



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

TEMA:

ANALISIS ENERGÉTICO PARA DETERMINAR LOS CORRECTIVOS A LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS EN LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN TEXTIL SAN MIGUEL DE EMPRESAS “PINTO S.A” DENTRO DEL AREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA REGIONAL NORTE S.A.

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

AUTOR

SANTACRUZ CRUZ HUGO BAYARDO

DIRECTOR

ING. MAURICIO VASQUEZ

IBARRA, 2010

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de Trabajo de Grado, presentado por el señor **SANTACRUZ CRUZ HUGO BAYARDO** con el tema: “Análisis energético para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos en las instalaciones de la planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A” dentro del área de concesión de la Empresa Regional Norte S.A. Para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento eléctrico, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Atentamente;

Ing. Mauricio Vásquez
DIRECTOR DE TESIS

Ibarra, octubre de 2010

DEDICATORIA

Tal vez resulte insuficiente, dedicar todos los logros que alcance en esta vida, para expresar la eterna gratitud y admiración que siento hacia mis padres, por estar a mi lado en las etapas más difíciles de mi vida, brindándome esa palabra aliento y aquel abrazo cálido en aquellos momentos cuando el horizonte se perdía en la frustración, cuando las ilusiones se desvanecían en el recuerdo, cuando las lagrimas impedían ver más allá de la realidad, a ellos quienes han sido los puntales de mi superación.

A mis hermanos por su constante motivación y apoyo en todas las actividades que me he propuesto.

A mí amada esposa e hijo, por compartir mis alegrías y tristezas, a quienes no les importo sacrificar el tiempo en familia, con el único fin de que cumpliera con mis aspiraciones profesionales.

Hugo Bayardo Santacruz Cruz

AGRADECIMIENTO

Al sentir que ha llegado el momento tan esperado en mí vida estudiantil, quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento al Ing. Fernando de la Cruz, Gerente de la planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A” y a todo el personal de mantenimiento eléctrico de la Fábrica, al mando del Ingeniero William Rojas.

A mi Director de tesis Ing. Mauricio Vásquez por sus oportunos y sabios conocimientos brindados en todo momento.

A los Ingenieros de EMELNORTE, en especial al Ingeniero Ramiro Flores por su incondicional ayuda.

A todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo desinteresado, para la culminación de este trabajo investigativo.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	1
SUMARY	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I	5
1 El problema de investigación	5
1.1 Antecedentes.	5
1.2 Planteamiento del problema.	6
1.3 Formulación del problema.	6
1.4 Delimitación.	6
1.4.1 Delimitación espacial.	6
1.4.2 Delimitación temporal.	7
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo general.	7
1.5.2 Objetivo específicos.	7
1.6 Justificación	8
CAPITULO II	10
2 Marco teórico	10
2.1 Introducción.	10
2.2 Descripción general de la fábrica.	10
2.2.1 Sección hilatura.	12
2.2.2 Sección tejeduría.	13
2.2.3 Sección tintorería.	14
2.3 Aspecto legal.	15
2.4 Calidad de la energía eléctrica.	16
2.5 Calidad del producto.	17
2.5.1 Nivel de voltaje.	17
2.5.1.1 Consecuencias de una mala regulación de voltaje.	18
2.5.1.2 Parámetros de nivel de voltaje.	19
2.5.1.3 Límites de nivel de voltaje.	19
2.5.2 Perturbaciones de voltaje.	20
2.5.2.1 Flicker (parpadeo)	20
2.5.2.2 Armónicos.	25
2.5.3 Factor de potencia.	39

2.5.3.1	Ventajas de la compensación de reactivos.	40
2.5.3.2	Potencia aparente y activa en función del factor de potencia.	41
2.5.3.3	Tipos de compensación de reactivos	43
2.5.3.4	Compensación fija y automática de reactivos.	46
2.5.3.5	Cálculo del factor de potencia por Emelnorte.	47
2.5.3.6	Índice de calidad del factor de potencia.	47
2.5.3.7	Dimensionamiento del banco de condensadores.	48
2.6	Facturación de energía	50
2.6.1	Tarifas eléctricas.	50
2.7	Centros de transformación	53
2.7.1	El transformador	54
2.7.1.1	Factor de uso de los transformadores	56
2.7.1.2	Pérdidas en los transformadores	57
2.7.1.3	Cálculo de las pérdidas	58
2.7.2	Curva de carga	59
2.8	Gestión energética	61
2.9	Glosario de términos	61
CAPÍTULO III		64
3	Metodología de la investigación	64
3.1	Tipo de investigación.	64
3.1.1	Investigación documental	64
3.1.2	Investigación aplicada	64
3.1.3	Investigación de campo	65
3.2	Métodos	66
3.2.1	Método inductivo	66
3.2.2	Método deductivo	66
3.2.3	Recolección de información.	66
3.2.4	Método analítico	68
3.2.5	Método sintético	68
3.2.6	Método matemático – estadístico.	68
CAPITULO IV		70
4	Análisis e interpretación de resultados.	70
4.1	Recopilación de información.	70
4.2	Registro histórico de lecturas en la fábrica.	70
4.3	Cámaras de transformación.	74
4.4	Levantamiento de la carga.	74
4.4.1	Transformador de 600 kVA	74
4.4.2	Transformador de 630 kVA	77
4.4.3	Carga total instalada en la fábrica.	79
4.5	Cálculo porcentual de la demanda a los transformadores	80
4.5.1	Transformador de 600 kVA	80

4.5.2	Transformador de 630 KVA	81
4.6	Perdidas en los transformadores.	82
4.6.1	Perdidas en vacio.	82
4.6.2	Perdidas en el cobre a potencia nominal.	83
4.6.3	Pérdidas en el cobre	84
4.6.3.1	Transformador de 600 KVA	84
4.6.3.2	Transformador de 630 KVA	84
4.6.3.3	Pérdidas totales.	85
4.6.4	Cálculo económico de las pérdidas en los transformadores.	86
4.7	Mediciones del sistema eléctrico de la fábrica	88
4.7.1	Cálculo del consumo de energía en los transformadores	88
4.7.2	Comparación de datos	89
4.7.3	Índice de voltaje	91
4.7.4	Flícker	93
4.7.5	Armónicos totales de voltaje	95
4.7.6	Armónicos totales de corriente	97
4.7.7	Factor de potencia	99
4.8	Otras observaciones realizadas	1023
CAPITULO V		104
5	Conclusiones y recomendaciones	104
5.1	Conclusiones	104
5.2	Recomendaciones	105
CAPITULO VI		107
6	Propuesta alternativa	107
6.1	Título de la propuesta	107
6.2	Justificación e importancia	107
6.3	Objetivos	108
6.3.1	General	108
6.3.2	Específicos	108
6.4	Desarrollo de la propuesta	108
6.4.1	Desconexión del transformador de 600 KVA	109
6.4.1.1	Costo-beneficio de la desconexión del transformador.	112
6.4.1.2	Presupuesto.	115
6.4.2	Control de la demanda en horas pico.	116
6.4.2.1	Análisis técnico-económico de la situación actual	118
6.4.2.2	Análisis técnico-económico implementando la propuesta	120
6.4.3	Corrección de distorsión armónica	122
6.4.3.1	Análisis técnico de la implementación de la propuesta	123
6.4.3.2	Distorsión armónica individual	124
6.4.3.3	Análisis económico de la propuesta	126
6.5	Bibliografía	127

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Límites de nivel de voltaje	19
2.2	Efectos de las armónicas	26
2.3	Límites de voltajes armónicos individuales y THD	37
2.4	Límites de distorsión de corriente	38
2.5	Coeficientes para calcular la potencia del banco de capacitores	48
2.6	Costo del KWh según pliego tarifario vigente	52
2.7	Fórmulas de pérdidas en vacío y bajo carga	57
3.1	Cronograma de mediciones	65
4.1	Nomenclatura de consumos horarios	71
4.2	Históricos de consumo de energía	72
4.3	Consumo diario de energía	73
4.4	Levantamiento de carga del transformador de 600 KVA	76
4.5	Levantamiento de carga del transformador de 630 KVA	78
4.6	Carga total instalada en la Fábrica "Pinto S.A"	79
4.7	Porcentaje de carga del transformador de 600 KVA	81
4.8	Porcentaje de carga del transformador de 630 KVA	82
4.9	Pérdidas en vacío y bajo carga nominal	83
4.10	Pérdidas totales en los transformadores	85
4.11	Costo económico del funcionamiento de los transformadores	88
4.12	Mediciones de energía consumida	88
4.13	Comparación de datos	90
4.14	Mediciones de nivel de voltaje	91
4.15	Mediciones de flicker	93
4.16	Mediciones de THDV	95
4.17	Mediciones de THDI	97
4.18	Mediciones del Factor de potencia en media tensión	99
4.19	Mediciones del Factor de potencia en baja tensión	100
4.20	Cálculo del factor de potencia mediante el consumo de energía	102
6.1	Demanda de carga de los transformadores	110
6.2	Beneficio económico aplicando el traslado de carga propuesto	114
6.3	Procesos con demanda de carga representativa	117
6.4	Horarios de funcionamiento propuestos	117
6.5	Diferencias de Factor de corrección	118
6.6	Incremento del costo de facturación	119
6.7	Demanda facturada aplicando la propuesta	120
6.8	Ahorro mensual proyectado aplicando la propuesta	121
6.9	THDI del transformador de 600 KVA	122
6.10	Parámetros del filtro PQFK	126

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Exteriores de la Fábrica "Pinto S.A"	10
2.2	Diagrama de la sección de hilatura	11
2.3	Sección de hilatura de la Fábrica "Pinto S.A"	12
2.4	Diagrama de la sección de tejeduría	12
2.5	Sección de tejeduría de la Fábrica "Pinto S.A"	13
2.6	Diagrama de la sección de tintorería	13
2.7	Sección de tintorería de la Fábrica "Pinto S.A"	14
2.8	Onda senoidal deformada	24
2.9	Conexión de cargas monofásicas en sistemas trifásicos	28
2.10	Posicionamiento de cargas perturbadoras	29
2.11	Reagrupación de cargas perturbadoras	30
2.12	Transformador independiente para cada carga	31
2.13	Conexiones especiales en transformadores	32
2.14	Conexión filtro pasivo	33
2.15	Conexión filtro activo	33
2.16	Conexión de filtro híbrido	34
2.17	Triángulo de potencias	39
2.18	Potencia aparente nominal del transformador (KVA)	41
2.19	Compensación global de reactivos	42
2.20	Compensación parcial de reactivos	43
2.21	Compensación individual de reactivos	44
2.22	Centro de transformación de la Fábrica "Pinto S.A"	53
2.23	Vista interior de un transformador	54
2.24	Vista exterior de un transformador	54
2.25	Curva de carga del transformador de 600 KVA	59
2.26	Curva de carga del transformador de 630 KVA	59
3.1	Características del analizador de energía Fluke 1744	67
4.1	Históricos de consumo de energía	70
4.2	Transformador de 600 KVA	75
4.3	Transformador de 630 KVA	77
4.4	Carga instalada en la Fábrica "Pinto S.A"	79
4.5	Demanda de carga máxima al transformador de 600 KVA	80
4.6	Demanda de carga máxima al transformador de 630 KVA	81
4.7	Consumo de energía por transformador	89
4.8	Voltaje en baja tensión	91
4.9	Voltaje de fase en media tensión	92
4.10	Espectro del Flicker del transformador de 600KVA	93
4.11	Espectro del Flicker del transformador de 630KVA	94
4.12	Espectro total del Flicker (Pst)	94
4.13	THDV del transformador de 600 KVA	95
4.14	THDV del transformador de 630 KVA	96
4.15	THDI del transformador de 600 KVA	97

4.16	THDI del transformador de 630 KVA	98
4.17	Mediciones dentro de norma IEEE	98
4.18	Espectro del factor de potencia total en media tensión	100
4.19	Espectro del Fp en BT del transformador de 600 KVA	101
4.20	Espectro del Fp en BT del transformador de 630 KVA	101
6.1	Fuga de aceite dieléctrico del transformador de 600 KVA	108
6.2	Distancia de caída de tensión	111
6.3	Demanda máxima proyectada del transformador de 630 KVA	112
6.4	Curva de carga diaria de la Fábrica	116
6.5	Comparación de la demanda facturada aplicada el FCI	119
6.6	Comparación de la demanda propuesta	121
6.7	THDI del transformador de 600 KVA	122
6.8	Corrientes armónicas del transformador de 600 KVA	123
6.9	Distorsión armónica individual	125

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue el realizar un análisis energético de las instalaciones de la planta de producción San Miguel de Empresas "Pinto", ubicada en el Km. 1 vía Selva Alegre, cantón Otavalo, provincia de Imbabura, con el objeto de determinar los correctivos a los disturbios eléctricos existentes y proponer alternativas de ahorro de energía mediante un uso adecuado de la maquinaria, energía que está siendo abastecida por la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A, EMELNORTE, que realiza el suministro de energía en media tensión a 13.800 V (13,8KV), que sirve para alimentar a dos transformadores trifásicos de 600 KVA y 630 KVA ubicados en la cámara de transformación dentro de la Fábrica, de los cuales se deriva la red de baja tensión a 220/127 V, que alimenta los tableros de distribución para hilatura, tejeduría y tintorería; de los cuales se realizó el levantamiento de cargas lineales y no lineales. Los parámetros eléctricos que fueron evaluados, de acuerdo la Regulación No. CONELEC 004/001, fueron el nivel de voltaje, perturbaciones (FLICKER, THDV); y, factor de potencia, mediante equipos de análisis de calidad de energía, para luego de transcurridos los siete días de registro que establece la Regulación, proceder a analizar e interpretar la información que fue almacenada, teniendo en cuenta que este análisis se complementó con otro tipo de información entre los que se incluye facturas de consumos, mediciones en tableros de distribución, manuales de equipos, etc. lo cual sirvió para establecer el estado en que se encuentra el sistema e identificar los centros de mayor consumo de energía, lo que permitió plantear la propuesta alternativa en base a una evaluación técnica y económica viable.

SUMARY

The purpose of this work was to perform an energy analysis of the facilities of the plant San Miguel de Empresas "Pinto", located at Km. 1 via Selva Alegre, Canton Otavalo, Imbabura province in order to determine the corrections to electrical disturbances and to propose alternatives for energy savings through proper use of machinery, it is being supplied by the Regional Utility North SA, EMELNORTE, which makes the power supply at medium voltage to 13,800 V (13.8 kV), used to feed two three-phase transformers of 600 KVA and 630 KVA located in the processing chamber within the factory, the which result in the low-voltage 220/127 V, which feeds the distribution boards for spinning, weaving and dyeing, which was the removal of linear and nonlinear loads. The electrical parameters were evaluated according CONELEC Regulation No. 004/001, was the level of voltage disturbances (FLICKER, THD) and power factor by quality analysis equipment for energy, which after seven days after registration establishes the regulation, we proceeded to analyze and interpret the information that was stored, taking into account that this analysis was complemented with other information including bills include consumption, measurements on distribution boards manuals, equipment, etc. which served to set the state which is the system and identify the centers of higher energy consumption, which allowed us to propose an alternative proposal based on a viable technical and economic evaluation.

INTRODUCCIÓN

La planta textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A.” se encuentra ubicada en la ciudad de Otavalo, la cual ha crecido vertiginosamente durante estos últimos años, contribuyendo enormemente al desarrollo nacional, regional y local, a través de la previsión de fuentes de trabajo; y, en su afán de estar a la par de los avances tecnológicos ha implementado maquinaria, con un gran desarrollo tecnológico, alto rendimiento, gran capacidad y bajo costo, cuyo funcionamiento incorpora fundamentalmente la electrónica de potencia, la misma que al ser una carga no lineal, es altamente sensible a las variaciones en el suministro eléctrico causado por su propia presencia; lo que hace necesario que se realice un análisis de la energía que está siendo usada, dentro del proceso de producción y funcionamiento de la Fábrica, enfocado a proporcionar los correctivos necesario, para obtener una alimentación más adecuada, es por eso que el presente trabajo pretende, de cierta manera, determinar los problemas generados por los diferentes disturbios que afecta la calidad de la energía, sus causas, sus efectos sobre los equipos y sobre el sistema, y las alternativas para mejorarla y así evitar daños futuros en las instalaciones.

El suministro de energía eléctrica es uno de los principales servicios en las sociedades modernas, ya que soporta y apuntala la vitalidad comercial, industrial y social de los países, es por esto que el suministro de energía eléctrica debe estar sujeto a la aplicación de normativas de evaluación de calidad, por tal motivo nuestro país cuenta con leyes, reglamentos y regulaciones, cuyo propósito es proporcionar un óptimo servicio dentro de los límites de calidad. En el año 2001 se emite la Regulación No. CONELEC 004/01 sobre los índices de calidad del servicio eléctrico de distribución, el objetivo de esta regulación es establecer los niveles de calidad de prestación del servicio eléctrico, dentro de esta regulación se encuentran tres normativas, siendo de gran

importancia para el presente trabajo la que se refiere a la Calidad del Producto.

Se debe tener muy en cuenta que el análisis técnico no debe estar separado del análisis económico, ya que el valor agregado al producto final juega un papel fundamental, en virtud que los costos de implementación de equipos que mejoren la calidad de la energía eléctrica, serán asumidos, en parte, por el consumidor final o cliente.

En la actualidad dentro de las políticas de uso eficiente de la energía eléctrica, se viene fomentando programas de ahorro energético, mediante el empleo de elementos más eficientes, que brindando similar confort y servicio, permiten la reducción de los niveles de consumo de energía eléctrica; con los consiguientes beneficios energéticos, ambientales y económicos para los usuarios del servicio y para el entorno; pero en el país la falta de información a los consumidores hace que estos programas no lleguen a aplicarse de manera correcta y no sean difundidos a la población.

El recurso energético es muy importante dentro de las empresas, ya que un mal uso de la energía eléctrica puede causar un costo económico cuantioso, que puede repercutir en forma negativa en el desempeño de la actividad comercial de las empresas o fábricas.

Al decir energía, se tendrá que aclarar que de aquí en adelante éste término se referirá únicamente a la energía eléctrica como tal, siendo la esencia de este trabajo el estudio de los disturbios eléctricos y el ahorro energético.

CAPITULO I

1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes.

La planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A.” se encuentra ubicada en el Km. 1 vía Selva Alegre, cantón Otavalo, provincia de Imbabura.

Actualmente la planta de producción textil de Empresas “Pinto S.A.” es abastecida por EMELNORTE en media tensión a 13,8 KV, la instalación comprende una acometida subterránea de treinta metros, que se dirige hasta el centro de transformación y medición, en donde se encuentran dos transformadores, el primero de 600 KVA alimenta los circuitos de hilatura y tejeduría, el segundo transformador es de 630 KVA y se encuentra alimentando los circuitos de tintorería, compresores y oficinas principalmente; obteniéndose con esto una capacidad total de 1.230 KVA.

La planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A.” se encuentra en la necesidad de realizar un análisis energético de los circuitos eléctricos, con el objeto de buscar los mecanismos más idóneos para ahorrar energía y corregir o minimizar los disturbios que estén generando desordenes en el sistema eléctrico y por ende en los equipos, razón por la cual se realiza éste trabajo, con el propósito de sintetizar todos los requerimientos de la fábrica en las recomendaciones que se plantean más adelante.

1.2 Planteamiento del Problema.

La Fábrica “Pinto S.A.” durante los últimos diez años ha implementado nueva maquinaria para desempeñar su labor, con el fin de satisfacer la creciente demanda del mercado.

Esta implementación a parte de incrementar los costos de producción en lo que se refiere a consumo de energía, ha llevado a que la maquinaria, cuya tecnología se basa principalmente en la electrónica de potencia, se vea afectada por los disturbios existentes en el sistema eléctrico de la Fábrica.

La Fábrica “Pinto S.A.” está funcionando en un 90% de su capacidad total, ya que varias máquinas se encuentran con desperfectos causados por disturbios existentes en el sistema eléctrico de la fábrica y porque algunos elementos de los equipos han cumplido su vida útil.

1.3 Formulación del Problema.

¿Cuáles son los disturbios eléctricos que afectan a los circuitos de la planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A.” y cómo determinar los correctivos idóneos, tendientes a disponer de un servicio eléctrico más adecuado, durante el año 2010?

1.4 Delimitación.

1.4.1 Delimitación Espacial.

El análisis energético de las líneas de baja tensión para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos se realizó dentro de las instalaciones de la planta de producción de Empresas “Pinto S.A.” ubicada en el Km. 1 vía Selva Alegre, cantón Otavalo, provincia de Imbabura.

1.4.2 Delimitación temporal.

La parte teórica y la parte práctica de este trabajo se realizó, en el período comprendido, entre los meses de enero a junio del año 2010, mediante la planificación establecida en el cronograma de actividades formulado en su debido momento, en el que se tomó en cuenta principalmente el análisis de los datos obtenidos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General.

El objetivo principal de este trabajo fue el realizar un análisis energético, para identificar los disturbios energéticos existentes, y plantear los correctivos más idóneos, para obtener una alimentación más adecuada y por ende un correcto funcionamiento de la maquinaria existente en la planta de producción de la Fábrica “Pinto S.A.”.

1.5.2 Objetivo Específicos.

- Realizar una prolija investigación bibliográfica tendiente a conocer de manera particular los disturbios eléctricos que se presentan en la industria, para plantear los correctivos más adecuados mediante el diseño y presupuesto que se obtenga de la investigación que se realice a los proveedores de suministros eléctricos industriales.
- Cuantificar la carga eléctrica instalada en la Fábrica “Pinto S.A” y realizar las mediciones de los parámetros eléctricos referentes a la calidad del producto, mencionado en la Regulación No. CONELEC 004/001.
- Plantear los mecanismos que permitan reducir la demanda de energía en las horas pico mediante un análisis técnico económico.

- Socializar la propuesta con el Departamento de Mantenimiento Eléctrico de la planta de producción de Empresas “Pinto S.A.” para su aplicación.

1.6 Justificación

La Energía eléctrica en la actualidad es un bien perecible, por eso el ahorro de energía resulta de gran importancia para todos los usuarios, en especial en el sector industrial donde el recurso energético se lleva entre un 20 y 25% del perfil de los costos, por lo tanto es importante preocuparse por establecer políticas de uso racional de energía, logrando así obtener mejores utilidades y lo más importante contribuir a preservar recursos para el futuro y a reducir la contaminación ambiental, ya que la quema de combustible con el fin de obtener energía eléctrica es una gran generadora de contaminación.

Los disturbios en el sistema, que se habían considerado normales durante muchos años, ahora se conoce que pueden causar serios desordenes en el sistema eléctrico, muy en particular en el sector industrial, con la consecuente pérdida de producción.

Durante todo el tiempo de funcionamiento de la planta de producción de Empresas “Pinto S.A.” no se ha llevado a efecto un análisis energético para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos en las instalaciones de la Fábrica, teniendo en cuenta que los disturbios de energía también pueden provenir del suministro de entrada proporcionado por EMELNORTE, lo cual hace oportuno que se dé a conocer que la normatividad vigente, que entre otras cosas propende el derecho que tienen los usuarios, sean estos personas naturales o jurídicas, a disponer de bienes y servicios de óptima calidad, siendo este un precepto constitucionalmente reconocido, y por ende las empresas que suministran el servicio eléctrico deben cumplirlo dentro de los niveles de calidad

establecidos en la Regulación No. CONELEC 004/01, considerándose esto como el punto de partida para determinar los procedimientos de medición y evaluación de los distintos índices de calidad.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende aprovechar de una manera adecuada la capacidad de los transformadores mediante una correcta distribución de las cargas, así como también determinar la existencia de perturbaciones en el sistema eléctrico, que pudieran ser la causa de fallas en diferentes equipos, ya que la existencia de perturbaciones en los sistemas eléctricos provocadas por diferentes medios, pueden causar fallas en equipos conectados a los mismos, siendo los artefactos electrónicos los más susceptibles a sufrir algún daño o desperfecto a causa de cualquier perturbación que pueda ocurrir en el sistema eléctrico.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción.

En este capítulo se da a conocer una breve descripción de la planta de producción San Miguel de Empresas “Pinto S.A.”, luego se presentan y analizan los fundamentos legales, los parámetros eléctricos y los métodos de corrección de las distorsiones que influyen directamente en la calidad de la energía eléctrica presente en los circuitos eléctricos de la Fábrica; esto conlleva a determinar los efectos que causan dichos parámetros a los equipos y las posibles soluciones a los mismos.

Se presenta también la metodología que se empleó para medir cada uno de estos parámetros y las características principales de los equipos que se instalaron en los diferentes puntos, para la adquisición de la información necesaria para ejecutar este proyecto, teniendo en cuenta que la información obtenida fue comparada con los parámetros establecidos en la Regulación No. CONELEC 004/001 y la norma IEEE 519-1992.

2.2 Descripción general de la Fábrica.

Empresas “Pinto S.A” está en el mercado Ecuatoriano por más de 97 años, comprometido en la búsqueda de excelencia, para ofrecer a sus consumidores productos de calidad, innovadores y precios adecuados.

Desde 1913 Pinto fabrica ropa de algodón peinado de excelente calidad. Sus prendas otorgan: frescura, suavidad y absorción, características del algodón.

Pinto provee a sus clientes de prendas de 100% de algodón peinado, de la más alta calidad, fabricadas con tecnología de punta y excelente recurso humano. En consecuencia sus productos han sido introducidos en los mercados europeos y americanos.

Empresas “Pinto S.A” cuenta en el Ecuador con 33 locales comerciales ubicados en las siguientes ciudades: Quito, Guayaquil, Cuenca, Manta, Portoviejo, Salinas, Machala, Quevedo, Babahoyo, Ambato, Riobamba, Ibarra, Loja y Santo Domingo; siendo la ciudad de Otavalo, el sitio donde se ubica la planta de producción textil San Miguel de Empresas Pinto.

Figura 2.1: Exteriores de la Fábrica “Pinto S.A”



Fuente: Autor.

Pinto es una empresa que maneja desde la compra del algodón, hasta la comercialización de sus productos, lo que le hace reaccionar más rápido a las demandas del mercado.

El proceso de producción comienza a partir de la selección de la materia prima, que en este caso es el algodón, del cual se elaboran telas planas e hilos, para posteriormente comercializarlos en el mercado nacional e internacional.

Dentro del proceso de producción textil, de la planta de producción de Empresas “Pinto S.A.”, se pueden distinguir varias etapas, de las cuales principalmente figuran las que se describen a continuación.

2.2.1 Sección hilatura.

La hilatura es un proceso industrial en el que a base de operaciones más o menos complejas, se crea un nuevo cuerpo textil fino, alargado, resistente y flexible llamado hilo. La hilatura es la manufactura básica de la fábrica textil San Miguel.

Figura 2.2: Diagrama de la sección de hilatura de la Fábrica “Pinto S.A”



Fuente: Información proporcionada por personal de la línea de producción

Figura 2.3: Sección de hilatura de la Fábrica "Pinto S.A"

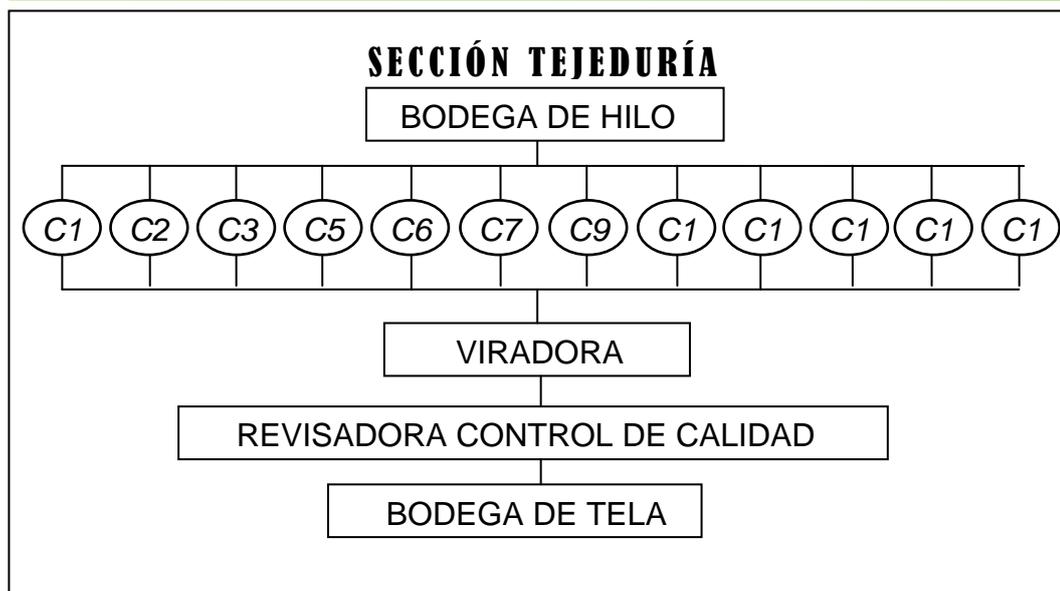


Fuente: <http://www.pinto.com.ec/index.php?idSeccion=126&idPortal=1>

2.2.2 Sección tejeduría.

La tejeduría es parte fundamental de la empresa, ya que aquí es donde se desarrolla el producto, para lo cual se utilizan varias máquinas circulares, que son primordiales para la elaboración de diferentes calidades de tejidos de punto.

Figura 2.4: Diagrama de la sección de tejeduría de la Fábrica "Pinto S.A"



Fuente: Información proporcionada por personal de la línea de producción

Figura 2.5: Sección de Tejeduría de la Fábrica “Pinto S.A”

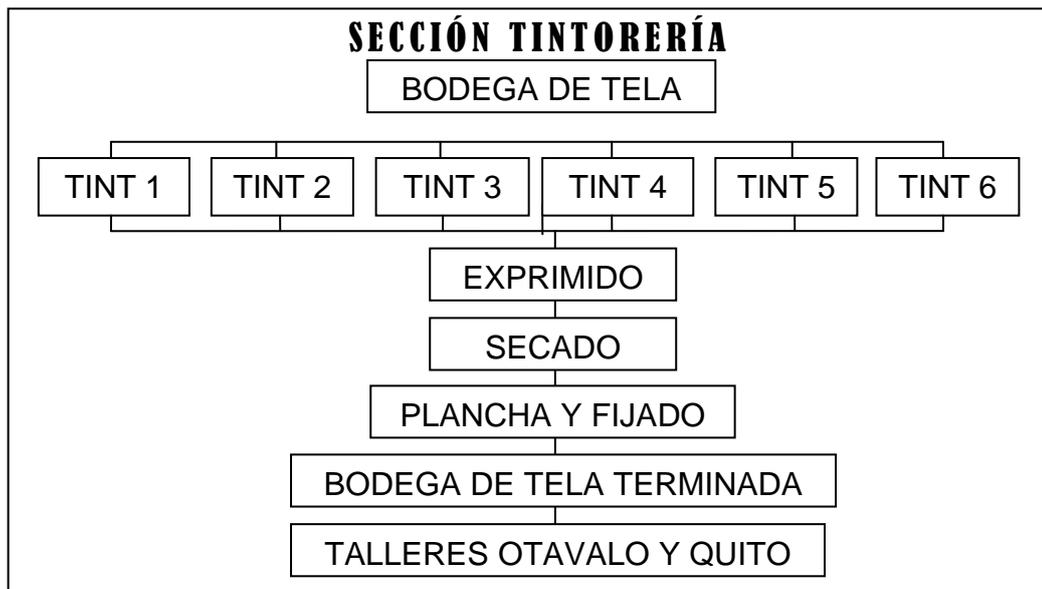


Fuente: <http://www.pinto.com.ec/index.php?idSeccion=125&idPortal=1>

2.2.3 Sección tintorería.

En esta sección la Fábrica maneja variedad de colores, los cuales brindan vistosidad y un teñido durable a la tela, ya que la materia textil al ser puesta en contacto con una solución química (colorante), ofrece gran resistencia a devolver el color de las prendas al lavado.

Figura 2.6: Diagrama de la sección de tintorería de la Fábrica “Pinto S.A”



Fuente: Información proporcionada por personal de la línea de producción

Figura 2.7: Sección de Tintorería de la Fábrica “Pinto S.A”



Fuente: <http://www.pinto.com.ec/index.php?idSeccion=125&idPortal=1>

2.3 Aspecto legal.

La Constitución de la República del Ecuador establece que las personas, sean estas naturales o jurídicas, tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como recibir información precisa y no engañosa sobre su contenido y características, es por eso que las empresas distribuidoras de energía eléctrica, al ser entidades públicas han incorporado sistemas de medición de satisfacción de las personas usuarias y consumidoras, en virtud de que se encuentran obligadas a cumplir con las disposiciones que establece la Constitución Política de la República, y demás disposiciones legales y contractuales.

El suministro de energía eléctrica es uno de los principales servicios en las sociedades modernas, ya que soporta y apuntala la vitalidad comercial, industrial y social de los países, en tal virtud el suministro de

energía eléctrica debe estar sujeto a la aplicación de normativas de evaluación de calidad, es por eso que nuestro país incorpora el reglamento de suministro del servicio de la Electricidad mediante Decreto Ejecutivo 592 del 23 de febrero de 1999, estableciendo normas generales que deben observarse para la prestación del servicio eléctrico en cuanto a la distribución, comercialización; y, regula las relaciones entre el distribuidor y el consumidor, tanto en los aspectos técnicos como en los comerciales.

Dentro del articulado dedicado a la defensa del consumidor se define que en caso de incumplimiento por parte del distribuidor, en cuanto a los niveles de calidad establecidos en las regulaciones pertinentes, está obligado a resarcir todos los daños según verificación y reglamentación al respecto; a partir de allí, el Consejo Nacional de Electricidad expide la Regulación No. CONELEC 004/001 donde precisa que la calidad de servicio se medirá considerando la calidad del producto, calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial, debiendo manifestar que para el presente trabajo investigativo se considera únicamente la calidad del producto.

2.4 Calidad de la energía eléctrica.

La calidad de la energía eléctrica podría definirse desde dos perspectivas, una teórica y otra práctica.

Desde el punto de vista teórico la calidad de la energía es “la forma de mantener una continuidad en el suministro bajo un mínimo número de interrupciones, sobretensiones, deformaciones de la señal de voltaje o corriente producidos por señales armónicas...” (Ramírez Samuel, 2003, p. 27).

Mientras que desde un punto de vista práctico, desde la óptica del consumidor industrial, que en este caso es una fábrica textil, la calidad de

la energía eléctrica es catalogada de buena calidad cuando garantiza el trabajo continuo y seguro de los equipos eléctricos que funcionan en cualquiera de los procesos de producción textil.

2.5 Calidad del producto.

Dentro de este ámbito para garantizar a los Consumidores un suministro eléctrico continuo y confiable, el Consejo Nacional de Electricidad expide la Regulación No. CONELEC 004/001, la misma que determina los estándares mínimos de calidad del servicio.

Los parámetros de calidad de producto tomados en cuenta en este estudio son:

- a) Nivel de voltaje
- b) Perturbaciones de voltaje
- c) Factor de Potencia

2.5.1 Nivel de voltaje.

Se define como el valor eficaz de la onda de voltaje en los bornes de medición; dentro de este aspecto se analiza la fluctuación o variación de voltaje, que se refiere a las perturbaciones en las cuales el nivel de voltaje cambia respecto al valor nominal del mismo, producidas generalmente por una variación en la carga.

Si el voltaje presenta desviaciones de los límites reglamentarios se produce una afectación de los equipos, que será diferente según se trate de sobrevoltajes o subvoltajes.

En caso de sobrevoltajes disminuye exponencialmente la vida útil de los aparatos con la amplitud de la misma. Los equipos más afectados son las lámparas de iluminación, televisores, monitores, computadoras. En el caso de subvoltajes se produce una disminución de rendimiento de los

aparatos, pero en algunos casos los equipos dejan de funcionar por ejemplo lámparas de descarga, los motores tienen a dar el mismo par, para lo cual incrementa sus corrientes y por lo tanto sufren sobrecargas siendo importante la actuación de las protecciones para evitar quema de los mismos.

2.5.1.1 Consecuencias de una mala regulación de voltaje.

El nivel de tensión que se aplica a cualquier equipo eléctrico es muy importante, ya que el incremento o la disminución sostenida o fluctuante de una tensión genera varias consecuencias en los aparatos o equipos que lo reciben, como por ejemplo: en las luminarias existe variación del flujo luminoso y disminución de la vida útil, en los motores se presenta un aumento en las pérdidas cuando el voltaje disminuye y disminución de la vida útil cuando el voltaje aumenta.

Es por eso, que en presencia de un nivel de tensión inadecuado se deben plantear correctivos más convenientes para la Fábrica, por lo cual haciendo uso de lo manifestado por Sánchez Jorge (2001) se plasman las siguientes soluciones que se pueden implementar para mejorar el nivel de tensión:

- Mejoramiento del sistema de conexión a tierra
- Dimensionamiento adecuado de los conductores
- Corrección del Factor de Potencia
- Instalación de equipos con capacidad para eliminar sobretensiones o corregir variaciones de voltaje, para protección de zonas específicas, estos equipos pueden ser los UPS o también conocidos como SAI.

2.5.1.2 Parámetros de nivel de voltaje.

De acuerdo con la Regulación No. CONELEC 004/01, 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.

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (Ec 2.1)$$

Donde:

ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k : voltaje eficaz (rms) promedio medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

2.5.1.3 Límites de nivel voltaje.

La Regulación del CONELEC establece que 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.

Es necesario mencionar que la subetapa 1 culminó hace aproximadamente tres años y entró en vigencia la subetapa 2, desde el 21 de noviembre de 2007, observándose claramente que los límites porcentuales referentes a las variaciones de voltaje admitidas con

respecto al valor del voltaje nominal disminuyeron, siendo las que se señalan a continuación:

Tabla 2.1: Límites de nivel de voltaje

	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 5.0 %
Medio Voltaje	± 8.0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 8.0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 10.0 %

Fuente: Regulación No. CONELEC 004/001

2.5.2 Perturbaciones de voltaje.

Las perturbaciones del voltajes son varias, entre las que se tienen: flicker (parpadeo), armónicos, interarmónicos, sag, swell, etc. Pero la Regulación No. CONELEC 004/01 contempla dos problemas principales, estos son: flicker y armónicos, los mismos que a continuación se describen desde el punto de vista de la regulación del CONELEC.

2.5.2.1 Flicker (parpadeo)

“El nombre flicker se relaciona con el impacto de la fluctuación de tensión sobre las lámparas, que es percibida por el ojo como una titilación...el flicker es un resultado indeseable de la fluctuación de tensión en algunas cargas”. (Chancusig Robinson, 2008, p. 21)

Con lo mencionado anteriormente se puede establecer que el flicker es evidenciado principalmente cuando existe parpadeo en el alumbrado, como consecuencia de las fluctuaciones rápidas de la tensión de alimentación, que es generada principalmente por las variaciones fluctuantes de la potencia que absorben diversos receptores.

El nivel de incidencia de esta perturbación en la Industria textil es mínimo, en virtud que los equipos que más generan Flicker (hornos eléctricos, soldadoras eléctricas) no son usados habitualmente dentro de la Fábrica, peor aún dentro del proceso de producción, debiendo manifestar que el índice de severidad por flicker de corta duración (Pst) que se presenta en la industria será producido principalmente por el arranque de motores cuya carga es considerable.

2.5.2.1.1. Causas de las fluctuaciones de voltaje y flícker.

Los equipos más conocidos tradicionalmente como generadores de flícker dentro de una industria son los siguientes:

- Soldadoras eléctricas
- Hornos eléctricos
- Arranque de motores

En la actualidad existen otro tipo de dispositivos que generan perturbaciones en el voltaje, siendo estos:

- Maniobra de bancos de capacitores,
- Compresores, que son muy utilizados en la industria textil para sistemas neumáticos de las máquinas de tintorería.,
- Incorrecto funcionamiento en el sistema de iluminación, lo cual origina fluctuaciones del flujo, que es lo que se presenta frecuentemente con las lámparas fluorescentes instaladas en la Fábrica.

2.5.2.1.2. Efectos del flícker.

El efecto principal que causa el flicker es de origen fisiológico en virtud de que la exposición a largos periodos al mismo, provoca fatiga física y

síquica, es decir cansancio visual y nervioso, el cual causa más molestia si es frecuente y de manera cíclica.

Las fluctuaciones en ciertos casos pueden afectar el adecuado funcionamiento de equipos que por sus elementos son considerados sensibles.

Dentro del proceso de producción textil de la Fábrica “Pinto S.A” es necesario que exista una adecuada iluminación con ausencia de flicker, en virtud de que la iluminación existente es fundamentalmente a base de luminarias fluorescentes, las mismas que permanecen encendidas las 24 horas del día y desempeñan un rol muy importante dentro del normal funcionamiento de la Fábrica, ya que un incorrecto funcionamiento de las luminarias por causa de Flicker influiría directamente en la cantidad y calidad del producto final, ya que la fatiga que provocaría en el personal mermaría la capacidad de producción habitual.

2.5.2.1.3. Soluciones a la presencia de flícker.

Las soluciones a la presencia de Flicker son varias, en el presente trabajo se plasman las soluciones más adecuadas para la Fábrica, en virtud del costo-beneficio que representaría la colocación de equipos más sofisticados.

Es por eso que haciendo uso de las soluciones planteadas por Wierda René (2001), y en aplicación al presente trabajo se plantean los siguientes correctivos:

- **Modificación del ciclo de funcionamiento de una carga.**

El flicker puede atenuarse modificando el ciclo de funcionamiento de la carga perturbadora, ya que muchas veces entran simultáneamente varias cargas lo cual genera flicker en el

sistema de iluminación, esto se corregiría implementando un cronograma de encendido y apagado de la maquinaria perturbadora.

- **Modificación del tipo de arranque de motores.**

Cuando el arranque directo y frecuente de un motor es la causa del flicker, puede adoptarse un modo de arranque que reduzca la sobre intensidad.

- **Distanciamiento de la carga perturbadora**

Esta solución se refiere fundamentalmente a que los circuitos de iluminación de la Fábrica deben distanciarse de la fuente generadora de flicker con el fin de disminuir la incidencia de los mismos en la iluminación.

También es muy recomendable que los circuitos de iluminación sean colocados lo más cerca posible a la fuente de alimentación que en este caso es el transformador de 630 KVA.

- **Mantenimiento de lámparas fluorescentes.**

Es necesario realizar un cambio oportuno de los balastos y los tubos de las lámparas fluorescentes, ya que muchas veces se deja que las lámparas se encuentren titilando sin prestar mayor interés al daño que puede estar generando esta perturbación al personal que se encuentra trabajando en el área donde la iluminación es inadecuada a causa del flicker.

2.5.2.1.4. Índice de calidad del flicker.

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos, el mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (Ec\ 2.2)$$

Donde:

Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0.1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , P_{50} : niveles de efecto "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

2.5.2.1.5. Límites del flicker.

La Regulación No. CONELEC 004/001 ha establecido que el índice de severidad de corto tiempo del Flicker (Pst) en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad, considerada esta cantidad como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano.

Es necesario mencionar que para el presente trabajo se considera que las mediciones incumplen la Regulación, cuando las perturbaciones se encuentran fuera de la unidad, que es el rango de tolerancia, por un tiempo superior al 5 % del período de medición de 7 días continuos.

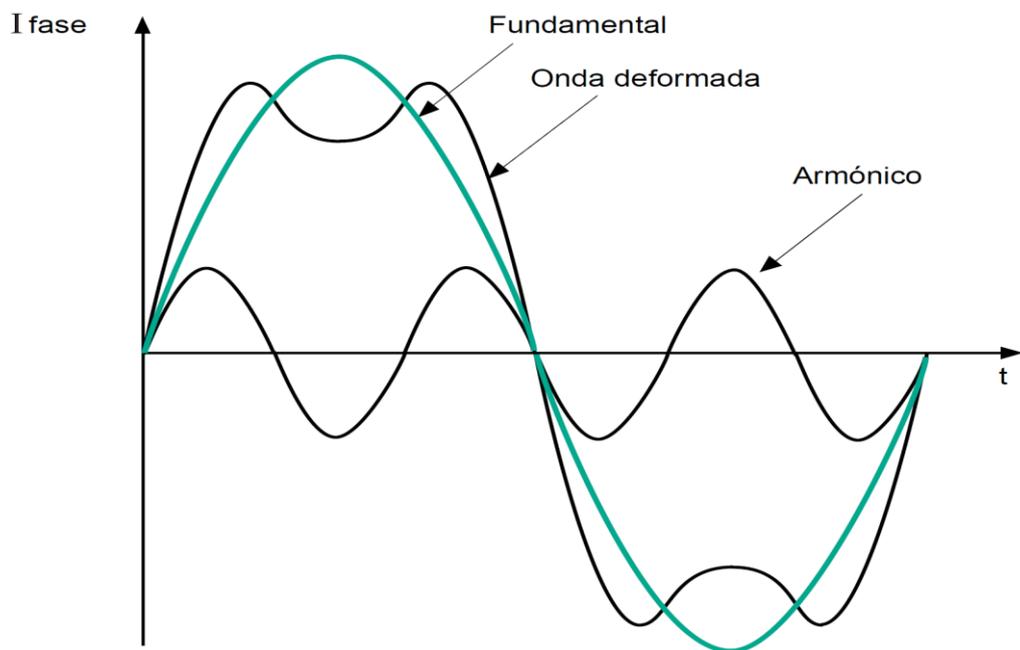
2.5.2.2 Armónicos.

Las armónicas son voltajes o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es múltiplo de la fundamental, y se originan fundamentalmente en cargas no lineales, las cuales utilizan electrónica de potencia.

En el país la frecuencia fundamental de la red es de 60 Hz, por lo cual un armónico de orden 3 tiene una frecuencia tres veces superior a la fundamental, es decir $3 \times 60 \text{ Hz}$ es igual a 180 Hz; y, así sucesivamente hasta llegar a la frecuencia de 2.400 Hz que es la armónica cuarenta.

Es necesario mencionar que la presencia de armónicas pares ocurre en corriente continua, por tal motivo en el presente trabajo no son tomadas en consideración.

Figura 2.8: Onda senoidal deformada



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, Cuaderno Técnico N.- 152

Si la frecuencia de la señal eléctrica es inferior a la fundamental, recibe el nombre de subarmónico, ésta podría ocasionar parpadeos luminosos, perceptibles visualmente, denominados Flicker.

2.5.2.2.1. Origen de los armónicos.

Fundamentalmente las distorsiones armónicas se generan en las cargas no lineales, las cuales se encuentran presentes en todos los sectores, es decir, el residencial, comercial y por supuesto en el industrial, que en el presente trabajo es una empresa textil.

Al hablar de los orígenes de las armónicas, es necesario mencionar algunas cargas no lineales que se encuentran presentes en la industria textil materia del presente trabajo:

- Equipo industrial como compresores y en ciertas ocasiones soldadoras eléctricas.
- Variadores de velocidad.
- Sistemas de alimentación Ininterrumpida como son los UPS ubicados en determinadas máquinas de tejeduría hilatura y tejeduría.
- Equipos de oficina (ordenadores, fotocopiadoras, faxes, etc.).
- Electrodomésticos (televisores, hornos microondas).
- Balastos electrónicos de lámparas fluorescentes.

2.5.2.2.2. Efectos de las perturbaciones armónicas.

Los efectos que produzcan las armónicas en una industria, depende fundamentalmente del incremento del uso de las cargas no lineales, ya que estas son la causa de las distorsiones armónicas.

Según lo manifestado por Calvas Roland, (2001), “las perturbaciones armónicas pueden producir efectos nefastos e incluso peligrosos” (p.21),

por lo cual es necesario precisar las causas y las consecuencias que generan la presencia de las distorsiones armónicas; tal como se presenta a continuación en la siguiente tabla.

Tabla.2.2: Efectos de los Armónicos.

EFFECTOS	CAUSAS	CONSECUENCIAS
En los conductores	- Las intensidades armónicas provocan el aumento de la corriente	- Disparo intempestivos de las protecciones. - Sobrecalentamiento de los conductores
En el neutro	- Cuando existe una carga trifásica más neutro genera armónicos de rango 3	- Provoca calentamientos y corrientes muy elevadas. - Disparo intempestivos de las protecciones
En los transformadores	- Aumento de la corriente. - Incremento de pérdidas de Foucault por histéresis son proporcionales a la frecuencia.	- Aumento del calentamiento en los devanados por efecto Joule. - Aumento de las pérdidas en el hierro
En los motores	- Aumento del consumo de corriente.	- Recalentamiento y pérdidas de rendimiento
En los condensadores	- Disminución de la impedancia del condensador con el aumento de la frecuencia	- Envejecimiento prematuro de los condensadores. - Amplificación de los armónicos existentes.

Fuente: Autor

Merece especial atención el efecto de los armónicos en el neutro, ya que al existir presencia de terceras armónicas, y dependiendo del

porcentaje de distorsión que se presente, influirá en que exista una elevada cantidad de corriente que circule por este conductor, superior al de las fases.

2.5.2.2.3. Armónicos en redes trifásicas.

En el país el transporte de energía se lo realiza en corriente alterna por lo cual los armónicos que estarán presentes en las redes trifásicas de distribución, son los impares ya que los pares solo se presentan en corriente continua.

Es necesario mencionar que a medida que los armónicos aumentan su grado, van disminuyendo su importancia, tal como lo manifiesta Calvas Roland, (2001), quien manifiesta que los armónicos por encima del rango 50° son insignificantes, y esta afirmación ha sido recogida en la Regulación del CONELEC, ya que esta únicamente contempla los armónicos hasta el rango de 40° es decir 2.400 Hz.

En efecto, para poder determinar el grado de distorsión armónica en la Fábrica, es suficiente con medir hasta el armónico treinta, tal como lo establece la IEEE 519-1992, debiendo tener especial cuidado con los armónicos de rangos 3°, 5°, 7°, 11° y 13° que son los que más efectos negativos presentan y que generalmente en la industria son los que más se desea mejorar.

La armónica de rango 3° merece especial atención ya que esta, a más de sumarse en el neutro, lo cual genera una corriente muy elevada en este conductor, produce una distorsión de la tensión en el devanado primario del transformador, ya que las armónicas triples se quedan en el transformador, tal como lo manifiesta Schonek Jacques (2001), quien dice "En cada nudo del triángulo del primario, las corrientes armónicas de rango 3 se compensan... Por tanto, la corriente armónica de rango 3 no se transmite a la red". (p.13).

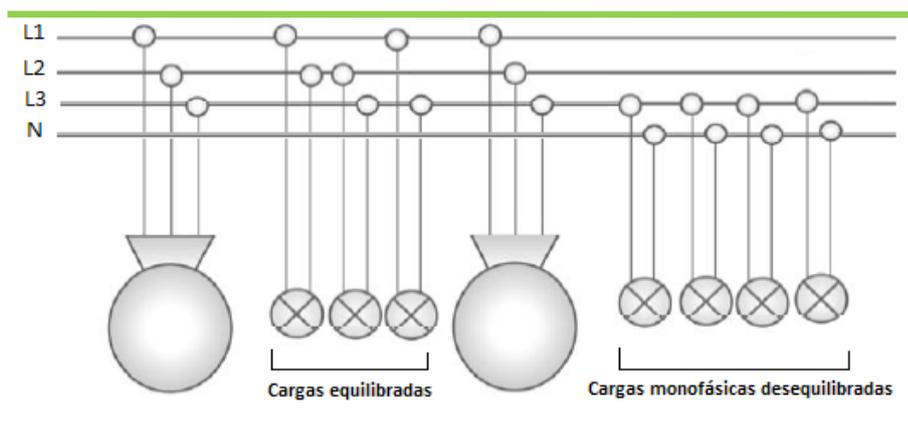
2.5.2.2.4. Solución a las distorsiones armónicas

Los armónicos al ser distorsiones no deseadas, debido a sus peligrosas consecuencias sobre el sistema eléctrico y los equipos de una industria, deben ser eliminados o disminuidos, con el fin de evitar sus perjudiciales consecuencias.

Dentro de las soluciones que tienden a disminuir la existencia de los armónicos, se encuentra la publicada por la revista digital EPCOS (sf), que manifiesta entre otros puntos los siguientes:

- a) Limitar la potencia de las fuentes generadoras de armónicos.
- b) Limitar el número de fuentes generadoras de armónicos que operan simultáneamente.
- c) Conectar en forma equilibrada cargas monofásicas en sistemas trifásicos.
- d) Agregar conductores de neutro extras.

Figura 2.9: Conexión carga monofásica en sistemas trifásicos



Fuente: Autor

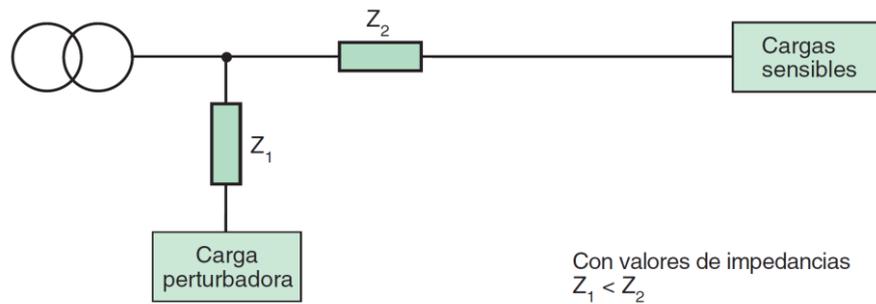
En esta figura se puede apreciar que las cargas monofásicas están sobrecargando al neutro, por lo cual en presencia de distorsiones armónicas las corrientes serán superiores a las que circulan por las fases, en tal virtud es necesario agregar más conductores neutros, con el fin de

disminuir la cantidad de corriente que circula por este conductor, evitando de esta manera el disparo intempestivo de las protecciones.

Es necesario mencionar que adicionalmente a los puntos indicados anteriormente, existen otras maneras de minimizar o amortiguar los efectos de las armónicas siendo estas las que se detalla a continuación.

a) Posicionamiento de cargas.

Figura 2.10: Posicionamiento de cargas perturbadoras



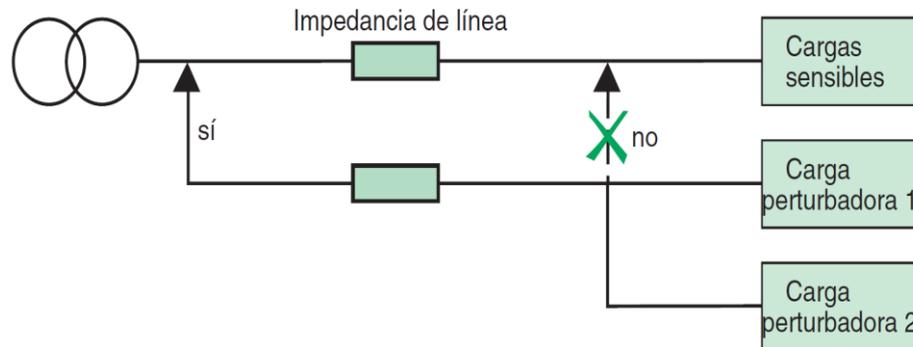
Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, “Detección y filtrado de armónicos” Guía 5

Esta solución es realizable cuando la carga perturbadora es menor que la carga sensible, ya que de lo contrario los efectos de las perturbaciones armónicas generadas por la carga perturbadora si afectará a la carga sensible y el posicionamiento de la carga perturbadora aguas arriba de la red no tendrá los efectos deseados.

Es necesario mencionar que la impedancia del conductor que alimenta la carga perturbadora debe ser menor que la impedancia del conductor que alimenta la carga sensible, ya que de esta manera las armónica se dirigirán al transformador, sin causar sus efectos en la carga sensible.

b) Reagrupar las cargas perturbadoras aguas arriba de la red

Figura 2.11: Reagrupación de cargas perturbadoras

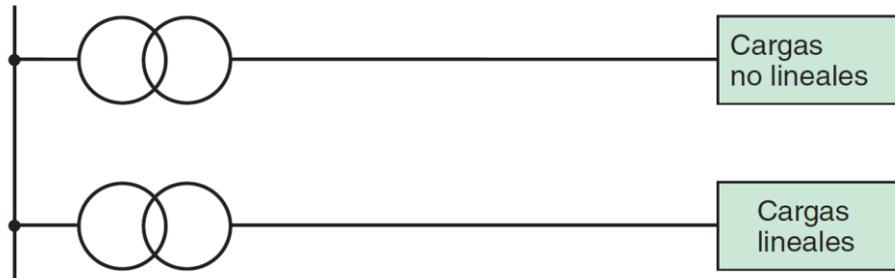


Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Detección y filtrado de armónicos" Guía 5

Al reagrupar las cargas perturbadoras lo más aguas arriba de la red se evita que uno de los efectos que perjudica a los conductores, como es el aumento de corriente y por ende el recalentamiento de los conductores, cuyo resultado es el disparo intempestivo de las protecciones.

Es también factible, dentro de las posibilidades de una industria, que se separen los fuentes de alimentación de los circuitos de las cargas lineales y de las cargas no lineales (figura 2.12), ya que así la distorsión armónica que es generada por las cargas no lineales no afectará a las cargas lineales, esta recomendación en el presente trabajo es poco factible realizarla, porque existe muy poca carga lineal ya que la mayoría de equipamiento implementa en su funcionamiento electrónica de potencia.

Figura 2.12: Transformador independiente para cada carga



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Detección y filtrado de armónicos" Guía 5

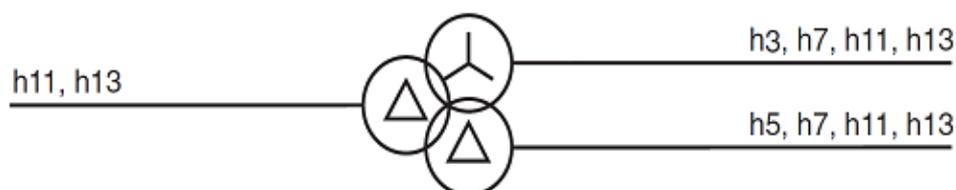
c) Conexión particular de un transformador.

Este tipo de conexiones lo que hace es que los armónicos generados en los equipos de la industria no sean inyectados en la red, lo cual beneficia en este caso únicamente al distribuidor, EMELNORTE, pero no genera ningún beneficio para el consumidor industrial ya que los efectos se seguirán sintiendo en los equipos, sobre todo si estos están muy alejados del transformador.

En este contexto existen varios tipos de conexiones que eliminan armónicas dependiendo del tipo de conexión para el que esté diseñado el transformador, siendo la más importante para este trabajo la que guarda relación con la configuración de los transformadores que posee la fábrica, la cual según Schneider Electric, Guía 5, dice: "la conexión delta-estrella elimina los armónicos de orden 3 (los armónicos que circulan por cada una de las fases, y retornan por el neutro del transformador)" (p. 32).

En la siguiente figura se puede observar dos tipos de conexiones en el diseño del transformador (Δ -Y; y, Δ - Δ) las cuales indican que rango de armónicos eliminan.

Figura 2.13: Conexiones especiales en transformadores



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Detección y filtrado de armónicos" Guía 5

d) Conexión de filtros de armónicos.

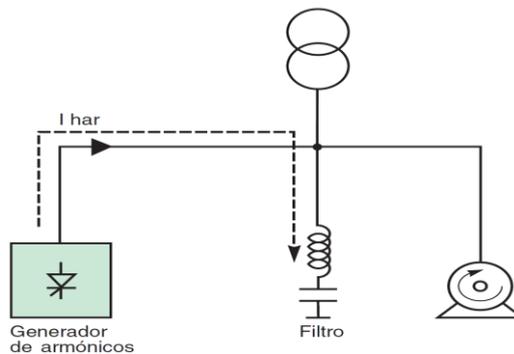
Este tipo de conexión de filtros básicamente consta de un condensador que se conecta en serie a una reactancia.

Cuando las medidas preventivas ante la presencia de armónicos no son suficientes o no fueron realizadas en su debido momento, es indispensable que en las instalaciones de una fábrica sean implementados filtros de armónicos, los cuales implementan tecnologías pasivas, activas y la combinación de ambas que se conoce como filtro híbrido, los cuales a continuación se describen:

- **Filtro pasivo**

Este tipo de filtros se encuentran conformados por condensadores e inductancias sintonizadas en las frecuencias que se desea eliminar y su ubicación es en paralelo con el equipo que se encuentra generando armónicos, con el fin de absorber las corrientes armónicas, evitando que circulen en el circuito de alimentación como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 2.14: Conexión filtro pasivo



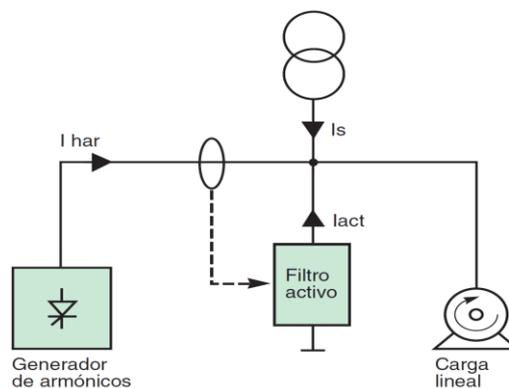
Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Detección y filtrado de armónicos" Guía 5

La implementación de este tipo de filtros es muy recomendada para unos pocos órdenes de armónicas como son principalmente la 5^o, 7^o, y 11^o lo cual hace que este filtro sea adecuado para minimizar los armónicos que generan los variadores de frecuencia, que son muy utilizados en la industria textil

- **Filtro activo**

Este tipo de filtro implementa dentro de su funcionamiento electrónica de potencia y la compensación armónica que cubre va del orden 2^o al orden 25^o, o desde el orden 2^o al orden 50^o según el compensador que se implemente.

Figura 2.15: Conexión filtro activo

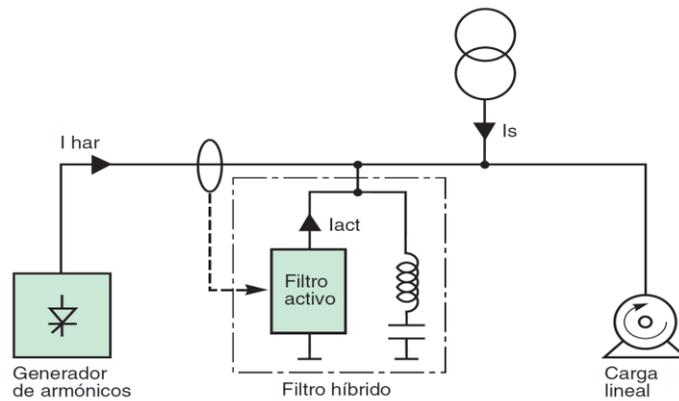


Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Detección y filtrado de armónicos" Guía 5

- **Filtro híbrido**

Los filtros híbridos están conformados por filtros activos y pasivos, lo cual permite cubrir todos los rangos de armónicas que estén afectando la instalación.

Figura 2.16: Conexión del filtro híbrido



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Detección y filtrado de armónicos" Guía 5

2.5.2.2.5. Cálculo de filtros armónicos.

Uno de los aspectos más importantes que influyen la selección y dimensionamiento de los filtros, es el campo de atenuación espectral de las frecuencias armónicas, ya que esto permitirá establecer el número de armónicas que serán eliminadas al proporcionar una trayectoria a tierra de baja impedancia, debiendo ser considerados los siguientes cálculos:

- **Ecuaciones generales para el diseño de un filtro sintonizado simple.**

Este filtro se sintoniza a la frecuencia de la armónica que se desea eliminar, lo que significa que para esta frecuencia, las reactancias de la inductancia y del condensador se hacen iguales y por lo tanto se anulan, entonces la impedancia que presentará el filtro para esta frecuencia es

mínima (valor igual a la resistencia), y absorberá la mayor parte de la corriente armónica contaminante.

Frecuencia de resonancia.

$$fr = h_r = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}} = \sqrt{\frac{S_{Transformador} / Z_{Transformador}}{Q}}$$

Inductancia requerida.- Se la emplea previo el cálculo de la frecuencia de resonancia.

$$L = \frac{V_L^2}{2\pi \times f \times h_r \times K \text{ var}}$$

Donde:

L : es la inductancia en Henry (H)

hr : número de grado del armónico

V : voltaje en volts, los nominales de la red.

Kvar: potencia de los condensadores

f : frecuencia a la cual se va a calcular la inductancia.

Medida de distorsión de la onda individual

$$Di = \frac{I_h}{I_n} * 100\%$$

$$THDI = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (I_i)^2}}{I_n} \right) * 100$$

2.5.2.2.6. Distorsión armónica.

En la regulación 004/01 emitida por el CONELEC, establece que el límite aceptable para la distorsión total armónica de voltaje es 8%.

El límite será aceptable, cuando los resultados de las mediciones que se realizan por 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos, cumplan con el 95% de los registros, caso contrario se estará incumpliendo con la Regulación.

2.5.2.2.7. Índice de calidad de los THDV.

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) * 100 \quad (Ec 2.3)$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) * 100 \quad (Ec 2.4)$$

Donde:

V_i' : factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

V_i : valor eficaz (rms) del voltaje armónico "i" (para $i = 2... 40$) expresado en voltios.

V_n : voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

2.5.2.2.8. Límite de distorsión armónica de voltaje.

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 límite (V_i' y THD') señalados a continuación.

Tabla 2.3: Límites de los voltajes armónicos individuales y THD

Orden del Armónico	Tolerancia (% del Voltaje Nominal)
2	2
3	5
4	1
5	6
6	0.5
7	5
8	0.5
9	1.5
10	0.5
11	3.5
12	0.2
13	3
15	0.3
17	2
19	1.5
21	0.2
23	1.5
25	1.5
THD	8

Fuente: Regulación No.- CONELEC – 004/01

La Regulación del CONELEC ha establecido que el límite de tolerancia de la distorsión total armónica sea del 8%, entendiéndose que a partir de este valor existe el riesgo de que se produzcan funcionamientos incorrectos en los equipos, ante lo cual es necesario que se instalen dispositivos de atenuación que no son más que filtros.

2.5.2.2.9. Límites de la distorsión armónica de corriente.

En virtud de que la Regulación del CONELEC no contempla límites a las distorsiones totales de armónicos de corriente (THDI), por lo cual es necesario hacer uso de las recomendaciones de la IEEE 519-1992, la misma que establece límites para el diseño de sistemas de potencia.

Tabla 2.4: Límites de distorsión de corriente

I_{cc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
< 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

Fuente: Norma IEEE 519-1992

Donde:

I_{cc} : corriente de cortocircuito.

I_L : corriente de línea.

h : armónico

TDD : distorsión de demanda total.

De acuerdo a esta norma el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, entendiéndose que a partir de este rango es necesario instalar dispositivos de atenuación.

2.5.3 Factor de potencia.

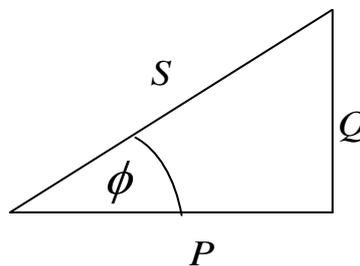
El factor de potencia de una instalación es el cociente de la potencia activa P (W) consumida por la instalación, en relación a la potencia aparente S (VA), cuyo resultado adquiere un valor entre 0 y 1.

Cuando el factor de potencia es próximo a 1, indica que prácticamente toda la potencia absorbida de la red se transforma en trabajo.

$$Fp = \frac{P(kW)}{S(kVA)} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi}{\sqrt{3} \times V \times I} \quad (Ec 2.5)$$

En ausencia de distorsiones armónicas y a frecuencia fundamental, el factor de potencias se obtiene generalmente del triángulo de potencias:

Figura 2.17: Triangulo de Potencias



Fuente: Autor

2.5.3.1 Ventajas de la compensación de reactivos.

Cuando el consumidor industrial procura corregir el bajo factor de potencia que generan sus equipos, se beneficia de las ventajas que estas compensaciones conllevan, pudiéndose distinguir las siguientes ventajas:

- Disminución de pérdidas.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Reducción de la sección de los conductores
- Aumento de la potencia disponible en la instalación.
- Se evita penalizaciones económicas por bajo factor de potencia.

La compensación de energía reactiva se genera por medio de la implementación de bancos de condensadores, sean fijos o automáticos, ya que de esta manera se está disminuyendo o aliviando el consumo de energía reactiva transportada por las líneas de MT, además al generar energía reactiva se reduce significativamente la intensidad de la corriente

que circula por los conductores lo cual produce los beneficios indicados anteriormente.

Es necesario mencionar que la Fábrica “Pinto S.A” únicamente ha compensado la energía reactiva de una forma centralizada, con el fin de evitar penalizaciones económicas, ya que los bancos de capacitores se encuentran ubicados en la salida de los transformadores.

La penalización por bajo factor potencia, se ha mantenido presente en todos los pliegos tarifarios; y, en el pliego actual no podía ser la excepción, estableciéndose que el factor de potencia medio mensual no puede ser inferior a 0,92.

La penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicada por el siguiente factor:

$$Bfp = \left(\frac{0.92}{fp} \right) - 1, \text{ cuando: } Bfp < 0 \rightarrow Bfp = 0 \quad (Ec 2.6)$$

Bfp = factor de penalización por bajo factor de potencia

fp = factor de potencia medido.

2.5.3.2 Potencia aparente y activa en función del factor de potencia.

En la siguiente tabla se muestra como el factor de potencia influye directamente sobre la potencia aparente y activa de los transformadores más utilizados en una industria, teniendo principal interés los datos que se relacionan con los transformadores de 600 KVA y 630 KVA, ya que esas son las potencias de los transformadores instalados en la Fábrica “Pinto S.A”.

Tabla 2.18: Potencia aparente nominal del transformador (KVA)

Potencia aparente y activa (en función del factor de potencia) de los transformadores usuales en el mercado													
tg φ	cos φ	Potencia aparente nominal del transformador (kVA)											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000
0,00	1	100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000
0,20	0,98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1.225	1.568	1.960
0,29	0,96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1.200	1.536	1.920
0,36	0,94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1.175	1.504	1.880
0,43	0,92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	1.150	1.472	1.840
0,48	0,90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1.125	1.440	1.800
0,54	0,88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1.100	1.408	1.760
0,59	0,86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1.075	1.376	1.720
0,65	0,84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1.050	1.344	1.680
0,70	0,82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1.025	1.312	1.640
0,75	0,80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1.000	1.280	1.600
0,80	0,78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1.248	1.560
0,86	0,76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1.216	1.520
0,91	0,74	74	118	185	233	296	370	466	592	740	925	1.184	1.480
0,96	0,72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1.152	1.440
1,02	0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1.120	1.400

Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "La compensación de la energía reactiva"

En la tabla anterior se puede apreciar que la potencia aparente de los transformadores de 600 KVA y 630 KVA de la Fábrica, en función del factor de potencia permitido por la Regulación No. CONELEC 004/001, se tiene que la potencia activa calculada de los transformadores se encuentra en 552 KW para el transformador de 600 KVA y 580 KW para el de 630 KVA.

2.5.3.3 Tipos de compensación de reactivos

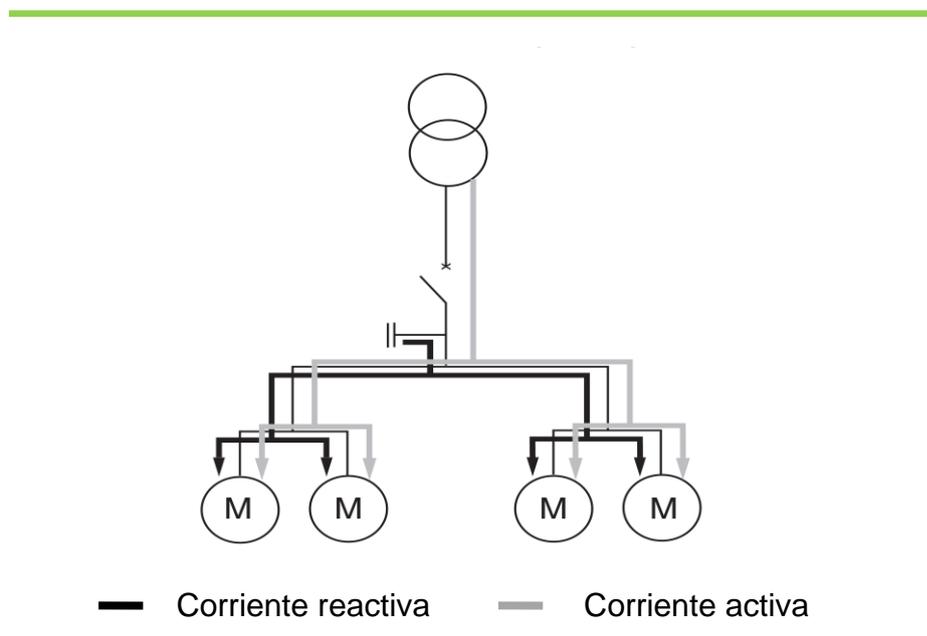
Los tipos de compensación de energía reactiva varían fundamentalmente dependiendo de la ubicación en donde se coloquen los condensadores, pudiéndose distinguir tres principalmente:

- **Compensación global o centralizada**

Este tipo de compensación es el que generalmente se da en las fábricas por la facilidad de montar un banco de capacitores en un solo lugar.

El principal inconveniente es que no se determina, particularmente, que equipo es el que está generando un bajo factor de potencia, y simplemente se está evitando la penalización por parte del distribuidor EMELNORTE.

Figura 2.19: Compensación Global de reactivos



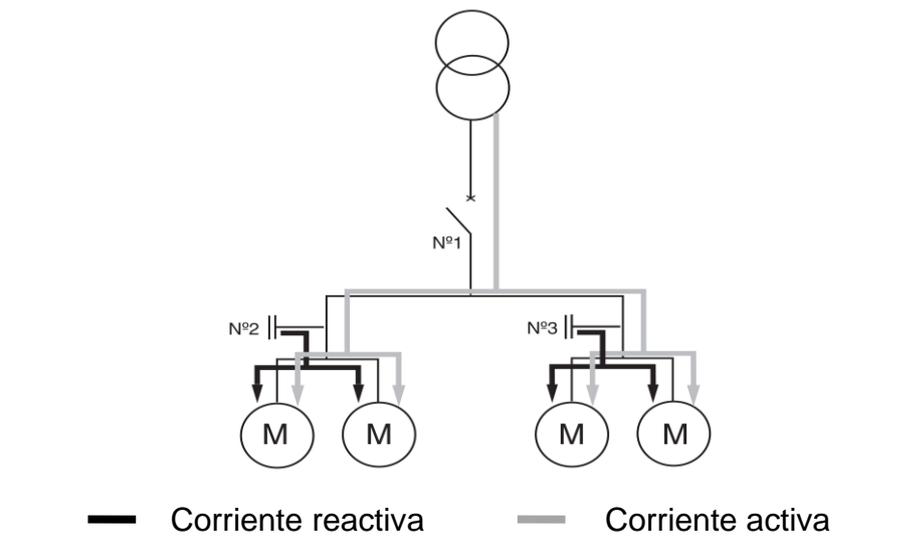
Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual y Catálogo del Electricista"

Como se puede apreciar en la Figura (2.19), la corriente reactiva (color negro) se mantiene prácticamente en todo el trayecto del circuito y no se obtiene ninguna de las otras ventajas mencionadas anteriormente, ya que el banco de capacitores está muy cercano a los transformadores.

- **Compensación parcial.**

Las ventajas que se obtienen de esta compensación son que, aparte de evitar la penalización por EMELNORTE, se mejora parte de la instalación en virtud que la corriente reactiva no se transporta desde la ubicación del condensador hacia los secundarios del transformador tal como se puede apreciar en la figura 2.20.

Figura 2.20: Compensación parcial de reactivos



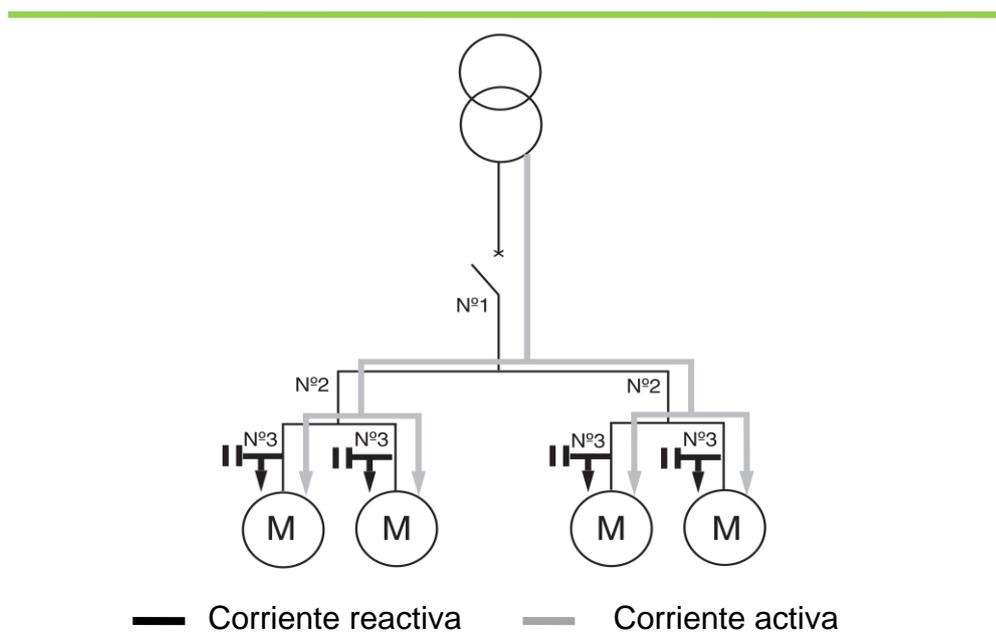
Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual y Catálogo del Electricista"

A diferencia de la Figura (2.19) se puede apreciar que la corriente reactiva (color negro) ocupa una menor distancia de la longitud del circuito y por ende la corriente reactiva, en el tramo comprendido desde el condensador hasta el secundario del transformador, disminuye.

- **Compensación individual.**

Esta compensación debería ser la más adecuada para cualquier carga que genere un bajo factor de potencia en una fábrica, ya que se singulariza el equipo que está generando este tipo de disturbios, ya que a más de evitar la penalizaciones por EMELNORTE, se optimiza todo el circuito eléctrico ya que la corriente reactiva que necesita determinada carga se abastece en el mismo lugar de consumo, por lo cual la corriente reactiva ya no se encuentra circulando por los conductores de la instalación.

Figura 2.21: Compensación individual de reactivos



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual y Catálogo del Electricista"

Claramente se aprecia que la corriente reactiva (color negro) que circula por el conductor que alimenta la carga, se ha reducido enormemente en comparación con la compensación global.

Es necesario mencionar que se pueden instalar varios tipos de compensación de reactivos dentro de una misma instalación eléctrica,

denominándose a esta compensación mixta, la cual generara los mismos beneficios que singularizan a cada tipo de conexión sean estas compensación global, parcial o individual.

2.5.3.4 Compensación fija y automática de reactivos.

La utilización de banco de condensadores fijos o automáticos depende de la forma como se esté demandando reactivos, es decir si es de forma constante o variable.

Según Schneider Electric, sf, Manual y catálogo del electricista, capítulo 2, manifiesta lo siguiente:

La compensación fija es recomendable en aquellas instalaciones en las que la potencia reactiva a compensar no supere el 15% de la potencia nominal del transformador.

La compensación variable es recomendable en las instalaciones donde la potencia reactiva a compensar supere el 15% de la potencia nominal del transformador. (pp. 12-13)

Es necesario tener presente que para la implementación de un banco de capacitores automático representaría una mayor demanda de recursos económicos, y en una industria es imprescindible tener en cuenta el costo-beneficio de cualquier implementación, cabe señalar que la inversión destinada para eliminar un bajo factor de potencia siempre será recuperada a corto o mediano plazo, en virtud de que se está evitando las penalizaciones que mes a mes son facturadas por la Empresa distribuidora, la cual al no tener un poder coercitivo que obligue al abonado a corregir el bajo factor de potencia que genera, únicamente se limita a sancionarlo económicamente hasta que voluntariamente implemente los correctivos más adecuados, tendientes a ubicar al factor de potencia en un rango igual o mayor al 0,92.

2.5.3.5 Cálculo del factor de potencia por EMELNORTE.

Por razones de facturación en EMELNORTE, se calcula la tangente φ como el cociente entre la energía reactiva y la activa del período facturado, resultado por lo tanto un valor promedio.

Por lo anteriormente señalado; el factor de potencia para fines prácticos de este trabajo se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$Fp = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVARh^2}} = \cos \varphi \quad (Ec 2.7)$$

o bien,

$$Fp = \cos \left(\arctan \frac{kVARh}{kWh} \right) \quad (Ec 2.8)$$

Donde:

KWh : cantidad registrada por el medidor de energía activa.

KVARh : cantidad registrada por el medidor de energía reactiva.

Fp : factor de potencia.

Los valores de esta fórmula usualmente se determinan con dos cifras decimales y el redondeo se lo hace por defecto o por exceso, según que la tercera cifra decimal despreciada sea o no menor que 5.

2.5.3.6 Índice de calidad del factor de potencia.

Para efectos de la evaluación de la calidad del producto establecido en la Regulación No. CONELEC 004/001, en cuanto al factor de potencia, se establece que en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a al límite establecido (0.92), el consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.

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 días continuos.

2.5.3.7 Dimensionamiento del banco de condensadores.

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, pero hay que tener en cuenta de que el consumo de energía activa y reactiva que necesitan los equipos en una industria se mantiene inalterable, ya que con la implementación de condensadores solo se está aliviando a la red de distribución la demanda de reactivos.

Es necesario, antes de implementar un banco de capacitores, conocer qué tipo de compensación se requiere realizar, ya que tal como lo manifiesta Tiravanti Eduardo (2004), que para una compensación centralizada se debe tener en cuenta que la capacidad de energía reactiva es variable, ya que dependerá de la cantidad de carga conectada al sistema, por lo cual es importante conocer los valores máximos de KVAR para un adecuado dimensionamiento.

La fórmula para dimensionamiento de la capacidad del condensador requerido es:

$$Qc = P \times (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (Ec 2.9)$$

Donde:

P : potencia activa en KW.

$\cos \varphi_1$: coseno del ángulo de fase actual o medido.

$\cos \varphi_2$: coseno del ángulo de fase requerido, normalmente se toma $\cos \varphi = 0.97$

Qc : capacidad de los condensadores en KVAR.

Tabla 2.5: Coeficientes para calcular la potencia del banco de capacitores

Antes de compensar		Potencia del condensador (en kVAR) a instalar por kW de carga, para compensar el $\cos \varphi$ de origen hasta un valor deseado												
tg φ		0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
	cos φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40	1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41	1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42	1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43	1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44	1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45	1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46	1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47	1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48	1,076	1,228	1,297	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49	1,030	1,179	1,248	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50	0,982	1,232	1,202	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51	0,936	1,087	1,160	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52	0,894	1,043	1,116	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53	0,850	1,000	1,075	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54	0,809	0,959	1,035	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55	0,769	0,918	0,996	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56	0,730	0,879	0,958	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57	0,692	0,841	0,921	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58	0,665	0,805	0,884	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59	0,618	0,768	0,849	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60	0,584	0,733	0,815	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61	0,549	0,699	0,781	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62	0,515	0,665	0,749	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63	0,483	0,633	0,716	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64	0,450	0,601	0,685	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65	0,419	0,569	0,654	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66	0,388	0,538	0,624	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67	0,358	0,508	0,595	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68	0,329	0,478	0,565	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69	0,299	0,449	0,536	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70	0,270	0,420	0,508	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71	0,242	0,392	0,479	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72	0,213	0,364	0,452	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73	0,186	0,336	0,425	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74	0,159	0,309	0,398	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75	0,132	0,282	0,371	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76	0,105	0,255	0,345	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77	0,079	0,229	0,319	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78	0,053	0,202	0,292	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79	0,026	0,176	0,266	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80		0,150	0,240	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81		0,124	0,214	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82		0,090	0,188	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83		0,072	0,162	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84		0,046	0,136	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85		0,020	0,109	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86			0,083	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87			0,054	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88			0,028	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "La compensación de la Energía Reactiva"

2.6 Facturación de energía

2.6.1 Tarifas eléctricas.

Para la facturación de energía eléctrica la Fábrica “Pinto S.A”, la empresa distribuidora EMELNORTE, la ha denominado como consumidor industrial por ser una persona jurídica de derecho privado, que utiliza los servicios de energía eléctrica para la elaboración de productos textiles, por medio de un proceso industrial, en tal virtud entra en la tarifa de MT con registrador de demanda horaria para industriales, constante en el pliego tarifario actual, vigente desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2010, el mismo que ha sufrido modificaciones sustanciales en lo que se refiere a horarios, costos y cálculos del factor de corrección.

Cabe mencionar que la Fábrica ha sido notificada por la empresa distribuidora, EMELNORTE, de las posibles ventajas que tendría con la modificación de los horarios de trabajo en las horas de menor demanda de energía que en el vigente pliego tarifario consta de 22h00 hasta las 08h00, en comparación al anterior que era de 22h00 hasta las 07h00, ya que a la Fábrica todavía no se la ha dotado de un medidor de energía que registre los nuevos horarios, por lo cual hasta la fecha en que se culminaron las mediciones, la Fábrica seguía manejando el anterior pliego tarifario, por cuanto el medidor instalado únicamente registra los consumos de potencia y energía en los períodos horarios de punta, media y base.

En el nuevo pliego tarifario, publicado en la página web del CONELEC, la Fábrica “Pinto S.A” deberá cancelar por consumo de energía los siguientes cargos:

- a) Un cargo por comercialización en USD/consumidor, independiente del consumo de energía.

- b) Un cargo por demanda en USD/Kw, por cada Kw de demanda facturable, como mínimo de pago, sin derecho a consumo, afectado por un factor de corrección (FCI).
- c) Un cargo por energía expresado en USD/KWh, en función de la energía consumida en el período de lunes a viernes de 08h00 hasta las 18h00.
- d) Un cargo por energía expresado en USD/KWh, en función de la energía consumida en el período de lunes a viernes de 18h00 hasta las 22h00.
- e) Un cargo por energía expresado en USD/KWh, en función de la energía consumida en el período de lunes a viernes de 22h00 hasta las 08h00, incluyendo la energía de sábados, domingos y feriados en el período de 22h00 a 18h00.
- f) Un cargo por energía expresado en USD/KWh, en función de la energía consumida en el período de sábados, domingos y feriados en el período de 18h00 hasta las 22h00.

Para su aplicación, se debe establecer la demanda máxima mensual del consumidor, durante las horas de pico de la empresa eléctrica (18h00 a 22h00) y la demanda máxima mensual del consumidor, el cargo por demanda aplicado a estos consumidores debe ser ajustado mediante un factor de corrección que se obtiene de la siguiente manera:

- a) Para aquellos consumidores industriales, cuya relación de los datos de demanda en hora pico (DP) y de demanda máxima (DM) se encuentra en el rango de 0.6 a 0.9, se deberá aplicar la siguiente expresión para el cálculo del factor de corrección:

$$\text{FCI} = 0.5833 * (\text{DP}/\text{DM}) + (0.4167) * (\text{DP}/\text{DM})^2$$

DP = Demanda máxima registrada por el consumidor en las horas de demanda pico de la empresa eléctrica (18h00 – 22h00).

DM = Demanda máxima del consumidor durante el mes.

- b) Para aquellos consumidores industriales cuya relación de los datos de Demanda en hora pico (DP) y de Demanda máxima (DM) se encuentra en el rango mayor a 0.9 y menor o igual 1, se debe aplicar:

FCI = 1.20

- c) Para aquellos consumidores industriales cuya relación de los datos de Demanda en hora pico (DP) y de Demanda máxima (DM) se encuentra en el rango menor a 0.6, se debe aplicar:

FCI = 0.5

La demanda mensual facturable, corresponde a la máxima demanda registrada en el mes por el respectivo medidor de demanda, y no podrá ser inferior al 60 % del valor de la máxima demanda de los doce últimos meses, incluyendo el mes de facturación.

Para el caso de los consumidores que utilizan la energía para bombeo de agua para usos agrícolas y piscícolas, la demanda mensual facturable será igual a la demanda mensual registrada en el respectivo medidor.

La penalización por bajo factor de potencia se factura cuando este valor es menor a 0.92, y se lo realiza mediante la aplicación de los cálculos indicados en la ecuación (2.6) del presente trabajo.

El costo del KWh para el presente año sufrió una variación en cuanto al horario de consumo de energía para los días sábados, domingos y feriados (S, D, F) ya que ahora el consumidor industrial se beneficiará de la disminución del costo de la tarifa de energía únicamente en el horario comprendido desde las 18h00 hasta las 22h00, tal como se puede apreciar en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Costo del KWh según pliego tarifario vigente

CATEGORÍA	GENERAL		
NIVEL TENSIÓN	MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA INDUSTRIALES		
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/Kw)	ENERGÍA (USD/KWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/consumidor)
Demanda normal	4,576		1,414
L-V 08h00 hasta 18h00		0,061	
L-V 18h00 hasta 22h00		0,075	
L-V 22h00 hasta 08h00		0,044	
S,D,F 18h00 hasta 22h00		0,061	

Fuente: Dirección de tarifas CONELEC

2.7 Centros de transformación

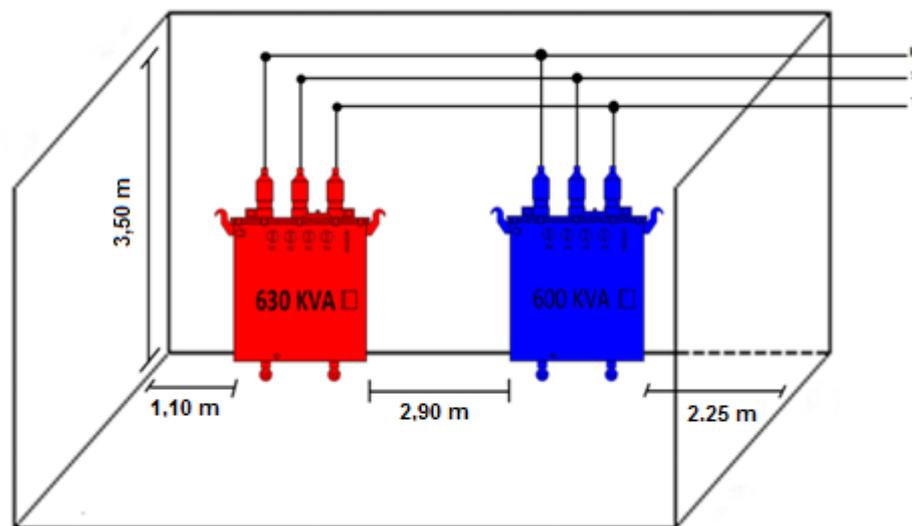
El centro de transformación según García J. (2004), “es una instalación que mediante transformadores reduce la media tensión de las líneas de distribución de energía eléctrica, a baja tensión de las líneas de distribución o de utilización, que alimentan a edificios industriales”. (p.177).

En la Fábrica “Pinto S.A” el centro de transformación se encuentra ubicado en la parte lateral derecha de la Fábrica siendo en este lugar donde se ubican los transformadores de 600KVA y 630 KVA.

El ingreso a esta instalación es únicamente permitida al personal de mantenimiento eléctrico, quienes conocen de las normas de seguridad que deben de tomarse para el ingreso a este lugar.

Las dimensiones y el lugar donde se encuentran ubicados cada uno de los transformadores es como se lo indica en la figura 2.22.

Figura 2.22: Centro de transformación de la Fábrica “Pinto S.A”



Fuente: Autor

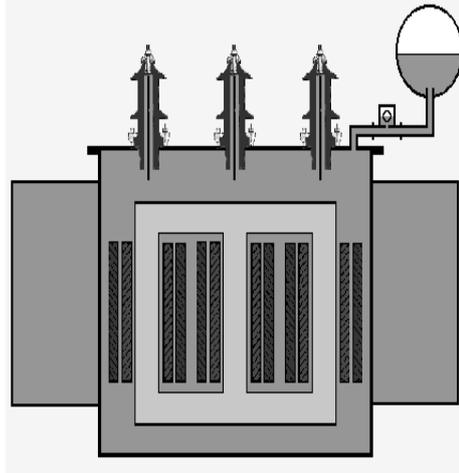
2.7.1 El transformador

Para García J. (2004) “El transformador de potencia es el aparato más importante en los centros de transformación. Es la máquina eléctrica capaz de transformar, por inducción electromagnética, un sistema de corriente alterna en otro de corriente alterna, pero de distinta tensión e intensidad”. (p.179).

El transformador es un dispositivo que convierte energía eléctrica de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético.

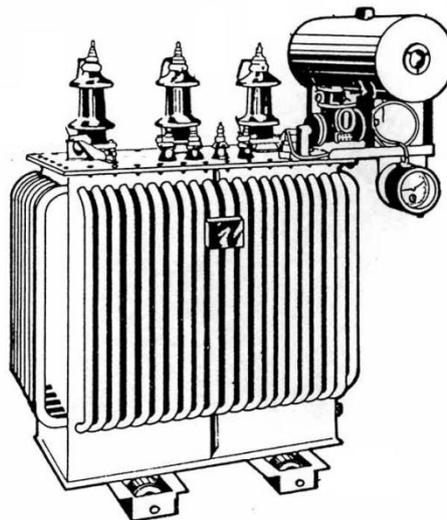
Está constituido por dos o más bobinas de alambre, aisladas entre sí eléctricamente por lo general y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético.

Figura 2.23: Vista interior de un transformador



Fuente: <http://www.abb.com.lowvoltage>

Figura 2.24: Vista exterior de un transformador



Fuente: <http://www.abb.com.lowvoltage>

Un transformador que está sobrecargado tiene problemas de disminución de su vida útil, además se pueden producir sobrecalentamientos excesivos haciendo que el transformador corra el riesgo de dañarse, y si por el contrario el transformador se encuentra sub cargado tiende a mejorar la regulación de voltaje, hay mayor confiabilidad en el sistema eléctrico, al contrario de un transformador sobrecargado, el transformador sub cargado no produce sobrecalentamientos y aumenta su vida útil, se adapta a ambientes de elevada temperatura, y tiene una capacidad adicional para incrementos futuros de carga.

2.7.1.1 Factor de uso de los transformadores

El factor de uso de un transformador, cuyo valor es adimensional, refleja el nivel de eficiencia con que se está utilizando un transformador, este factor de uso en el presente trabajo está destinado a establecer el costo económico que demanda el funcionamiento de cada uno de los transformadores con que cuenta la Fábrica.

El factor de utilización de un transformador está dado por la relación entre la demanda máxima o pico del transformador y la potencia nominal del mismo.

$$Fu = \frac{S_{Maxima} (kVA)}{S_{Transformador} (kVA)} \quad (Ec 2.10)$$

Donde:

Fu : factor de Utilización.

S_{Maxima} : potencia aparente máxima registrada.

$S_{Transformador}$: potencia aparente del transformador.

2.7.1.2 Pérdidas en los transformadores

Es común que existan pérdidas en los transformadores, ya que únicamente en un transformador ideal no existirían pérdidas de energía, puesto que habría una inexistencia de resistencia e inductancia en los bobinados, caso que en la práctica no sucede.

Para el presente trabajo se toman en cuenta principalmente dos tipos de pérdidas, que son:

- **Pérdidas en vacío.**- Son pérdidas que no depende de la carga por lo tanto son invariables, y se deben a la histéresis y a las corrientes de Foucault, las cuales dependen de la calidad de material de las láminas del núcleo del transformador.

Según Enríquez G. (1985) manifiesta que:

- La histéresis es la primera fuente de pérdidas en el núcleo del transformador, ocurre debido a cambios cíclicos en la dirección del flujo magnético en el acero, al ser excitado por corriente alterna, este proceso consume energía y se disipa como calor.
- Las corrientes de Foucault son inducidas por un flujo magnético variable, esto provoca que circulen corrientes por las láminas de acero y se produzcan pérdidas resistivas. (p. 89)

Los valores de este tipo de pérdidas se calculan cuando el devanado primario del transformador está energizado, mientras que el secundario está abierto.

- **Pérdidas bajo carga.**- Estas pérdidas varían en función de la demanda y se producen en las bobinas del transformador, ya que al tener resistencia se calientan por efecto del paso de la corriente y son función del cuadrado de la corriente.

2.7.1.3 Cálculo de las pérdidas

Para el cálculo de las pérdidas es indispensable el uso de formulas matemáticas, que permitan conocer en una forma adecuada los valores de las pérdidas que se generan en cada uno de los transformadores.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización “INEN” en la norma NTE 2115-2, señala las fórmulas que permiten obtener de una forma aproximada los valores de las pérdidas en vacío y las pérdidas en el cobre a potencia nominal, las cuales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.7: Formulas de pérdidas en vacío y bajo carga

Capacidad de los transformadores	Fórmulas
Desde : 15 kVA hasta 150 kVA	$P_0 = 10,514 \times P_n^{0,7486}$
Mayores de: 150 kVA hasta 800 kVA	$P_0 = 13,27 \times P_n^{0,7093}$
Desde: 15 kVA hasta 150 kVA	$P_C = - 0,0103 \times P_n^2 + 13,892 \times P_n + 106,65$
Mayores de: 150 kVA hasta 800 kVA	$P_C = 10,465 \times P_n + 537$

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, norma NTE 2115-2

El Manual Latinoamericano y del Caribe para el control de Pérdidas eléctricas contempla dos formulas importantes para el presente trabajo, las cuales se indican a continuación:

- Cálculo de las pérdidas en el cobre a potencia nominal.

$$P_{cu} = (Fu)^2 \times \Delta P_{cu} \text{ nominal} \quad (Ec 2.11)$$

Donde:

P_{cu} : pérdidas en el cobre del transformador

Fu : factor de Utilización del transformador

ΔP_{cu} : pérdidas en el cobre a potencia nominal

➤ Cálculo para las pérdidas de energía.

$$P_E = \text{Perdidas a potencia nominal} \times fp \times \text{horas mes} \quad (\text{Ec 2.12})$$

Donde:

P_E : cantidad registrada por el medidor de energía activa.

fp : factor de pérdidas.

Cabe indicar que el factor de pérdidas se define como la relación del promedio de las pérdidas de potencia, en un ciclo de carga dado, y las pérdidas de potencia durante la demanda máxima.

$$fp = \frac{(\text{Demanda promedio})^2}{(\text{Demanda máxima})^2} \quad (\text{Ec 2.13})$$

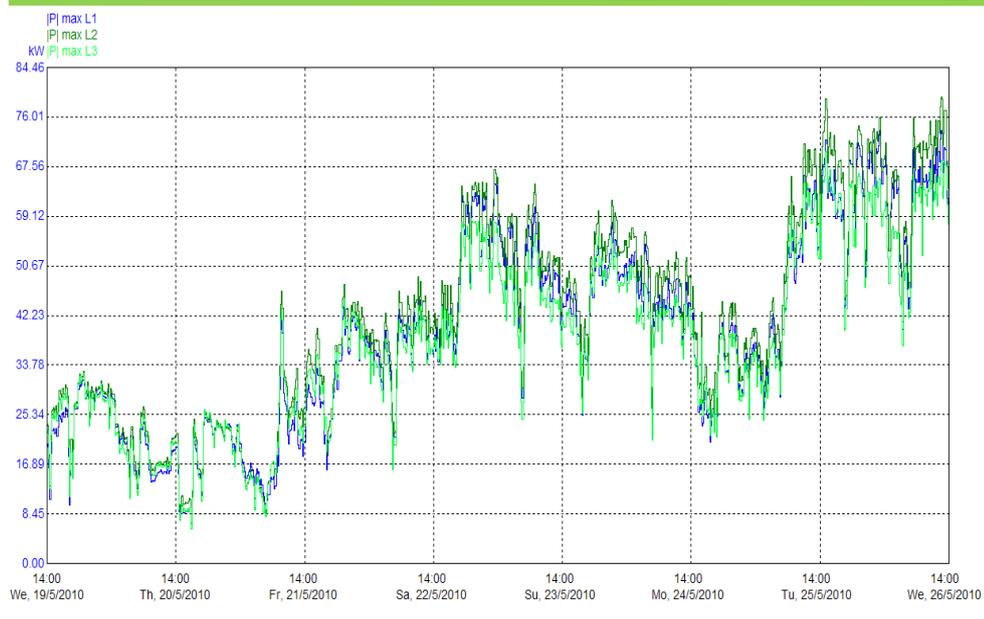
2.7.2 Curva de carga

Es la representación gráfica de la forma en que el consumidor, en un determinado intervalo de tiempo, hace uso de sus equipos eléctricos.

Esta curva presenta zonas de mayor pronunciación denominadas “picos” (zonas en las que el requerimiento de potencia eléctrica es mayor) y otras que presentan depresión llamadas “valles” (en cuyo caso el consumo de energía eléctrica es bajo). Esta curva debe tener valores característicos y que no se alejen de los valores promedios de consumo.

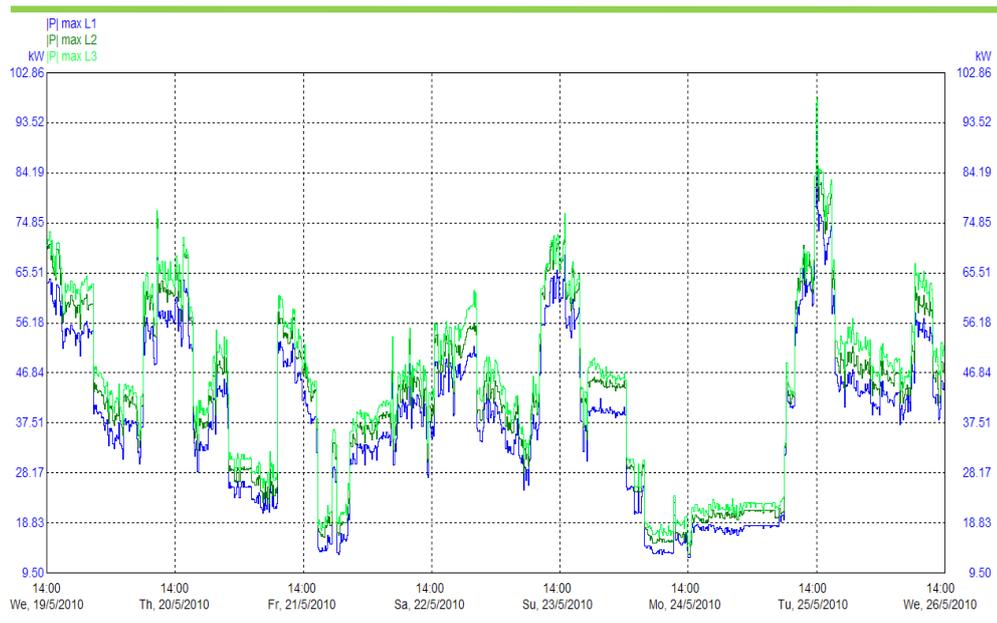
El intervalo de tiempo puede ser diario, mensual, anual, o cualquier otro útil para el análisis, siendo de especial importancia para el presente trabajo el consumo diario de energía, en la siguiente figura se puede apreciar la demanda de energía diaria de la Fábrica “Pinto S.A”.

Figura 2.23: Curva de carga diaria del transformador de 600 KVA de la Fábrica "Pinto S.A"



Fuente: Autor

Figura 2.24: Curva de carga diaria del transformador de 630 KVA de la Fábrica "Pinto S.A"



Fuente: Autor

2.8 Gestión energética

Se conocen con este nombre a todas las acciones encaminadas a un manejo adecuado de la curva de carga de una instalación con el fin de optimizar el uso de los equipos disponibles y por lo tanto el servicio de electricidad.

La gestión energética es el punto clave de la eficiencia energética, debido a que si no se gestiona eficientemente los recursos el dinero que se haya invertido en tecnología no servirá de nada. La eficiencia energética debe estar inmersa en todas las especificaciones de la industria y equipos, además el personal debe estar capacitado para mantener una buena eficiencia energética en la fábrica.

2.9 Glosario de términos

ARMÓNICAS.- Son ondas sinusoidales de frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de 60 Hz.

AT.- Alta tensión.

BT.- Baja tensión.

CARGA ELÉCTRICA.- Cualquier dispositivo que tome corriente de la fuente de voltaje. Esta corriente se conoce como corriente de carga.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.- Constituye el conjunto de elementos de transformación, protección y seccionamiento utilizados para la distribución de energía eléctrica.

CONELEC.- Consejo Nacional de Electricidad.

DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL.- La distorsión armónica individual se define como el porcentaje de armónicos de rango h con respecto al fundamental.

DM.- Demanda máxima del consumidor durante el mes.

DP.- Demanda máxima registrada por el consumidor en las horas de demanda pico de la empresa eléctrica (18h00 - 22h00).

EMELNORTE.- Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.

ESPECTRO DE ARMÓNICOS.- Al representar la amplitud de cada rango armónico con respecto a su frecuencia, es posible obtener un gráfico denominado espectro de armónicos.

FÁBRICA “PINTO S.A”.- Planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A”.

Fp.- Factor de Potencia, es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

FCI.- Factor de corrección para industriales.

FLICKER.- Es aquel fenómeno que causa una fluctuación en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

FLUCTUACIONES DE VOLTAJE.- Son perturbaciones en las cuales el valor eficaz del voltaje de suministro cambia con respecto al valor nominal.

INTERRUPCIÓN.- Es el corte parcial o total del suministro de electricidad a los Consumidores del área de concesión del Distribuidor.

MT.- Media tensión.

NIVELES DE VOLTAJE.- Se refiere a los niveles de alto voltaje (AV), medio voltaje (MV) y bajo voltaje (BV) definidos en el Reglamento Sustitutivo del Reglamento del Servicio Eléctrico.

P_C- Pérdidas bajo carga

PCC.- Punto Común de Conexión

P₀: Pérdidas en vacío.

Pst.- Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración.

RMS: Es el valor efectivo del valor del voltaje o corriente en corriente alterna y es la abreviatura de Root Mean Square que quiere decir raíz media cuadrática.

SAI.- (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), también conocido por sus siglas en inglés UPS (Uninterruptible Power Supply: 'suministro de energía ininterrumpible).

THDI.- Distorsión total armónica de corriente, expresado en porcentaje.

THDV.- Distorsión total armónica de voltaje, expresado en porcentaje.

VOLTAJE NOMINAL (VN).- Es el valor del voltaje utilizado para identificar el voltaje de referencia de una red eléctrica.

VALOR PICO.- Máxima amplitud para cualquier polaridad.; 1.414 veces el valor rms para el voltaje o la corriente de una onda senoidal.

VALTAJE TRIFÁSICO.- Voltaje de ca generado con tres componentes que tienen una diferencia de fase entre sí de 120°.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación.

3.1.1 Investigación documental

Este trabajo fue sustentado fundamentalmente por la investigación documental, que sirvió como punto de partida para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos en las instalaciones de la planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A”

La información bibliográfica permitió tener acceso a los avances tecnológicos más actuales en el campo de la electricidad, dirigidos a corregir o minimizar los disturbios eléctricos en el campo industrial, mediante el acceso a la información de diferentes fuentes siendo estas enciclopedias, diccionarios, libros, revistas, Internet, etc., que luego de ser revisadas y analizadas permitió en su debido momento redactar el marco teórico aplicando el sustento de lo que ya ha sido conocido e indagado.

3.1.2 Investigación aplicada

La investigación fue aplicada, en virtud de que se aplicó los conocimientos obtenidos para satisfacer un interés utilitario, que en el presente trabajo fue el plantíamente de correctivos a los disturbios eléctricos presentes en la Fábrica “Pinto S.A” el mismo que tiene un propósito de inmediata aplicación, para que se logre resolver los problemas encontrados.

Cabe señalar que la investigación aplicada realizada en el presente trabajo, se basó en los descubrimientos de la investigación básica en lo que se refiere a calidad de energía, con el fin de utilizarlos en una situación práctica aplicada a la industria.

3.1.3 Investigación de campo

La investigación fue en gran parte de campo porque se desarrolló en el lugar propio de los hechos mediante la utilización de equipos e instrumental adecuados para realizar el levantamiento de las cargas y las mediciones de los diferentes factores a analizarse, tendientes a determinar en qué condiciones operativas se encontraban las cargas de la fábrica, y comparar con la Regulación No. CONELEC – 004/01.

Las mediciones fueron efectuadas en el lado de media y baja tensión de los transformadores por siete días continuos, según la Regulación No. CONELEC – 004/01; en la siguiente tabla se indica el cronograma realizado de las mediciones en la Fábrica.

Tabla 3.1: Cronograma de mediciones

Mediciones	Fecha de inicio	Fecha de finalización
Media Tensión	26/04/2010	04/05/2010
Media Tensión	21/05/2010	28/05/2010
Trafo de 600 KVA	19/05/2010	26/05/2010
Trafo de 630 KVA	19/05/2010	26/05/2010

Fuente: Autor.

3.2 Métodos

3.2.1 Método inductivo

Este método permitió conocer una serie de hechos y acontecimientos de carácter particular, los mismos que luego de ser estudiados y analizados minuciosamente permitieron extraer conclusiones de carácter general, los mismos que servirán como sustento de esta investigación.

3.2.2 Método deductivo

Este método ayudó con teorías, hechos, y verdades previamente establecidas como principio general para llegar a particularizar en los aspectos, propuestas, estrategias y elementos particulares constitutivo de esta investigación, tendiente a determinar los correctivos a los disturbios eléctricos de la Fábrica “Pinto S.A”.

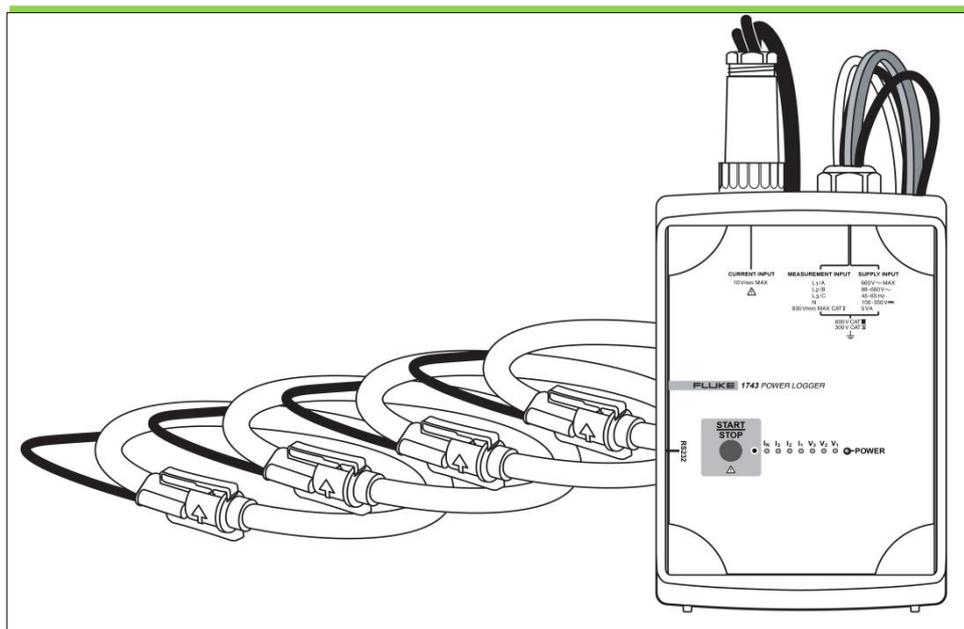
3.2.3 Recolección de información.

Este método fue posiblemente el más importante para el desarrollo del presente trabajo ya que partió de la información recibida del personal del Departamento de Mantenimiento Eléctrico de Fábrica “Pinto S.A”, los cuales dieron a conocer los posibles disturbios que se producen en las instalaciones eléctricas de la Fábrica y como sus efectos se evidenciaban en la maquinaria.

Otro aspecto importante es la obtención de las mediciones las cuales en su debido momento dieron a conocer cuál es el verdadero estado de las instalaciones de la Fábrica, y la incidencia que tienen los disturbios en el normal funcionamiento de la misma.

La obtención de las mediciones se realizó fundamentalmente mediante la utilización del analizador industrial de energía Fluke 1744, el cual permitió obtener los datos requeridos en el presente trabajo; el cual consta de las siguientes características:

Figura 3.1: Características del Analizador de Calidad de Energía



CARACTERÍSTICAS	
MARCA	FLUKE
MODELO	1744
INTERVALOS DE MEDICIÓN	10 minutos
DURACIÓN DE MEDICIONES	7 Días
NÚMERO DE MEDICIONES	1010
PARÁMETROS DE ANÁLISIS: <ul style="list-style-type: none"> - Voltaje - Corriente - Potencia Activa, Reactiva y Aparente - Factor de Potencia - Energía Activa y Reactiva - Flicker - Armónicos totales de Voltaje y Corriente (THD) 	

Fuente: Manual Equipo Fluke 1744

3.2.4 Método analítico

Este método se lo aplicó en virtud de que al ser analizado con la Regulación No. CONELEC 004/001, se debía descomponer a la investigación en elementos, hechos o partes, en este caso todos los parámetros que conformaban la Calidad del Producto, con el fin de observar dentro de las instalaciones eléctricas sus orígenes, peculiaridades, y afectaciones que genera cada uno de los disturbios encontrados.

3.2.5 Método sintético

Mediante una correcta aplicación de este método se logró obtener un resultado final, que en el presente trabajo fue la comprensión cabal de lo que en su debido momento se conoció en todos los aspectos cuando se realizó el análisis.

Mediante este método que implica razonamiento lógico se logró unificar todos los parámetros que comprende la Calidad del Producto dentro de la Regulación No. CONELEC 004/001; y, que en su debido momento fueron separados para el análisis.

3.2.6 Método matemático – estadístico.

Se utilizó este método en la recopilación, procesamiento, descripción, interpretación y tabulación de datos que se obtuvieron de la aplicación de los otros métodos de investigación.

Cabe señalar que para el presente trabajo se realizaron 1010 mediciones en intervalos de 10 minutos durante siete días continuos, tal como lo establece la Regulación No. CONELEC 004/001, mediante el análisis de las variables que se indica a continuación:

- Voltaje
- Factor de potencia
- Flicker
- Armónicos totales de Voltaje y Corriente (THD).

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 Recopilación de información.

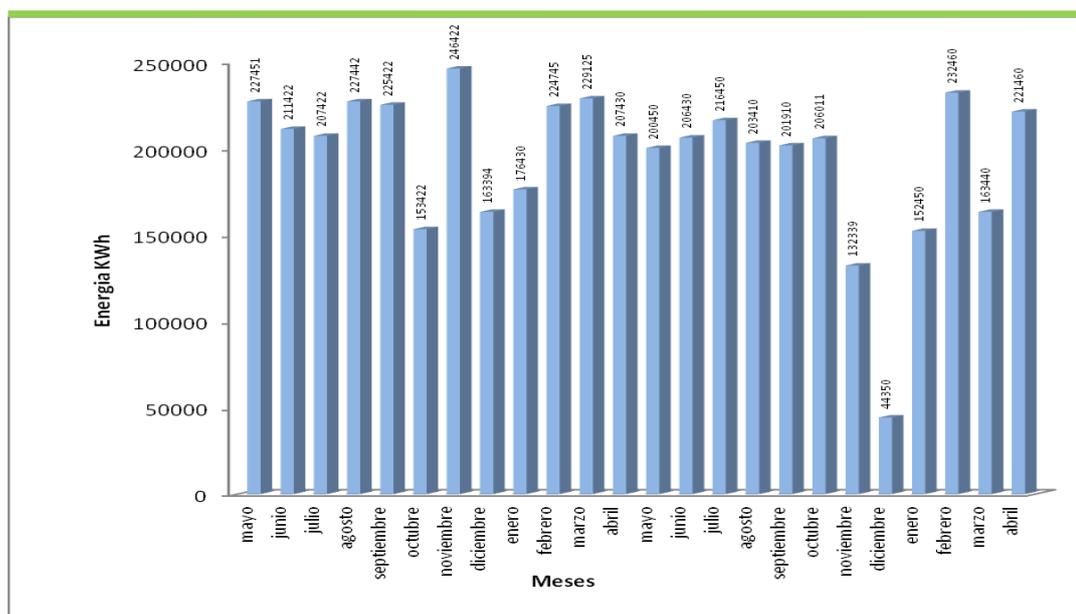
Para realizar el estudio del presente trabajo, es de vital importancia el análisis de la información, en virtud de que esta permitió tener una mejor apreciación de la actual situación de las instalaciones eléctricas de la Fábrica San Miguel de Empresas “Pinto S.A.”.

4.2 Registro histórico de lecturas en la Fábrica.

El registro histórico de lecturas permitió conocer los consumos de energía que mensualmente son requeridos por la Fábrica a la empresa distribuidora de energía, que en este caso es EMELNORTE.

En el presente trabajo se utilizó los históricos de lecturas de los últimos 24 meses, teniendo en cuenta de que la Fábrica se encuentra en la tarifa de media tensión con registro de demanda horaria para industrial.

Figura 4.1: Históricos de consumo de energía



Fuente: Autor

La Fábrica al encontrarse en la tarifa de media tensión con registro de demanda horaria para industrial, se la debió dotar en su debido momento de un medidor de energía que registre los nuevos horarios vigentes en el pliego tarifario, pero hasta la fecha de culminación de las mediciones para el presente trabajo, no se procedía a realizar dicho cambio, razón por la cual la fábrica todavía registra únicamente los consumos de potencia y energía en los períodos horarios de punta, media y base.

Dentro de la nomenclatura brindada por EMELNORTE para diferenciar los consumos de Energía y potencia de la Fábrica se tiene los siguientes:

Tabla 4.1: Nomenclatura de consumos horarios.

Denominación	Significado	Unidad
T35842-ABB-OO	Demanda normal lectura directa	KW
T35842-ABB-PP	Energía Activa de 07h-22h	KWh
T35842-ABB-HO	Energía Activa de 22h-07h	KWh
T35842-ABB-DP	Demanda Pico lectura directa	KW
T35842-ABB-CO	Energía Reactiva Normal	KVARh

Fuente: EMELNORTE

Es necesario mencionar que esta nomenclatura es provisional, hasta que se implemente el nuevo medidor que permita configurar los horarios de acuerdo al nuevo pliego tarifario.

En el pliego tarifario vigente se estimula a que los consumidores industriales laboren en el período comprendido entre las 22h00 y las 08h00 (antes de 22h-07h), ya que el costo del KWh en ese período es menor que en cualquier otro horario, puesto que en ese período de tiempo la demanda de energía por parte de los demás consumidores decrece.

Tabla 4.2: Históricos de Consumo de energía

SUMINISTRO EMELNORTE: 165660-0			
T35842-ABB-OO Demanda máxima KW	T35842-ABB-PP Consumo 22h-07h KWh	T35842-ABB-HO Consumo 07h-22h KWh	Mensuales Facturados KWh
460	159000	62000	221460
440	87000	76000	163440
460	153000	79000	232460
450	98000	54000	152450
350	27000	17000	44350
440	81899	50000	132339
410	135382	70219	206011
410	132719	68781	201910
410	133000	70000	203410
450	142000	74000	216450
430	135000	71000	206430
450	130000	70000	200450
430	136000	71000	207430
420	148029	80676	229125
450	144971	79324	224745
430	116000	60000	176430
394	108000	55000	163394
422	180000	66000	246422
422	85000	68000	153422
422	148000	77000	225422
442	85000	142000	227442
422	127000	80000	207422
422	211000	0	211422
451	150000	77000	227451

Fuente: EMELNORTE

En la tabla que a continuación se presenta, se indica el consumo de energía diario, aproximado de la Fábrica, teniendo en cuenta que para el cálculo de días promedio del mes, se hace constar que el año tiene 365 días los mismos que se dividen para los 12 meses que tiene el año, dando como resultado un promedio de 30,4 días por mes, el cual se hace constar en el presente cálculo.

Tabla 4.3: Consumo diario de energía

Días	KWh Mensuales	KWh Diarios
30,4	221460	7284,9
30,4	163440	5376,3
30,4	232460	7646,7
30,4	152450	5014,8
30,4	44350	1458,9
30,4	132339	4353,3
30,4	206011	6776,7
30,4	201910	6641,8
30,4	203410	6691,1
30,4	216450	7120,1
30,4	206430	6790,5
30,4	200450	6593,8
30,4	207430	6823,4
30,4	229125	7537,0
30,4	224745	7392,9
30,4	176430	5803,6
30,4	163394	5374,8
30,4	246422	8106,0
30,4	153422	5046,8
30,4	225422	7415,2
30,4	227442	7481,6
30,4	207422	6823,1
30,4	211422	6954,7
30,4	227451	7481,9
Σ Promedio	195053,6	6416,2

Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos mediante los datos de los históricos de lecturas; y, aplicando la media aritmética se puede apreciar que el consumo mensual de energía de la fábrica San Miguel de Empresas “Pinto S.A” es de **195053,6 KWh**, mientras que el consumo diario de energía es de aproximadamente **6416,2 KWh**.

4.3 Cámaras de transformación.

En la planta de producción textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A.” cuenta con una cámara de transformación, donde se encuentran instalados y en funcionamiento dos transformadores trifásicos cuyas potencia son de 600 KVA y 630 KVA; y, con voltajes secundarios de 220/127V para los dos transformadores.

4.4 Levantamiento de la carga.

El levantamiento de carga permitió conocer la magnitud de la potencia y el tipo de carga instalada.

La potencia instalada se obtuvo mediante los datos de placa de cada equipo; y, en los equipos en los que no existió la placa se tomaron las mediciones para determinar su potencia.

A continuación se presentan las características de los transformadores de la Fábrica “Pinto S.A” y las cargas asociadas a cada uno de ellos.

4.4.1 Transformador de 600 KVA

Este transformador se encuentra en la cámara de transformación ubicada en la parte posterior de la Fábrica y está destinado fundamentalmente para alimentar la maquinaria existente en el área de

hilatura y tejeduría, el mismo que en sus datos de placa indica entre otras las siguientes características:

Figura 4.2: Transformador de 600 KVA

Marca	AEG
Año de Fabricación	1975
Voltaje	13.200/220V
Fases	3
Tipo de conexión	Dy5
Nivel de aislamiento	150 KV MT en y 30 KV en BT



Fuente: Autor.

Tabla 4.4: Levantamiento de Carga del Transformador de 600 KVA

PROCESO	EQUIPO	Vn (V)	P (HP)	P (W)	
Apertura	Abridora	220	19,17	24768	
Cardas	Carda 1	220	4,72	6097	
	Carda 2	220	4,42	5716	
Autoregulador	Autoregulador	220	3,54	4573	
Manuar	Manuar 1	220	11,21	14480	
	Manuar 2	220	13,57	17528	
Unilap	Unilap	220	6,19	8002	
Peinado	Peinadora 1	220	2,95	3811	
	Peinadora 2	220	1,77	2286	
Mechera	Mechera	440	15,34	19815	
Hilas	Hila 1	220	10,91	14099	
	Hila 2	220	10,91	14099	
	Hila 3	220	13,86	17909	
	Hila 4	220	12,98	16766	
	Hila 5	220	13,57	17528	
	Hila 8	220	9,73	12575	
Autoconer	Autoconer 1	220	15,92	20577	
	Autoconer 2	220	14,75	19053	
Circulares	Circular 1	220	5,01	6478	
	Circular 2	220	5,01	6478	
	Circular 3	220	4,42	5716	
	Circular 5	220	5,01	6478	
	Circular 6	220	5,60	7240	
	Circular 7	220	5,31	6859	
	Circular 9	220	5,90	7621	
	Circular 10	220	5,31	6859	
	Circular 11	220	5,31	6859	
	Circular 12	220	5,01	6478	
	Circular 13	220	5,31	6859	
	Circular 14	220	5,31	6859	
	Medias	Circular 1	220	2,36	3048
		Circular 2	220	1,77	2286
Circular 3		220	1,77	2286	
Circular 4		220	1,77	2286	
Circular 5		220	1,77	2286	
Circular 6		220	2,36	3048	
Viradora	Viradora	220	2,06	2667	
Revisadora	Revisadora	220	1,18	1524,20	

Fuente: Autor

4.4.2 Transformador de 630 KVA

Este transformador es el de mayor potencia de la Fábrica, y principalmente la sección de tintorería y toda el área de acabados de tela son alimentadas por este transformador, el mismo que no ha presentado ningún inconveniente desde que empezó su funcionamiento, pese a ser el transformador que más demanda de potencia entrega.

Figura 4.3: Transformador de 630 KVA

Marca	SIEMENS
Año de Fabricación	1980
Voltaje	13.200/227V
Fases	3
Tipo de conexión	Dy5



Fuente: Autor.

Tabla 4.5: Levantamiento de Carga del Transformador de 630 KVA

PROCESO	EQUIPO	Vn (V)	P (HP)	P (W)
Tintorería	Thies 2	220	17,40	22482,0
	Thies 3	220	20,35	26292,5
	Thies 4	220	17,69	22863,1
	Thies 5	220	19,76	25530,4
	Thies 6	220	19,76	25530,4
Exprimido	Exprimidor	220	14,45	18671,5
Secado	Secadora	220	23,59	30484,1
Planchado	Medias	220	20,94	27054,6
	Tela	220	38,34	49536,7
Desdoblado	Barca	220	1,47	1905,3
Bombas	Bomba 1	220	15,04	19433,6
	Bomba 2	220	10,03	12955,7
Compresores	Compresor 1	220	42,47	54871,4
	Compresor 2	220	38,34	49536,7
Bobinadora	Calandra	220	13,27	17147,3
Iluminación	Tintorería	127	5,96	7699,0
	Costura	127	2,38	3079,6
	Despacho	127	2,55	3299,6
	Oficinas	127	2,55	3299,6
	Hilatura	127	5,11	6599,1
	Comedor	127	1,70	2199,7
	Bombas	127	0,17	220,0
	Talleres	127	6,81	8798,8
	Guardianía	127	0,85	1099,9
	Otros	127	6,81	8798,8

Fuente: Autor.

4.4.3 Carga total instalada en la Fábrica.

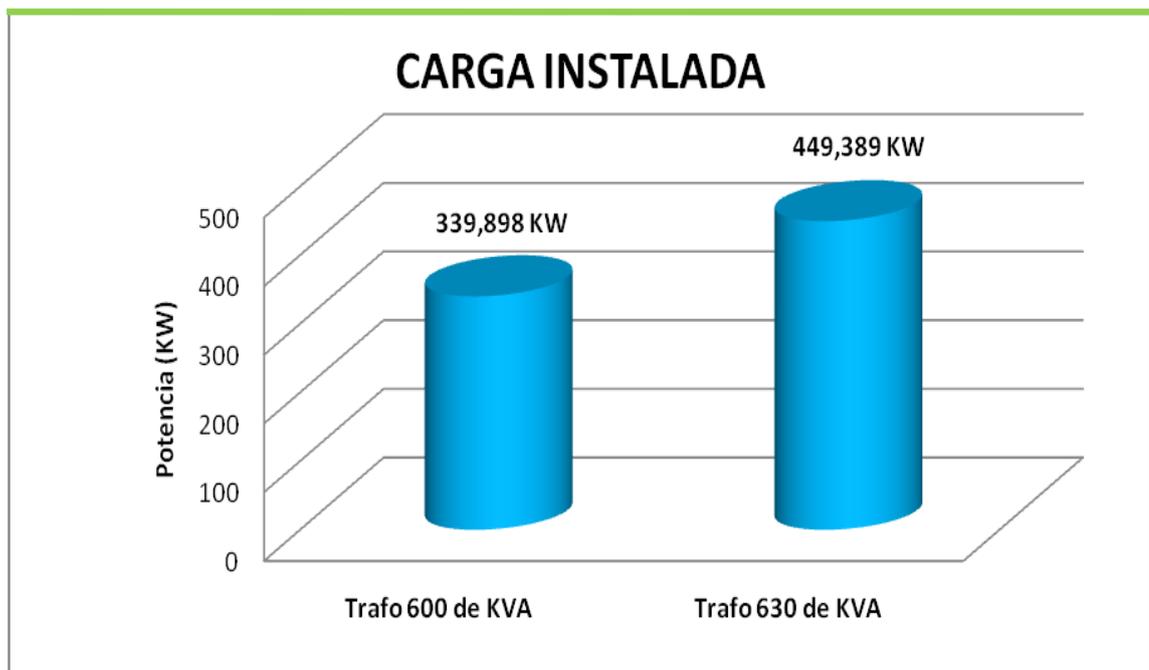
Sumando todas las potencias obtenidas del levantamiento de carga realizado en cada transformador se obtuvo una potencia total instalada de 789,287 KW.

Tabla 4.6: Carga total instalada en la Fábrica "Pinto S.A"

TRANSFORMADOR	CARGA INSTALADA (KW)	PORCENTAJE (%)
600 de KVA	339,898	43,06
630 de KVA	449,389	56,94
TOTAL	789,287	100

Fuente: Autor

Figura 4.4: Carga instalada en la Fábrica "Pinto S.A"



Fuente: Autor.

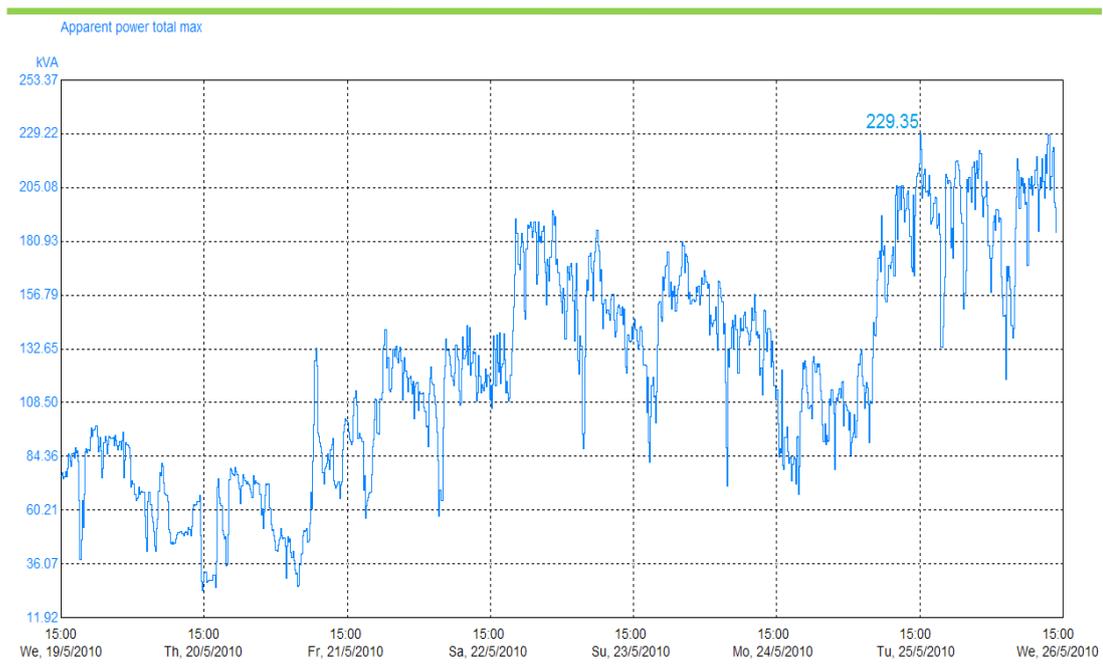
Como se puede observar, la carga instalada en cada transformador es inferior a la de su dimensionamiento, es decir los transformadores se encuentran sobredimensionados, por lo cual se aprecia que los transformadores no están siendo aprovechados eficientemente.

4.5 Cálculo porcentual de la demanda a los transformadores

4.5.1 Transformador de 600 kVA.

Este transformador registra una demanda máxima de 229,35 KVA el 25/05/2010 a las 15h10 tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 4.5: Demanda de carga máxima al transformador de 600 KVA



Fuente: Autor.

Conocida la demanda máxima, registrada en las mediciones, se procede a calcular porcentualmente la potencia demandada a este transformador, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 4.7: Porcentaje de carga del transformador de 600 KVA

S Nominal (KVA)	S Máxima (KVA)	Porcentaje de carga (%)
600	229,35	38,2

Fuente: Autor.

Realizados los cálculos se puede determina que el transformador de 600 kVA que alimenta las secciones de hilatura y tejeduría se encuentra subcargado, lo cual no es un buen indicativo en lo que se refiere eficiencia energética, y el margen de potencia proyectado para futuras implementaciones es demasiado amplio, puesto que apenas se utiliza aproximadamente un 38% de la potencia que puede entregar el transformador.

4.5.2 Transformador de 630 kVA.

La potencia aparente que requiere este transformador, en comparación con el anterior, es mayor ya que de las mediciones realizadas registró una demanda máxima de 306,85 KVA el 25/05/2010 a las 14h10 tal como se observa en la figura 4.6.

Figura 4.6: Demanda de carga máxima al transformador de 600 KVA



Fuente: Autor.

Los cálculos demuestran que el porcentaje que actualmente se demanda al transformador de 630 kVA, que alimenta principalmente la sección de tintorería y otras áreas de menor demanda de carga, es de aproximadamente el 48%, es decir está trabajando a media carga.

Tabla 4.8: Porcentaje de carga del transformador de 630 KVA

S Nominal (KVA)	S Máxima (KVA)	Porcentaje de carga (%)
630	306,85	48,7

Fuente: Autor.

4.6 Perdidas en los transformadores.

Para este análisis se consideran las pérdidas en vacío (P_0) y las pérdidas en el cobre a potencia nominal (P_c); para este tipo de cálculo se utilizó las formulas establecidas por Instituto Ecuatoriano de Normalización, constantes en la Norma NTE 2115-2, ya que en la práctica es imposible realizar un protocolo de ensayo, en virtud de que la planta de producción textil no puede parar su producción habitual.

4.6.1 Perdidas en vacío.

Estas pérdidas en vacío son constantes, ya que no dependen de la carga.

- **Transformador de 600 kVA.**

$$P_0 = 13,27 \times 600^{0,7093}$$

$$P_0 = 1240W$$

- **Transformador de 630 kVA.**

$$P_0 = 13,27 \times 630^{0,7093}$$

$$P_0 = 1284W$$

4.6.2 Pérdidas en el cobre a potencia nominal.

- **Transformador de 600 kVA.**

$$P_c = 10,465 \times 600 + 537$$

$$P_c = 6816W$$

- **Transformador de 630 kVA.**

$$P_c = 10,465 \times 630 + 537$$

$$P_c = 7130W$$

Con los cálculos realizados se obtiene las pérdidas en el hierro y en el cobre a potencia nominal de los transformadores de la Fábrica "Pinto S.A" los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.9: Pérdidas en vacío y con carga nominal

Transformador (KVA)	Pérdidas en Vacío P_o (W)	Pérdidas bajo carga nominal P_c (W)
600	1240	6816
630	1284	7130

Fuente: Autor.

4.6.3 Pérdidas en el cobre

4.6.3.1 Transformador de 600 KVA.

a) Cálculo del factor de uso

$$Fu = \frac{S_{Maxima} (kVA)}{S_{Transformador} (kVA)}$$

$$Fu = \frac{229,35}{600}$$

$$Fu = 0,38$$

b) Perdidas en el cobre

$$Pcu = (Fu)^2 \times \Delta Pcu \text{ nominal}$$

$$Pcu = (0,38)^2 \times 6816W$$

$$Pcu = 984,23W$$

4.6.3.2 Transformador de 630 KVA.

a) Cálculo del factor de uso

$$Fu = \frac{S_{Maxima} (kVA)}{S_{Transformador} (kVA)}$$

$$Fu = \frac{306,85}{630}$$

$$Fu = 0,49$$

b) Pérdidas en el cobre

$$P_{cu} = (Fu)^2 \times \Delta P_{cu \text{ nominal}}$$

$$P_{cu} = (0,49)^2 \times 7130W$$

$$P_{cu} = 1712W$$

4.6.3.3 Pérdidas totales.

- Transformador de 600 kVA.

$$P_T = P_0 + P_{cu}$$

$$P_T = 1240W + 984W$$

$$P_T = 2,224 KW$$

- Transformador de 630 kVA.

$$P_T = P_0 + P_{cu}$$

$$P_T = 1284W + 1712W$$

$$P_T = 2,996 KW$$

Tabla 4.10: Pérdidas totales en los transformadores

Trafo (kVA)	P_0 (W)	P_{cu} (W)	Total pérdidas (KW)
600	1240	984	2,224
630	1284	1712	2,996
TOTAL			5,22

Fuente: Autor.

4.6.4 Cálculo económico de las pérdidas en los transformadores.

Las proyecciones en el incremento de maquinaria, dentro de una fábrica, inciden en seleccionar transformadores con capacidades mucho más altas que las que realmente son necesarias, lo que generalmente se conoce como sobredimensionamiento de los transformadores, lo cual muchas veces genera pérdidas innecesarias de recursos económicos, en tal virtud es necesario conocer el costo económico que representa el funcionamiento de los transformadores de 600 kVA y 630 kVA, en la Fábrica "Pinto S.A", para lo cual se hace uso de las pérdidas en vacío y las pérdidas en el cobre de los transformadores.

Para el cálculo de las pérdidas de energía se utiliza la fórmula establecida por el programa de mejoramiento de la eficiencia del sector eléctrico, Banco Mundial, debiendo manifestar que el tiempo horas/mes para el presente trabajo se la ubica en 730 horas, en razón de hacer constar de que el año tiene 365 días y un mes tiene 30,4 días.

- **Transformador de 600 kVA.**

- a) **Factor de pérdidas**

$$fp = \frac{(Demanda\ promedio)^2}{(Demanda\ máxima)^2}$$

$$fp = \frac{(115,73\ kVA)^2}{(229,35\ kVA)^2}$$

$$fp = \frac{13393,43\ (kVA)^2}{52601,42\ (kVA)^2}$$

$$fp = 0,25$$

b) Pérdidas de energía al mes

$$P_E = \text{Pérdidas a potencia nominal} \times fp \times 730 \text{ horas}$$

$$P_E = 6,816 \text{ kW} \times 0,25 \times 730 \text{ horas}$$

$$P_E = 1243,92 \text{ kWh/mes}$$

Con el resultado obtenido y tomando como referencia el kWh a un costo promedio de 0,09 USD, se tiene que el costo mensual de mantener energizado el transformador de 600 kVA es de 111,95 USD.

▪ **Transformador de 630 kVA.**

a) Factor de pérdidas

$$fp = \frac{(\text{Demanda promedio})^2}{(\text{Demanda máxima})^2}$$

$$fp = \frac{(122,624 \text{ kVA})^2}{(306,85 \text{ kVA})^2}$$

$$fp = \frac{15036,64 (\text{kVA})^2}{94156,92 (\text{kVA})^2}$$

$$fp = 0,15$$

b) Pérdidas de energía al mes

$$P_E = \text{Pérdidas a potencia nominal} \times fp \times 730 \text{ horas}$$

$$P_E = 7,130 \text{ kW} \times 0,15 \times 730 \text{ horas}$$

$$P_E = 780,73 \text{ kWh/mes}$$

Con el resultado obtenido y tomando como referencia el KWh a un costo promedio de 0,09 USD se tiene que el costo mensual de mantener energizado el transformador de 630 kVA es de 70,27 USD.

Tabla 4.11: Costos económicos del funcionamiento de los transformadores

Aspectos \ Transformador	600 KVA	630 KVA	Costo Total USD
Pérdidas mensuales (KWh)	1243,92	780,73	182,22
Pérdidas anuales (KWh)	14927,04	9368,82	2186,63

Fuente: Autor.

4.7 Mediciones del sistema eléctrico de la Fábrica

El objetivo de estas mediciones es determinar en qué condiciones operativas se encuentra las cargas de la fábrica, para así poder comparar con la Regulación No. CONELEC – 004/01.

Las mediciones fueron efectuadas en el lado de media y baja tensión de los transformadores por siete días continuos, según la Regulación No. CONELEC – 004/01.

4.7.1 Cálculo del consumo de energía en los transformadores

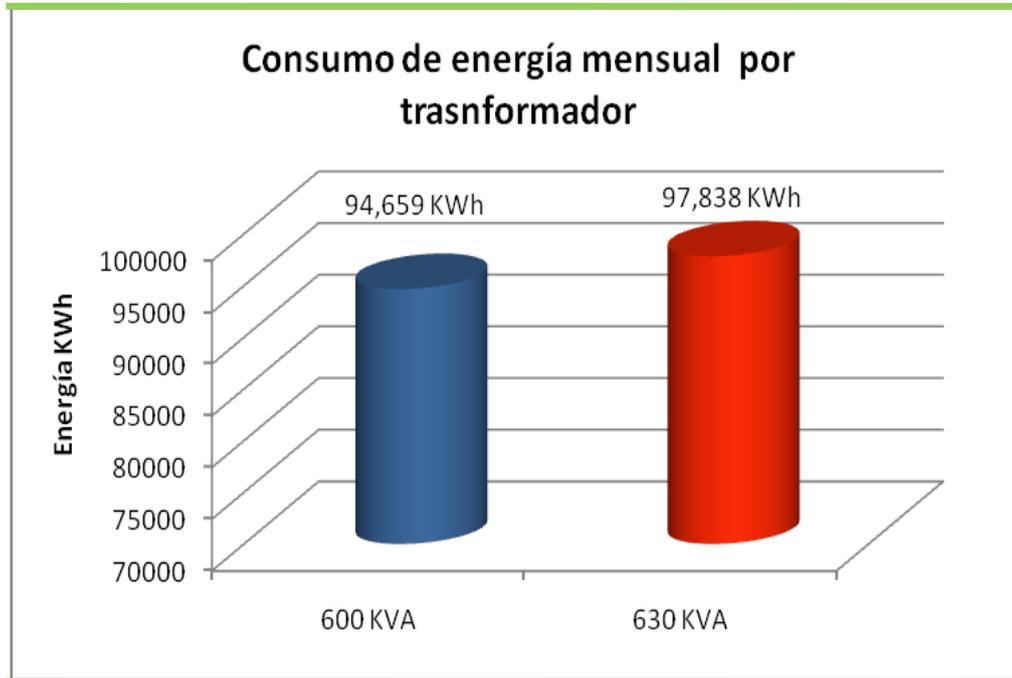
A continuación se presenta un resumen de la energía consumida diariamente y mensualmente por cada transformador, siendo necesario mencionar que para la realización del consumo de energía mensual se hace las mismas consideraciones indicadas para los cálculos de la tabla 4.3.

Tabla 4.12: Medición de la Energía consumida

TRANSFORMADOR	KWh diariamente	KWh mensualmente	%
600 KVA	3114	94659	49
630 KVA	3218	97838	51
TOTAL	6332	192497	100

Fuente: Autor

Figura 4.7: Consumo de Energía por Transformador



Fuente: Autor

En cuanto al consumo de energía que demandan los circuitos que alimenta cada transformador, se puede apreciar que el 49% de la demanda total de energía corresponde al transformador de 600 KVA, mientras que el 51% de la demanda de energía es consumida por los circuitos del transformador de 630 KVA, consecuentemente el consumo del área de Tintorería es mayor en un 2% en relación al consumo de energía que se realiza en el área de tejeduría.

4.7.2 Comparación de datos

El objetivo de esta comparación es verificar que los datos del levantamiento de carga concuerden y estén lo más cercanos a la realidad, mediante la comparación de los datos obtenidos de las facturas de energía y las mediciones realizadas por el analizador de calidad de energía Fluke 1744.

En la siguiente tabla se comparan los datos de la energía facturada y las mediciones realizadas con el analizador de redes.

Tabla 4.13: Comparación de datos

TRANSFORMADOR	KWh diariamente facturados	KWh diariamente mediciones	Error (%) mediciones respecto a facturación
600 KVA	3.144	3.114	0,95
630 KVA	3.272	3.218	1,65
TOTAL	6.416	6.332	1,30

Fuente: Autor

Cálculo del error porcentual del total de energía medida respecto a la energía facturada:

$$Error (\%) = [100(3.144 - 3.114)] \div 3.144$$

$$Error (\%) = 0,95$$

$$Error (\%) = [100(3.272 - 3.218)] \div 3.272$$

$$Error (\%) = 1,65$$

$$Error_{total} (\%) = [100(6416 - 6332)] \div 6.416$$

$$Error_{total} (\%) = 1,30$$

Se puede observar en la tabla anterior que se obtuvo un error del 1,30% entre la energía facturada y las mediciones realizadas con el analizador, de estos resultados obtenidos se puede concluir que las estimaciones de consumo de energía en la Fábrica son adecuadas y es factible seguir con la determinación de los demás parámetros eléctricos materia de este trabajo.

4.7.3 Índice de voltaje

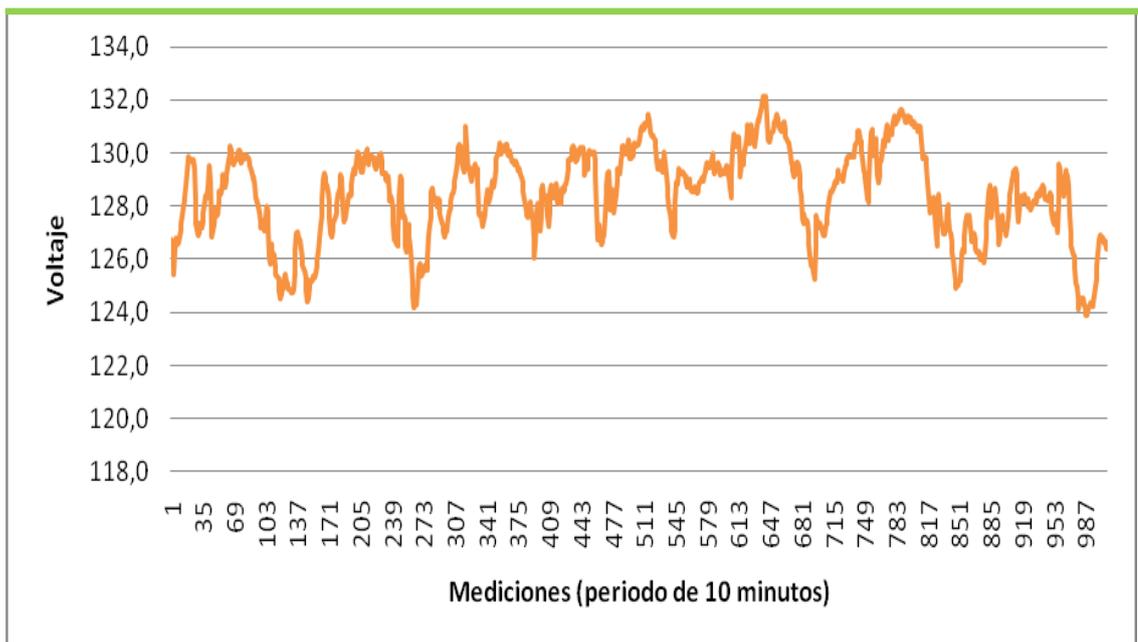
A continuación se mostrará una tabla con la comparación entre los niveles de voltaje medido con los analizadores y los valores permitidos por la Regulación No. CONELEC – 004/01, la cual establece que durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje.

Tabla 4.14: Nivel de voltaje

INDICE DE VOLTAJE LÍMITE $V_{max}= 8\%$						
Número de mediciones						
Trafo	Fases	Total	Dentro de Norma	Fuera de norma	% de mediciones dentro de norma	Cumple
600 KVA	Fase A	1010	1010	0	100	SI
	Fase B	1010	1010	0	100	SI
	Fase C	1010	1010	0	100	SI
630 KVA	Fase A	1010	1010	0	100	SI
	Fase B	1010	1010	0	100	SI
	Fase C	1010	1010	0	100	SI

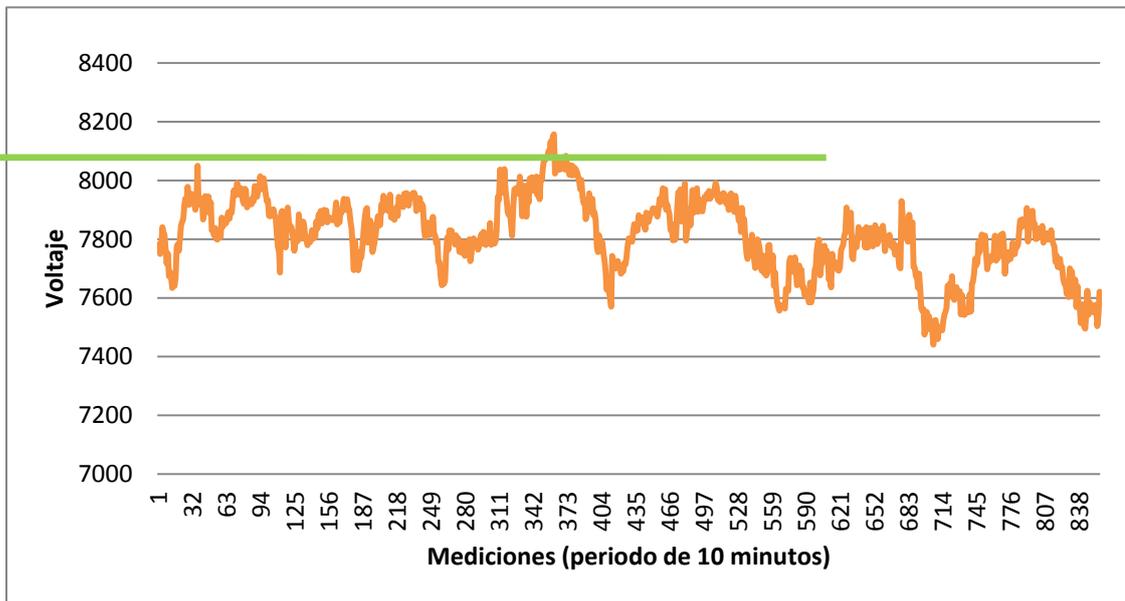
Fuente: Autor

Figura 4.8: Voltaje en Baja Tensión



Fuente: Autor.

Figura 4.9: Voltaje de fase en Media Tensión



Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla 4.14, todos los registros de voltaje medidos de las fases de los transformadores de 600 KVA y 630 KVA están dentro de los parámetros permitidos, ya que ninguna medición sobrepasa las variaciones de voltaje admitidas en MT esto es $\pm 8,0\%$.

Se puede concluir que el índice de voltaje en la Fábrica Textil San Miguel de Empresas "Pinto S.A" cumplen con la REGULACION No. CONELEC – 004/01, por lo tanto el nivel de voltaje se encuentra dentro de los parámetros adecuados para el normal desenvolvimiento de la fábrica.

Es necesario mencionar que no existe una variación considerable de la tensión, en virtud de que la línea de MT que alimenta la Fábrica se encuentra muy cercana a la subestación de Otavalo y en el sector donde se ubica existen únicamente cargas residenciales lo cual no genera un nivel de tensión inadecuado.

4.7.4 Flícker

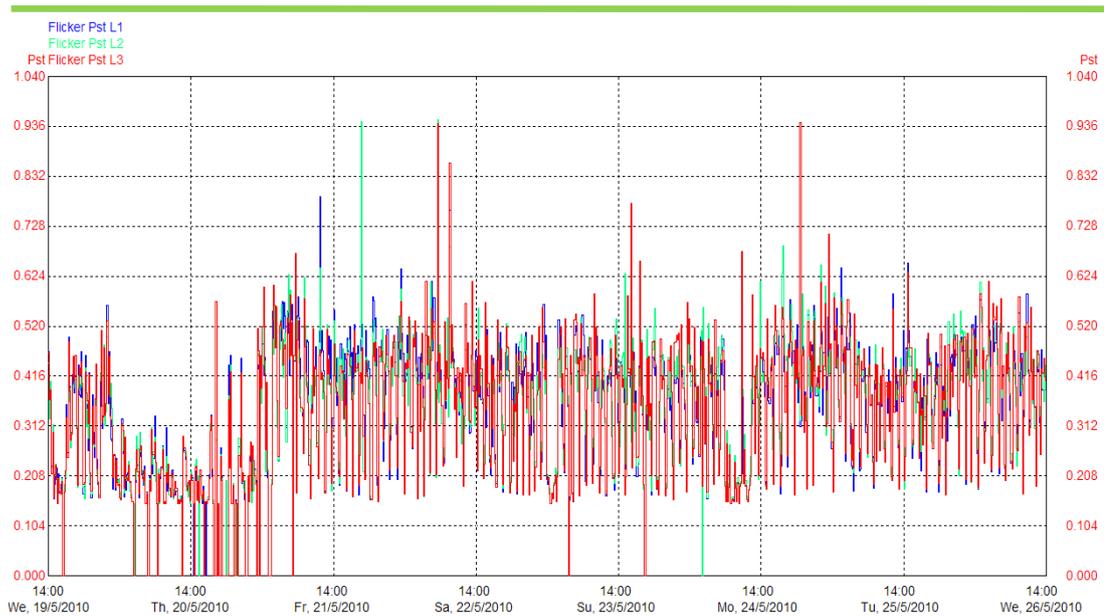
Se considera el límite $Pst = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano, se admite cumplimiento si al menos el 95% de las medición se encuentran dentro del límite admisible, conforme lo establece la Regulación No. CONELEC 004/01.

Tabla 4.15: Medición del Flícker

FLICKER LÍMITE máx.= 5%						
Número de mediciones						
Trafo	Fases	Total	Dentro de Norma	Fuera de norma	% de mediciones dentro de norma	Cumple
600 KVA	Fase A	1010	1010	0	100	SI
	Fase B	1010	1010	0	100	SI
	Fase C	1010	1010	0	100	SI
630KVA	Fase A	1010	1010	0	100	SI
	Fase B	1010	1010	0	100	SI
	Fase C	1010	1010	0	100	SI

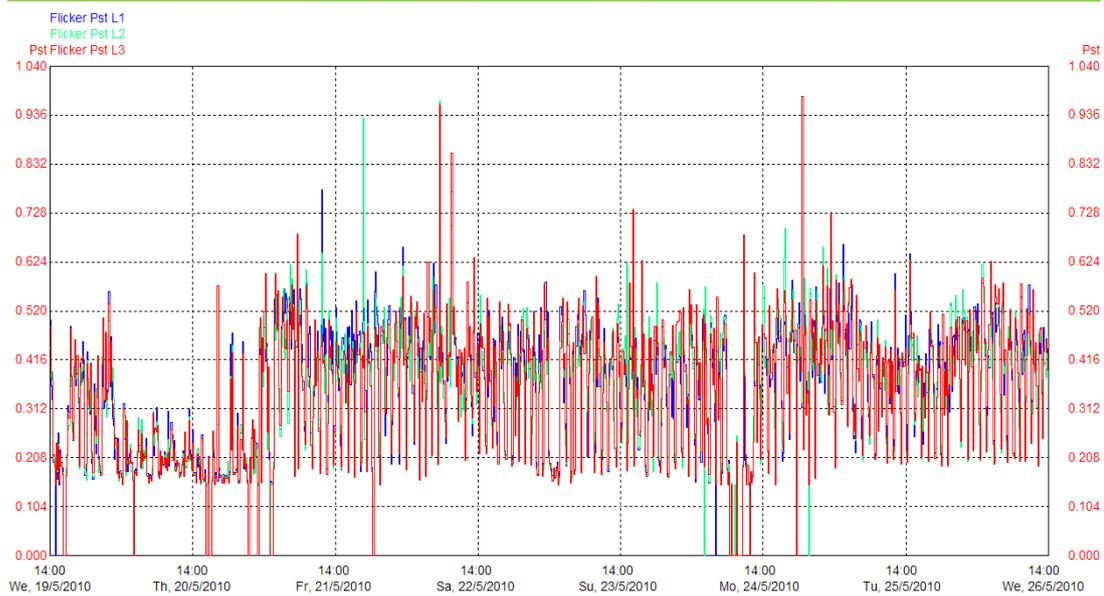
Fuente: Autor

Figura 4.10: Espectro flicker del transformador de 600 KVA



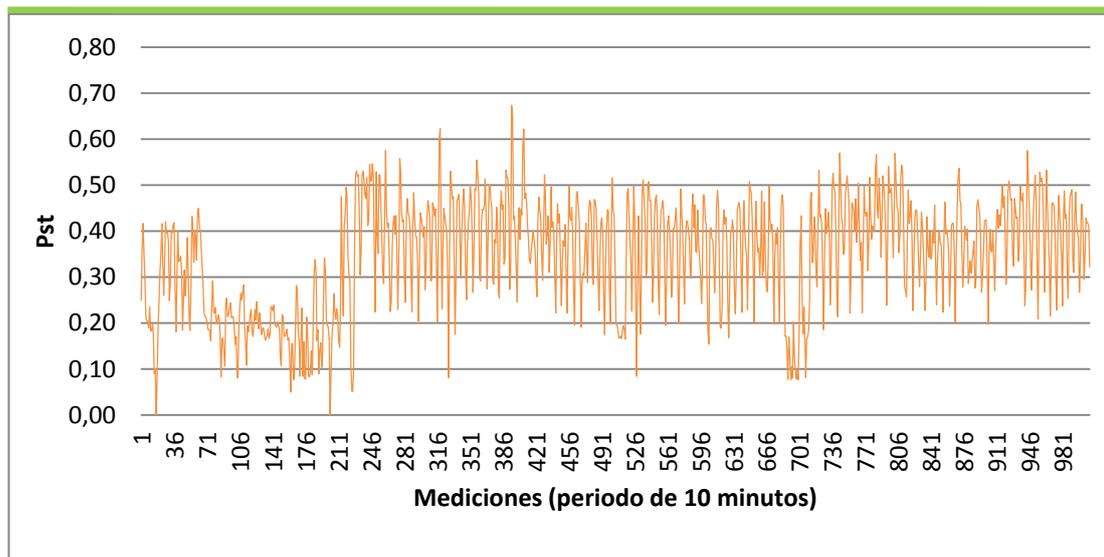
Fuente: Autor

Figura 4.11: Espectro flicker del transformador de 630 KVA



Fuente: Autor

Figura 4.12: Espectro total del Flicker en Pst



Fuente: Autor.

En general se puede observar que los datos registrados por los analizadores en lo que tiene que ver con flicker o parpadeo cumplen sin ningún problema con la Regulación No. CONELEC – 004/01.

Este resultado es consecuencia de que en la fábrica no existen equipos cuya variación de potencia sea fluctuante, ya que el flicker medio se

encuentra en $P_{st} = 0,35$ lo cual quiere decir que prácticamente no existe y consecuentemente las perturbaciones fisiológicas causadas por el mismo no son perceptibles.

4.7.5 (THDV) Armónicos totales de voltaje

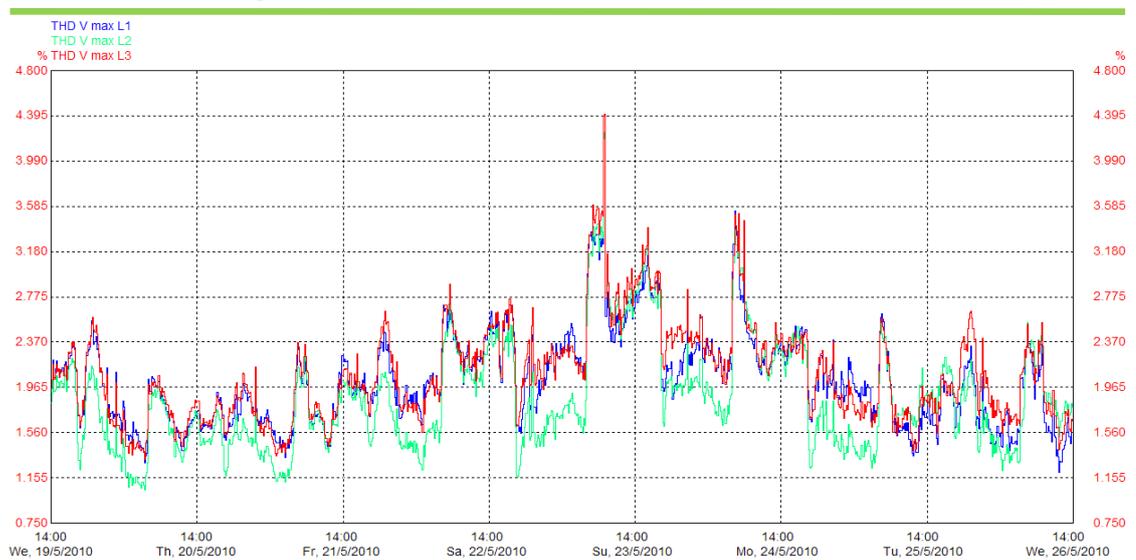
La distorsión armónica total debe ser menor o igual al 8%; y, se admite cumplimiento si al menos el 95% de las mediciones se encuentran dentro del límite admisible, conforme lo establece la Regulación No. CONELEC 004/01.

Tabla 4.16: Mediciones de THDV

THDV máx.= 5%						
Número de mediciones						
Trafo	Fases	Total	Dentro de Norma	Fuera de norma	% de mediciones dentro de norma	Cumple
600 KVA	Fase A	1010	1010	0	100	SI
	Fase B	1010	1010	0	100	SI
	Fase C	1010	1010	0	100	SI
630KVA	Fase A	1010	1010	0	100	SI
	Fase B	1010	1010	0	100	SI
	Fase C	1010	1010	0	100	SI

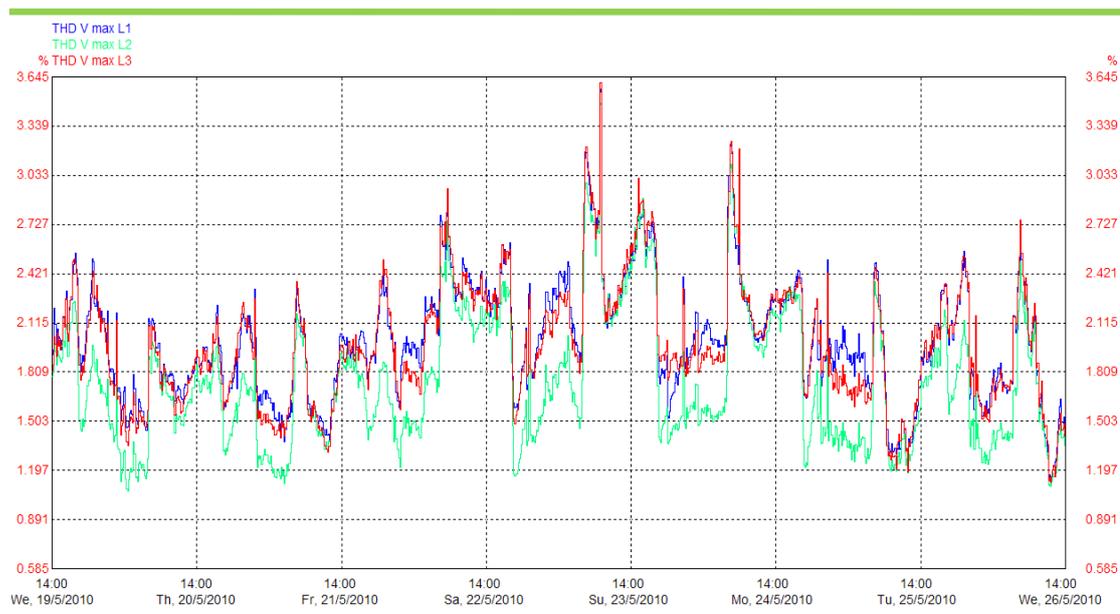
Fuente: Autor

Figura 4.13: THDV del transformador de 600 KVA



Fuente: Autor

Figura 4.14: THDV transformador de 630 KVA



Fuente: Autor

De acuerdo a la Regulación No. CONELEC – 004/01 el límite de THDV es de 8%, y el de la norma IEE519-1992 es el de 5%, hechos los análisis se observa que cumple con las dos normas en el 100 % de todos los registros, debiendo manifestar que las cargas que se alimenta del transformador de 600 KVA son la que presentan el mayor porcentaje de distorsión armónica de voltaje alcanzando el 4,39 % en la línea 3, sin que lleguen a causar inconveniente alguno en los equipos, por otro lado el transformador de 630 KVA registra un máximo de distorsión armónica de voltaje de 3,61 % en la línea 3 y en comparación con el transformador indicado anteriormente genera menos distorsión armónica.

4.7.6 (THDI) Armónicos totales de corriente

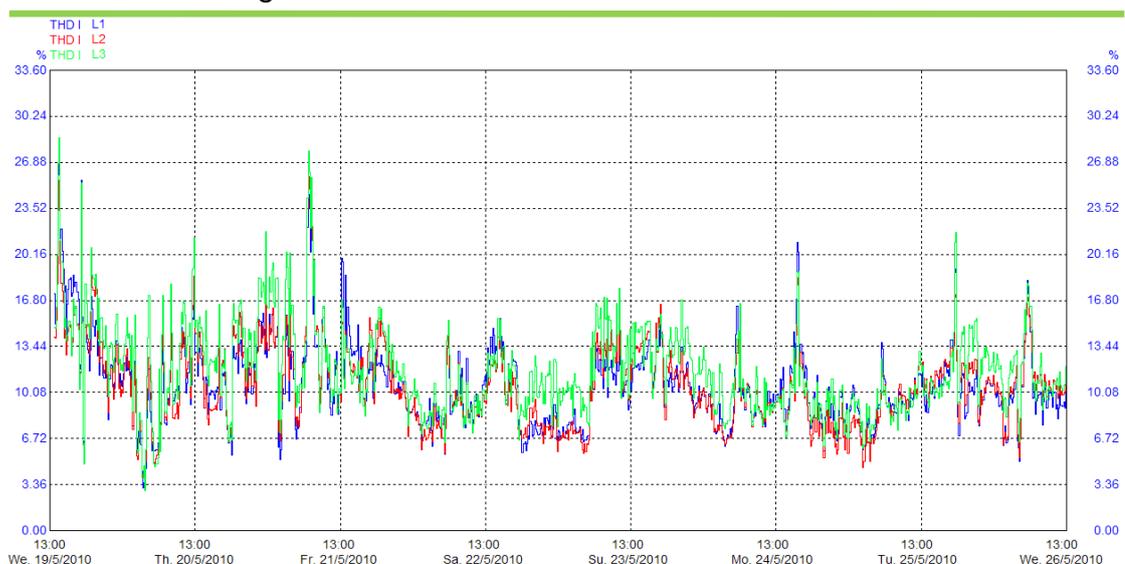
Al no existir límites a las distorsiones armónicas de corriente en el país, y en virtud de ser necesario que exista un análisis de las THDI, en el presente trabajo se hace uso de la norma IEEE 519-1992, la cual determina que límite de distorsión no debe superar 20%, debiendo cumplirse este límite en el 95 % de las mediciones.

Tabla 4.17: Mediciones de los THDI en los transformadores

THDI máx.= 20%						
Número de mediciones						
Trafo	Fases	Total	Dentro de Norma	Fuera de norma	% de mediciones dentro de norma	Cumple
600 KVA	Fase A	1010	951	59	94,16	NO
	Fase B	1010	959	51	94,95	NO
	Fase C	1010	921	89	91,19	NO
630KVA	Fase A	1010	992	18	98,22	SI
	Fase B	1010	1003	7	99,31	SI
	Fase C	1010	1008	2	99,80	SI

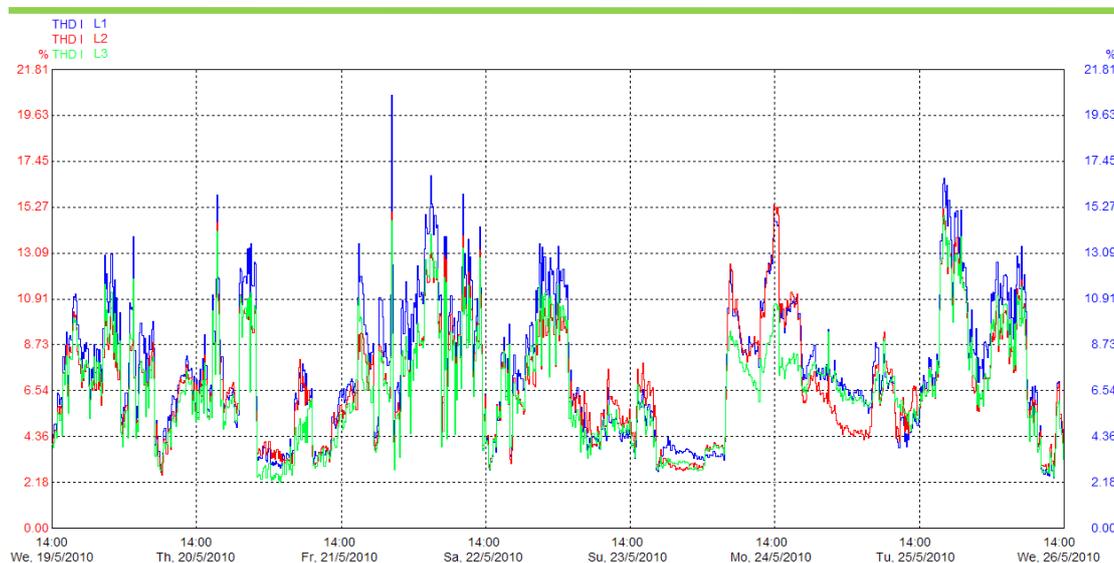
Fuente: Autor

Figura 4.15: THDI del transformador de 600 KVA



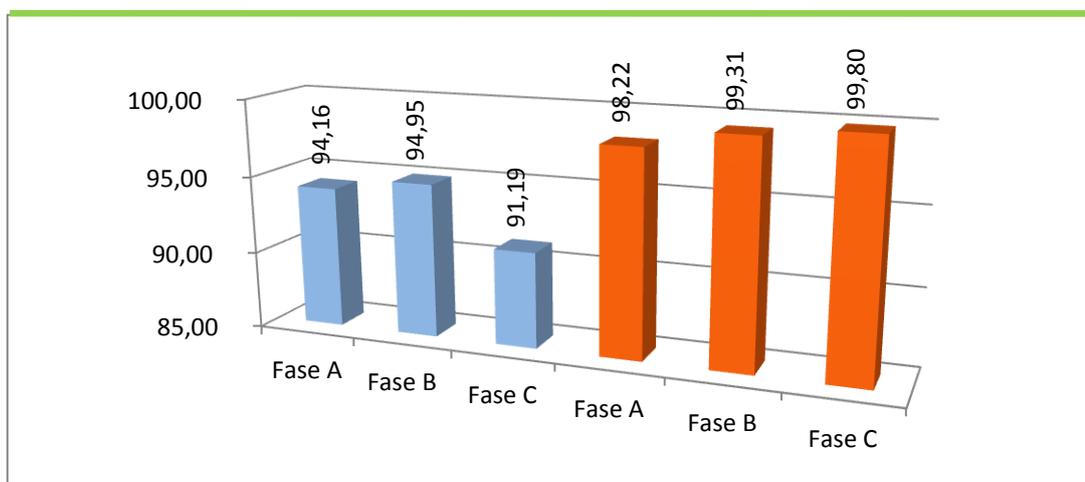
Fuente: Autor

Figura 4.16: THDI del transformador de 630 KVA



Fuente: Autor

Figura 4.17: Mediciones dentro de norma IEEE



Fuente: Autor

Para los armónicos totales de corriente no existe ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, en tal virtud las comparaciones de las mediciones, se la realiza con la norma IEEE 519-1992 y los límites están expuestos en la tabla 2.4 del capítulo II.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los

valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes, lo cual no sucede con las mediciones tomadas en el transformador de 600 KVA ya que todas las medidas de las fases no cumplen con la normativa en especial la Fase C donde los valores cumplen el 91,19 %, mientras que el transformador de 630 KVA se encuentran dentro de la norma.

4.7.7 Factor de potencia

Para efectos de la evaluación de la calidad del producto, el factor de potencia debe ser superior a 0,92 durante el 95% del periodo de medición conforme la Regulación No. CONELEC – 004/01, cabe indicar que éste es un efecto de la carga que se está utilizando en la Fábrica, por lo que no debe ser atribuido como consecuencia del servicio otorgado por EMELNORTE, sin embargo, es responsabilidad de la misma el controlar que se cumpla con las condiciones establecidas.

Para establecer los límites del factor de potencia se plantean los resultados obtenidos en MT y BT.

Tabla 4.18: Medición del Factor de Potencia en MT

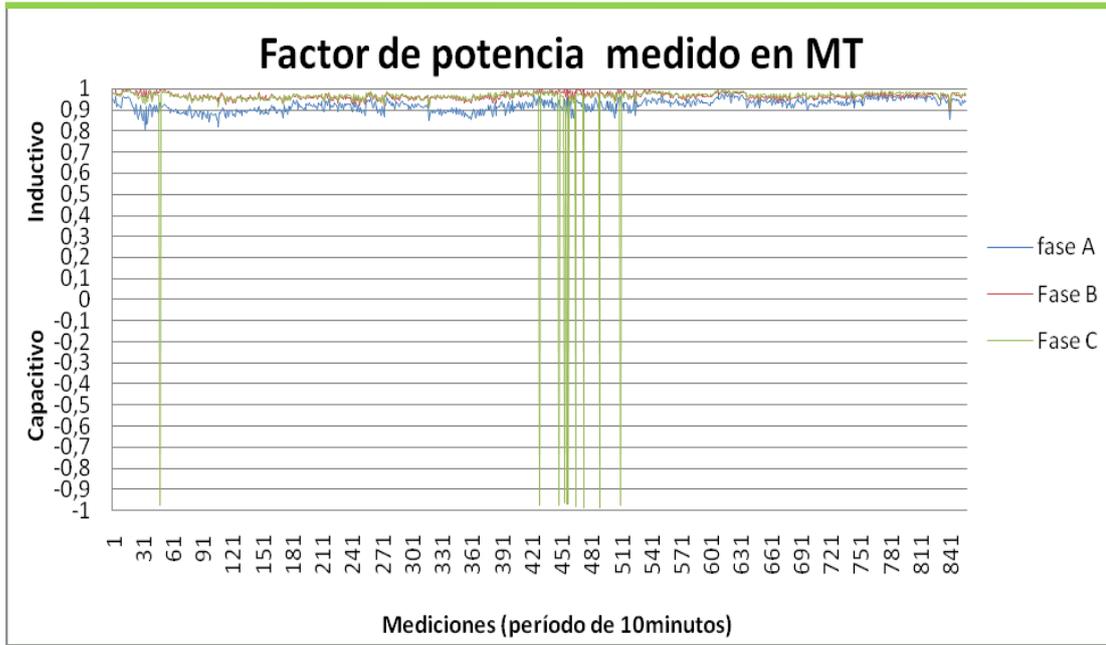
Factor de Potencia límite máx.= 5%						
Número de mediciones						
	Fases	Total	Dentro de Norma	Fuera de norma	% de mediciones dentro de norma	Cumple
Media Tensión	Fase A	857	853	4	99,53	SI
	Fase B	857	854	3	99,65	SI
	Fase C	857	488	369	56,94	NO

Fuente: Autor

Es necesario mencionar que el número de mediciones es 853 en virtud de que el restante de mediciones (151), el suministro de energía fue

suspendido en virtud de que en la ciudad de Otavalo se estaba instalando una línea de alta tensión a 69 KV.

Figura 4.18: Espectro del Factor de Potencia en MT



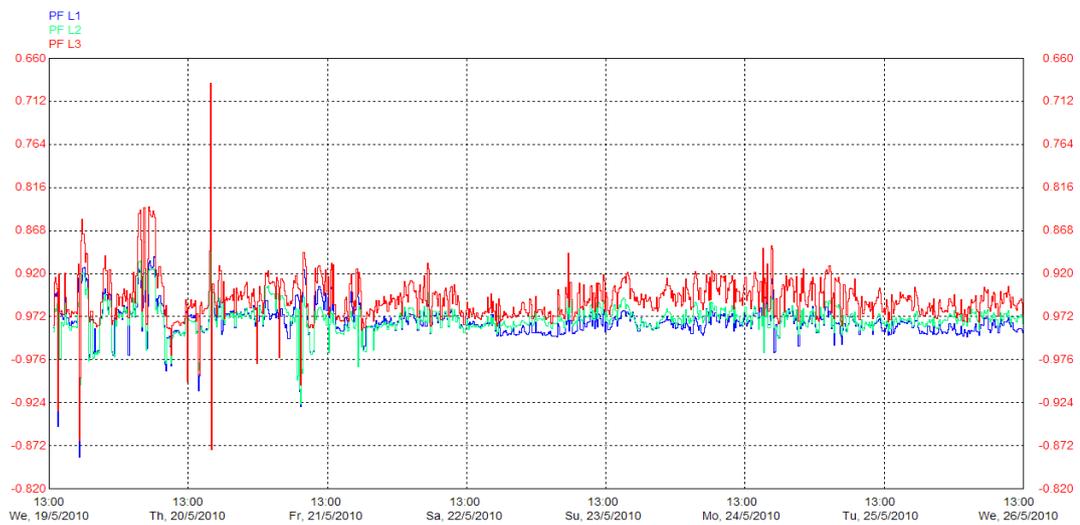
Fuente: Autor

Tabla 4.19: Medición del Factor de Potencia en BT

Factor de Potencia límite máx.= 5%						
Número de mediciones						
Trafo	Fases	Total	Dentro de Norma	Fuera de norma	% de mediciones dentro de norma	Cumple
600 KVA	Fase A	1010	991	19	98,1	SI
	Fase B	1010	997	13	98,7	SI
	Fase C	1010	940	70	93,1	NO
	Promedio	1010	987	23	97,7	SI
630 KVA	Fase A	1010	731	279	72,4	NO
	Fase B	1010	999	11	98,9	SI
	Fase C	1010	721	289	71,4	NO
	Promedio	1010	840	170	83,2	NO

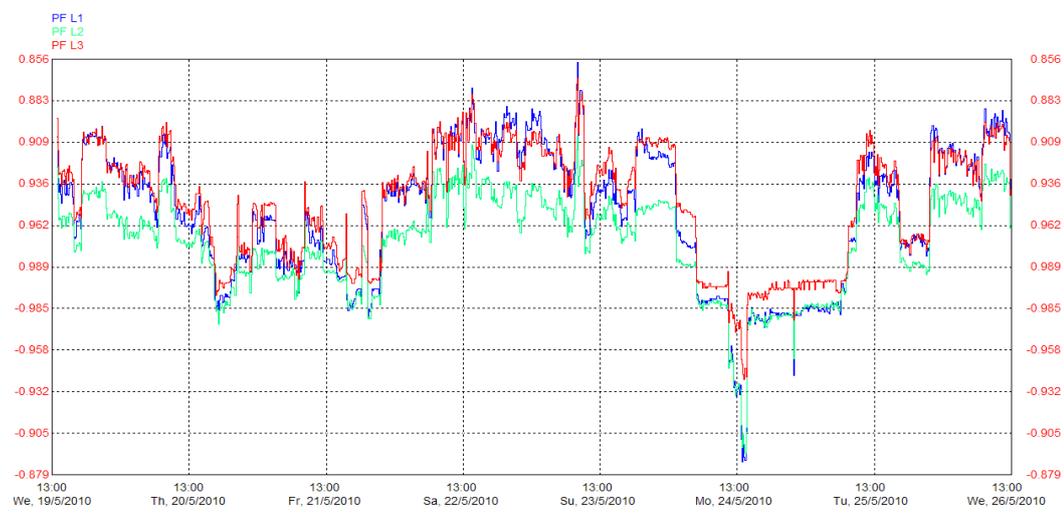
Fuente: Autor

Figura 4.19: Espectro del Factor de Potencia en BT del transformador de 600 KVA



Fuente: Autor

Figura 4.20: Espectro del Factor de Potencia en BT del transformador de 630 KVA



Fuente: Autor

En cuanto al Factor de potencia analizado, se puede apreciar que la Fase C del transformador de 600 KVA se encuentra fuera del límite establecido con un 93,1 %, mientras que las mediciones tomadas en el transformador de 630 KVA, demuestran que las Fases A y C cumplen con apenas con el 72,4% y 71,4% respectivamente

4.7.7.1 Determinación del histórico del Factor de potencia.

Para efectos de este análisis se hace uso de las planillas de consumo de energía de los últimos veinticuatro meses con el objeto de conocer en qué valores se ha mantenido el factor de potencia.

Tabla 4.20: Cálculo del factor de potencia mediante el consumo de energía

Meses	KWh/mes	KVARh/mes	P _{ACTIVA}	Q _{REACTIVA}	S _{APARENTE}	Cos ϕ
Mayo-08	227451	63360	312	87	323	0,96
Junio-08	211422	61440	290	84	302	0,96
Julio-08	207422	54720	284	75	294	0,97
Agosto-08	227442	67200	312	92	325	0,96
Septiembre-08	225422	72000	309	99	324	0,95
Octubre-08	153422	54720	210	75	223	0,94
Noviembre-08	246422	62400	338	85	348	0,97
Diciembre-08	163394	53760	224	74	236	0,95
Enero-09	176430	60000	242	82	255	0,95
Febrero-09	224745	70206	308	96	323	0,95
Marzo-09	229125	63794	314	87	326	0,96
Abril-09	207430	61000	284	84	296	0,96
Mayo-09	200450	59000	275	81	286	0,96
Junio-09	206430	55000	283	75	293	0,97
Julio-09	216450	58000	297	79	307	0,97
Agosto-09	203410	49000	279	67	287	0,97
Septiembre-09	201910	53281	277	73	286	0,97
Octubre-09	206011	56297	282	77	293	0,96
Noviembre-09	132339	37878	181	52	189	0,96
Diciembre-09	44350	14544	61	20	64	0,95
Enero-10	152450	46000	209	63	218	0,96
Febrero-10	232460	69000	318	95	332	0,96
Marzo-10	163440	60000	224	82	239	0,94
Abril-10	221460	51000	303	70	311	0,97
PROMEDIO	195054	56400	267	77	278	0,96

Fuente: Autor

De los análisis realizados, se puede concluir que pese a que principalmente la compensación de la Fase C en los dos transformadores no es la adecuada, el valor del factor de potencia medio se ubica en 0,96 lo que es un buen indicativo del correcto aprovechamiento de la energía.

4.8 Otras observaciones realizadas

Durante la realización de las mediciones se pudo constatar que la Fábrica no cuenta con planos eléctricos de toda la fábrica, y únicamente se cuenta con manuales y planos eléctricos del funcionamiento de la maquinaria.

Los tableros de protección de las diferentes secciones muestran un buen dimensionamiento de las protecciones, sin embargo en todas las secciones existe presencia de suciedad (pelusa de algodón) la cual se acumula alrededor de todos los elementos de protección, principalmente en la sección de hilatura y tintorería.

Es necesario mencionar que el cableado que une la cámara de transformación con los diferentes tableros de protección, se lo realiza subterráneamente, mientras que la alimentación a los tableros secundarios y maquinaria de las diferentes secciones se lo realiza mediante canaletas aéreas metálicas, que recorren por toda la Fábrica, observándose en el interior de estas existe una gruesa capa de algodón que cubre a los conductores y empalmes que se derivan de los mismos, ya que de ahí se alimentan las luminarias de la Fábrica, lo cual constituye un peligro en virtud de que existen empalmes que se encuentran flojos y es posible que al generarse una chispa puedan ocasionar un incendio que se podría propagar fácilmente en todas las direcciones, en razón de que el algodón es de fácil y rápida combustión

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Culminado el análisis energético en las instalaciones de la fábrica Textil San Miguel de Empresas “Pinto S.A” se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1 Al haber realizado el estudio energético general de la Fábrica se determinó que el área de tintorería tiene la mayor carga instalada con el 56,94% seguido de las áreas de hilatura y tejeduría que en conjunto alcanzan un 43,06 % del total de carga instalada.
- 2 La demanda de carga máxima registrada al transformador de 600 KVA, en el periodo de mediciones fue de 229,35 KVA, lo cual representa el 38,2% de la potencia total del transformador, siendo esto un indicativo de que el transformador se encuentra subcargado. La demanda de carga máxima registrada al transformador de 630 KVA, en el periodo de mediciones fue de 306,85 KVA, lo cual representa el 48,7% de la potencia total del transformador, siendo esto un indicativo de que el transformador se encuentra subcargado.
- 3 Realizado las mediciones y al haberlas comparado con la REGULACION No. CONELEC – 004/01 (Calidad del Producto) se verificó que cumplían con todos los parámetros, con la única observación de que el factor de potencia de la fase C no alcanzó el valor de 0,92 en el 95 % de las mediciones, sin embargo el factor de

potencia total se encuentra en 0,94 lo cual evita que la Fábrica sea penalizada.

- 4 Al realizar las mediciones de los armónicos de corriente se constató de que las mediciones tomadas en el transformador de 600 KVA no cumplían con la norma IEEE 512-1992, ya que en las fases A y B el porcentaje fue del 94% mientras que en fase C fue del 91 %.
- 5 Se puede observar que algunos de los motores aunque tienen alta potencia activa no se encuentran en funcionamiento, a estas se les denomina cargas muertas y hay que desconectarlas.
- 6 No existen planos eléctricos de las instalaciones de la planta de producción textil San Miguel de Empresas "Pinto S.A".
- 7 No existe un horario de funcionamiento de las maquinaria de tintorería, las cuales son las que incrementan la demanda en horas pico, ya que existe una coincidencia de cargas importantes.
- 8 Durante las mediciones realizadas en los tableros de protección se constató que las protecciones están bien dimensionadas, sin embargo las protecciones en la sección de hilatura presentan mucha suciedad debido a que el algodón se pega en los tableros produciendo daños y disminuyendo su vida útil, además con el peligro de provocar incendios.

5.2 Recomendaciones

- 1 Se sugiere que cualquier equipo que vaya a ser adquirido por la fábrica ya sea lámparas, motores o transformadores deben ser equipos eficientes (ahorradores de energía), ya que aunque tienen un costo elevado, su costo de operación es menor que los equipos normales, obteniendo así un ahorro energético en la fábrica.

- 2 Al estar los dos transformadores subutilizados se recomienda trasladar la carga del transformador de 600 KVA al transformador de 630 KVA con el fin de que su funcionamiento sea más eficiente y así disminuir las pérdidas que genera tener funcionando los dos transformadores.
- 3 Es aconsejable que el factor de potencia de la maquinaria se lo corrija de una manera individual y no de manera global, con el fin de obtener todas las ventajas que brinda este tipo de compensación.
- 4 Se recomienda la instalación de filtros activos con el fin de evitar que las distorsiones armónicas de corriente afecten a los equipos instalados en la Fábrica
- 5 Se recomienda que todo el personal de operación y mantenimiento se encarguen de desconectar las cargas muertas ya que éstas en algunos casos incrementan la carga del transformador y además aportan al incremento de las pérdidas en las redes secundarias
- 6 Es conveniente que se realice un levantamiento de los planos eléctricos de la Fábrica.
- 7 Se recomienda organizar un calendario de operación de las máquinas de tintorería en las horas pico, ya que existen cargas grandes que coinciden en su funcionamiento, con lo cual se obtendrá un ahorro por control de demanda y un ahorro por control de consumo de energía.
- 8 Se sugiere realizar una limpieza en todos los tableros de protección principalmente en el área de hilatura ya que presentan demasiada suciedad y estos pueden dejar de funcionar o puede ir disminuyendo su vida útil.

CAPITULO VI

6 PROPUESTA ALTERNATIVA

6.1 Título de la propuesta

CORRECTIVO A LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS Y REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA MEDIANTE USO EFICIENTE DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUE FUNCIONAN EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN TEXTIL SAN MIGUEL DE EMPRESAS “PINTO S.A”.

6.2 Justificación e importancia

Del estudio y análisis realizado en las instalaciones de la Fábrica “Pinto S.A.” se pudo constatar que existe una mínima presencia de disturbios eléctricos, los cuales se pueden disminuir mediante la implementación de equipos especiales destinados para tal fin, también se verificó que existe la posibilidad de reducir costos de operación, en lo que se refiere a gastos por consumo de energía.

Con estos antecedentes y en base a los datos de los sistemas eléctricos se plantea técnica y económicamente las oportunidades de reducir las distorsiones armónicas, al igual que el consumo de energía mediante medidas de eficiencia y ahorro de la energía por medio de la desconexión del transformador de 600KVA y control de la demanda de potencia (P) que la Fábrica requiere en las horas pico, lo cual influye directamente en los costos de facturación.

La importancia de esta propuesta radica en que en nuestro país se han incrementado tanto los costos de producción como de la materia prima, obligando a que los sectores industriales busquen mecanismos tendientes a reducir los ingentes gastos económicos que demanda el funcionamiento de la industrial, mereciendo principal importancia lo que tiene que ver con el mantenimiento de la maquinaria que es considerada indispensable, la cual en términos económicos representa una gran inversión el realizar un remplazo cuando esta se encuentra inservible.

6.3 Objetivos

6.3.1 General

Plantear una propuesta que permita mejorar la calidad del servicio, ahorro y eficiencia energética del sistema eléctrico para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos.

6.3.2 Específicos

- Análisis, presupuesto; y, beneficios económicos obtenidos al efectuar la desconexión y mantenimiento del transformador de 600 KVA.
- Diseño e implementación de un nuevo horario de funcionamiento de la maquinaria en las horas pico con el fin de evitar la coincidencia de cargas importantes.
- Selección técnica y económica de un filtro para disminuir la presencia de armónicos.

6.4 Desarrollo de la propuesta

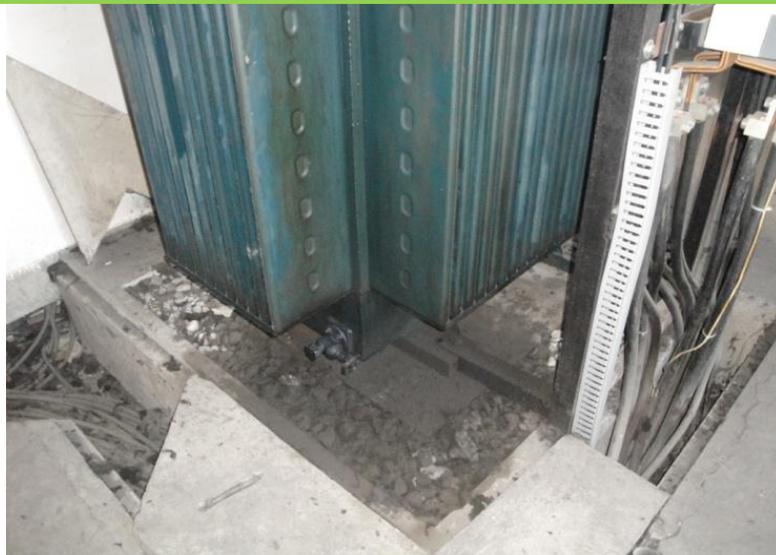
El planteamiento de esta propuesta se basa en tres puntos fundamentalmente los cuales son: desconexión del transformador de 600

KVA, control de la demanda en horas pico; y, corrección de distorsión armónica.

6.4.1 Desconexión del transformador de 600 KVA.

Consistirá principalmente en llevar toda la carga instalada a un solo transformador que en este caso es el de 630 KVA, para lo cual se procederá a la desconexión del transformador de 600 KVA el mismo que se encuentra subutilizado y deteriorado por el paso del tiempo, ya que se pudo observar a simple vista que el aceite aislante se está filtrando en gran cantidad al exterior de la carcasa, lo cual demuestra que este transformador a lo largo de su vida útil no ha sido dado ningún tipo de mantenimiento, teniendo en cuenta que el mismo tiene más de treinta y cinco años de funcionamiento.

Figura 6.1: Fuga de aceite dieléctrico del transformador de 600 KVA



Fuente: Autor.

El costo de un transformador es elevado, por lo que la supervisión del funcionamiento a través del aceite resulta económico en comparación con los costos que ocasionaría una avería en el transformador y los

provocados por la interrupción del suministro eléctrico, es por eso que con la desconexión del transformador de 600 KVA se podrá realizar un adecuado mantenimiento del mismo, evitando de esta manera que se tenga que hacer cualquier tipo de inversión económica con miras a adquirir otro transformador de similares características, además de evitar la contaminación ambiental por el derrame del aceite.

Es importante precisar que mientras se realiza el mantenimiento al transformador la productividad de la empresa no se verá afectada, ya que no se paralizará la producción de ninguna sección, lo cual se verá reflejado en la economía de la Empresa, en virtud de que estará aprovechando de una manera optima sus recursos.

Conocidas las pérdidas totales a potencia nominal de los dos transformadores con que cuenta la Fábrica, se procede a analizar la desconexión del transformador de 600 KVA, para lo cual es necesario conocer la demanda máxima de cada transformador expresada en KVA, con el fin de conocer la demanda máxima total que será trasladada al transformador de 630 KVA.

Tabla 6.1: Demanda de carga de los transformadores

Potencia Transformador	S media (KVA)	S max (KVA)
600 KVA	115.73	229.35
630 KVA	122.624	306.85
S TOTAL	238.354	536.2

Fuente: Autor.

De acuerdo al análisis y a los cálculos realizados se puede concluir que el transformador de 630 KVA al recibir toda la carga del transformador de

600 KVA no se sobrecargará y trabajará de una forma eficiente, en virtud de que la demanda máxima que podría presentarse en caso de coincidir cargas grandes en un determina período de tiempo sería de 536,2 KVA.

Es necesario mencionar que no se toma en cuenta las caídas de tensión que representa la conexión de las cargas trasladadas al transformador de 630 KVA en razón de que no se realiza ningún tipo de extensión de la red ya que la distancia que existe entre los dos transformadores es de 2,90 metros; y, la longitud de los conductores que alimentan las cargas coinciden perfectamente con el transformador de 630 KVA.

Figura 6.2: Distancia de caída de tensión



Fuente: Autor.

En la siguiente figura se realiza una simulación de la curva de operación de una semana de trabajo para el transformador de 630 KVA luego de realizados los cambios.

Figura 6.3: Demanda máxima proyectada del transformador de 630 KVA



Fuente: Autor.

6.4.1.1 Costo-beneficio de la desconexión del transformador.

- Cálculo del factor de uso del transformador de 630 KVA con la carga trasladada.

$$Fu = \frac{S_{Maxima} (kVA)}{S_{Transformador} (kVA)}$$

$$Fu = \frac{536.2}{630}$$

$$Fu = 0,85$$

- Cálculo de pérdidas en el devanado del transformador.

$$Pcu = (Fu)^2 \times \Delta Pcu nominal$$

$$Pcu = (0,85)^2 \times 7130W$$

$$Pcu = 5151,42W$$

- Cálculo de las pérdidas totales reales del transformador.

Considerando que las pérdidas en vacío del transformador son constantes en virtud de que no dependen de la carga instalada.

$$P_T = P_0 + P_{cu}$$

$$P_T = 1284 + 5151,42 W$$

$$P_T = 6435,43 W$$

- Cálculo de las pérdidas reales de energía en un mes.

- **Factor de pérdidas**

$$fp = \frac{(\text{Demanda promedio})^2}{(\text{Demanda máxima})^2}$$

$$fp = \frac{(238,35 \text{ kVA})^2}{(536,2 \text{ kVA})^2}$$

$$fp = \frac{56810,7 (\text{kVA})^2}{287510,4 (\text{kVA})^2}$$

$$fp = 0,19$$

- **Pérdidas de energía al mes**

$$P_E = \text{Pérdidas a potencia nominal} \times fp \times 730 \text{ horas}$$

$$P_E = 7,130 \text{ kW} \times 0,19 \times 730 \text{ horas}$$

$$P_E = 988,93 \text{ kWh/mes}$$

Con el resultado obtenido y tomando como referencia el KWh a un costo promedio de 0,09 USD, se tiene que el costo mensual estimado de mantener energizado el transformador de 630 kVA es de 89 USD.

Tabla 6.2: Beneficios económico aplicando el traslado de la carga propuesto

Transformador	600 KVA	630 KVA	630 KVA (Propuesto)
Parámetros			
S máxima	229,35 (KVA)	306,85	536,2 KVA
S media	115,73	229,35	238,35
Porcentaje de carga (%)	38,2 %	48,7%	85 %
Perdidas en vacio (W)	1240 W	1284 W	1284 W
Factor de utilización	0,38	0,49	0,85
Perdidas en el cobre	984,23 W	1712 W	5151,42 W
Factor de pérdidas	0,25	0,15	0,19
Perdidas de Energía por mes	1243,92 KWh	780,73 KWh	988,93 KWh
Costo mensual (USD)	111,95 (USD)	70,27 (USD)	89 (USD)
Costo anual (USD)	1343 (USD)	843,24 (USD)	1068 (USD)
Ahorro mensual (USD)	-----	-----	93,22 (USD)
Ahorro anual (USD)	-----	-----	1118,64 (USD)

Fuente: Autor.

6.4.1.2 Presupuesto.

CLIENTE	PLANTA DE PRODUCCIÓN SAN MIGUEL DE EMPRESAS "PINTO S.A"	FECHA	15/06/2010
REF	TRABAJOS ELECTRICOS PARA TRASLADAR LA CARGA DEL TRANSFORMADOR DE 600 KVA AL TRANSFORMADOR DE 630 KVA		

Materiales Transformadores

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V.UNITARIO	TOTAL
Juego de barras Legrand de 1500 A	1	220	220
Conectores de compresión dobles No. 2	10	1,7	17
SUBTOTAL			237

Mano de obra Transformadores

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V.UNITARIO	TOTAL
Armada e instalación de barras de 1500 A	1	12	50
Desconexión de carga del trafo de 600 KVA	1	8	30
Traslado de carga al trafo de 630 KVA	1	20	70
SUBTOTAL			150

Resumen del presupuesto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V.UNITARIO	TOTAL
Materiales Transformadores	1	237	237
Mano de obra Transformadores	1	150	150
Costos indirectos	1	38,7	38,7
Derechos de estudio	1	705,6	705,6
SUBTOTAL DEL PRESUPUESTO			1131,3
12 % IVA			135,756
TOTAL DEL PRESUPUESTO			1267,056

Con los resultados se puede concluir que económicamente es factible esta propuesta ya que la inversión que se realice será recuperada en un período de cinco meses; y, técnicamente es viable llevar la carga del transformador de 600 KVA al transformador de 630 KVA, pudiendo ser esto de forma permanente o durante el tiempo que se realice el mantenimiento correctivo al transformado de 600 KVA, ya que no implicaría ningún inconveniente en el normal funcionamiento de la Fábrica, inclusive cuando la Fábrica se encuentre trabajando a demanda máxima de potencia.

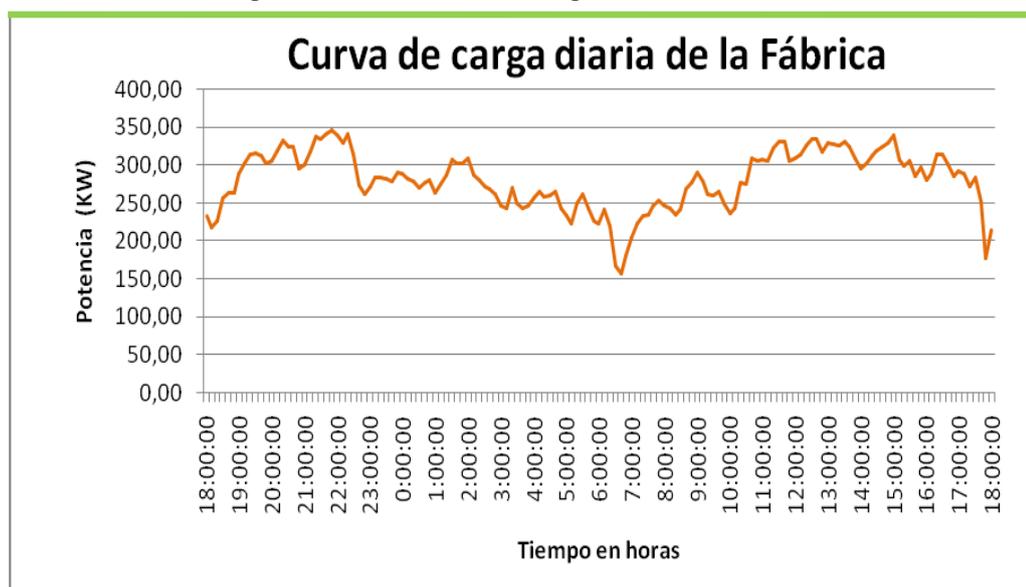
6.4.2 Control de la demanda en horas pico.

Del análisis energético realizado a la Fábrica, se ha determinado que se puede ahorrar y disminuir los costos energía facturados, mediante el desplazamiento de los horarios de operación de las máquinas con mayor consumo a horas en que la demanda tiene un costo menor, que según consta en el pliego tarifario vigente va desde 22h00 hasta las 08h00.

El control de la demanda pico en el pliego tarifario vigente es de mucha importancia, ya que este parámetro es el que determina el factor de corrección industrial que será multiplicado por la demanda máxima de potencia durante el mes.

Para realizar este control es necesario analizar la curva de demanda diaria de la fábrica para observar en que horas del día existe la punta de demanda, a continuación se presenta la gráfica.

Figura 6.4: Curva de carga diaria de la Fábrica



Fuente: Autor.

Al ser una carga industrial la mayor punta de demanda es producida a distintas horas del día, pero para el presente trabajo se toma en consideración el período de tiempo comprendido entre las 18h00 y las 22h00, para lo cual es necesario identificar las cargas que contribuyen a la demanda máxima y así poder organizar los tiempos de operación de las mismas.

Del levantamiento de carga realizado se conoce que en la sección de tintorería los procesos de secado y planchado son los que más contribuyen a los picos de demanda.

Tabla 6.3: Proceso con demanda de carga representativa

PROCESO	EQUIPO	P (KW)
Secado	Secadora	30,484
Planchado	Tela	49,536
TOTAL		80,02

Fuente: Autor.

El horario de funcionamiento de estos equipos se divide en dos jornadas de trabajo las cuales son de 07h00 a 18h00 y de 18h00 a 07h00, es decir son equipos que se encuentran funcionando permanentemente, con la diferencia de que como se aprecia en la figura 6.4 a partir de las 23h00 la demanda decrece, lo cual hace oportuno proponer el siguiente horario de trabajo de estas máquinas:

Tabla 6.4: Horarios de funcionamiento propuestos

PROCESO		Proceso horario actual	Proceso horario propuesto
Secado	Turno1	07h-18h	07h-18h
	Turno2	18h-07h	22h-07h
Planchado	Turno1	07h-18h	07h-18h
	Turno2	18h-07h	22h15-07h

Fuente: Autor.

Este tipo de horario propuesto si es realizable ya que existen dos turnos, lo cual facilita la implementación de este nuevo horario.

6.4.2.1 Análisis técnico-económico de la situación actual

La demanda máxima y la demanda pico son potencias que son absorbidas por la Fábrica en un determinado período de tiempo, el cual se encuentra regulado por el pliego tarifario vigente.

Para realizar este análisis es necesario conocer como ha sido la demanda de potencia de la Fábrica durante los últimos doce meses.

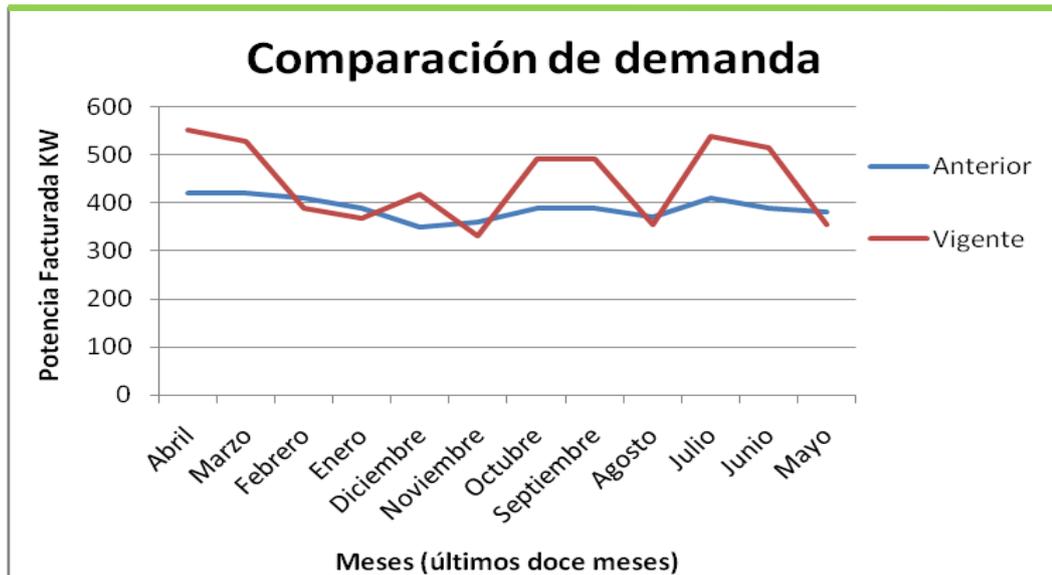
En la siguiente tabla se muestra las diferencias del factor de corrección entre el pliego tarifario anterior y el vigente, cabe mencionar que esta comparación se la realiza sin implementar el horario propuesto en virtud de que más adelante se analizará el mismo.

Tabla 6.5: Diferencias de Factor de corrección

Meses	Demanda máxima KW	Demanda pico 18h-22h KW	Anterior FCI	Actual FCI	Demanda facturada anterior KW	Demanda estimada KW
Abril	460	420	0,91	1,2	418,6	552
Marzo	440	420	0,95	1,2	418	528
Febrero	460	410	0,89	0,85	409,4	391
Enero	450	390	0,87	0,82	387	368,3
Diciembre	350	350	1	1,2	350	420
Noviembre	440	360	0,82	0,76	356,4	332,7
Octubre	410	390	0,95	1,2	389,5	492
Septiembre	410	390	0,95	1,2	389,5	492
Agosto	410	370	0,90	0,87	369	355
Julio	450	410	0,91	1,2	409,5	540
Junio	430	390	0,91	1,2	387	516
Mayo	450	380	0,84	0,79	378	352,8
Promedio	430	390	Promedio		388,4	455

Fuente: Autor.

Figura 6.5: Comparación de la demanda facturada aplicada el



Fuente: Autor.

La tendencia de la demanda de potencia aplicada al pliego tarifario actual, sin implementar ningún tipo de horario de funcionamiento de los equipos, incrementará los costos de facturación, tomando en consideración que mensualmente cada KW de demanda tiene un costo de US\$ 4,576.

Tabla 6.6: Incremento del costo de facturación

Meses	Demanda facturada anterior KW	Costo mensual (USD)	Demanda estimada KW	Costo mensual (USD)
Abril	418,6	1.916	552	2.526
Marzo	418	1.913	528	2.416
Febrero	409,4	1.873	390,6	1.787
Enero	387	1.792	370,3	1.694
Diciembre	350	1.602	420	1.922
Noviembre	356,4	1.651	333,7	1.527
Octubre	389,5	1.782	492	2.251
Septiembre	389,5	1.782	492	2.251
Agosto	369	1.689	353,6	1.618
Julio	409,5	1.874	540	2.471
Junio	387	1.791	516	2.361
Mayo	378	1.730	352,8	1.614

Fuente: Autor.

6.4.2.2 Análisis técnico-económico implementando la propuesta

Al implementar el horario propuesto, en esta investigación, para que entren en funcionamiento los equipos detallados anteriormente, se obtendrá una disminución en el costo de la facturación, ya que la Fábrica requerirá de menos potencia de la red de energía eléctrica en virtud de que la demanda pico se disminuirá porque dos cargas grandes no funcionarían en ese período de tiempo, ya que en conjunto alcanzan los 80,02 KW.

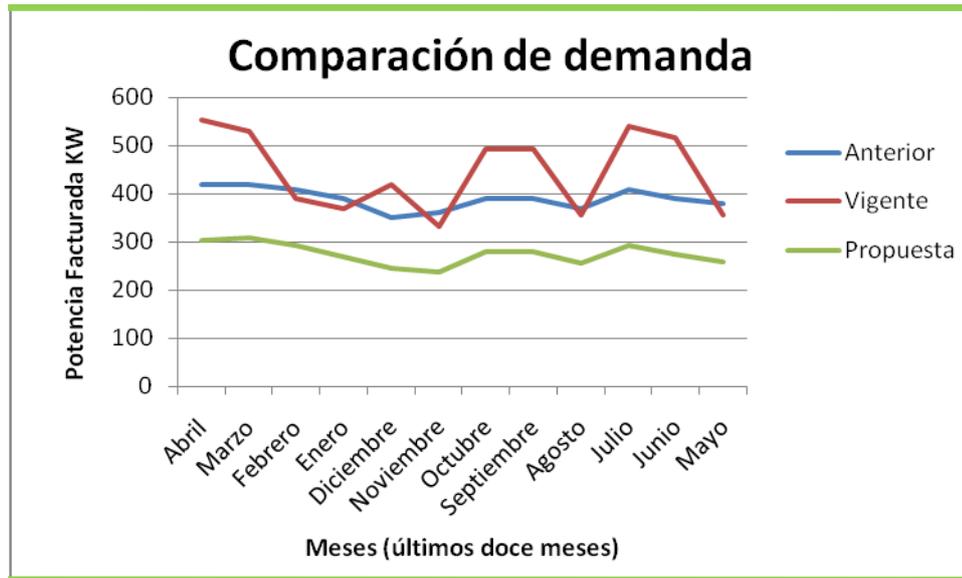
En la siguiente tabla se puede apreciar que incidencia tiene la propuesta planteada en la potencia demandada y por ende en la facturación.

Tabla 6.7: Demanda facturada aplicando la propuesta

Meses	Demanda máxima KW	Demanda pico proyectada KW	Factor de corrección Proyectoado FCI	Demanda facturable proyectada KW
Abril	460	340	0,66	303
Marzo	440	340	0,70	308
Febrero	460	330	0,63	291
Enero	450	310	0,60	270
Diciembre	350	270	0,70	244
Noviembre	440	280	0,54	238
Octubre	410	310	0,68	278
Septiembre	410	310	0,68	278
Agosto	410	290	0,62	255
Julio	450	330	0,65	293
Junio	430	310	0,64	274
Mayo	450	300	0,57	258

Fuente: Autor.

Figura 6.6: Comparación de la demanda propuesta



Fuente: Autor.

A continuación se presenta una comparación con el costo mensual que representaría la implementación de el nuevo horario de funcionamiento de los equipos, en comparación con el demanda estimada según el pliego tarifario vigente.

Tabla 6.8: Ahorro mensual proyectado aplicando la propuesta

Demanda estimada según el pliego tarifario actual KW	Costo mensual (USD)	Demanda propuesta con horario KW	Costo mensual (USD)	Ahorro mensual proyectado
552	2.526	303	1.387	1.139
528	2.416	308	1.409	1.007
391	1.787	291	1.332	455
368	1.694	270	1.236	458
420	1.922	244	1.117	805
333	1.527	238	1.089	438
492	2.251	278	1.272	979
492	2.251	278	1.272	979
355	1.618	255	1.167	451
540	2.471	293	1.341	1.130
516	2.361	274	1.254	1.107
355	1.614	258	1.181	433
PROMEDIO				782

Fuente: Autor.

Con los resultados obtenidos se tiene que mensualmente se tendrá un ahorro de 782 USD, lo que representa que anualmente se ahorra por concepto de pago por demanda un total de 9.384 USD.

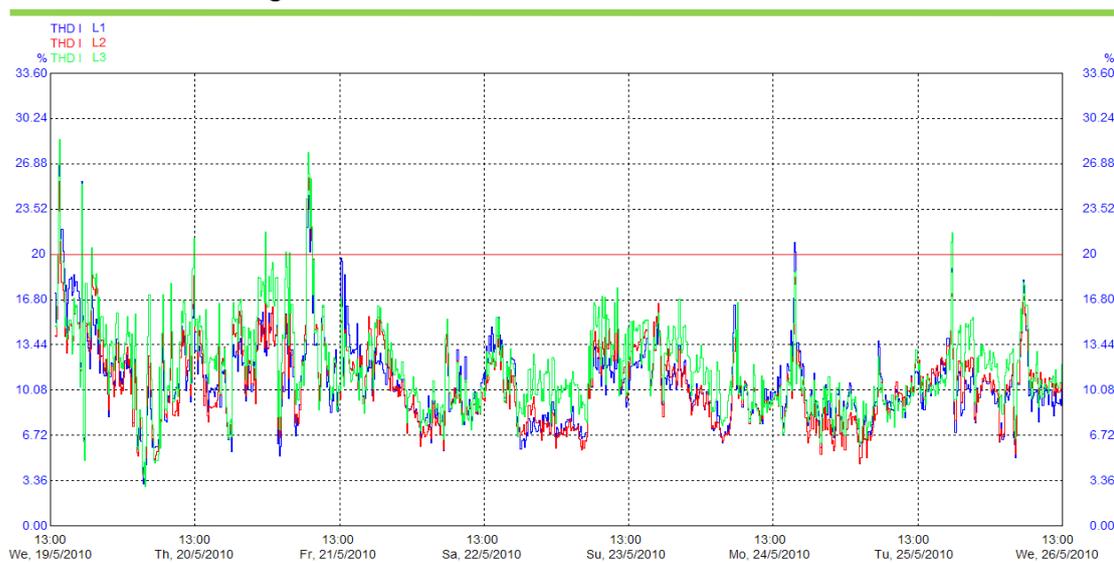
El costo de la implementación de esta propuesta es de cero inversiones, ya que simplemente con modificar los horarios de funcionamiento de los equipos se logrará lo propuesto.

6.4.3 Corrección de distorsión armónica

La existencia de tensiones y corrientes a frecuencias diferentes de la fundamental, son la razón de los problemas en los equipos cuando las sumas de las frecuencias generan una onda distorsionada.

En el presente caso se determinó que existe presencia de distorsiones armónicas, que no inciden directamente en el normal funcionamiento de la Fábrica ya que los porcentajes que sobrepasan la norma IEEE 519-1992 son mínimos, tal como se puede apreciar en la figura 6.7.

Figura 6.7: THDI del transformador de 600 KVA



Fuente: Autor

6.4.3.1 Análisis técnico de la implementación de la propuesta

Al implementar un filtro de armónicos, lo que se pretende es disminuir las distorsiones armónicas que estén generando inconvenientes al normal desenvolvimiento del proceso de producción.

Es por eso que en esta investigación se constató, que la Fábrica al tener en funcionamiento variadores de frecuencia de 6 pulsos se encuentra generando armónicos de orden 5^o, 7^o y 11^o principalmente.

El orden de los armónicos está dado por:

$$h = mp \pm 1$$

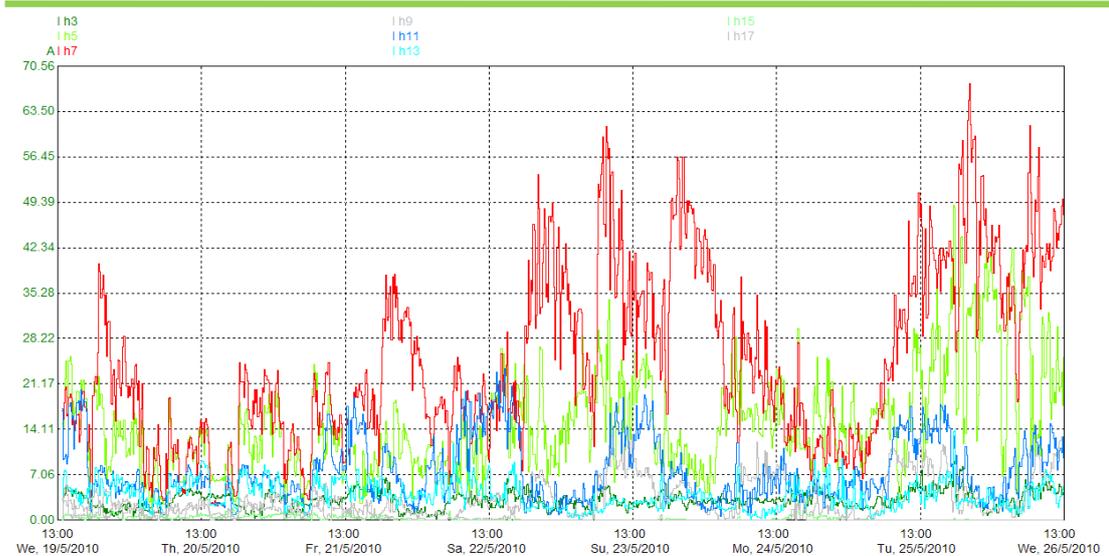
Donde:

h : orden del armónico

p : número de pulsos

m : 1, 2, 3,

Figura 6.8: Corrientes armónicas del transformador de 600 KVA



Fuente: Autor

Es por eso que la implementación de un filtro de armónicos se debe tener muy en cuenta la corriente máxima que puede filtrar los equipos diseñados para disminuir los armónicos.

Tabla 6.9: THDI del transformador de 600 KVA

Corrientes armónicas				
	L1	L2	L3	Irms
Ih1	563,7	617,1	547,2	576
Ih3	14,24	15,38	9,08	13
Ih5	49,35	45,50	48,91	48
Ih7	54,45	60,76	67,82	61
Ih9	9,39	15,57	13,36	13
Ih11	33,59	28,11	23,51	28
Ih13	9,89	14,57	13,83	13

Fuente: Autor

6.4.3.2 Distorsión armónica individual

Es necesario conocer la distorsión armónica individual, con el objeto de distinguir cuál armónico es el que merece que sea reducido a niveles más adecuados.

$$Di = \frac{Ih}{In} * 100\%$$

$$Di_3 = \frac{13A}{576A} * 100\% = 2,3$$

$$Di_5 = \frac{48A}{576A} * 100\% = 8,3$$

$$Di_7 = \frac{61A}{576A} * 100\% = 10,6$$

$$Di_9 = \frac{13A}{576A} * 100\% = 2,3$$

$$Di_{11} = \frac{28A}{576A} * 100\% = 4,9$$

$$Di_{13} = \frac{13A}{576A} * 100\% = 2,3$$

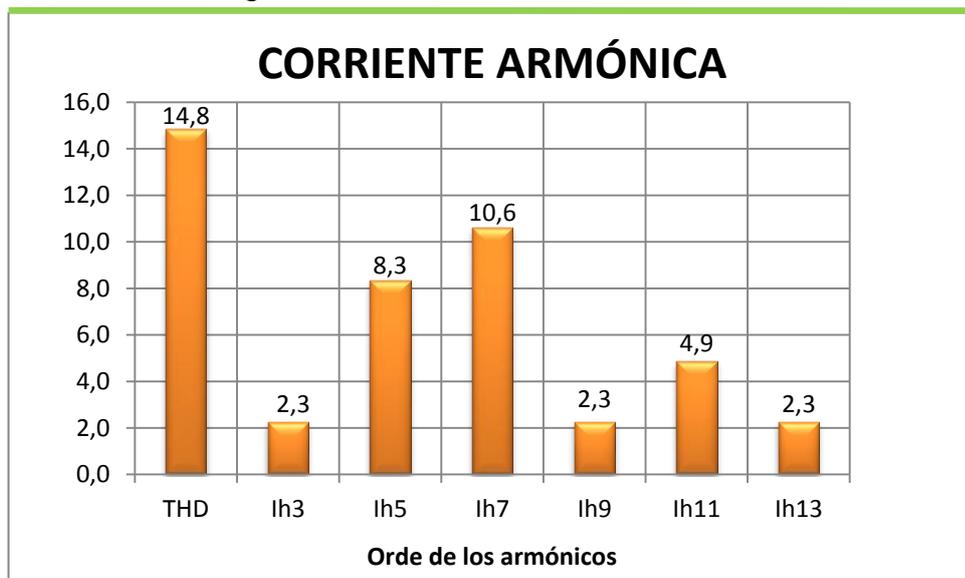
Los índices de distorsión total armónica se encuentran definidos

$$THDI = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (I_i)^2}}{I_n} \right) * 100$$

$$THDI = \left(\frac{\sqrt{13^2 + 48^2 + 61^2 + 13^2 + 28^2 + 13^2}}{576} \right) * 100$$

$$THDI = 14,85$$

Figura 6.9: Distorsión armónica individual



Fuente: Autor

Con los valores establecidos en la tabla anterior y haciendo uso de los equipos para filtrar armónicos que distribuye ABB Ecuador se ha considerado al filtro PQFK 100A, en virtud de que éste filtro soporta una corriente máxima que puede filtrar es de $100A \cdot 5 / \text{orden del armónico}$, teniendo así los siguientes valores.

Tabla 6.10: Parámetros del filtro PQFK

FILTRO PQFK	
Orden del armónico	Corriente máxima filtrada
3°	167 A
5°	100 A
7°	71 A
9°	56 A
11°	45 A

Fuente: Autor

6.4.3.3 Análisis económico de la propuesta

La implementación de este tipo de filtros representaría un alto costo por la tecnología que implementan, ya que permiten reducir los armónicos en tiempo real desde el 2° al 50°, pudiendo filtrarse 15 armónicos simultáneamente, reduciéndose a un rango menor del 5% de la distorsión existente.

Es necesario precisar que si bien es cierto que existen distorsiones armónicas dentro de los circuitos eléctricos de la Fábrica, no es menos cierto que la implementación de estos dispositivos reducirá en un porcentaje no muy significativo comparado con los porcentajes existentes, con lo cual la inversión que se realice en estos equipos sería muy cuantiosa si se compara con los resultado que se obtendrían actualmente, más no con las proyecciones que de expansión y crecimiento de la Fábrica.

6.5 Bibliografía

- Bedón, A. (2007). Estudio del nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia en industrias florícolas del cantón Cayambe-Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. (Tesis Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional.
- Calvas, R. (2001). Perturbaciones eléctricas BT. Cuaderno Técnico N° 141 de Schneider Electric. Recuperado de <http://www.schneiderelectric.com.es>
- Chancusig, R. (2008). Procedimientos para el control de la calidad de servicio y medición de la calidad de la potencia en una subestación del sistema nacional de transmisión según la Regulación No. CONELEC 003/08. (Tesis Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional.
- CONELEC (2001). Regulación N°. CONELEC 004/01, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución. Ecuador.
- Constitución Política de la República del Ecuador (2008), Corporación de Estudios y Publicaciones.
- Echeverría, G. (2003). Optimización de carga y recursos eléctricos propios para granjas florícolas del cantón Cayambe. (Tesis Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional.
- Enríquez, G. (1985). Fundamentos de Sistemas de Energía. Editorial LIMUSA.
- Estigarriba, H. (sf). Armónicos en líneas de baja tensión. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/armonicos-baja-tension/armonicos-baja-tension.pdf>
- IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std. 1159-1995). Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1-55937-549-3. Estados Unidos, 1995.
- IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems (IEEE Std. 519-1992). Institute of

- Masabanda, D. (2007). Modernización del sistema de control de una máquina circular de gran diámetro de tela jersey de “EMPRESAS PINTO S.A.”. (Tesis Tecnología) Escuela Politécnica Nacional.
- Organización Latinoamericana de Energía OLADE. (1993). Manual Latinoamericano y del Caribe para Control de Pérdidas Eléctrica. Vol. I y II, Quito – Ecuador.
- Ramírez, S. (2003). Calidad del Servicio de Energía Eléctrica. Universidad Nacional de Colombia.
- Schneider Electric. (sf). Manual y Catálogo del electricista. Capítulo 2. Recuperado de <http://www.schneider-electric.com.ar>
- Schneider Electric. (s.f). Detección y filtrado de armónicos. Guía 5. Recuperado de <http://www.schneiderelectric.com.es>
- Sánchez, J. (2001). Evaluación de la calidad del servicio de distribución eléctrica en el Ecuador. (Tesis Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional.
- Schonek, J. (2001). Las peculiaridades del 3^{er} armónico. Cuaderno Técnico N° 202 de Schneider Electric. Recuperado de <http://www.schneiderelectric.com.es>
- Tiravanti, E. (2004). Como ahorrar energía eléctrica”, ediciones editorial Reverte S. A. Barcelona España.
- Lévy-Leblond (1992) Electricidad y magnetismo. Madrid: Alianza Editorial.
- Palacios, V. (2009). Análisis y estudio energético para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la Fábrica Textil San Pedro. (Tesis Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional.
- Rojas, W (2008). Diseño e implementación de un sistema de control y automatización en la máquina Eco-Soft 103 de Empresas “PINTO S.A.”. (Tesis Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional.
- Velasco, G. (2008). Seminario sobre Aspectos de la calidad de la Energía Eléctrica. Ibarra-Ecuador.

- Vidal, D. (2003). Estudio y eliminación de armónicos en el sistema de ayudas visuales a la navegación aérea en el Aeropuerto de Valencia Universidad Rovira I Virgili; noviembre 2003.
- Wierda, R. (2001). Flicker o parpadeo de las fuentes luminosas. Cuaderno Técnico N° 176 de Schneider Electric. Recuperado de <http://www.schneiderelectric.es>

LINKCOGRAFÍA

- <http://www.edym.com/CD-tex/2p/tintura/cap13.htm>
- <http://www.edym.com/CD-tex/2p/matprim/cap08.htm>
- <http://www.edym.com/CD-tex/2p/telas/cap09.htm>
- <http://www.edym.com/CD-tex/2p/tintura/cap13.htm>
- <http://www.pinto.com.ec/index.php?idSeccion=121&idPortal=1>
- <http://www.epcos.com.ar>
- http://www.pqmeterstore.com/crm_uploads/fluke_1743_and_1744_power_quality_logger_datasheet.pdf
- <http://www.genteca.com.ve/manuales/proteccion%20de%20motores%20v3.pdf>
- <http://www.conelec.gov.ec>
- <http://www.abb.com.lowvoltage>

ANEXOS