	4,3	5,2
16.07.28 00:20	258,8	262,6	262,6	112	123	118	42	46	40	4,8	4,3	5,2
16.07.28 00:30	259,1	262,4	262,9	110	122	116	42	46	40	4,7	4,2	5,1
16.07.28 00:40	258,8	262,6	262,7	112	123	118	42	46	40	4,8	4,3	5,2
16.07.28 00:50	259,2	262,4	262,8	109	120	115	41	45	39	4,6	4,2	5,1
16.07.28 01:00	259,4	262,3	263,1	102	113	108	41	44	39	4,6	4,2	5
16.07.28 01:10	259,3	262,5	262,6	103	114	109	41	45	40	4,7	4,3	5,1
16.07.28 01:20	259,1	262,6	262,8	100	111	107	40	44	39	4,7	4,3	5,1
16.07.28 01:30	259,4	262,5	263	97	108	103	40	44	39	4,6	4,2	5
16.07.28 01:40	259,8	262,3	263,1	96	107	102	40	44	39	4,5	4,2	4,9
16.07.28 01:50	259,5	262,4	263	99	110	106	41	44	40	4,6	4,2	5
16.07.28 02:00	259,7	262,2	263,3	96	107	103	41	44	40	4,6	4,2	4,9
16.07.28 02:10	260,8	262,9	262,9	82	89	87	37	40	37	4	3,8	4,4
16.07.28 02:20	260,9	263,4	262,9	64	71	69	35	38	36	3,9	3,7	4,3
16.07.28 02:30	259,5	262,6	263,2	90	100	97	40	44	39	4,7	4,2	5
16.07.28 02:40	259,9	262,2	263,4	96	106	102	40	44	39	4,6	4,2	4,9
16.07.28 02:50	259,8	262,4	263,3	94	104	100	40	44	39	4,6	4,2	4,9
16.07.28 03:00	260,1	262,1	263,4	94	104	100	40	43	39	4,5	4,2	4,9
16.07.28 03:10	259,9	262,3	263,5	93	103	100	40	44	39	4,6	4,2	4,9

#A: S1(calcul.)	C1: 250.Freq	C2: 250.PFsu	C3: 250.P1	C4: 250.P2	C5: 250.P3	C6: 250.Q1	C7: 250.Q2	C8: 250.Q3	C9: 250.S1	C10: 250.S2	C11: 250.S3	C2: 250.EPst	
VA	Hz	CosPhi	W	W	W	var	var	var	VA	VA	VA	Wh	
	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	
2006.07.28 12:30:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 12:40:00	1.258.950	59,95	0,84	19.000	23.000	21.000	13.000	13.000	14.000	23.000	26.000	25.000	592.000
2006.07.28 12:50:00	1.258.950	59,95	0,85	20.000	23.000	21.000	13.000	13.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 13:00:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	26.000	592.000
2006.07.28 13:10:00	1.318.900	59,95	0,85	20.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 13:20:00	1.258.950	59,95	0,85	20.000	23.000	21.000	13.000	13.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 13:30:00	1.258.950	59,95	0,85	20.000	23.000	21.000	13.000	14.000	15.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 13:40:00	1.318.900	59,95	0,85	20.000	24.000	22.000	13.000	13.000	15.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 13:50:00	1.318.900	59,95	0,84	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 14:00:00	1.318.900	59,95	0,84	21.000	24.000	22.000	14.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 14:10:00	1.318.900	59,95	0,84	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	26.000	592.000
2006.07.28 14:20:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	25.000	22.000	14.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 14:30:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 14:40:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 14:50:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 15:00:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	26.000	592.000
2006.07.28 15:10:00	1.258.950	59,95	0,84	19.000	23.000	21.000	13.000	14.000	14.000	23.000	26.000	25.000	592.000
2006.07.28 15:20:00	1.258.950	59,95	0,84	20.000	23.000	21.000	13.000	14.000	15.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 15:30:00	1.258.950	59,95	0,84	20.000	23.000	21.000	13.000	14.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 15:40:00	1.258.950	59,95	0,85	20.000	24.000	21.000	13.000	14.000	15.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 15:50:00	1.258.950	59,95	0,85	20.000	23.000	21.000	13.000	14.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 16:00:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 16:10:00	1.318.680	59,94	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 16:20:00	1.258.950	59,95	0,86	20.000	23.000	21.000	12.000	13.000	13.000	24.000	27.000	25.000	592.000
2006.07.28 16:30:00	1.318.680	59,94	0,85	20.000	24.000	22.000	13.000	14.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 16:40:00	1.318.900	59,95	0,84	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	24.000	28.000	26.000	592.000
2006.07.28 16:50:00	1.318.900	59,95	0,85	20.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 17:00:00	1.318.900	59,95	0,85	20.000	23.000	22.000	13.000	14.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 17:10:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 17:20:00	1.378.850	59,95	0,85	21.000	25.000	23.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 17:30:00	1.315.380	59,79	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	592.000
2006.07.28 17:40:00	899.250	59,95	0,79	13.000	15.000	15.000	11.000	11.000	12.000	17.000	19.000	19.000	592.000
2006.07.28 17:50:00	1.258.740	59,94	0,85	19.000	22.000	21.000	13.000	13.000	14.000	23.000	26.000	25.000	592.000
2006.07.28 18:00:00	1.318.900	59,95	0,85	21.000	24.000	22.000	13.000	14.000	14.000	24.000	27.000	26.000	592.000
2006.07.28 18:10:00	1.378.850	59,95	0,86	22.000	25.000	23.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	603.000
2006.07.28 18:20:00	1.378.850	59,95	0,86	22.000	25.000	23.000	13.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	615.000
2006.07.28 18:30:00	1.378.850	59,95	0,85	22.000	25.000	23.000	14.000	14.000	15.000	26.000	29.000	28.000	627.000
2006.07.28 18:40:00	1.378.850	59,95	0,85	21.000	25.000	23.000	14.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	638.000
2006.07.28 18:50:00	1.378.850	59,95	0,85	21.000	25.000	23.000	14.000	14.000	15.000	25.000	28.000	27.000	649.000
2006.07.28 19:00:00	1.378.620	59,94	0,85	22.000	25.000	23.000	14.000	14.000	15.000	26.000	29.000	28.000	661.000
2006.07.28 19:10:00	1.438.800	59,95	0,86	22.000	26.000	24.000	14.000	14.000	15.000	26.000	29.000	29.000	673.000
2006.07.28 19:20:00	1.438.800	59,95	0,86	23.000	26.000	24.000	14.000	14.000	16.000	27.000	30.000	29.000	685.000
2006.07.28 19:30:00	1.438.800	59,95	0,86	23.000	26.000	24.000	14.000	15.000	16.000	27.000	30.000	29.000	698.000
2006.07.28 19:40:00	1.438.560	59,94	0,86	22.000	25.000	24.000	14.000	14.000	15.000	26.000	29.000	28.000	709.000
2006.07.28 19:50:00	1.378.620	59,94	0,85	21.000	25.000	23.000	14.000	14.000	15.000	25.000	29.000	28.000	721.000

ANEXO X

REGISTRO DE DATOS DE LAS MEDICIONES EN EL TRANSFORMADOR DE 50 kVA

	C 1: 250.U1	C 2: 250.U3	C 3: 250.I1	C 4: 250.I3	C 5: 250.P1	C 6: 250.P3	C 7: 250.Q1	C 8: 250.Q3	9: 250.U1 TH	10: 250.U3 TH	11: 250.I1 TH	12: 250.I3 TH	13: 250.P1 TH	14: 250.P3 TH
	V A C	V A C	A A C	A A C	W	W	var	var	%	%	A A C	A A C	A A C	A A C
	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:	Avr:
06.07.30 11:40:C	261	263,9	50	51	10.000	13.000	9.000	5.000	4,1	4,4	3	3	3	3
06.07.30 11:50:C	261,2	263,9	51	51	10.000	13.000	9.000	5.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 12:00:C	260,8	264	50	51	10.000	13.000	8.000	5.000	4,1	4,4	3	3	3	3
06.07.30 12:10:C	261,2	264	51	51	10.000	13.000	8.000	5.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 12:20:C	260,9	264,1	49	50	10.000	12.000	8.000	5.000	4,1	4,4	3	3	3	3
06.07.30 12:30:C	260,9	264,1	46	47	9.000	12.000	8.000	4.000	4,1	4,4	3	3	3	3
06.07.30 12:40:C	261,1	264,2	47	47	9.000	12.000	8.000	4.000	4,1	4,3	3	3	3	3
06.07.30 12:50:C	261,1	264	47	47	9.000	12.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 13:00:C	261,2	264	47	47	9.000	12.000	8.000	4.000	4,1	4,3	3	3	3	3
06.07.30 13:10:C	261	264	45	45	9.000	11.000	8.000	4.000	4,1	4,4	3	3	3	3
06.07.30 13:20:C	261,3	264	45	46	9.000	11.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 13:30:C	261,4	263,8	45	45	9.000	11.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 13:40:C	261,4	264,1	49	49	10.000	12.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 13:50:C	261	264,2	49	50	10.000	12.000	8.000	5.000	4,1	4,3	3	3	3	3
06.07.30 14:00:C	261,5	264,2	49	49	9.000	12.000	8.000	4.000	3,9	4,2	3	3	3	3
06.07.30 14:10:C	261,4	264,2	50	51	10.000	13.000	9.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 14:20:C	261	264,1	49	50	10.000	12.000	9.000	4.000	4,1	4,3	3	3	3	3
06.07.30 14:30:C	261,2	263,9	47	47	9.000	12.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 14:40:C	261,2	264,1	43	44	8.000	11.000	7.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 14:50:C	261,3	264	44	45	9.000	11.000	8.000	4.000	4,1	4,4	3	3	3	3
06.07.30 15:00:C	261,6	264,2	45	45	9.000	11.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 15:10:C	261,7	264,1	44	44	8.000	11.000	8.000	4.000	3,9	4,2	3	3	3	3
06.07.30 15:20:C	262,1	263,9	46	47	9.000	12.000	8.000	4.000	3,7	4	3	3	3	3
06.07.30 15:30:C	261,9	264,2	48	48	9.000	12.000	8.000	4.000	3,8	4,1	3	3	3	3
06.07.30 15:40:C	261,4	264,4	50	50	10.000	13.000	9.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 15:50:C	261,3	264,3	51	51	10.000	13.000	9.000	5.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 16:00:C	261,6	264,5	50	50	10.000	12.000	8.000	5.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 16:10:C	261,4	264,4	47	47	9.000	12.000	8.000	4.000	4	4,3	3	3	3	3
06.07.30 17:20:C	261,1	264,1	43	44	8.000	11.000	7.000	4.000	4	4,2	3	3	3	3
06.07.30 17:30:C	261,3	263,9	44	45	9.000	11.000	7.000	4.000	4	4,2	3	3	3	3
06.07.30 17:40:C	261,4	264,3	46	46	9.000	12.000	8.000	4.000	3,9	4,2	3	3	3	3
06.07.30 17:50:C	261,6	264,5	49	49	9.000	12.000	8.000	5.000	3,9	4,2	3	3	3	3
06.07.30 18:00:C	262	264,3	45	45	9.000	11.000	8.000	4.000	3,8	4,1	3	3	3	3
06.07.30 18:10:C	262	264,7	45	45	9.000	11.000	8.000	4.000	3,9	4,2	3	3	3	3

6.07.30 18:10	262	264,7	45	45	9.000	11.000	8.000	4.000	3,9	4,2	3	3
6.07.30 18:20	262,2	264,6	46	46	9.000	11.000	8.000	4.000	3,8	4,1	3	3
6.07.30 18:30	261,8	264,4	73	74	11.000	18.000	15.000	4.000	3,8	4,2	7	7
6.07.30 18:40	262,1	264,6	91	91	15.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	10
6.07.30 18:50	262,2	264,5	93	93	16.000	24.000	18.000	6.000	3,8	4,1	11	11
6.07.30 19:00	262	264,6	92	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 19:10	261,8	264,5	91	91	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 19:20	261,6	264,7	91	91	16.000	23.000	18.000	6.000	3,9	4,3	11	11
6.07.30 19:30	262,1	264,6	91	91	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 19:40	261,9	264,7	91	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	10
6.07.30 19:50	262	264,5	95	95	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,2	11	10
6.07.30 20:00	261,9	264,6	92	93	16.000	24.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 20:10	261,8	264,7	92	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	10
6.07.30 20:20	262	264,6	93	93	16.000	24.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	10
6.07.30 20:30	262,1	264,6	92	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	10
6.07.30 20:40	261,7	264,7	88	88	15.000	22.000	17.000	6.000	3,9	4,2	11	11
6.07.30 20:50	261,8	264,6	91	91	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 21:00	261,7	264,8	92	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 21:10	261,9	264,7	92	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 21:20	261,6	264,8	92	92	16.000	23.000	18.000	6.000	3,9	4,3	11	11
6.07.30 21:30	261,7	264,6	93	94	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 21:40	262	264,3	90	90	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 21:50	262,1	264,5	90	90	16.000	23.000	17.000	6.000	3,7	4,2	11	11
6.07.30 22:00	261,7	264,6	89	89	16.000	23.000	17.000	6.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 22:10	261,6	264,8	89	90	16.000	23.000	17.000	6.000	3,9	4,3	11	11
6.07.30 22:20	262	264,6	90	90	16.000	23.000	17.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 22:30	261,5	264,5	89	89	15.000	22.000	17.000	6.000	3,9	4,3	11	11
6.07.30 22:40	261,9	264,6	89	89	16.000	23.000	17.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 22:50	261,8	264,7	89	89	15.000	23.000	17.000	6.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 23:00	261,8	264,6	89	89	15.000	22.000	17.000	6.000	3,8	4,2	11	11
6.07.30 23:10	262	264,8	87	87	15.000	22.000	17.000	6.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 23:20	262,1	264,8	90	90	16.000	23.000	18.000	6.000	3,8	4,3	11	11
6.07.30 23:30	262,3	264,6	92	92	16.000	24.000	18.000	6.000	3,7	4,2	11	10
6.07.30 23:40	262,3	264,7	96	96	17.000	24.000	18.000	7.000	3,7	4,2	11	11
6.07.30 23:50	262,2	265	95	95	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,2	11	11
6.07.31 00:00	262,2	264,9	94	94	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,3	11	11
6.07.31 00:10	262,4	264,9	95	95	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,2	11	11
6.07.31 00:20	262,4	264,9	95	95	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,2	11	11
6.07.31 00:30	262,4	264,8	94	94	17.000	24.000	18.000	7.000	3,8	4,2	11	11

ANEXO XI

FIGURAS RELACIONADAS CON LA TOMA DE DATOS Y EQUIPOS ELÉCTRICOS.



Figura 1. NUEVO TURBOGENERADOR MARCA WEG

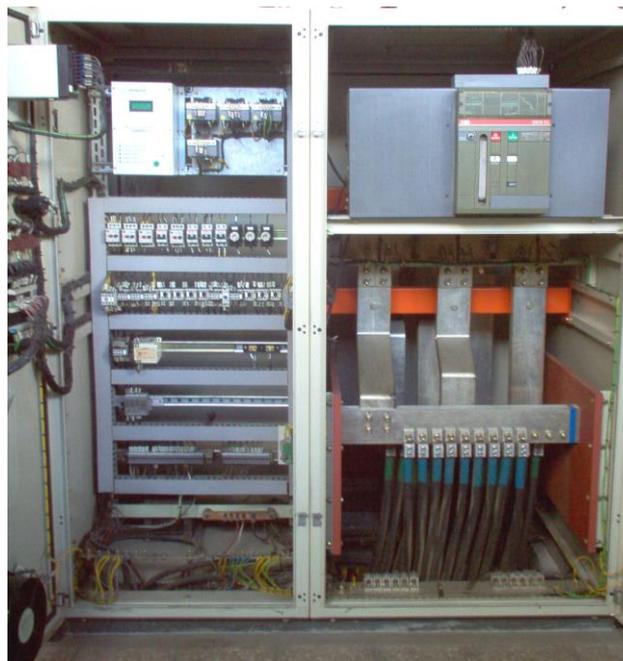


Figura 2. Centro de Control y mando del Turbogenerador marca WEG



Figura 3. Conmutación para la Energía Eléctrica de la EERSSA o del Turbogenerador WEG.



Figura 4. Control de mando de los Centros de Cargas del Ingenio Monterrey MALCA.



Figura 5. Centro de Carga Meladura.



Figura 6. Variadores de frecuencia del Centro de Carga Meladura.

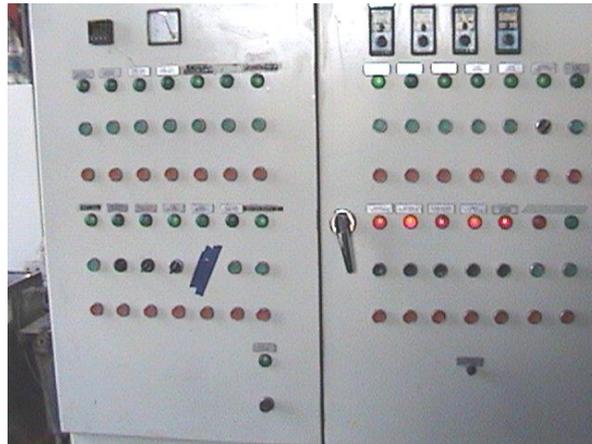


Figura 7. Tablero de mando de los motores del Centro de Carga Meladura.



Figura 8. Transformador de 50 kVA.

The A2000 Mobil-Set consists of

- A2000 Multi-function Power Analyzer with Data Logger (A2000 LD A0 R1 P1 H0 U0 W0) mounted into a
- Carrying Hard-Case 46 cm x 16 cm x 35 cm

Included accessories:

- Connection Cables for
 - mains supply,
 - voltage measurement inputs incl. crocodile clips,
 - RS232 interface
- Setup and Analysis Software METRAwin 10 for Mavolog

Order Number: A202A

Available Accessories

- Z3514 Clip-on Current Transformer 2000A~/1A~ 30 Hz...1.5 kHz; 1%; max. cond.Ø 150x64mm
- Z3512 Clip-on Current Transformer 1000A~/1A~ 30 Hz... 5 kHz; 1%; max. cond.Ø 52 mm
- M1 100A Clip-on Current Transformer 100A~/1A~ 40 Hz... 5 kHz; 2%; max. cond.Ø 15 mm

Figura 9. Analizador de Redes A2000.



Figura 10. Auditor Electro energético.

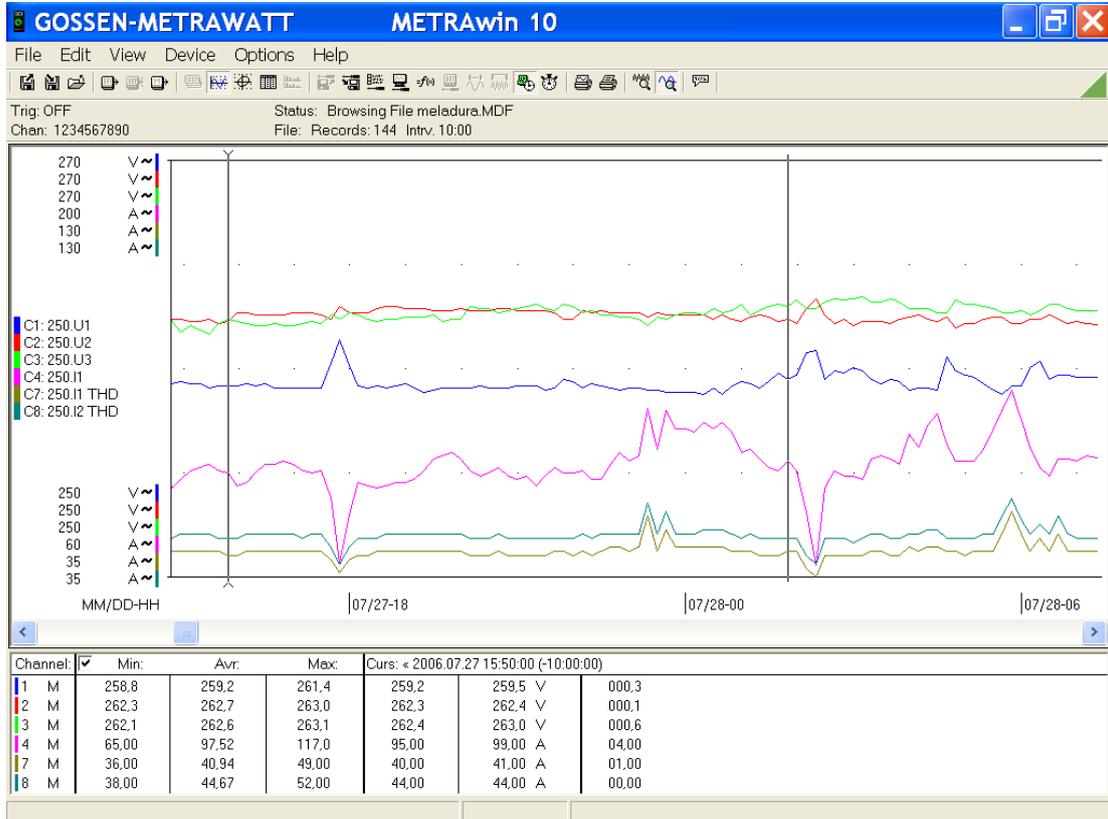


Figura 11. Análisis de datos mediante el programa Metrawin 10.

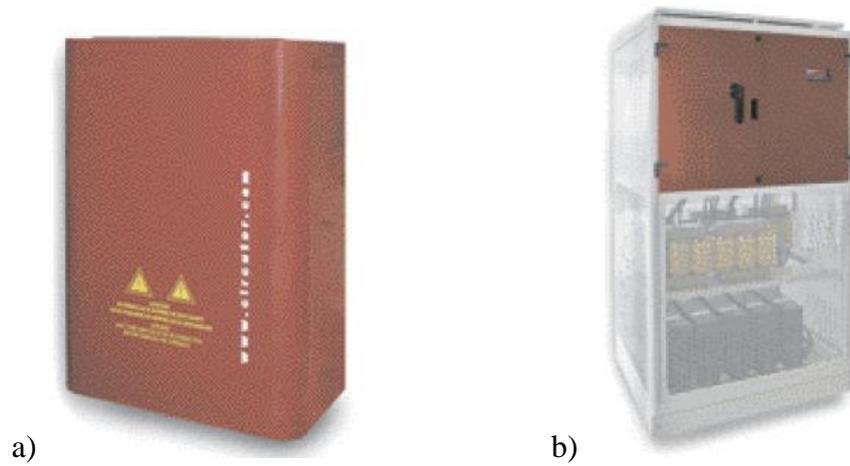


Figura 12. Equipos que mejoran la Calidad de Energía Eléctrica en el centro de Carga Meladura:

- a) Filtro Pasivo LCL para variadores de frecuencia.
- b) Filtro de Absorción.

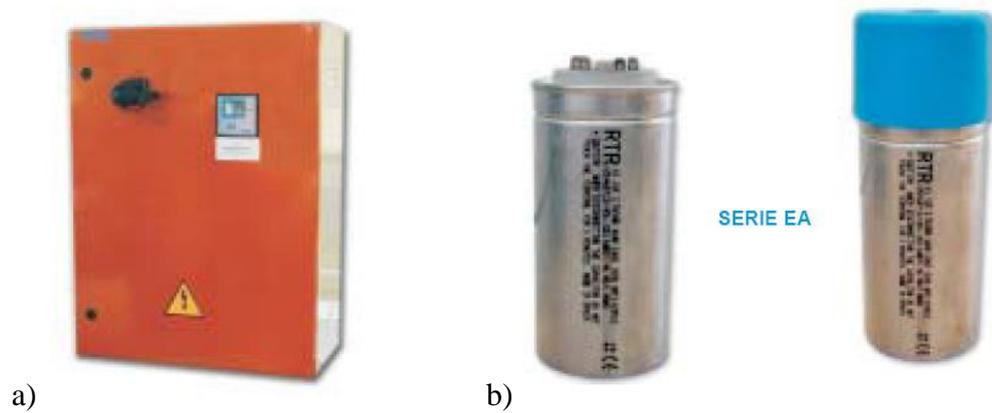


Figura 13. Equipos que mejoran la Calidad de Energía Eléctrica en el Transformador de 50 kVA:

- a) Batería autorregulada.
- b) Condensadores Monofásicos Serie EA.

ANEXO XII

PLANOS

PLANO UNIFILAR GENERALIZADO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL INGENIO MONTERREY “MALCA”.

PLANOS DE LOS CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN Y TOMACORRIENTES DE LA FÁBRICA.