





**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**

**UNIDAD DE POSGRADOS**

**Tesis en opción al grado académico de Magister en Gestión de Energías.**

**TÍTULO:**

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DEL CAMPO PETROLERO PINDO AÑO 2013. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MEJORAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

Autor:

CHÁVEZ Chávez, Romel Patricio

Tutor:

Dr. C. Secundino Marrero Ramírez

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre - 2013



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Chávez Chávez Romel Patricio, con el título de tesis: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DEL CAMPO PETROLERO PINDO AÑO 2013. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MEJORAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Diciembre –02, 2013.

Para constancia firman:

.....  
MSC. LCDA. ROSA TERÁN  
PRESIDENTE

.....  
MSC. HERNÁN NAVAS  
MIEMBRO

.....  
MSC. EDISON YÉPEZ  
MIEMBRO

.....  
MSC. GABRIEL HERNÁNDEZ  
OPOSITOR



**UNIVERSIDAD TECNICA DE  
COTOPAXI  
UNIDAD DE POSGRADOS  
Latacunga – Ecuador**

---

**INFORME DEL AVANCE DE LA TESIS**

Latacunga Diciembre - 02, 2013

Lic. Msc.  
Nelson Corrales  
DIRECTOR DE POSGRADOS U.T.C.  
Presente

De mi consideración:

Por medio de la presente, me dirijo a su autoridad, para informar el cumplimiento de la TUTORÍA de TESIS, correspondiente al desarrollo del Capítulo de Tesis No I del maestrante: Chávez Chávez Romel Patricio con el Título: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DEL CAMPO PETROLERO PINDO AÑO 2013. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MEJORAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA; de la Tesis en opción al grado académico de magister en GESTIÓN DE ENERGÍAS.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

.....  
Dr. C. Secundino Marrero Ramírez

## **RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS**

El proyecto de tesis de maestría denominado “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DEL CAMPO PETROLERO PINDO AÑO 2013. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MEJORAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA”. Ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de la declaración de me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Diciembre 2013

.....  
Chávez Chávez Romel Patricio  
0603065061

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, Por llenar mi vida de Bendiciones.

A mi Familia, por guiar cada paso de este duro camino con sabiduría.

A nuestros amigos Secundino y Gabriel, por haber confiado en mí, por la paciencia y el apoyo constante en cada una de las dificultades.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirnos la puertas y acogernos.

Y a mis amigos, que con sus palabras de aliento incitaron mi espíritu para seguir.

## **DEDICATORIA**

A mi madre,  
Marlene, con mucho cariño y amor  
le dedico todo mi esfuerzo y trabajo  
puesto en este proyecto.

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
INFORME DEL AVANCE DE LA TESIS .....	iii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE GRÁFICOS .....	xi
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPITULO I - EL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema. ....	2
1.3 Justificación y significación.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Generales. ....	4
1.4.2 Específicos.....	4
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Enfoque de la investigación.....	5
1.7 Factibilidad de la investigación.....	6
CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.1.1 Sistemas Propios de Generación o Autogeneración.....	8
2.1.2 Funcionamiento en paralelo de varios grupos electrógenos.....	9
2.1.3 Autogeneración del Campo Petrolero Pindo.....	10
2.2 Fundamentación Teórica.....	11
2.2.1 Grupos Electrógenos.....	11
2.2.2 Caracterización de los Grupos Electrógenos del Campo Pindo.....	13
2.2.3 Caracterización de la Distribución de Energía en el Campo Pindo....	14
2.2.4 Estado de Arte para la Determinación de la Eficiencia Energética. ...	15
2.2.5 Estado de Arte para la Determinación de la Calidad de Energía.....	22
2.2.6 Distorsión Armónica.....	25

2.2.7	Armónicos en Sistemas de Potencia. ....	27
2.2.8	Filtros de Armónicos. ....	29
2.2.9	Factor de Distorsión. ....	31
2.2.10	Factor de potencia. ....	33
2.3	Métodos normalizados para la estimación de la eficiencia en GE. ....	34
2.4	Métodos normalizados para la estimación de la calidad de Energía eléctrica. ....	35
<b>CAPÍTULO III – METODOLOGÍA</b> .....		37
3.1	Modalidad de la Investigación. ....	37
3.2	Tipo de Investigación. ....	37
3.3	Metodología. ....	37
3.4	Unidad de Estudio. ....	37
3.5	Instrumentación y Aplicaciones Informáticas. ....	38
3.5.1	Software Power Etap Versión 6.0. ....	38
3.5.2	Fluke 430 Serie II. ....	39
3.6	Métodos a ser Empleadas. ....	39
3.6.1	Método para determinar la Eficiencia de la Energía. ....	39
3.6.2	Método para determinar la Calidad de la Energía. ....	40
3.6.3	Operacionalización de las Variables. ....	40
3.6.4	Procedimientos de la Investigación para la Eficiencia Energética. ....	41
3.6.5	Procedimientos de la Investigación para la Calidad de Energía. ....	42
3.6.6	Procedimientos para Evaluación y Mejora de la Calidad de Energía. ....	44
<b>CAPÍTULO IV - ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....		45
4.1	Análisis para la Eficiencia de la Energía, Gráficos de Control. ....	45
4.2	Análisis para la Eficiencia de la Energía, Gráficos de consumo y producción en el tiempo. ....	50
4.3	Análisis para la Eficiencia de la Energía, Diagramas de Dispersión y Correlación. ....	51
4.4	Análisis para la Eficiencia de la energía, Diagrama Índice de Consumo–Producción. ....	53
4.5	Análisis para la Eficiencia de la energía, Gráfico de Tendencia. ....	56
4.6	Análisis para la Calidad de Energía, por Analizador de Carga. ....	58
4.7	Análisis para la Calidad de Energía, por Software. ....	63
<b>CAPÍTULO V - PROPUESTA ALTERNATIVA A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....		71
5.1	Título de la Propuesta. ....	71
5.2	Justificación. ....	71

5.3	Objetivo.....	71
5.4	Estructura de la propuesta. ....	71
5.5	Evaluación Técnico Económico Ambiental.....	72
5.5.1	Gastos de Adquisición. ....	72
5.5.2	Gastos de Montaje (Materiales).....	72
5.5.3	Gastos en Salario. ....	73
5.5.4	Gastos por Reparación Parcial.....	74
5.5.5	Inversión Total.....	75
5.5.6	Ahorro en Pérdidas Eléctricas.....	76
5.5.7	Ahorro en la Producción. ....	76
5.5.8	Tiempo de Recuperación de la Inversión. ....	77
5.5.9	Valor Actual Neto. ....	78
5.5.10	Técnico Económico. ....	78
5.5.11	Análisis Ambiental. ....	79
	CONCLUSIONES: .....	80
	RECOMENDACIONES: .....	81

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
TABLA 1 Grupo Electrógeno (Gas) Waukesha 7100. ....	13
TABLA 2 Grupo Electrógeno (Gas) Waukesha 5904. ....	13
TABLA 3 Grupo Electrógeno (Gas) Waukesha 3600. ....	13
TABLA 4 Grupo Electrógeno (Diésel) Caterpillar 3512. ....	14
TABLA 5 Grupo Electrógeno (Diésel) Caterpillar 3516. ....	14
TABLA 6 Transformador Elevador .....	14
TABLA 7 Clasificación del Sistema de Bajo Voltaje y Limites de Distorsión ....	36
TABLA 8 Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de IL .....	36
TABLA 9 Matriz de Operacionalización de Variables .....	40
TABLA 10 Corrección de Voltaje. ....	63
TABLA 11 Relación de Cortocircuito .....	64
TABLA 12 Valores de THD para cada armónica antes de incorporar los filtros. 65	
TABLA 13 Valores de THD para cada fase de los bus antes de incorporar los filtros .....	66
TABLA 14 Valores promedio de THD para Cada Bus antes de incorporar los filtros .....	66
TABLA 15 Parámetros de los filtros de supresión para cada orden de armónica 67	
TABLA 16 Valores de THD para cada armónica en los Bus luego de haber incorporado los filtros .....	68
TABLA 17 Valores de THD para cada fase de los bus luego de haber incorporado los filtros. ....	69
TABLA 18 Resultados de las Pérdidas Eléctricas Totales. ....	70
TABLA 19 Costos de adquisición y transporte de los filtros .....	72
TABLA 20 Costos de los materiales para la instalación de los filtros.....	72
TABLA 21 Costos de salario para montaje de los filtros .....	73
TABLA 22 Compra de Relé Multilin GE. ....	74
TABLA 23 Costos de salario para reparación parcial. ....	75
TABLA 24 Costo de materiales .....	75
TABLA 25 Ahorro en pérdidas eléctricas. ....	76

## INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICOS	Pág.
GRAFICO 1 Funcionamiento en Paralelo Utilizando un Repartidor de Carga ....	10
GRAFICO 2 Diagrama Unifilar del Swichgear. ....	11
GRAFICO 3 Diagrama Unifilar del MCC. ....	11
GRAFICO 4 Esquema de Distribución. ....	15
GRAFICO 5 Gráfico de Control. ....	18
GRAFICO 6 Grafico E-P vs. Tiempo. ....	19
GRAFICO 7 Diagramas de consumo – producción (E vs. P). ....	20
GRAFICO 8 Índice de Consumo vs. Producción. ....	21
GRAFICO 9 Tendencia Consumo Electricidad. ....	22
GRAFICO 10 Cambio de Onda por Cargas no Lineales. ....	26
GRAFICO 11 Circulación de Armónicos. ....	27
GRAFICO 12 Frecuencias Múltiplos Enteros de la Frecuencia Fundamental ....	27
GRAFICO 13 Triangulo de Potencias. ....	29
GRAFICO 14 Filtros Pasivos en Serie y Paralelo. ....	30
GRAFICO 15 Filtros Activos. ....	30
GRAFICO 16 Etap Versión 6.0. ....	38
GRAFICO 17 Fluke 435-II. ....	39
GRAFICO 18 Diagrama Unifilar en Etap 6.0. ....	43
GRAFICO 19 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico ....	43
GRAFICO 20 Control del Consumo de Energía del GE Waukesha 7100. ....	45
GRAFICO 21 Control del Consumo de Combustible del GE Waukesha 7100. ....	46
GRAFICO 22 Control del Consumo de Energía del GE Waukesha 5904. ....	46
GRAFICO 23 Control del Consumo de Combustible del GE Waukesha 5904. ....	47
GRAFICO 24 Control del Consumo de Energía del GE Caterpillar 3512. ....	47
GRAFICO 25 Control del Consumo de Combustible del GE Caterpillar 3512. ...	48
GRAFICO 26 Control del Consumo de Energía del GE Caterpillar 3516. ....	49
GRAFICO 27 Control del Consumo de Combustible del GE Caterpillar 3516. ...	49
GRAFICO 28 Consumo y producción en el tiempo del GE Waukesha 7100. ....	50
GRAFICO 29 Consumo y producción en el tiempo del GE Waukesha 5904. ....	50
GRAFICO 30 Consumo y producción en el tiempo del GE Caterpillar 3512. ....	51
GRAFICO 31 Consumo y producción en el tiempo del GE Caterpillar 3516. ....	51
GRAFICO 32 Diagrama de consumo – producción del GE Waukesha 7100. ....	52
GRAFICO 33 Diagrama de consumo – producción del GE Waukesha 5904. ....	52
GRAFICO 34 Diagrama de consumo – producción del GE Caterpillar 3512. ....	53
GRAFICO 35 Diagrama de consumo – producción del GE Caterpillar 3516. ....	53
GRAFICO 36 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE Waukesha 7100. ....	54

GRAFICO 37 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE Waukesha 5904.....	54
GRAFICO 38 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE Caterpillar 3512.....	55
GRAFICO 39 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE Caterpillar 3516.....	55
GRAFICO 40 CUSUM del GE Waukesha 7100.....	56
GRAFICO 41 CUSUM del GE Waukesha 5904.....	56
GRAFICO 42 CUSUM del GE Caterpillar 3512.....	57
GRAFICO 43 CUSUM del GE Caterpillar 3516.....	57
GRAFICO 44 Armónicos de mayor incidencia Feeder 04.....	58
GRAFICO 45 Armónicos de mayor incidencia Pindo 06.....	59
GRAFICO 46 Armónicos de mayor incidencia Pindo 07.....	59
GRAFICO 47 Armónicos de mayor incidencia Pindo 09.....	60
GRAFICO 48 Armónicos de mayor incidencia Pindo 11.....	60
GRAFICO 49 Armónicos de mayor incidencia Pindo 13.....	61
GRAFICO 50 Armónicos de mayor incidencia BusWP_1 (Transformador 1200KVA).....	61
GRAFICO 51 Armónicos de mayor incidencia BusWP_2 (Transformador 1600KVA).....	62
GRAFICO 52 Corrección de Voltaje.....	63
GRAFICO 53 Porcentaje de Armónicos antes y después de la incorporación de los filtros.....	69
GRAFICO 54 Resultados de las Pérdidas Eléctricas Totales.....	70

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DEL CAMPO PETROLERO PINDO AÑO 2013. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MEJORAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.**

**Autor: Chávez Chávez, Romel Patricio  
Tutor: Dr. C. Secundino Marrero Ramírez**

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:**

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DEL CAMPO PETROLERO PINDO AÑO 2013. PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MEJORAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA”**

**Autor: Ing. ROMEL PATRICIO CHÁVEZ CHÁVEZ**

**Tutor: Dr. C. SECUNDINO MARRERO RAMÍREZ**

**RESUMEN**

La presente investigación se realizó con el objetivo de proponer soluciones que permitan minimizar la insuficiencia en el suministro eléctrico del sistema de generación distribuida del campo petrolero Pindo. Inicialmente se desarrollan todos los elementos teóricos necesarios para una correcta asimilación de la problemática actual y crear las bases necesarias para su solución, se abordan los efectos de la baja eficiencia energética y calidad de energía entregada en la red redes industriales, incluyendo las principales normas consideradas para el control y reducción de estas. Seguidamente, se realiza una detallada descripción de la instalación objeto de análisis, sus partes componentes y sistema de suministro eléctrico, también se hace un análisis pormenorizado de los problemas encontrados, así como de la metodología empleada para su evaluación. Incluye además, todas las mediciones realizadas para poder efectuar las simulaciones y adoptar las variantes más apropiadas para la compensación de armónicos.

**DESCRIPTORES: EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA.**

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY  
POST DEGREES UNIT**

**ENERGY MANAGMENT MAESTRY**

**TITTLE:**

**“EFFICIENCY AND POWER QUALITY EVALUATION IN  
DISTRIBUTED GENERATION AT THE OIL FIELD PINDO IN THE  
YEAR 2013. INPROVEMENT PROGRAM FOR DISTRIBUTED  
GENERATION PROPORSAL”**

**Author: Ing. ROMEL PATRICIO CHÁVEZ CHÁVEZ**

**Tuthor: Dr. C. SECUNDINO MARRERO RAMÍREZ**

**ABSTRACT**

**The present research was done with the objective of to give solutions those allow decrease electricity supply from the distributed generation of the oil field Pindo. At the beginning all the theoretical elements are necessary for a right present problematic assimilation and to create the needed bases for its solution, the decline and low quality of the energy given in the industrial nets are addressed, included the main rules considered for the reductions and their control. Immediately a detailed description about the analysis object is done, their components parts and electric supply system, also a detailed about the found problems is done, then the used methodology for the evaluation. Also is included all the mediations done to do the simulations and to adopt the most appropriated variants for the harmonic compensations.**

**DESCRIPTORS: ENERGETIC EFFICIENCY AND QUALITY OF ENERGY**

**Aval del Traductor: .....**

**Lic. Pablo S. Cevallos**

**0502592371**

**DOCENTE DE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE COTOPAXI.**

## INTRODUCCIÓN

La generación autónoma, específicamente con grupos electrógenos se emplea de manera diversa en múltiples sectores de la sociedad fundamentalmente para garantizar regímenes especiales en instalaciones de producción y de servicios. En industrias petroleras en general los sistemas son conocidos como generación propia o autónoma, debido a que se genera energía únicamente para cubrir su propia demanda de carga, en este estudio se explicará la temática de la determinación de la eficiencia operacional de los grupos electrógenos cuando estos operan aislados de un sistema electroenergético.

Cuando las condiciones de servicio no son confiables generan paros no intencionados de producción y por ende pérdidas económicas, motivo por el cual se necesita un diagnóstico del análisis de gestión energética y de las condiciones operacionales de los grupos electrógenos que prestan servicio en los campos de petróleo, que contribuya a la toma de decisiones; enfoca a esta investigación para radicar el uso racional de los portadores energéticos y al respeto al medio ambiente.

Este presente trabajo contiene, en su primer capítulo las determinaciones y enfoque del problema a resolver en esta investigación; toda la investigación teórica se basa en estudios antes realizados haciendo un aporte adicional sobre el tema, se plasma en el segundo capítulo; en el tercer capítulo se determina y se selecciona una modalidad de investigación de campo, debido a que el trabajo a realizar está enfocado directamente a tomar datos y evaluar, las condiciones de este sistema de autogeneración; seguidamente del cuarto capítulo donde se analiza los datos e información obtenida conociendo la realidad del problema a resolver que en este caso se trata de la presencia de armónicos en la red de distribución de este sistema eléctrico y además está dirigido a el empleo de los métodos y normas utilizadas para las condiciones de servicio; y finalmente en el capítulo cinco se dan a conocer las conclusiones de la investigación junto con la propuesta de alternativa para la solución para los problemas detectados.

## **CAPITULO I - EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema.**

En la actualidad existe un crecimiento acelerado del uso de la generación, en especial, por la necesidad de introducir las fuentes renovables de energía en el contexto de las matrices energéticas de los países.

La generación autónoma, específicamente con grupos electrógenos se emplea de manera diversa en múltiple sectores de la sociedad fundamentalmente para garantizar regímenes especiales en instalaciones de producción y de servicios. Un caso muy particular en el Ecuador y ampliamente difundido resulta el empleo de la generación mediante grupos electrógenos durante la explotación del petróleo. La generación mediante grupos electrógenos, constituyen por lo general sistemas aislados conocidos como sistemas de generación propia, en isla o autogeneración, por lo que estos regímenes de explotación implican un análisis a profundidad de las condiciones operacionales.

Los tres problemas fundamentales ampliamente difundidos en la literatura referente a la explotación de los grupos electrógenos constituyen los análisis de los regímenes de operación, la calidad del servicio visto en las características de las variables eléctricas y particularmente los problemas relacionados con el medio ambiente. No obstante los criterios evaluativos de estas etapas no han sido debidamente enfocados con herramientas lo suficientemente capaces de lograr un análisis integral de los fenómenos relacionados con la explotación.

Específicamente en el campo petrolero Pindo se ha venido efectuando nuevas tecnologías en cuanto a la generación eléctrica propia, llegando a implementar una planta de generación con su respectivo sistema de distribución para cada una de

las cargas que en este caso son cargas no lineales, que generan corrientes de frecuencia múltiplos de la fundamental conocidas como armónicos, que son en la mayoría de los casos los causantes de: sobrecalentamientos, disminución de la vida útil de equipos eléctricos y cables, disparo de protecciones eléctricas que fueron diseñadas y seleccionadas de acorde a normativas, por lo tanto la introducción de un enfoque de calidad de energía relacionada al servicio y transmisión.

Y además se determinara la gestión energética en los grupos electrógenos del petróleo bajo el paraguas de la Tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía, sus herramientas y determinadas métodos de investigación permitirían poder realizar un análisis integral de la problemática que constituye actualmente; el usos racional de los recursos energéticos en todos los sectores del país en vías de un desarrollo sostenible.

## **1.2 Formulación del problema.**

Necesidad de un diagnóstico que facilite el análisis de la eficiencia energética y de las condiciones operacionales de los grupos electrógenos que prestan servicio en los campos de petróleo, que contribuya a la toma de decisiones, al uso más racional de los portadores energéticos y al respeto al medio ambiente,

Por todo lo argumentado anteriormente sobre la necesidad de un diagnóstico, se define entonces al **problema** como: la insuficiencia en el suministro eléctrico del sistema de generación distribuida del campo petrolero Pindo, relacionado con la eficiencia energética y calidad de energía entregada en la red.

***OBJETO DE INVESTIGACIÓN:*** El sistema de generación distribuido.

## **1.3 Justificación y significación.**

Ya que toda técnica desarrollada por el hombre implica el uso fundamental de la energía, resulta necesario resaltar la importancia que ella tiene dentro de todo proceso productivo. Por tal razón, es necesaria una correcta utilización de la

misma, de manera que se logre un incremento en la eficiencia energética de la empresa, sin afectar la calidad de sus productos.

Hasta los días de hoy y desafortunadamente, de un futuro no tan cercano, el 90% de las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón). Todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico. La importancia de reducir el consumo de estas fuentes primarias se ha transformado de un problema económico a un problema vital, y de un problema vital del futuro a uno de los mayores accidentes que ya padecemos en el desarrollo de la humanidad.

Para cualquier Empresa o Institución desarrollar estos cambios sin tener en cuenta su rentabilidad sería particularmente desastroso, sin embargo, el camino puede recorrerse, contrario a lo que comúnmente se piensa, mejorando posiciones de mercado.

El alto nivel competitivo a que están sometidas las Empresas desde los años 90 les impone cambios en sus sistemas de administración. No es suficiente dirigir desde un núcleo generador de soluciones a los problemas (generalmente Consejo o Junta de Dirección), a través de medidas que impulsen a los hombres y dediquen los recursos a lo que se ha considerado fundamental, sino existe una estrategia, un sistema entendido por todos y la capacidad de llevarlos a cabo, que garantice la estabilidad de cada resultado en el sentido de la visión que se ha propuesto la Empresa. Para esto se necesita un nivel determinado de cultura empresarial dado por nuevos criterios de planificación, organización y control.

Lo más importante para lograr la Eficiencia Energética de una Empresa no es sólo que tengamos un plan de ahorro de energía, sino que exista un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los

trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos de producción y consumo en función de la Eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol y en general que integre las acciones al proceso productivo o de servicios que se realiza. [Hernández y Montero, 2011].

Las industrias en general no tienen un conocimiento preciso en cuanto a las condiciones eléctricas de operación de sus plantas generadoras de energía; malas condiciones que en todos los casos generan paros no intencionados de producción y por ende pérdidas económicas

Por este motivo se pretende mejorar la eficiencia operacional de la explotación petrolera en condiciones de campos de petróleo dependientes de grupos electrógenos para la generación eléctrica analizando las diferentes publicaciones de la temática estudiada con el propósito de orientar los elementos básicos fundamentales para la utilización de la eficiencia y el ahorro energético como una fuente energética limpia, el concepto y la utilización de la Generación Distribuida en el marco internacional y su inclusión en la industria petrolera.

#### **1.4 Objetivos.**

##### **1.4.1 Generales.**

- Realizar un diagnóstico del sistema de generación y de los portadores energéticos en el proceso, para evaluar la eficiencia y la calidad de energía.
- Establecer un plan de medidas para garantizar la eficiencia y la calidad del sistema de generación.

##### **1.4.2 Específicos**

- Analizar el estado del arte sobre los sistemas de generación autónomos.
- Caracterizar los regímenes operacionales y las pérdidas del sistema de generación.

- Analizar los indicadores operacionales de los grupos electrógenos Waukesha y Caterpillar en sistema de generación distribuida.
- Evaluar la eficiencia energética y la calidad de energía de la planta aplicando herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía.
- Diseñar un programa de mejoras para incrementar la eficiencia y la calidad de energía del sistema de generación.

### **1.5 Hipótesis.**

Si se determina las causas que originan las pérdidas de energía en el sistema de generación centralizada del campo petrolero Pindo, entonces se podrá incrementar la eficiencia energética y la calidad del suministro eléctrico del campo.

### **1.6 Enfoque de la investigación.**

Los **grupos electrógenos** para su funcionamiento están constituidos fundamentalmente por un motor de combustión interna, un generador trifásico y un sistema de control, sin dudas el elemento donde se deben enfocar todos los esfuerzos para minimizar el uso de los Portadores Energéticos es el motor, ya que el mismo es el encargado de convertir la energía producida durante la combustión en movimiento mecánico, por lo que el conocimiento de los parámetros que determinan la eficiencia de estos equipos es un aspecto fundamental a tener en cuenta para el establecimiento de la estructura de consumo en este tipo de instalaciones.

El consumo de combustible de los motores de combustión interna está determinado por diferentes factores en los cuales se puede señalar los siguientes:

- 1- Diseño y construcción.
- 2- Explotación.
- 3- Mantenimiento y reparación.

Todos estos factores relacionados con la explotación, mantenimiento y reparación pueden ser medidos y evaluados en correspondencia con los valores o

índices dados por el fabricante, determinando las pérdidas de potencia y por ende el exceso de combustible utilizado en los diferentes procesos.

En la actualidad los motores que pudieran denominarse de tercera generación utilizan sistemas electrónicos controlados por una computadora que tiene en cuenta múltiples parámetros de explotación como son: temperaturas del aire o de la mezcla, composición de los gases de salida de la combustión antes y después de los catalizadores de los tubos de escape. Todo ello permite un aprovechamiento mayor del valor energético del combustible y por tanto un consumo menor. [Cobos, 2011]

Trabajar para disminuir el costo de producción de la energía mediante el incremento de la eficiencia en la producción del kW/h generado en las Centrales Eléctricas, Esto puede lograrse a través de la reducción de los consumos específicos de combustible, en la reducción del costo del ciclo de mantenimiento, disminuyendo las fallas imprevistas, la identificación de los puestos claves, así como la toma de medidas oportunas a mediano o largo plazo que aumenten la disponibilidad y confiabilidad de estos sistemas de generación propia.

Para el análisis de **sistemas propios de generación** es importante también el monitoreo de la tensión en los puntos de conexión, las potencias activas y reactivas, así como el factor de potencia. Con la conexión de las cargas, la tensión en los bornes debe mantenerse constante hasta tanto la carga no supere la capacidad instalada del sistema.

### **1.7 Factibilidad de la investigación.**

En el artículo de [Calderón, 2010] menciona que los sistemas eléctricos de grandes complejos industriales, como lo son las refinerías, cementeras, papeleras, etc., usualmente cuentan con generación propia, el diseño y análisis de estos sistemas de potencia industriales se fundamenta principalmente en los estudios de corto circuito, flujos de carga, coordinación de protecciones, arranque de motores y arco eléctrico. Teniendo ya una idea clara sobre como proceder en este estudio.

Además con de este diagnóstico y después logrando cumplir las sugerencias del mismo, se podría a futuro implementar la norma Sistemas de Gestión de la Energía - Requisitos con orientación para su uso [ISO 50001, 2011] donde hace mención que es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales, debido a que facilita a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía.

## **CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Antecedentes.**

El uso de la generación propia, su eficiencia, la determinación de oportunidades de ahorro y la importancia de contar con un Sistema de Calidad de Energía en este tipo de Plantas Generadoras, han sido temas tratados en múltiples investigaciones que han aportado soluciones importantes.

El objetivo del presente capítulo es realizar un análisis de las diferentes publicaciones expuestas en la bibliografía especializada sobre la temática estudiada, realizando una búsqueda sobre temas relacionados con la utilización de la eficiencia y la calidad de energía, en plantas de Generación Propia; con el fin de disponer de los elementos básicos esenciales para el desarrollo del trabajo.

#### **2.1.1 Sistemas Propios de Generación o Autogeneración.**

Como fuente primaria, un grupo electrógeno es la fuente única de energía, lo que implica un servicio continuo o por períodos de tiempos repetitivos y prolongados, con carga plena o total, constante o variable. La generación de electricidad para uso directo de quien la produce, sin importar que tan eficiente sea ese proceso, es lo que se conoce con el nombre de *autogeneración*.

Las aplicaciones primarias para un grupo electrógeno recaen en cuatro modos de empleo principales:

***EN SITIOS REMOTOS*** es el caso donde no hay servicio de suministro de energía eléctrica y resulta muy alto el costo de construir líneas de transmisión desde la central generadora o la fuente disponible más cercana. En este modo de empleo, al igual que en los restantes, se presentan casos típicos de autogeneración.

***EN ÁREAS TOTALMENTE INACCESIBLES PARA LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICAS*** esta situación se presenta en instalaciones ubicadas en islas alejadas de la costa, en plataformas de perforación submarina, en dragas y embarcaciones, entre otras.

***PARA PROVEER ENERGÍA ELÉCTRICA A MENOR COSTO QUE LAS EMPRESAS DE ENERGÍA*** este puede ser el caso en el cual se dispone de combustible a costo reducido y en cantidad suficiente.

***EN LA OPERACIÓN DE EQUIPOS DELICADOS*** cuando se dispone de una fuente de servicio continuo pero de funcionamiento irregular o con una regulación muy pobre, se pueden originar serios daños en los equipos y dispositivos eléctricos. La solución a este problema es separar las cargas delicadas y alimentarlas con un grupo electrógeno independiente. [Valencia, 2011].

### **2.1.2 Funcionamiento en paralelo de varios grupos electrógenos.**

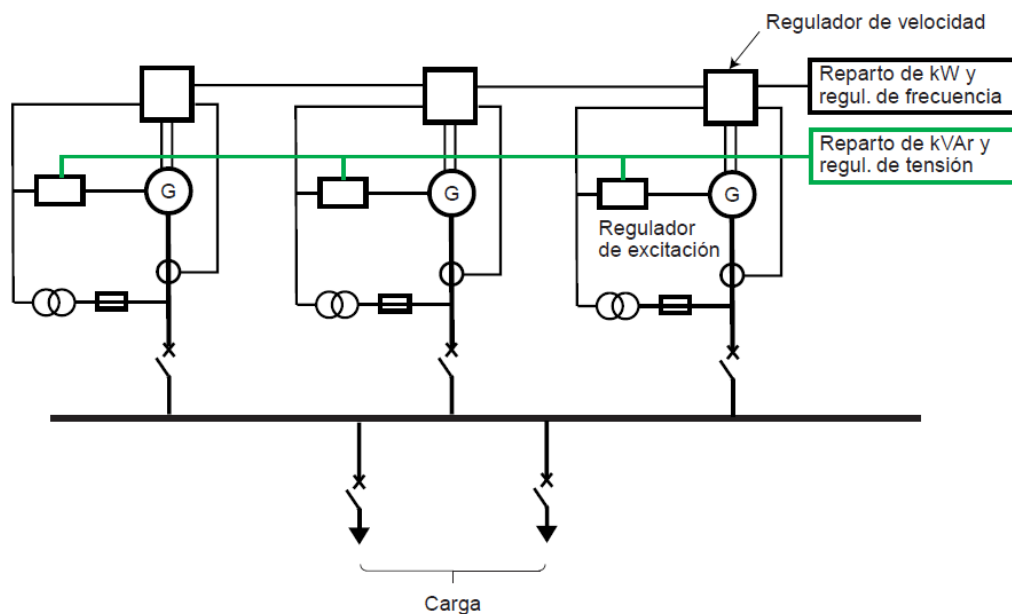
En este sentido [Hazel, 2011] sostiene que normalmente, para el funcionamiento en paralelo, se utilizan grupos electrógenos de potencias similares. Y que existen tres esquemas tipo, que son los siguientes:

- Todos los grupos, salvo uno, están ajustados para suministrar una potencia activa y reactiva fijas. Un grupo trabaja en modo isócrono y entrega las potencias activa y reactiva necesarias para mantener la frecuencia y la tensión del sistema. Toda modificación de frecuencia, de tensión y las fluctuaciones de potencia serán absorbidas por grupo.
- Todos los grupos electrógenos están en modo (estatismo). Las potencias activa y reactiva están repartidas de igual forma entre los grupos electrógenos proporcionalmente a su potencia nominal. Las fluctuaciones de carga provocan variaciones de tensión y velocidad según una recta característica con pendiente negativa, perdiéndose en general un 4% para variaciones de carga. Puesto que la sincronización de grupos electrógenos con otra fuente de energía

no puede hacerse ajustando esta recta característica, este esquema no puede utilizarse cuando se ha de funcionar en paralelo con otras fuentes de energía.

- Todos los grupos electrógenos están conectados a una unidad de control de reparto de carga, de manera que se reparte la potencia activa y reactiva. La grafico 1 representa un ejemplo de esta configuración. El regulador de velocidad de cada grupo recibe la referencia de ajuste de la potencia activa del repartidor de potencia activa, el cual asegura también la regulación de la frecuencia. Este esquema permite una gran variación de la carga sin fluctuaciones de la frecuencia o de la tensión.

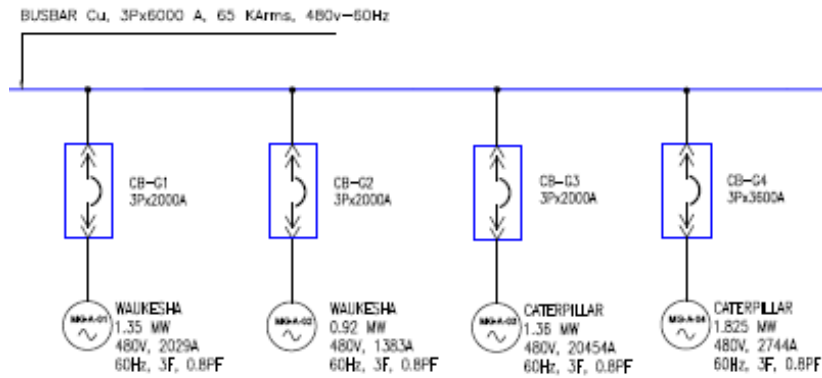
**GRAFICO 1 Funcionamiento en Paralelo Utilizando un Repartidor de Carga**



### 2.1.3 Autogeneración del Campo Petrolero Pindo.

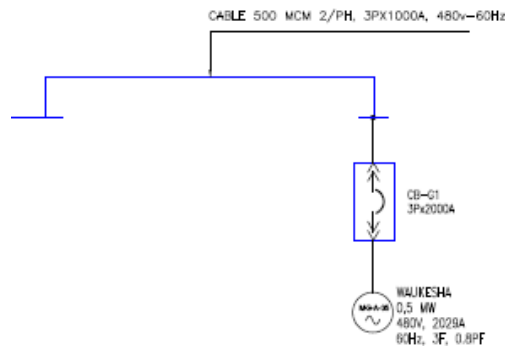
Está localizada en la provincia de Francisco de Orellana, ciudad Puerto Francisco de Orellana, parroquia Dayuma, estación Pindo; actualmente tiene una potencia instalada de 6.5 MW (Mega Watts) y una potencia generada de 4.5MW, con cuatro Grupos Electrónicos sincronizados (Swichgear). Ver gráfico 2.

**GRAFICO 2 Diagrama Unifilar del Swichgear.**



Después de aproximadamente un año y medio se implementa al sistema un grupo electrógeno, pero este se sincroniza al sistema en la barra del MCC según se visualiza e la grafico 3.

**GRAFICO 3 Diagrama Unifilar del MCC.**



Para mayor información de la distribución de cargas conectadas a cada barra tanto del Swichigear y del Mcc, y de su conexión ver Anexo I.

## 2.2 Fundamentación Teórica.

### 2.2.1 Grupos Electrógenos.

Un grupo electrógeno (GE) es el conjunto generador eléctrico, motor de combustión interna y tablero de control, para generar energía eléctrica. Para aplicaciones industriales, comerciales y de servicio público y privado, los grupos

electrógenos utilizan generalmente motores Diésel acoplados a generadores sincrónicos.

Para la determinación de la potencia nominal de grupos electrógenos, [Hazel, 2011] en su publicación menciona que la potencia útil de un grupo eléctrico es el criterio más importante a definir normalmente a la vista del diagrama de las potencias activa/reactiva. En cuanto que [Valencia, 2011] lo define como tipos de grupos electrógenos, stand-by o emergency, prime, continuous, aduciendo a la norma ISO 3046,

La potencia activa que suministra un grupo eléctrico depende del tipo de combustible utilizado, condiciones del lugar, la temperatura ambiente, la temperatura del refrigerante, la altitud y la humedad relativa, también de las características de la carga, como la posibilidad de sobrecarga y variaciones de carga en el tiempo. La norma mencionada anteriormente, para motores diesel, proporciona tres variantes para la definición de la potencia nominal y define las diversas capacidades de sobrecarga:

**POTENCIA CONTINUA:** El motor puede entregar el 100% de su potencia nominal durante un tiempo ilimitado. Es la noción utilizada para grupos de producción,

**POTENCIA PRINCIPAL (PRP):** El motor puede entregar una determinada potencia (base) durante un tiempo no limitado y el 100% de la potencia nominal durante un tiempo limitado.

**POTENCIA DE EMERGENCIA:** Es la potencia máxima que la máquina puede entregar durante un tiempo limitado, generalmente menos de 500 horas al año. Esta definición no debe de aplicarse a los grupos eléctricos que trabajan exclusivamente como emergencia. Puesto que el motor no está en condiciones de entregar una potencia superior, con un factor de seguridad de un 10% para la determinación de la potencia de emergencia.

La capacidad de sobrecarga se define como la potencia adicional de un 10% durante 1 hora en un periodo de 12 horas de funcionamiento. Si la potencia nominal se determina por la potencia de emergencia, ya no queda margen para la sobrecarga.

### 2.2.2 Caracterización de los Grupos Electr6genos del Campo Pindo.

Se definen cada una de las caracteristicas t6cnicas de los grupos electr6genos de la planta de generaci6n centralizada del bloque Pindo en tablas de la 1 a la 5.

**TABLA 1 Grupo Electr6geno (Gas) Waukesha 7100.**

<b>Datos t6cnicos motor:</b>	<b>Datos t6cnicos generador:</b>
Marca: Waukesha Dresser	Marca: Leroy Somer
Modelo: VHP7100GSIDE	Serie: CFNL10308
Serie: 5283701046	Modelo: LS661-03
Service Type: CONTINUO	Corriente: 1804/2029A Volts: 400/480
RPM: 1200	Potencia: 1000/1350 KW 1250/1688 KV

**TABLA 2 Grupo Electr6geno (Gas) Waukesha 5904.**

<b>Datos t6cnicos motor:</b>	<b>Datos t6cnicos generador:</b>
Marca: Waukesha Dresser	Marca: Leroy Somer
Modelo: VHP5904GSI	Serie: 8W4L4121
Serie: C-4229/3	Modelo: MTG840
Service Type: CONTINUO	Corriente: 1383A Volts:480
RPM: 1200	Potencia: 1150 KVA / 920 KW

**TABLA 3 Grupo Electr6geno (Gas) Waukesha 3600.**

<b>Datos t6cnicos motor:</b>	<b>Datos t6cnicos generador:</b>
Marca: Waukesha Dresser	Marca: Leroy Somer
Modelo: VHP3600GSI	Serie: 178256731
Serie: RU18057	Part No: PE2363AB
Service Type: CONTINUO	Corriente: 725A Volts: 480/277
RPM: 1200	Potencia: 625 KVA / 500 KW

**TABLA 4 Grupo Electrónico (Diésel) Caterpillar 3512.**

<b>Datos técnicos motor:</b>	<b>Datos técnicos generador:</b>
Marca: Caterpillar	Marca: Caterpillar
Modelo TYP: 3512	Serie: G1S00195
Arreglo: 274-1995	Modelo: SR5
Serie: 1GZ08487	Corriente: 2045A Volts: 480
RPM: 1800	Potencia: 1360 KW/ 1700KVA

**TABLA 5 Grupo Electrónico (Diésel) Caterpillar 3516.**

<b>Datos técnicos motor:</b>	<b>Datos técnicos generador:</b>
Marca: Caterpillar	Marca: Caterpillar
Modelo TYP: 3516	Serie: G5Z00393
Arreglo: 2666137	Modelo: 3516C 480V
Serie: SBJ00594	Corriente: 2744AMP
RPM: 1800	Potencia: 1825KW/2281KVA

### 2.2.3 Caracterización de la Distribución de Energía en el Campo Pindo.

Para distribuir la energía eléctrica a cada uno de los pozos (cargas grandes) se posee dos transformadores elevadores de voltaje (desde 480V hasta 18300V) caracterizados en la tabla 6:

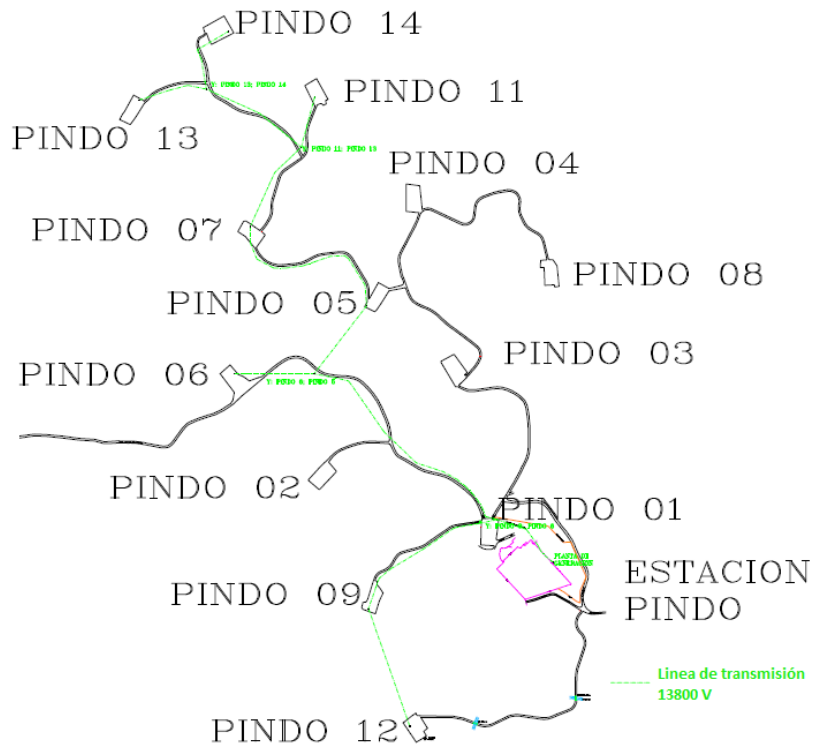
**TABLA 6 Transformador Elevador**

Marca: ABB	Tensión primaria: 480 V
Nº serie: 157220	Tensión secundaria: 13800Y/7967 V
Frecuencia: 60 HZ	Corriente primario: 3007.03 A
Potencia Nom.: 2500 KVA	Corriente secundario: 104.59 A
Numero fases: 3	Conexión: YNd5

En cuanto a la distribución con un voltaje de 13800V y mediante un sistema trifásico de tendido eléctrico con un conductor 3#3/0 ACSR+1#2 ACSR, se transporta la energía a la mayoría de locaciones para cada pozo, siete pozos en total, disminuyendo el voltaje junto a la carga otra vez a 480V (para caracterizar cada transformador reductor por pozo, por favor revisar el Anexo II) para las

diferentes aplicaciones. En la grafico 5 se muestra cada uno de los pozos a los cuales se distribuye la energía mediante la secuencia de líneas verdes.

**GRAFICO 4 Esquema de Distribución**



#### 2.2.4 Estado de Arte para la Determinación de la Eficiencia Energética.

[Hernández y Montero, 2011] en su libro, definen a la eficiencia energética como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía necesaria para garantizar calidad total es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. [Borroto y Monteagudo, 2006] en cambio mencionan que las principales insuficiencias encontradas en cuanto a la eficiencia energética citando las siguientes:

- Existen indicadores de consumo al nivel de empresa, pero no en todos los casos estos caracterizan adecuadamente la eficiencia energética y su evolución.
- No se han identificado las áreas y equipos mayores consumidores, los “Puestos Claves”, ni se han establecido índices de consumo en los mismos.

- No se maneja adecuadamente el impacto de los costos energéticos en los costos de producción y su evolución y tendencias. Se conoce el costo de la energía primaria, pero no siempre el de los portadores energéticos secundarios.
- Se asignan y/o delegan acciones relativas al ahorro de energía; sin embargo, no están involucradas todas las áreas, cuesta trabajo implantarlas y mantenerlas.
- La instrumentación necesaria para evaluar la eficiencia energética es insuficiente o no se encuentra totalmente en condiciones de ser utilizada.
- No se ha identificado al personal que decide en la eficiencia energética ni capacitado de forma especializada a la dirección y el personal involucrado en la producción, transformación o uso de la energía.
- Se realizan algunas inspecciones de tipo preliminar, mediante las que se descubren desperdicios y fugas de energía, así como otros tipos de potenciales de ahorro que se enfrentan, en dependencia de las prioridades y disponibilidad de recursos de la empresa.
- Se llevan a cabo algunas acciones para ahorrar electricidad o combustibles, basadas en el récord histórico de la empresa, pero en forma aislada, con seguimiento parcial, y sus resultados no son los esperados.
- El banco de problemas energéticos no responde a los resultados de la realización de diagnósticos o auditorías energéticas con metodologías y equipos de medición adecuados, y no cuentan con un banco de proyectos de mejoramiento de la eficiencia energética apropiados al escenario energético y financiero de la misma.
- Son insuficientes los mecanismos para motivar al personal que decide en la eficiencia al ahorro de energía y existe una incipiente divulgación y un bajo nivel de concientización sobre la necesidad del ahorro de energía en la empresa.

Aducen también que la tecnología de gestión total eficiente de la energía (TGTEE) consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la

filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía. Las herramientas para establecer un sistema de gestión total eficiente de la energía son:

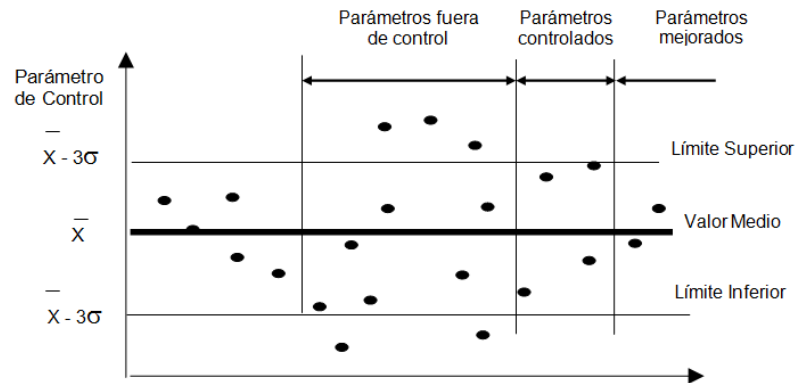
**GRÁFICOS DE CONTROL:** Son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio  $M$  del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar ( $3\sigma$ ) del valor medio. Permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influyan en desviaciones del parámetro de salida controlado.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 2.1$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad 2.2$$

El gráfico consta de la línea central y las líneas límites de control (ver gráfico 6). Los datos de la variable cuya estabilidad se quiere evaluar se sitúan sobre el gráfico. Si los puntos situados se encuentran dentro de los límites de control superior e inferior, entonces las variaciones proceden de causas aleatorias y el comportamiento de la variable en cuestión es estable. Los puntos fuera de los límites tienen una pauta de distribución anormal y significan que la variable tuvo un comportamiento inestable. Investigando la causa que provocó la anomalía y eliminándola se puede estabilizar el proceso.

**GRAFICO 5 Gráfico de Control**



Al llevar el Índice de Consumo de los GEFO a un gráfico de control se puede determinar si esta variable está dentro de los parámetros establecidos, es decir, dentro de los límites de control, se determinan los límites máximos que puede alcanzar la variable controlada además de conocer la influencia de las medidas aplicadas sobre la variable controlada. Para la realización de un gráfico de control se debe construir la tabla con los datos necesarios, se calculan las líneas de control, es decir, el valor medio y el límite de control superior e inferior respectivamente para luego aplicar los criterios para evaluar la estabilidad de un proceso productivo.

$$LCS = \bar{x} + 3\sigma \quad \text{Límite de control superior de } \bar{x}. \quad 2.3$$

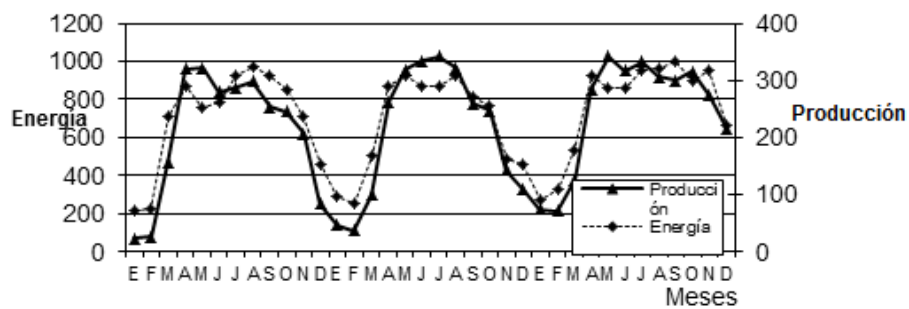
$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad \text{Límite de control inferior de } \bar{x}. \quad 2.4$$

***GRÁFICO DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN EN EL TIEMPO (E-P VS. T)***

Muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo (ver gráfico 7). Se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos. Tienen gran importancia ya que permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos y se muestran períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción. Para la preparación de un gráfico de consumo de energía, consumo de combustibles o generación eléctrica

en el tiempo es necesario registrar los valores de producción o consumo para el período de tiempo que se desea evaluar. Se grafican en un diagrama  $x, y$  la curva de variación en el tiempo de la producción y del consumo. Se comparan las tendencias de variación de la producción en cada período (de un día a otro, de un mes a otro, etc.) con las tendencias de variación del consumo y se identifican los períodos donde ocurren variaciones anormales.

**GRAFICO 6 Grafico E-P vs. Tiempo**



Estos gráficos tienen una gran importancia permitiendo seleccionar indicadores cuantitativos y cualitativos de producción que pueden influir en los consumos, recopilar los datos de esos factores en los períodos que se analizan en el gráfico, comparar las variaciones de esos factores individualmente y de combinaciones de ellos, con las variaciones que ocurren en los comportamientos anómalos, sacar conclusiones acerca de los factores que influyen y cómo influyen y verificar las conclusiones obtenidas en los períodos no anómalos.

**DIAGRAMAS DE CONSUMO – PRODUCCIÓN (E VS. P):** Para las empresas industriales y de servicios, realizar un diagrama de dispersión (ver gráfico 8) de la energía usada por mes u otro período de tiempo con respecto a la producción realizada o los servicios prestados durante ese mismo período, revela importante información sobre el proceso.

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión, se lo hace con los siguientes pasos:

- Recolectar los datos de consumo de energía y producción asociada a ellos para el mismo período de tiempo seleccionado (día, mes, año, etc.).
- Graficar los pares (E, P) en un diagrama x, y. En el eje y se ubica la escala de consumo energético y en el eje x la escala de producción.
- Utilizando el método de los mínimos cuadrados o algún paquete estadístico, determinar el coeficiente de correlación entre E y P. Trazar la recta que más ajuste a los puntos situados en el diagrama o línea de tendencia.
- Calcular analíticamente la pendiente y el intercepto de la recta, expresando su ecuación de la forma:

$$E = m.P + E_0 \quad 2.5$$

Dónde:

$E$  Consumo de energía en el período seleccionado.

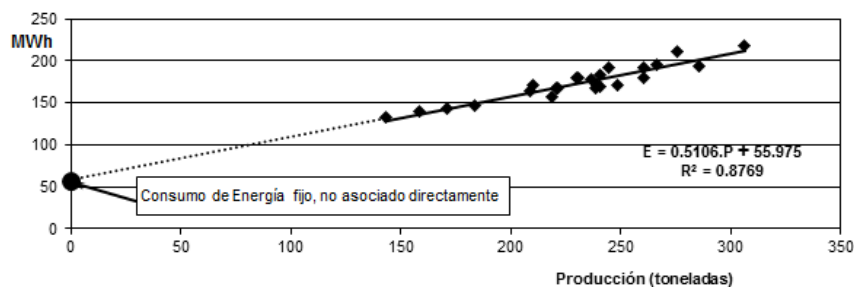
$P$  Producción asociada en el período seleccionado.

$m$  Pendiente de la recta que significa la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción.

$E_0$  Intercepto de la línea en el eje y, que representa la energía no asociada directamente al nivel de producción.

$m.P$  Energía utilizada en el proceso productivo.

**GRAFICO 7 Diagramas de consumo – producción (E vs. P)**



**DIAGRAMA ÍNDICE DE CONSUMO-PRODUCCIÓN (IC VS. P):** Se realiza después de obtener el gráfico  $E$  vs.  $P$  y la ecuación,  $E = m.P + E_0$ , con un nivel de correlación significativo.

La expresión de la función  $IC = f(P)$  se obtiene de la siguiente forma:

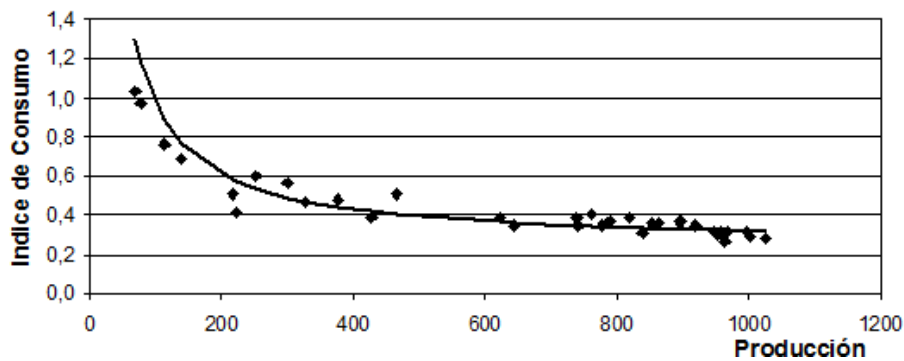
$$E = m \cdot P + E_0 \quad 2.6$$

$$IC = E/P = m + E_0/P$$

$$IC = m + E_0/P \quad 2.7$$

El gráfico  $IC$  vs.  $P$  es una hipérbola equilátera, con asíntota en el eje  $x$ , al valor de la pendiente  $m$  de la expresión  $E = f(P)$ . A continuación se presenta un gráfico real (grafico 9) de  $IC$  vs.  $P$ , en el que se observa la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo.

**GRAFICO 8 Índice de Consumo vs. Producción**



Se lo hace de la siguiente manera:

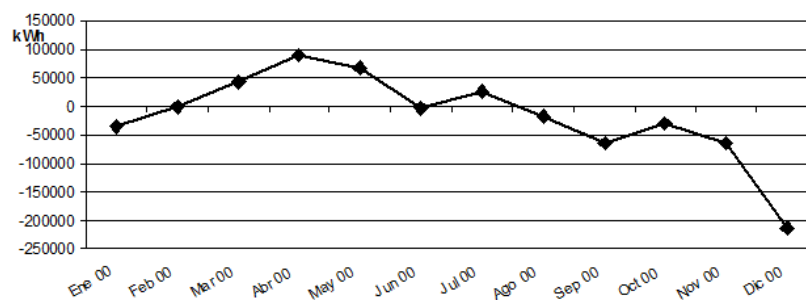
- Se determina y traza la curva teórica  $IC = f(P)$  a partir de la expresión  $E = f(P)$ .
- Se determinan los pares de datos reales  $(E/P, P)$  de los registros de datos de  $E$  y  $P$  utilizados para realizar el diagrama  $E$  vs.  $P$ .
- Se dibujan sobre el diagrama  $IC$  vs.  $P$  los pares de datos  $(E/P, P)$ .

**GRÁFICO DE TENDENCIA O DE SUMAS ACUMULATIVAS:** Sus siglas (CUSUM), se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base de comparación dado. A partir de este (gráfico 10) también puede determinarse

cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización.

Sirve para: Conocer la tendencia real de la empresa en cuanto a variación de los consumos energéticos; comparar la eficiencia energética de períodos con diferentes niveles de producción; determinar la magnitud del ahorro o gasto en exceso en un período actual respecto a un período base; evaluar la efectividad de medidas de ahorro de energía.

**GRAFICO 9 Tendencia Consumo Electricidad**



Se lo hace con los siguientes pasos:

- Seleccionar el período base de comparación.
- Determinar para el período seleccionado la expresión de relación del consumo de energía y la producción asociada:  $E = m.P + Eo$ , con un coeficiente de correlación significativo.
- Recopilar los valores de  $E$  y  $P$  para el período actual donde se evaluará la tendencia.
- Elaborar la tabla de valores de tendencia
- Realizar el gráfico en un sistema de coordenadas  $x, y$ . En el eje  $x$  se registran los períodos (mes 1, mes 2, ...) y en el eje  $y$  el valor de la suma acumulativa.

### **2.2.5 Estado de Arte para la Determinación de la Calidad de Energía.**

[Abreu, 2005] cita que el creciente desarrollo tecnológico en las últimas décadas ha conllevado al uso de cargas basadas en electrónica, susceptibles a perturbaciones como; distorsión armónica, fluctuaciones rápidas de tensión (Flicker), transitorios, Sags, Swell entre otros, concordando con [Sánchez, 2009]. En sectores industriales, que dependen las 24 horas durante todo el año, necesitan una Calidad de Energía tal que no los afecte, como es el ejemplo del sector petrolero, donde en los últimos años se ha generalizado el uso de variadores de frecuencia (equipos basados en electrónica de potencia) utilizados en los pozos de extracción de petróleo, cualquier perturbación que cause la parada no planificada demorarán la generación de los recursos esperados durante un período determinado a causa de problemas en la Calidad de Energía entregada.

Las razones para mantener la calidad de potencia eléctrica bajo control:

- Tipo de carga.
- Procesos industriales críticos.
- Pérdidas de producción.
- Operación errática.
- Envejecimiento acelerado de los equipos.
- Avería de equipos.
- Pérdida de información.

La principal razón para analizar la Calidad de la Energía Eléctrica es satisfacer los requerimientos de los usuarios:

- Legislación.
- Pérdidas.
- Aumento de Riesgos.
- Ignorancia.
- Costos de Operación.
- Uso Racional de la Energía.
- Crecimiento de la Instalación.
- Operación errática de Equipos y artefactos eléctricos.
- Redes Obsoletas.

- Incremento de Equipos Electrónicos.
- Incremento de la Susceptibilidad de sistemas.
- Reducción de la vida útil de equipos y artefactos eléctricos.
- Incremento de interconexiones.
- Ubicación geográfica.
- Permite proteger y dar confiabilidad a las cargas.

Entre los síntomas típicos atribuibles a la calidad de energía eléctrica se destacan:

- Operación errática de equipos.
- Reseteo de equipos de computación.
- Equipos Quemados.
- Disminución de su vida útil esperada.
- Titilación de la iluminación.
- Corriente por conductores de tierra.
- Reinicio inesperado de computadores.
- Oscilaciones en pantallas de computadores.
- Daños asociados a transferencias red – planta.
- Sobrecalentamiento en transformadores, interruptores, motores, etc.
- Sobrecarga de conductores de neutro.
- Operación no deseada de protecciones.
- Ruidos audibles en interruptores.
- Fallas en UPS's al hacer transferencias.

[Sánchez, 2009] cita algunos de los eventos que se incluyen en el concepto de calidad de la energía eléctrica o calidad de la potencia tomados de IEEE Std 1159-1995:

- Transitorios.
- Oscilatorios de baja frecuencia.      Oscilatorios de alta frecuencia.  
 Oscilatorios de frecuencia media.      Oscilatorios Impulsivos.

- Variaciones del valor RMS.  
   Depresiones de voltaje.      Sobre voltajes.  
   Elevaciones de voltaje.      Bajos voltajes.  
   Interrupciones.
  
- Distorsión de la forma de onda.  
   Armónicos.                      Interarmónicas.  
   Muecas.                          Ruido.  
   Offset de CD.
  
- Desbalance del voltaje.
- Fluctuación del voltaje.
- Variaciones de la frecuencia de potencia.

Recopilando de las bibliografías antes mencionadas para la determinación de la calidad de energía, se obtiene una lista de los equipos para mejorarla, citados a continuación:

- Filtros de Armónicas (pasivos y activos)
- Transformadores de Aislamiento
- Transformadores Ferroresonantes
- Fuentes ininterrumpibles (UPS)
- Compensadores estáticos
- Interruptor automático de estado sólido

Para los parámetros eléctricos que describen el funcionamiento del sistema eléctrico es importante definir algunos límites que nos permitan dar veredictos y conclusiones; decir si están cerca o lejos de cumplir con lo recomendado por normas internacionales y plantear las soluciones al respecto (revisar apartado 2.4).

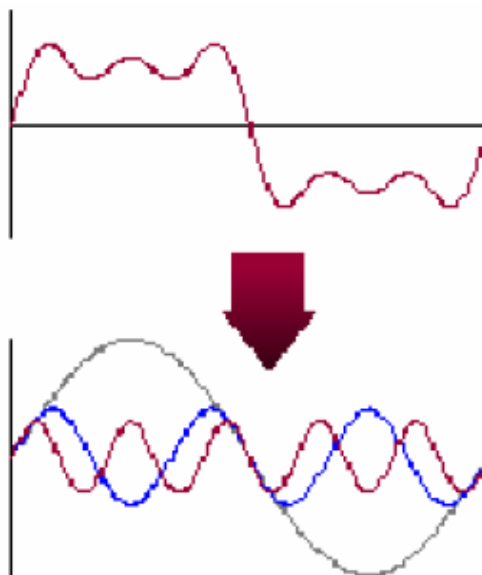
### **2.2.6 Distorsión Armónica.**

El uso de equipo electrónico nos proporciona mayor comodidad y dependencia eléctrica, pero han cambiado la característica de la carga a "Carga no lineal";

debido a su característica de consumir corriente no sinusoidal al aplicársele alimentación sinusoidal. Con lo cual se produce una distorsión de las señales de tensión y corriente a lo largo del sistema de distribución eléctrica. Produciendo algunos efectos adversos, como lo son:

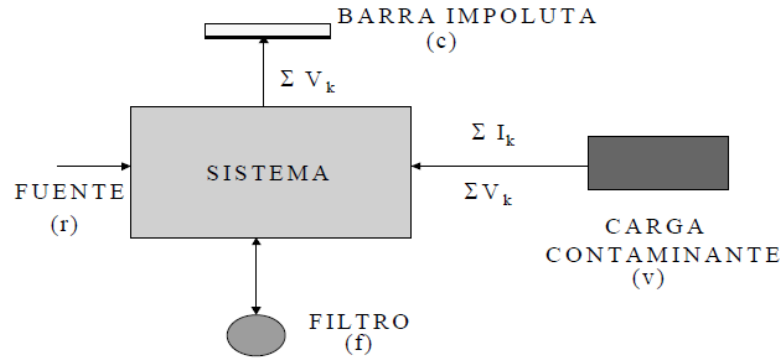
- Corrientes excedentes por el neutro.
- Altos niveles voltaje de neutro a tierra.
- Recalentamiento en transformadores.
- Reducción en la capacidad de distribución.
- Bajo factor de potencia.

**GRAFICO 10 Cambio de Onda por Cargas no Lineales**



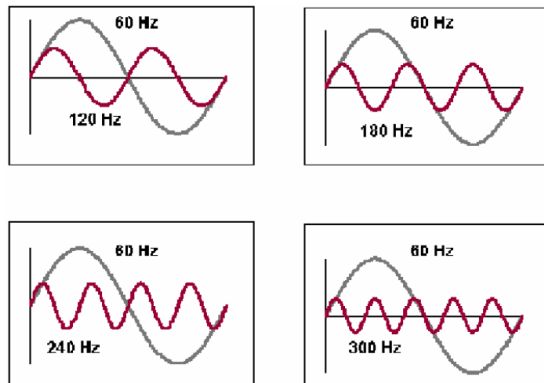
El problema con cargas no lineales, es la forma no sinusoidal que la corriente adopta, producto de las diferentes ondas (múltiplos enteros de la fundamental), que a ella se suman y que son originadas por las cargas no lineales; concordando con [Alves, 2009] en su curso: perturbaciones y armónicos en redes eléctricas de potencia, la circulación de armónicos empieza desde la carga a la fuente (ver gráfico 12). Esta deformación de las señales de tensión y corriente se expresa usualmente en términos de "Distorsión Armónica".

**GRAFICO 11 Circulación de Armónicos**



La distorsión armónica describe la variación en estado estacionario o continuo en la forma de onda de la frecuencia fundamental. Para esta condición de estado estacionario las frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

**GRAFICO 12 Frecuencias Múltiplos Enteros de la Frecuencia Fundamental**



**2.2.7 Armónicos en Sistemas de Potencia.**

La tensión y corriente instantáneas en presencia de armónicas pueden expresarse por serie de Fourier

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} v_h(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} V_h \sin(h\omega_0 t + \theta_h) \tag{2.8}$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} i_h(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} I_h \sin(h\omega_0 t + \delta_h) \tag{2.9}$$

Donde por simplicidad se ha omitido la componente de *DC*, y  $V_h$  e  $I_h$  son los valores *rms* de la armónica de orden  $h$  de tensión y corriente respectivamente.

La potencia instantánea se define:

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{v}(t)\mathbf{i}(t) \quad \mathbf{2.10}$$

La potencia promedio se define:

$$\mathbf{p}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{p}(t) dt = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos(\theta_h - \delta_h) = \sum_{h=1}^{\infty} P_h \quad \mathbf{2.11}$$

Podemos observar que la potencia promedio está dada por sumatoria de la potencia de cada armónica con la salvedad de que no existe contribución de una armónica de tensión de orden  $h$ , con una armónica de corriente de otro orden distinto a  $h$ .

Las ecuaciones de tensión rms y corriente rms:

$$V_{rsm} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} \quad \mathbf{2.12}$$

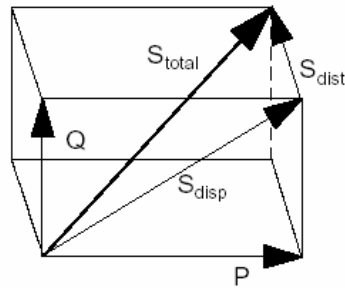
$$I_{rsm} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad \mathbf{2.13}$$

La potencia aparente (ver gráfico 13):

$$\mathbf{S} = V_{rsm} I_{rsm} = \sqrt{\mathbf{P}^2 + \mathbf{Q}^2 + \mathbf{D}^2} \quad \mathbf{2.14}$$

Donde  $S_{dist}$  se define como los voltamper correspondiente al producto de voltajes y corrientes de distintas frecuencias.

**GRAFICO 13 Triangulo de Potencias**



La presencia de armónicas constituye uno de los problemas más frecuentes de la calidad de la energía, lo indican [Sánchez, 2009] y [Ramírez y Cano 2003].

### 2.2.8 Filtros de Armónicos.

En el artículo publicado por: [Marrero, González, y Legrá, 2007] se establece que la solución de la compensación de energía reactiva en redes con armónicos se realiza protegiendo los condensadores mediante filtros de protección o reduciendo el nivel de armónicos mediante filtros de absorción. Por ello [Alves, 2009] indica en su curso: reducción de armónicos y mitigación de perturbaciones, que para reducir el contenido armónico en determinadas barras del sistema se emplean filtros que pueden ser:

**FILTROS PASIVOS:** Sólo utilizan condensadores, inductancias y resistencias.

- Sus características son restringidas (porque generalmente están sintonizados a una sola frecuencia).
- Tienen un menor costo comparado con los filtros activos.
- Pueden construirse utilizando condensadores de corrección del factor de potencia.
- Tienen buen rendimiento energético (pocas pérdidas), excepto en los filtros pasabanda u otros filtros complejos.
- No requieren mantenimiento especial.

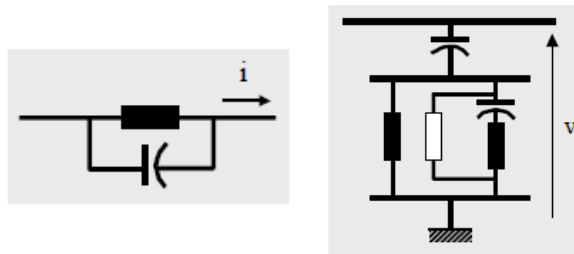
### Filtros serie (alta impedancia)

- La inductancia debe diseñarse para la corriente de carga.
- La inductancia y el condensador se deben aislar a la tensión de la red.

### Filtros paralelo (baja impedancia)

- Se pueden incorporar al filtro los condensadores para corregir el factor de potencia a frecuencia fundamental.
- Pueden obtenerse arreglos para características múltiples de filtrado.

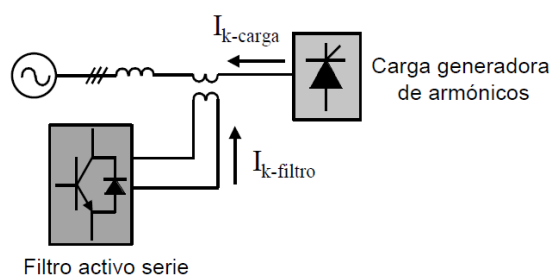
**GRAFICO 14 Filtros Pasivos en Serie y Paralelo**



**FILTROS ACTIVOS:** Utilizan elementos semiconductores para el control.

- Sus características son muy flexibles (dentro de ciertos límites, se pueden adaptar a las frecuencias que deben ser filtradas). Pueden compensar corrientes o tensiones armónicas.
- Tienen un mayor costo comparado a los filtros pasivos.
- Es necesario protegerlos contra sobretensiones en la red.
- Tienen necesidad de un mantenimiento especial.
- Es difícil la construcción de un filtro de grandes proporciones y con una respuesta rápida.

**GRAFICO 15 Filtros Activos**



$$I_{K-filtro} = -I_{k-carga}$$

2. 15

Los filtros activos modernos emplean puentes con técnicas de control PWM que inyectan al sistema corrientes armónicas variando el contenido armónico de la fuerza electromotriz E. Este puede compensar incluso la corriente fundamental de una carga, proporcionando reactivos. Debe verificarse la capacidad de corriente efectiva en el filtro

[Marrero y otros, 2007] en sus múltiples pruebas de simulaciones concluyen que existe una estrecha relación entre el incremento de las cargas y la contaminación armónica, y además que los transformadores, condensadores y las líneas de transmisión eléctrica en este orden son los elementos de las ramas más afectados por la circulación de corrientes armónicas, evidenciado esto por un THDi elevado en los sistema industriales. Por ello, [Rios, 2003: citado por Marrero, González, y Legrá, 2007] plantea que, para el estudio de armónicos se deben combinar conjuntamente la modelación, medición y simulación con vistas a poder realizar una evaluación más precisa del problema y así proceder a seleccionar las mejores soluciones en cuanto a la colocación de los medios de compensación de la potencia reactiva y los filtros armónicos.

### 2.2.9 Factor de Distorsión.

El factor de distorsión o THD se define como:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad 2. 16$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad 2. 17$$

Luego:

$$V_{rms} = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2} \quad 2. 18$$

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2} \quad 2.19$$

**DISEÑO DE LOS FILTROS:** Para el cálculo de los filtros de absorción, se procedió considerando el siguiente algoritmo:

$$Q_F \geq \frac{3 U_n k_{ih} I_n}{c} \quad 2.20$$

Dónde:

$Q_F$  = Capacidad del filtro

$U_n$  Tension nominal

$I_n$  = Corriente nominal

$k_{ih}$  = Coeficiente de distorsión

$c$  = Coeficiente de sobrecarga del bus

$$C \geq 3; k_{ih} = 1.1$$

$$X_f = \frac{U_n^2}{Q_f} \quad 2.21$$

$$X_c = \frac{h^2}{h^2-1} X_f \quad 2.22$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad 2.23$$

$$Q_c = \frac{U_n^2}{X_c - X_L} \quad 2.24$$

$$C = \frac{1}{2 \pi f_h X_c} \quad 2.25$$

$$L = \frac{1}{2 \pi f_h} \quad 2.26$$

$$f_o = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}} \quad 2.27$$

$$R = X_c / Q_e \quad 2.28$$

Donde:

$X_f$ = Reactancia del filtro ( $\Omega$ )	$Q_e$ = Factor de calidad del filtro
$X_c$ = Reactancia capacitiva ( $\Omega$ )	$h$ = Orden de armónica ( $\Omega$ )
$C$ = Capacitancia ( $\mu f$ )	$X_L$ = Reactancia inductiva ( $\Omega$ )
$f_o$ = Frecuencia de resonancia (Hz)	$L$ = Inductancia (mH)
$Q_c$ = Potencia reactiva capacitiva (kVAr)	$f_h$ = Frecuencia de la armónica h (Hz)

### 2.2.10 Factor de potencia.

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa medida en kW y la potencia aparente medida en kVA. En el caso de una carga lineal es el coseno del ángulo de desfase entre la forma de onda de tensión y corriente. Cuando los armónicos están presentes, la definición del factor de potencia se torna un poco más complejo y se describe a continuación:

El factor de potencia total se define como:

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2} I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \approx \frac{P_1}{V_1 I_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}}$$

$$pf = \cos(\theta_h - \delta_h) \cdot pf_{dist}$$

$$pf = dpf \cdot pf_{dist} \quad 2.29$$

En tanto se tiene que:

$$pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2}} \quad \text{Factor de potencia de distorsión. 2.30}$$

$$dpf = \frac{P_1}{V_1 I_1} \quad \text{Desplazamiento del factor de potencia. 2.31}$$

### 2.3 Métodos normalizados para la estimación de la eficiencia en GE.

Se utiliza la norma ISO 8528-1, define las potencias Prime, Continua y stand-by y los métodos directos de la determinación de la potencia de salida del grupo electrógeno y con ella estimar la eficiencia operacional.

La norma ISO 8528-3, explica el dimensionamiento de Generadores de corriente alterna para los grupos electrógenos, esta norma se compara con la norma DIN 6271-2 aplicada en Alemania, en la que solo difiere en cuanto a la declaración de la potencia. En todos los regímenes mencionados, para el cálculo de la potencia de salida, se deben tener en cuenta las condiciones ambientales normalizadas (presión barométrica total, humedad relativa temperatura del aire, temperatura del aire aspirado, altura sobre el nivel del mar), las condiciones ambientales del lugar donde se montará el GE, y además se debe cumplir con las normas ISO 3046-1, ISO 8528-3 y la IEC 34-1 está última desarrollada por la “Internacional Electrotechnical Comision” aplicada especialmente en los países europeos. En la que se señala que en dependencia del tipo de servicio de trabajo (S1 o S10) y la clase de aislamiento del generador así se corregirán los valores de la temperatura en el GS (los valores de incremento de temperatura están referidos a una temperatura del ambiente de 40° C), aspectos que coinciden con la norma nacional NEMA MG1-22 utilizada en los EEUU, aunque los valores obtenidos bajo esta norma arrojan resultados inferiores a los obtenidos en la ISO.

En la ISO 3046-1 se establece un método directo para el ajuste de consumo de combustible y dos métodos para calcular el ajuste de potencia de salida en las máquinas primarias de los GE, para ello se cuenta con diez fórmulas referenciadas (métodos basados en los requerimientos definidos en ISO 15550) en cada una se definen cuatro coeficientes con los que se determina la potencia salida, de estas las denominadas **A**, **B**, **C** y **D** son para motores diésel de inyección directa con bomba de inyección lineal y bomba de inyección rotatoria, las seis restantes son para motores fuel oil.

El método A se emplea solo en motores diésel sin sobre-alimentación con una potencia limitada por la relación aire-combustible. El método B también puede ser utilizado en motores diésel sin sobre-alimentación pero en este caso la potencia está limitada por una carga térmica. Los métodos C y D a diferencia de A y B se utilizan en motores diésel sobre-alimentados, sin enfriamiento o con refrigeración por aire, respectivamente. En ambos casos los motores son de cuatro tiempos con velocidades media y baja. La norma además especifica las diferentes pruebas a realizar para el ajuste de potencia del motor, en la que es imprescindible la aplicación de estos métodos, si las condiciones ambientales del sitio son diferentes a las referenciadas. Se debe tener presente que ante un ajuste de potencia es necesario el ajuste del consumo de combustible en el motor, el cual también depende de las condiciones ambientales. Un estudio detallado de los métodos presentes en estas normas nos permite plantear que las condiciones ambientales de este sitio no tienen influencia directa en la operación pero sí en la disponibilidad de los GE.

#### **2.4 Métodos normalizados para la estimación de la calidad de Energía eléctrica.**

En base a las normativas vigentes, internacionales y nacionales se utilizan los siguientes límites descritos a continuación:

**FRECUENCIA:** bajo las normas IEC61000-1-1 y donde se definen los siguientes umbrales:

59,8 Hz a 60,2 Hz Durante 95 % de una semana.

57,5 Hz a 63 Hz 100% de una semana.

**TENSIÓN:** bajo las normas IEC61000-1-1 donde se definen los siguientes umbrales: +5% y -10% de la tensión nominal del sistema.

**ARMÓNICOS DE TENSIÓN:** bajo la norma IEEE 519 donde se define el límite de distorsión armónica total THD en 5% y distorsión individual del 3% para circuitos con tensiones entre 120 [V] y 69000[V], aplicando la tabla 7.

**TABLA 7 Clasificación del Sistema de Bajo Voltaje y Límites de Distorsión**

	<b>Aplicaciones Especiales*</b>	<b>Sistema en General</b>	<b>Sistema Dedicado†</b>
Profundidad de la Muesca	10%	20%	50%
THD (Voltaje)	3%	5%	10%
Área de la Muesca (AN)‡	16400	22800	36500
<p>NOTA: El valor <math>A_N</math> para otros sistemas mayores a 480 V puede ser multiplicado por V/480.</p> <p>*Las aplicaciones especiales incluyen hospitales y aeropuertos.</p> <p>†Un sistema dedicado es exclusivamente dedicado a la carga del convertidor.</p> <p>‡En voltios-microsegundos a la relación voltaje y corriente.</p>			

**ARMÓNICOS DE CORRIENTE:** bajo la norma IEEE 519, donde se indica los límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución en General (desde 120 V hasta 69.000 V) aplicando la tabla 8:

**TABLA 8 Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de IL**

<b>Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)</b>						
<b>ISC/IL</b>	<b>&lt;11</b>	<b>11≤h&lt;17</b>	<b>17≤h&lt;23</b>	<b>23≤h&lt;35</b>	<b>35≤h</b>	<b>TDD</b>
<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
<p>Incluso los armónicos son limitados al 25% de los límites armónicos impares anteriores.</p> <p>Las distorsiones de corriente que resulten en una compensación DC, p.e. convertidores de media onda, no son permitidas</p> <p>*Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de <math>I_{sc}/I_L</math> que presente.</p>						

Donde:

$I_{sc}$  = máxima corriente de cortocircuito en el PCC.

$I_L$  = máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental) en el PCC.

## CAPÍTULO III – METODOLOGÍA

### 3.1 Modalidad de la Investigación.

Se aplicara las investigaciones de tipo: **bibliográfica**, debido a que ayudara a establecer y conocer los avances del resto de la comunidad científica sobre el problema objeto de este estudio, permitiendo relacionar con otras experiencias de la comunidad, los fenómenos ocurridos y buscar sus causas en situaciones de estudio real; y de **campo**, pues se empleará en la observación del comportamiento del fenómeno, en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio, proporcionando información exacta, con alto grado de confiabilidad, a través de la recolección de datos, históricos, e información del fenómeno.

### 3.2 Tipo de Investigación.

En este proyecto será muy útil la investigación **descriptiva**, detallando las relaciones que existen entre dos o más variables operacionales del sistema de generación centralizado.

### 3.3 Metodología.

Después de la identificación de variables operacionales (independientes y dependientes) del sistema de generación centralizado y tomado en cuenta que estas serán analizadas experimentando (mediante simulación) un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observando su efecto en otra variable (variable dependiente), esta es una metodología de tipo **experimental**.

### 3.4 Unidad de Estudio.

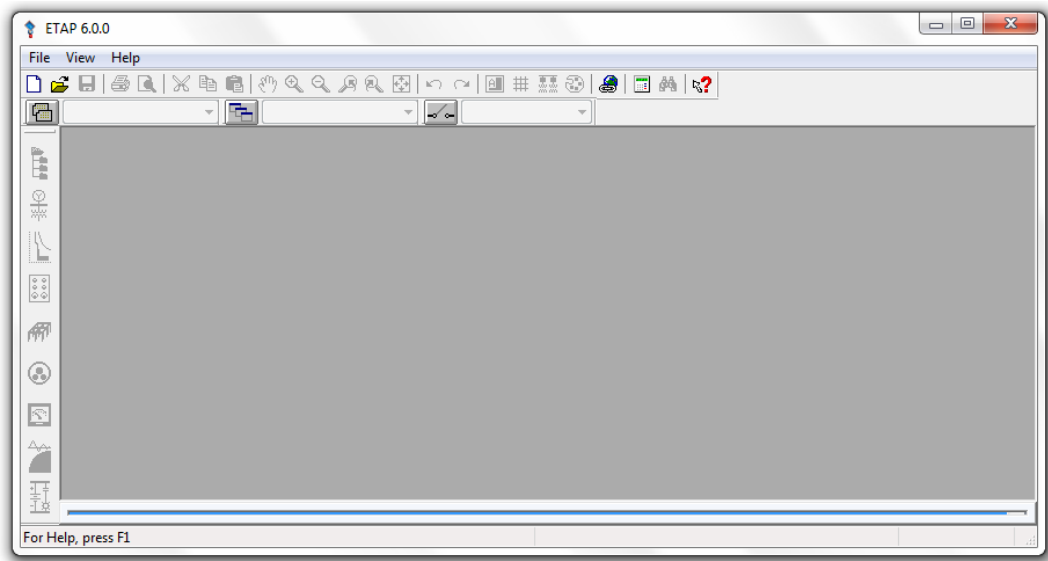
**POBLACIÓN:** Este estudio se realiza en una planta de generación, por lo tanto se toma como población los cinco GE que existen.

**MUESTRA:** Se toma cuatro GE, dos Waukesha y dos Caterpillar, excluyendo un GE Waukesha (3600) debido a la inestabilidad del equipo en la planta de generación.

### 3.5 Instrumentación y Aplicaciones Informáticas.

#### 3.5.1 Software Power Etap Versión 6.0.

**GRAFICO 16 Etap Versión 6.0**



[Setisa, 2013] Es una herramienta completa de análisis para el diseño, simulación y operación de la generación, transmisión, distribución y sistemas de potencia industriales. Desde el cálculo de cortocircuito hasta estudios avanzados de estabilidad transitorios. Algunos de los módulos del ETAP son listados a continuación:

Short-Circuit ANSI/IEC	Transmission Line - Ampacity
Arc Flash IEEE 1584	High Voltage DC Systems
Load Flow	Transformer Sizing & Tap Optimization
Motor Acceleration	GIS Map
Ground Grid Systems	Advanced Monitoring
Harmonics	Real-Time Simulation

Single Phase & Panel Systems	Event Playback
Device Coordination/Selectivity (Star)	Intelligent Load Shedding
Unbalanced Load Flow	Supervisory & Advisory Control
Reliability Assessment	Transient Stability
Optimal Capacitor Placement	Parameter Estimation
Optimal Power Flow	Generator Start-Up
Transmission Line – Sag & Tension	User-Defined Dynamic Model

### 3.5.2 Fluke 430 Serie II.

**GRAFICO 17 Fluke 435-II**



[Fluke, 2013] Es un analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica que además presenta la habilidad de cuantificar las pérdidas de energía en términos monetarios, ayuda a localizar, predecir, prevenir e identificar problemas de calidad de la energía en sistemas de distribución trifásicos y monofásicos. Mide y cuantifica las pérdidas de energía causadas por armónicos y problemas de desequilibrio, permitiendo al usuario localizar con exactitud el origen de la pérdida de energía en un sistema. Posee su software para la descarga de datos a la PC, el Power Log PC Application Software V3.3.

### 3.6 Métodos a ser Empleadas.

#### 3.6.1 Método para determinar la Eficiencia de la Energía.

Se utiliza el método de análisis estadístico, para llegar a la construcción y posterior interpretación de los diagramas mencionados en el apartado 2.2.4, basados en la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE), para el análisis de la eficiencia en cada uno de los grupos electrógenos.

### 3.6.2 Método para determinar la Calidad de la Energía.

- Se utilizara el método de simulación del sistema eléctrico del campo petrolero Pindo, mediante software Etap versión 6. Haciendo una corrida de flujos de corriente y comparando con las medidas reales, para identificar los posibles problemas; además se simulara las soluciones desarrolladas para verificar su real aplicación y funcionamiento y soluciones.
- Mediante un analizador de energía Fluke 435-II, se obtendrán los datos eléctricos reales, para sus respectivos análisis.
- Después se aplican los métodos para corregir los problemas y mejorar la calidad de energía, como la compensación (mitigación de armónicos), seleccionando las barras de compensación mediante la solución de la compensación de la potencia ficticia con condensadores, después seleccionando los filtros de sintonía mediante la compensación de la potencia ficticia con filtros, y por ultimo validando los resultados con el análisis del comportamiento en frecuencia.

### 3.6.3 Operacionalización de las Variables.

Para mejor entendimiento se resumen en la tabla 11:

**TABLA 9 Matriz de Operacionalización de Variables**

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e instrumentos</b>	<b>Ítems</b>
<b><u>Independiente</u></b>	Evaluación	- Aporte energético de cada grupo electrógeno.	Ecuaciones y cálculos.	kW/h
	Medición	- Consumo	Multímetro.	Amp.

<p>Gestión Energética</p>	<p>Análisis</p>	<p>energético de las cargas. - Regímenes operacionales y/o parámetros eléctricos. - Análisis de carga: calidad de la forma de la onda en las instalaciones eléctricas.</p>	<p>Analizador de carga.  Recolección de datos y comparación.</p>	<p>Amp. kW/h Amp.</p>
<p><b><u>Dependiente</u></b>  Variables Operacionales de los Grupos Electrógenos</p>	<p>Programa de mejora gestión energética a través de la eficiencia y calidad de energía.</p>	<p>- Análisis de consumo energético. - Análisis económico. - Estabilidad de sistema de generación distribuida. - Energía eléctrica aprovechada: Comparación entre energía producida vs energía consumida.</p>	<p>Cálculos y Ecuaciones.  Cálculos y Ecuaciones.  Mediciones de campo.  Investigación bibliográfica.</p>	<p>kW/h  Dólares  kW/h Amp.  kW/h.</p>

### 3.6.4 Procedimientos de la Investigación para la Eficiencia Energética.

Para el caso de la eficiencia energética de cada uno de los elementos de la muestra, se siguen los siguientes pasos:

1. Recolectar información de reportes diarios de la planta de generación, para obtener datos de consumo de combustibles y generación de energía, para cada elemento de la muestra. (Ver Anexo III).
2. Tabulación de datos para la elaborar tabla de consumos y generación, mensual y por año, de cada elemento de la muestra. (Ver Anexo IV).
3. Mediante software Microsoft Excel 2010, dibujar los siguientes gráficos y diagramas: control del consumo de energía, control del índice de consumo de combustible, consumo y producción en el tiempo (E-P vs. T), dispersión y correlación (E vs. P), índice de consumo – producción (IC vs. P), tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM). Para cada GE.
4. Analizar cada uno de los gráficos de los creados para la muestra de este proyecto, y explicar los resultados y anomalías según el apartado 2.1.3.
5. Dar las posibles soluciones a los problemas detectados.

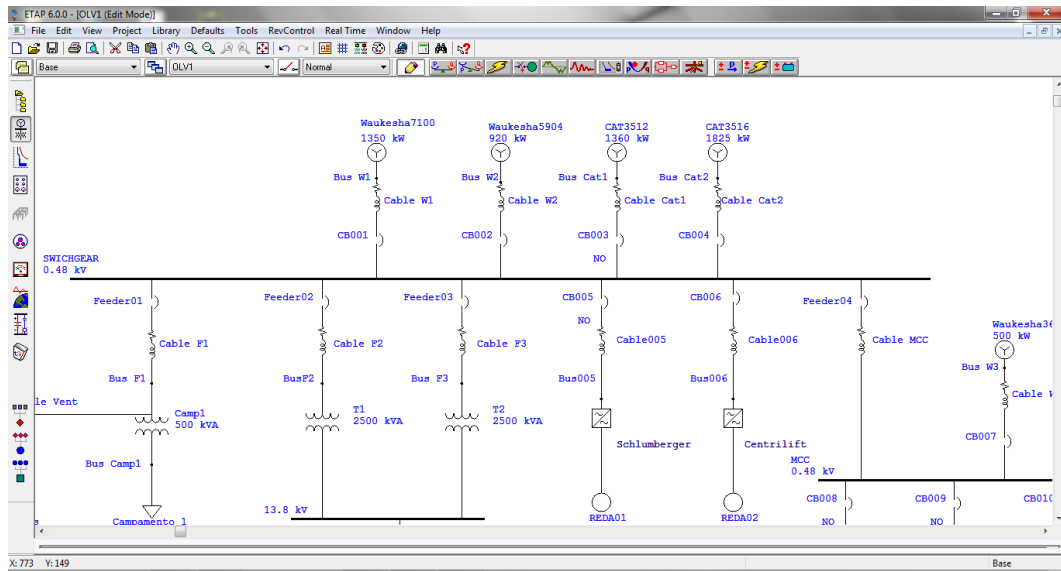
### **3.6.5 Procedimientos de la Investigación para la Calidad de Energía.**

Para el caso de Calidad de Energía del sistema eléctrico, y siguiendo las metodologías, se realizan los siguientes pasos:

1. Levantar información de todo el sistema eléctrico del campo Pindo, Grupos Electrógenos (datos de placa), conductores (# conductores por fase, calibre y distancia), líneas de transmisión (# conductores por fase, calibre y distancia), transformadores (datos de placa), motores (datos de placa), equipos de superficie como variadores de frecuencia y transformadores de frecuencia variable (datos de placa), brakers (capacidad de corriente), entre otros.
2. Identificar cargas del sistema eléctrico de Pindo.
3. Identificar niveles de voltaje en cada carga puntual del sistema eléctrico con un ayuda de una Pinza amperimétrica marca: Fluke CAT III, Modelo: 381, true RMS, 1000A, 1000V.

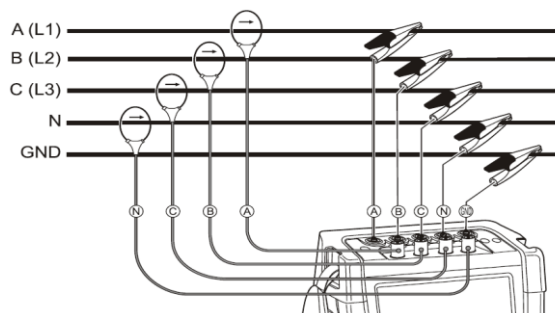
- Recolectar información de inventarios y hojas de vida de equipos, para conocer sus características eléctricas.
- Dibujar y simular en software Etap 6, el diagrama unifilar (Grafico 18), del sistema de generación centralizado y distribución de energía eléctrica.

**GRAFICO 18 Diagrama Unifilar en Etap 6.0**



- Identificar en el software las posibles fuentes de baja calidad de energía, y dar la solución a cada una de ellas.
- Identificar en el diagrama unifilar todas las barras (nodos) de cargas del sistema eléctrico, y las anomalías según las normas estudiadas.
- Tomar datos con el analizador de carga Fluke 435 II, durante un tiempo determinado, en los puntos de cargas y nodos identificados en el diagrama unifilar simulado.

**GRAFICO 19 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico**



8. Recolectar información de los nodos tomados por el analizador de carga.
9. Analizar los datos obtenidos, comparar con la normativa estudiada cada uno de los posibles problemas del sistema y la causa de ellos.

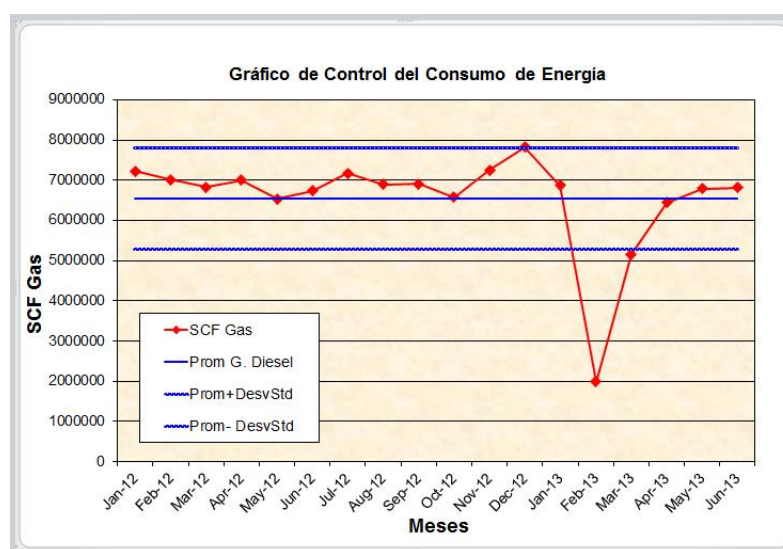
### **3.6.6 Procedimientos para Evaluación y Mejora de la Calidad de Energía.**

1. Dibujar y simular en software Etap 6, el diagrama unifilar (Grafico 18), del sistema de generación centralizado y distribución de energía eléctrica.
2. Modelar en la simulación la corrida de flujo nominal.
3. Modelar en la simulación la corrida de flujo armónico.
4. Comparación de datos eléctricos: Corriente, Voltaje, Potencia, y Pérdidas.
5. Calcular los dispositivos de corrección en este caso, filtros de armónicos.
6. Simular con las mejoras a la red.
7. Evaluar los resultados de la eficiencia energética y mejora de la calidad.

## CAPÍTULO IV - ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

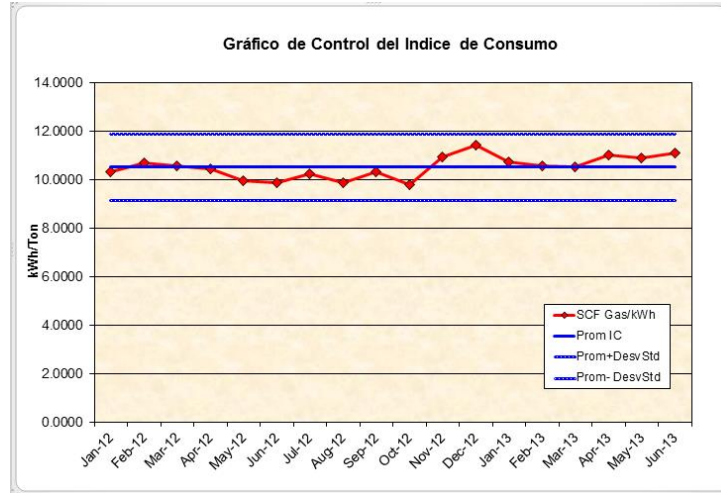
### 4.1 Análisis para la Eficiencia de la Energía, Gráficos de Control.

**GRAFICO 20 Control del Consumo de Energía del GE Waukesha 7100.**



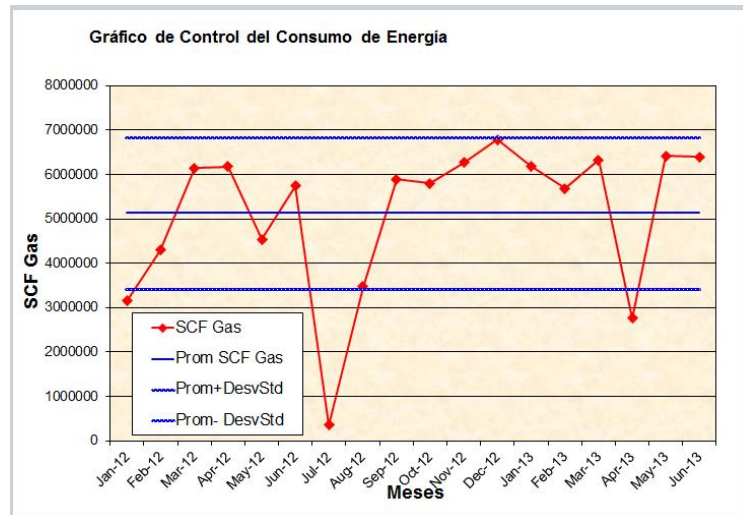
- Se determinan que los consumos energéticos del comportamiento de índice de consumo del grafico 20, tienen un comportamiento anormal, por las alteraciones que se producen en este proceso productivo.
- Las fases del proceso en que se producen las alteraciones, son en los meses de Diciembre 2012: GE Waukesha 3600 se encuentra funcionando fuera del sistema centralizado, y queda fuera de servicio por falla en bomba auxiliar del refrigerante, pasando esta carga al GE Waukesha 7100, y por lo tanto el consumo de gas aumenta; Febrero 2013: Mantenimiento correctivo por fundición de cabeza del pistón en cilindro 5, taponamiento de ductos del refrigerante en el cabezote; Marzo 2013: tiene problemas para asumir cargas permanece en 850kW, por lo que se lo interviene en algunos días.

**GRAFICO 21 Control del Consumo de Combustible del GE Waukesha 7100.**



- En el comportamiento de índice de consumo del gráfico 21, no hay puntos fuera de los límites de control, ni pautas de distribución anormales, El proceso productivo es estable.

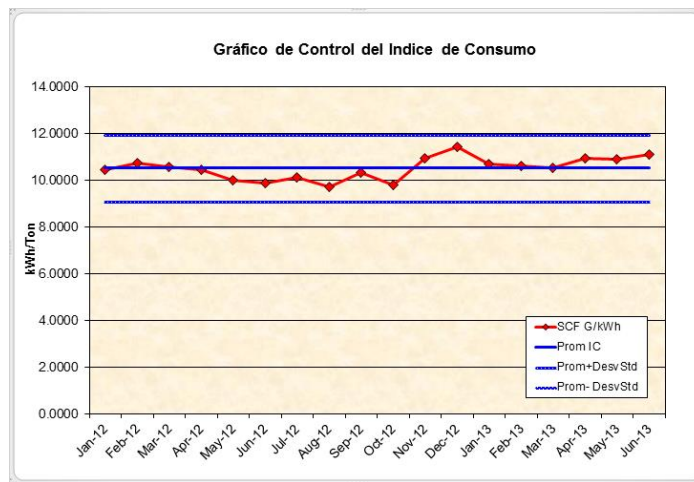
**GRAFICO 22 Control del Consumo de Energía del GE Waukesha 5904.**



- Se determinan que los consumos energéticos tienen un comportamiento anormal en el gráfico 22, por las alteraciones que se producen en este proceso productivo.
- Las fases del proceso en que se producen las alteraciones, son en los meses de Enero 2012: GE estudiado se encontraba en una reparación mayor Overhaull, en diciembre del 2011, por lo que en enero se empieza a estabilizar en el

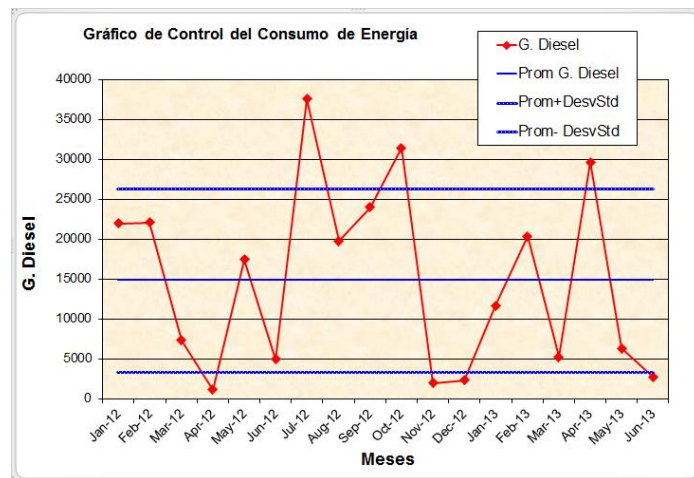
sistema; Julio 2012; el GE estudiado fue intervenido por cambio de cabezote 4R, paso fuera de servicio por casi todo el mes. Diciembre 2012: el GE tiene un incremento de consumo debido a que el Portador Waukesha 3600 tiene problemas de asumir carga y se encuentra aportando muy pocos kW; Abril 2013: el GE estudiado queda fuera de servicio por alarma de bajo nivel de aceite: Fundido corona de pistones 1R 6R, picadura en asientos de válvulas 1R 6R 4R, taponamiento en ducto de refrigerante 6R.

**GRAFICO 23 Control del Consumo de Combustible del GE Waukesha 5904.**



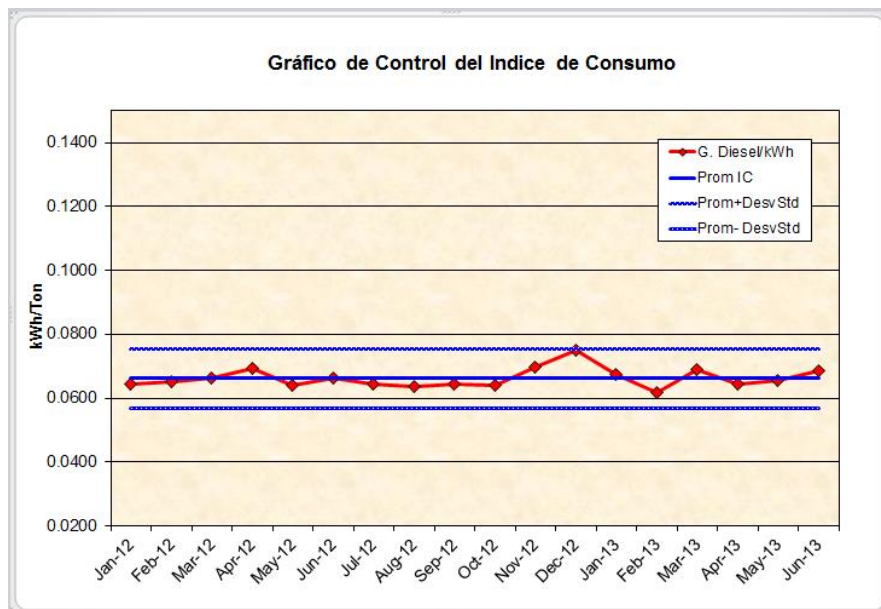
- En el comportamiento de índice de consumo del grafico 23, no hay puntos fuera de los límites de control, ni pautas de distribución anormales, El proceso productivo es estable.

**GRAFICO 24 Control del Consumo de Energía del GE Caterpillar 3512.**



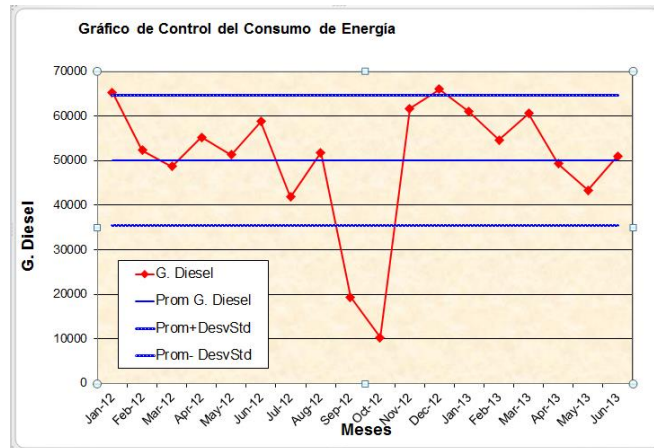
- Se determinan que los consumos energéticos tienen un comportamiento anormal en el grafico 24, por las alteraciones que se producen en este proceso productivo.
- Las fases del proceso en que se producen las alteraciones son, en los meses de Abril 2012, Julio 2012, Octubre 2012, Noviembre 2012, Diciembre 2012, Abril del 2013, Junio 2013, se asumen como normales, pues su aporte al sistema depende de la disponibilidad del resto de GE (stand-by o emergency, (revisar apartado 2.1.1)

**GRAFICO 25 Control del Consumo de Combustible del GE Caterpillar 3512.**



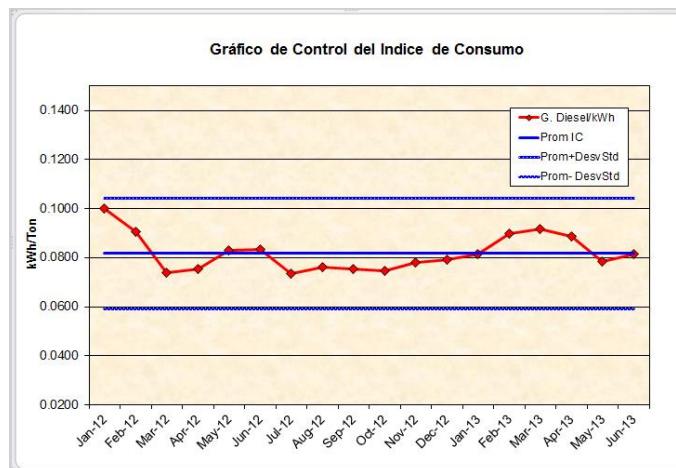
- Se determinan que los consumos de combustible de este GE (Grafico 25) tienen un comportamiento anormal, por la alteración que se producen en este proceso productivo.
- Las fases del proceso en que se produce la alteración, es en el meses de Diciembre 2012: se asume como normal al incremento de combustible de este GE, pues su aporte al sistema depende de la disponibilidad del resto de portadores energéticos, Siendo este GE el conocido como stand-by o emergency (revisar apartado 2.1.1)

**GRAFICO 26 Control del Consumo de Energía del GE Caterpillar 3516.**



- Se determinan que los consumos energéticos de la figura 26, tienen un comportamiento anormal, por las alteraciones que se producen en este proceso productivo.
- Las fases del proceso en que se producen las alteraciones, son en los meses de Enero 2012: Waukesha 5904 como se lo menciona en la grafico 22, se encontraba en una reparación mayor Overhaull, desde diciembre del 2011 por lo que se incrementa aquí el consumo de combustible; Septiembre 2012 y Octubre 2012: el GE estudiado fue intervenido por mantenimiento correctivo Top End. Diciembre 2013: tiene un incremento de consumo debido a que el Portador Waukesha 3600 tiene problemas de asumir carga y se encuentra aportando muy pocos kW.

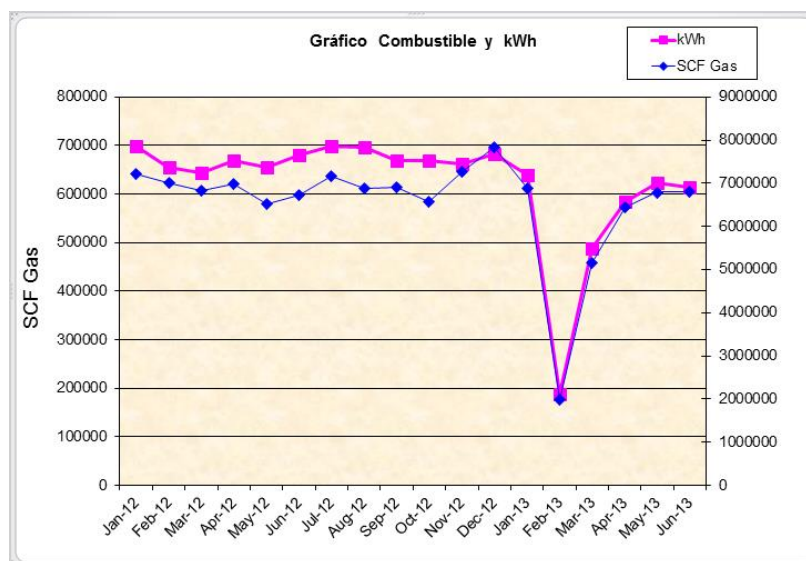
**GRAFICO 27 Control del Consumo de Combustible del GE Caterpillar 3516.**



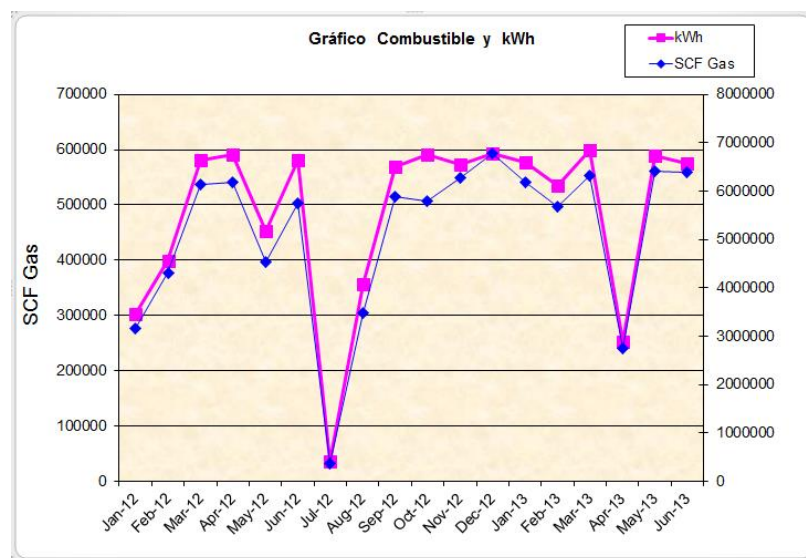
- En el comportamiento de índice de consumo del gráfico 27, no hay puntos fuera de los límites de control, ni pautas de distribución anormales, El proceso productivo es estable.

#### 4.2 Análisis para la Eficiencia de la Energía, Gráficos de consumo y producción en el tiempo.

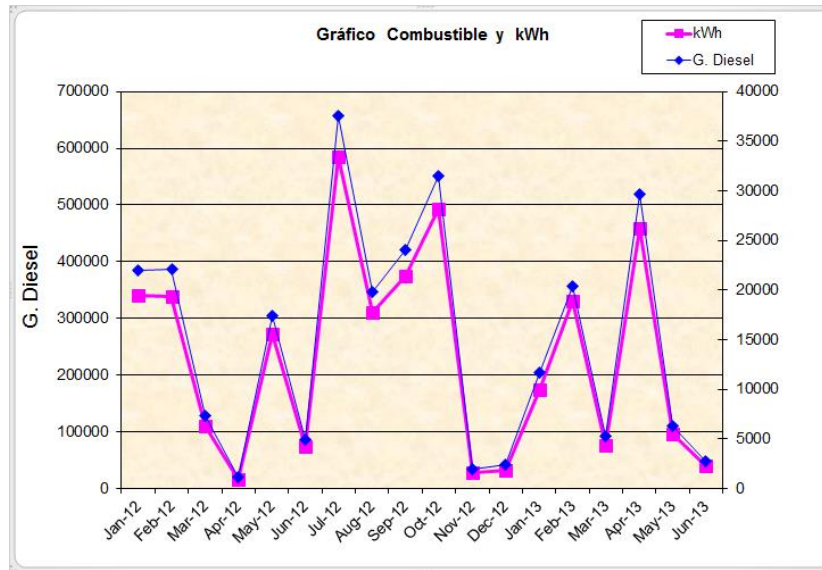
**GRAFICO 28 Consumo y producción en el tiempo del GE Waukesha 7100.**



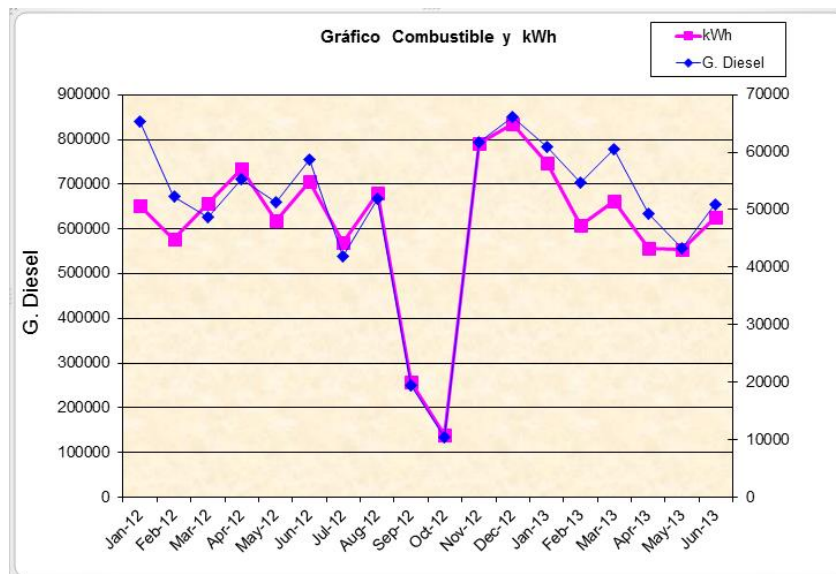
**GRAFICO 29 Consumo y producción en el tiempo del GE Waukesha 5904.**



**GRAFICO 30 Consumo y producción en el tiempo del GE Caterpillar 3512.**



**GRAFICO 31 Consumo y producción en el tiempo del GE Caterpillar 3516.**



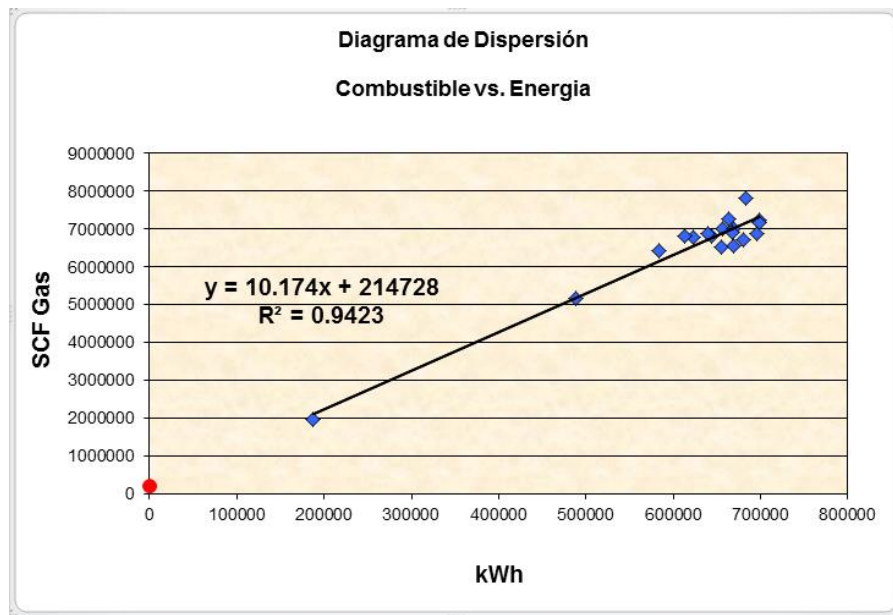
- En los gráficos del 28 al 31, se observa una buena correlación entre la producción de energía eléctrica y el consumo de combustible.

#### **4.3 Análisis para la Eficiencia de la Energía, Diagramas de Dispersión y Correlación.**

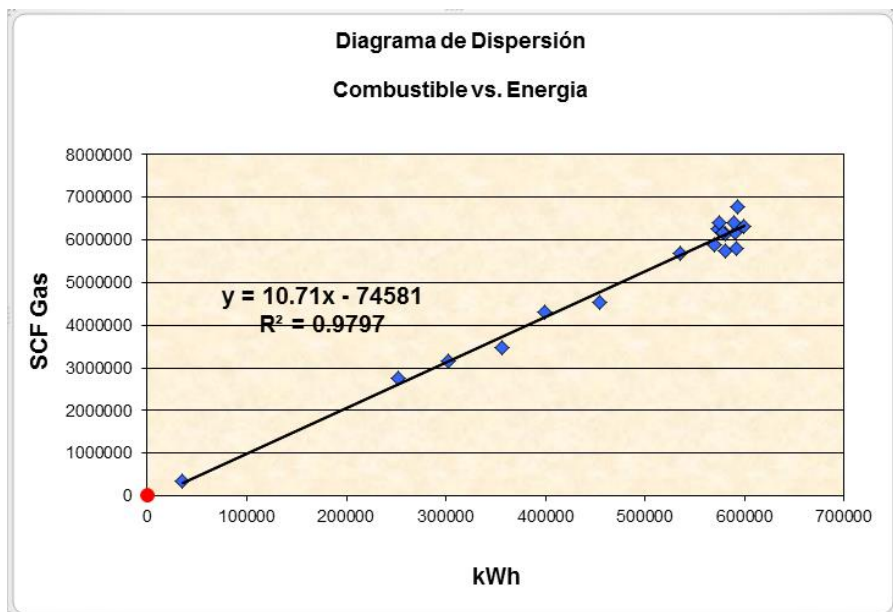
- En los gráficos del 32 al 35, Los valores del coeficiente de correlación ( $R^2 \geq 0,75$ ) están dentro del parámetro, indican una buena correlación entre los

parámetros representados en este diagrama, y por tanto, el índice de consumo formado por el cociente entre ellos refleja adecuadamente la eficiencia energética en este GE. Además de la correlación estos modelos obtenidos para cada generador van a constituir una herramienta para la planificación y el control del consumo de combustible en función de la producción de energía.

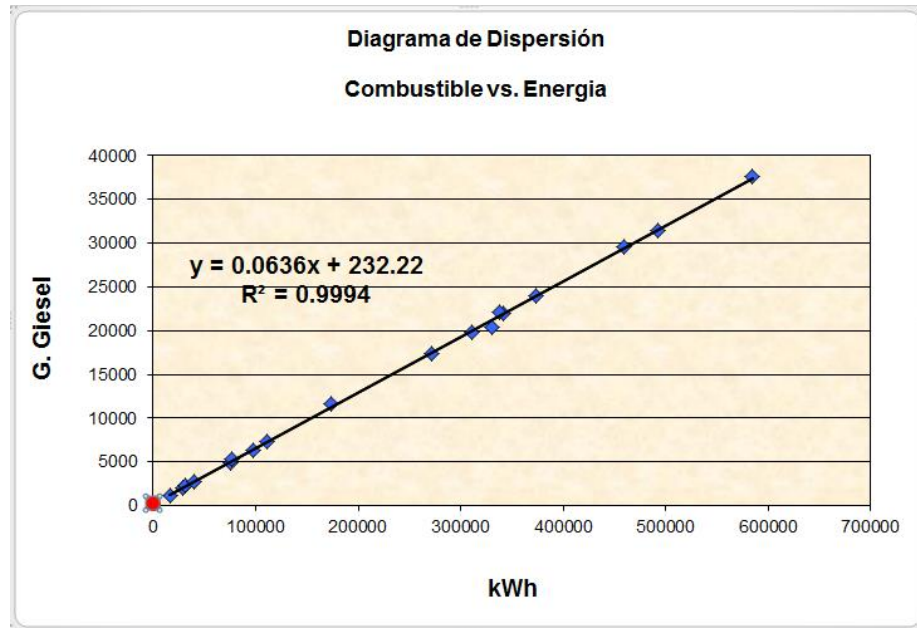
**GRAFICO 32 Diagrama de consumo – producción del GE Waukesha 7100.**



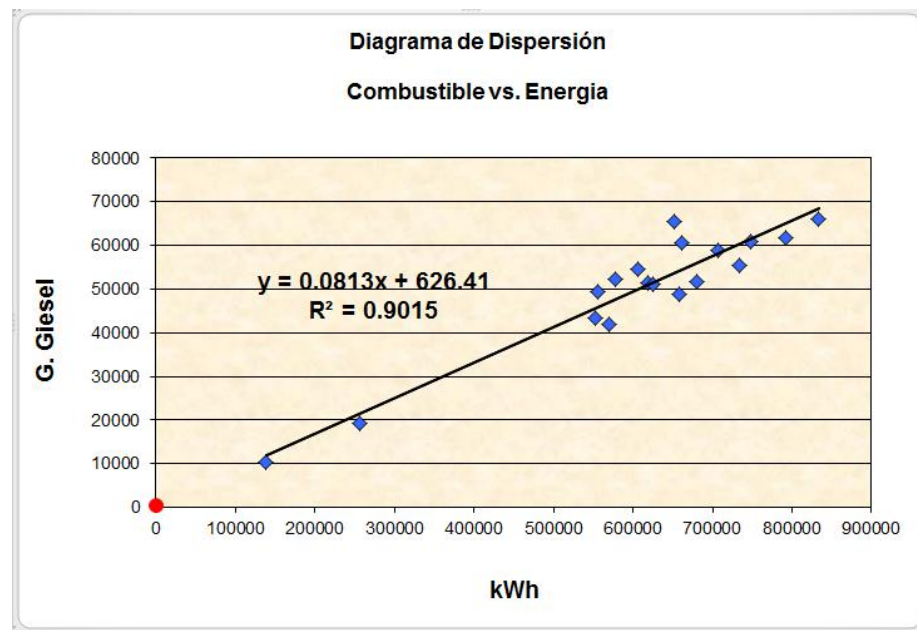
**GRAFICO 33 Diagrama de consumo – producción del GE Waukesha 5904.**



**GRAFICO 34 Diagrama de consumo – producción del GE Caterpillar 3512**

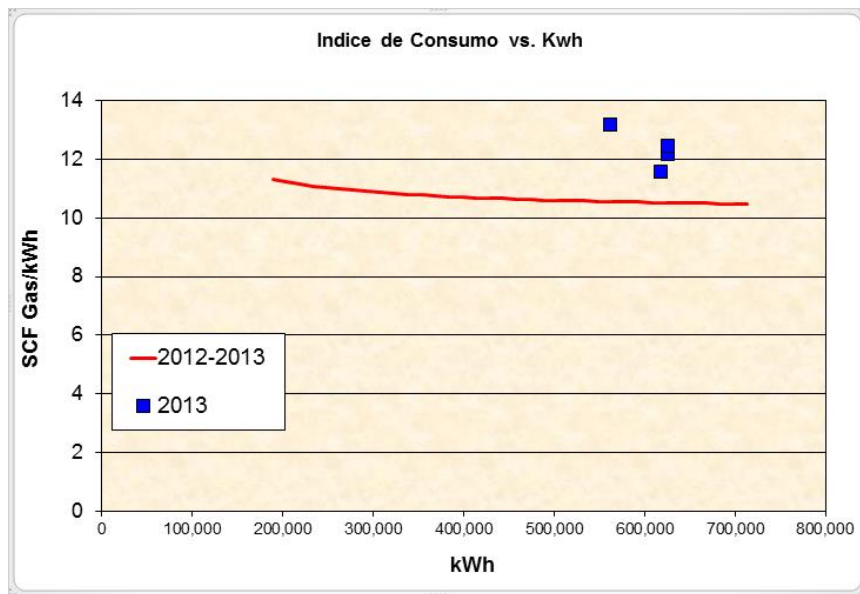


**GRAFICO 35 Diagrama de consumo – producción del GE Caterpillar 3516.**

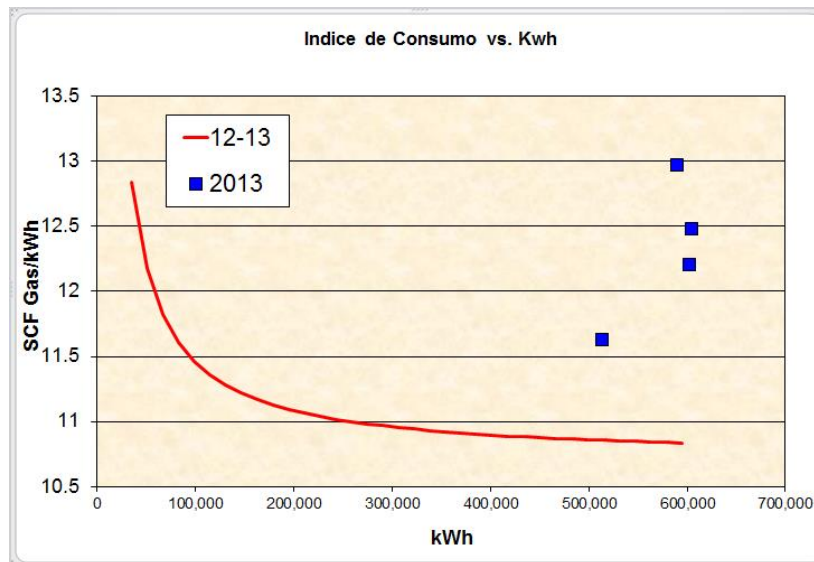


**4.4 Análisis para la Eficiencia de la energía, Diagrama Índice de Consumo–Producción.**

**GRAFICO 36 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE Waukesha 7100.**

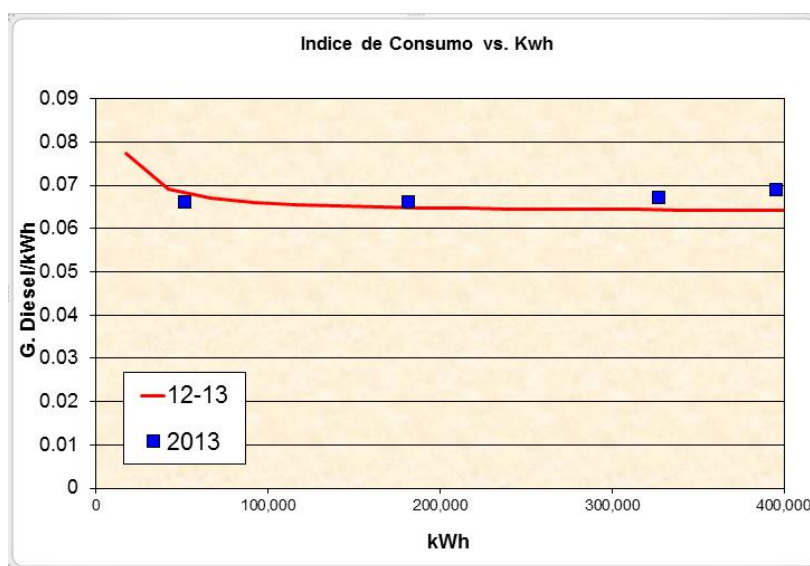


**GRAFICO 37 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE Waukesha 5904.**

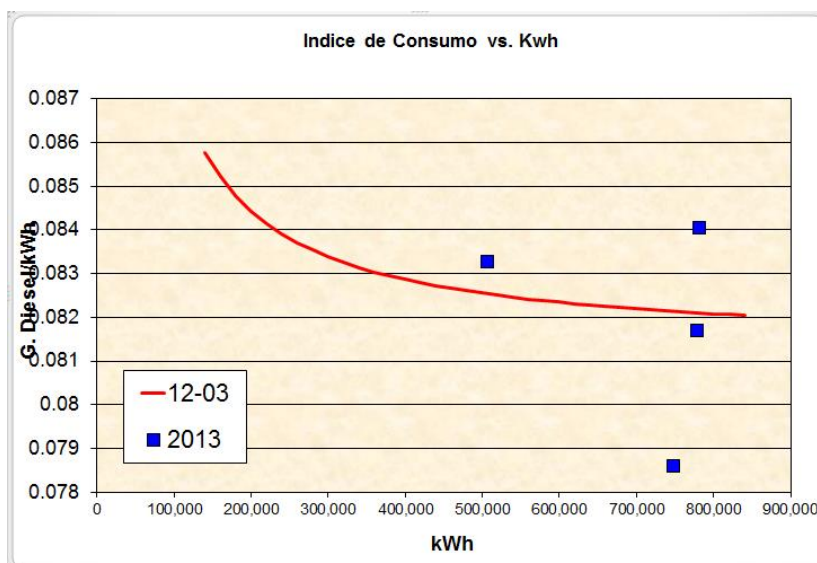


- Los valores de IC por arriba de la curva de los gráficos 36 y 37 del comportamiento del índice durante el periodo de referencia 2012- ½ del 2013, indican que existe un potencial de disminución del índice de consumo para igual producción.

**GRAFICO 38 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE  
Caterpillar 3512.**



**GRAFICO 39 Diagrama Índice de Consumo – Producción del GE  
Caterpillar 3516.**

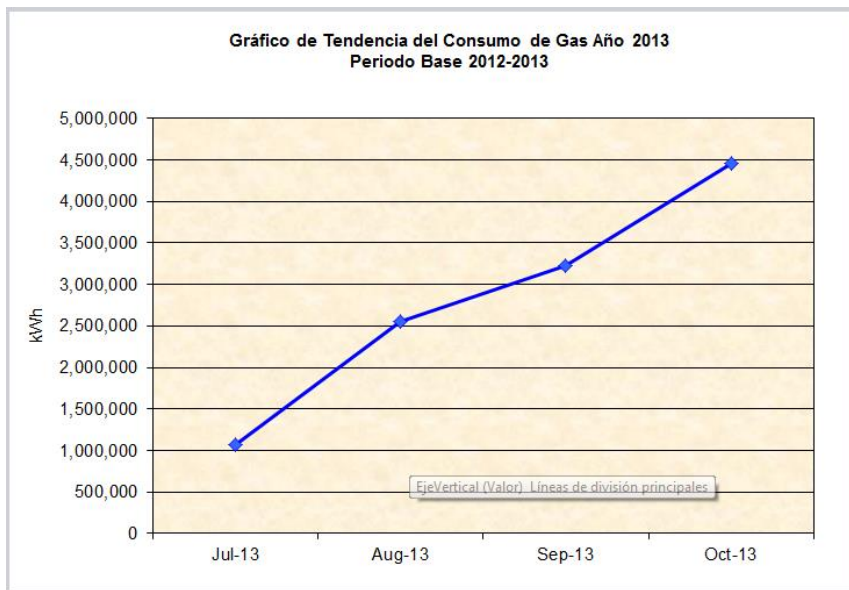


- Los valores de IC por arriba de la curva del gráfico 38 y 39 de comportamiento del índice durante el periodo de referencia 2012- ½ del 2013, indican que existe un potencial de disminución del índice de consumo para igual producción.

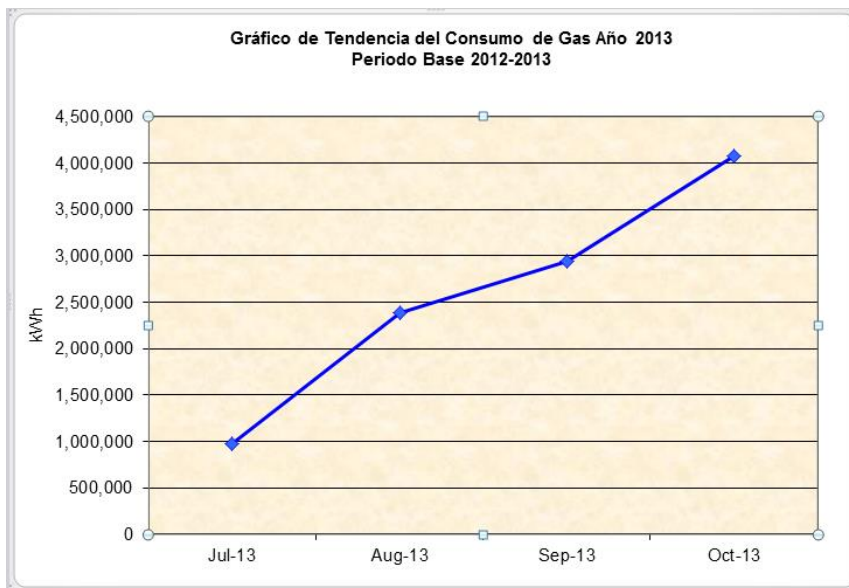
- Los valores de IC por debajo de la curva del grafico 38 y 39 de comportamiento del índice durante el periodo de referencia 2012- ½ del 2013, indican un incremento de eficiencia del proceso.

#### 4.5 Análisis para la Eficiencia de la energía, Gráfico de Tendencia.

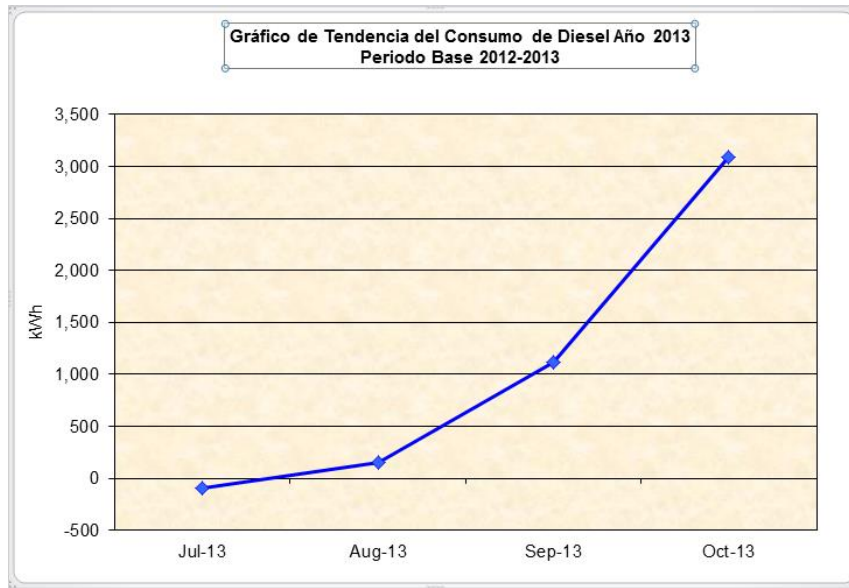
**GRAFICO 40 CUSUM del GE Waukesha 7100.**



**GRAFICO 41 CUSUM del GE Waukesha 5904.**

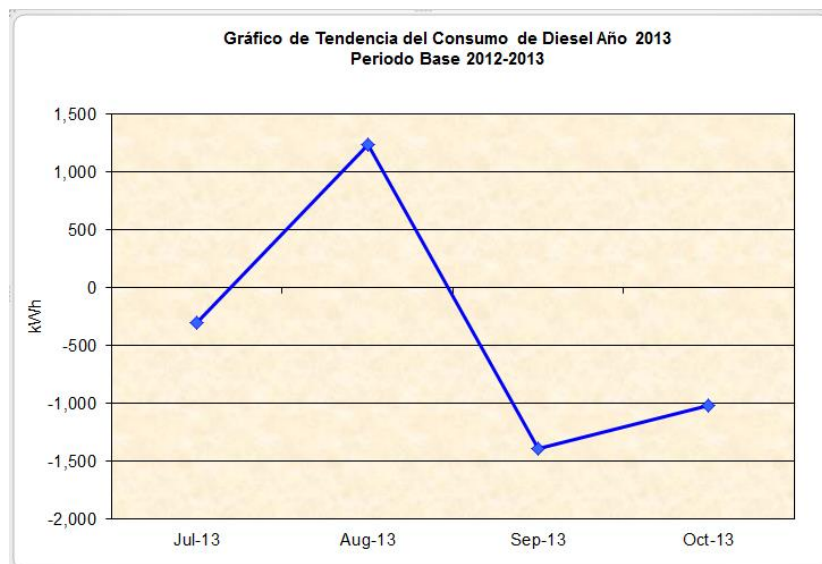


**GRAFICO 42 CUSUM del GE Caterpillar 3512.**



- En los diagramas 40, 41 y 42, de los GE, analizados se visualiza que el consumo de combustible aumenta, debido a que en el sistema centralizado de generación se han incrementado las cargas de dos nuevos pozos productores de petróleo, además al sistema se conectó la carga de la reinyección de agua del Pindo 12, pues el generador de planta de ese sitios salió a Overhaull.

**GRAFICO 43 CUSUM del GE Caterpillar 3516.**



- En este diagrama 43 del GE analizado se visualiza que el consumo de combustible disminuye debido a problemas, mecánicos en la inyección de combustible según reportes de planta de generación, pero a pesar de ello en

octubre empieza la creciente de consumo por las cargas de los dos nuevos pozos y reinyección de agua del Pindo 12.

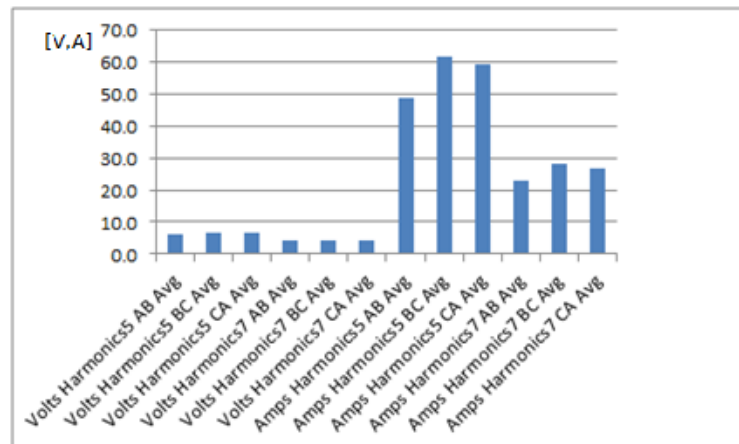
#### 4.6 Análisis para la Calidad de Energía, por Analizador de Carga.

A continuación se presenta el análisis de la información recopilada en cada punto de medición se aclara además que todas las mediciones son hechas en un voltaje de 480VCA. Las tensiones, corrientes y potencias presentadas están dadas en valores RMS. En todos los casos la tensión medida es la de línea. Adicionalmente la información adicional sobre las mediciones, espectros de armónicos y demás se pueden encontrar en el anexo V.

**BARRAJE SWICHGEAR FEEDER 01, 02, 03:** Se escogió estos puntos para ser analizados pues la alimentación de ellos son para cargas representativas: el campamento, y a la cámara de transformación. En estos puntos todos los armónicos están dentro de los parámetros de la norma IEEE 519.

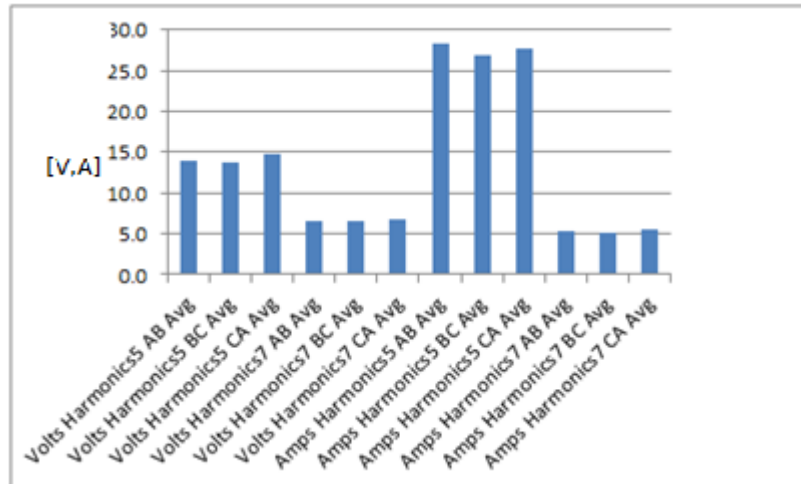
**BARRAJE SWICHGEAR FEEDER 04:** Se escogió este feeder para ser analizado pues es el que alimenta a la barra del MCC siendo este un nodo de distribución importante para los equipos auxiliares del campamento. Inicio medición: 11/16/2013, hora: 07:41:08am. Finalización medición: 11/16/2013, hora: 03:48:00pm.

**GRAFICO 44 Armónicos de mayor incidencia Feeder 04**



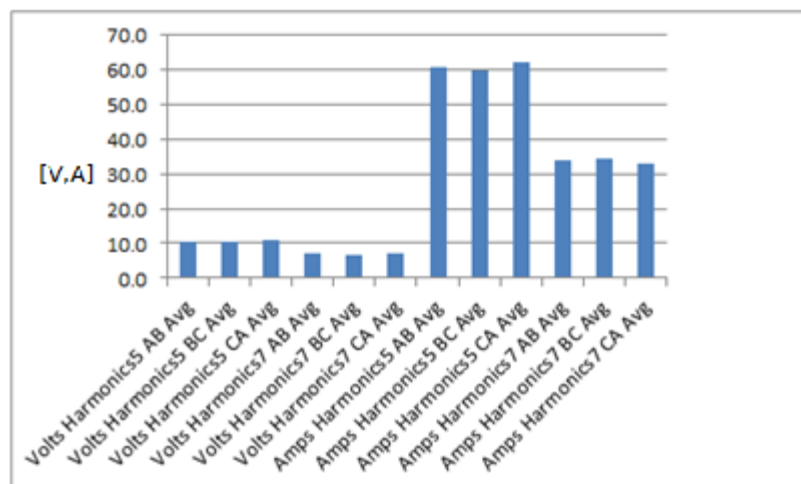
**PINDO 06, BusP06\_4:** Se escogió este bus por alimentar a la carga principal.  
 Inicio medición: 11/16/2013, hora: 07:41:08am. Finalización medición:  
 11/16/2013, hora: 03:48:00pm.

**GRAFICO 45 Armónicos de mayor incidencia Pindo 06**



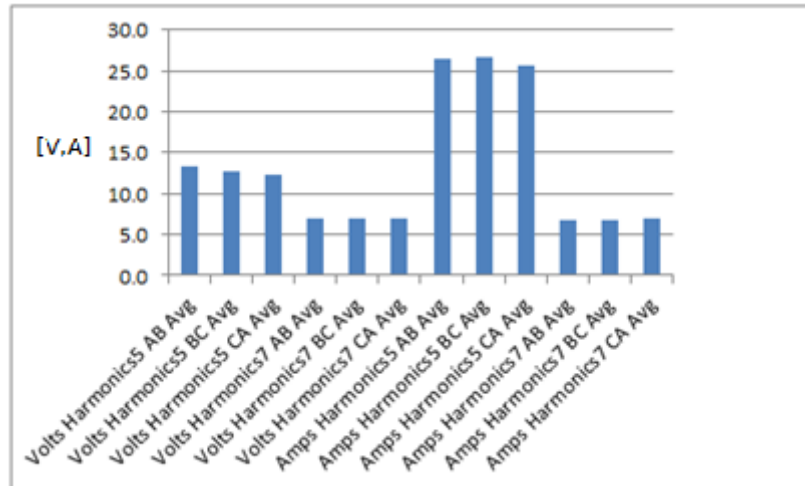
**PINDO 07, BusP07\_4:** Se escogió este bus por alimentar a la carga principal.  
 Inicio medición: 11/13/2013, hora: 11:55:53am. Finalización medición:  
 11/13/2013, hora: 13:55:43pm.

**GRAFICO 46 Armónicos de mayor incidencia Pindo 07**



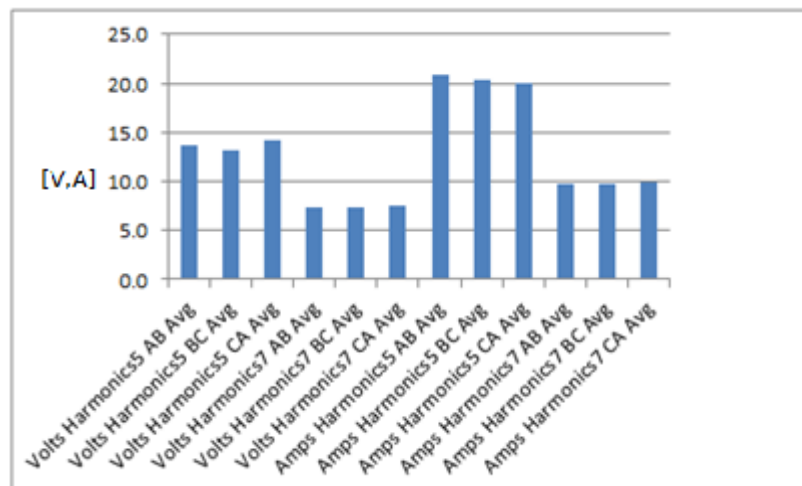
**PINDO 09, BusP09\_4:** Se escogió este bus por alimentar a la carga principal.  
 Inicio medición: 11/14/2013, hora: 09:39:41am. Finalización medición:  
 11/14/2013, hora: 11:39:31pm.

**GRAFICO 47 Armónicos de mayor incidencia Pindo 09**



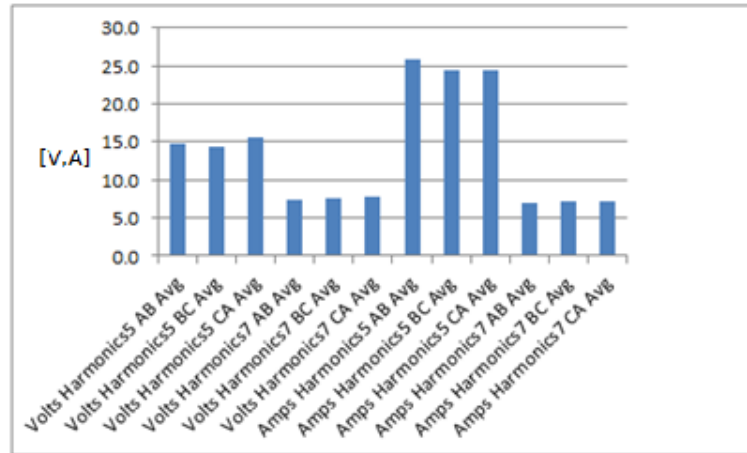
**PINDO 11, BusP11\_5:** Se escogió este bus por alimentar a la carga principal.  
 Inicio medición: 11/13/2013, hora: 08:49:23am. Finalización medición:  
 11/13/2013, hora: 10:49:13am.

**GRAFICO 48 Armónicos de mayor incidencia Pindo 11**



**PINDO 13, BusPI3\_5:** Se escogió este bus por alimentar a la carga principal.  
 Inicio medición: 11/13/2013, hora: 08:49:23am. Finalización medición:  
 11/13/2013, hora: 10:49:13am.

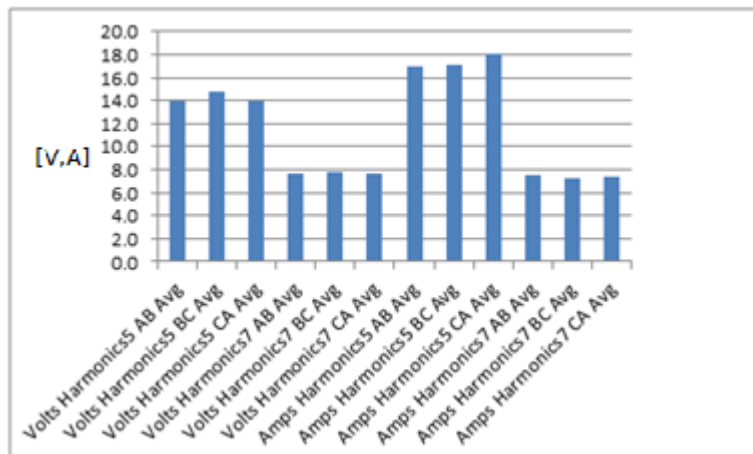
**GRAFICO 49 Armónicos de mayor incidencia Pindo 13**



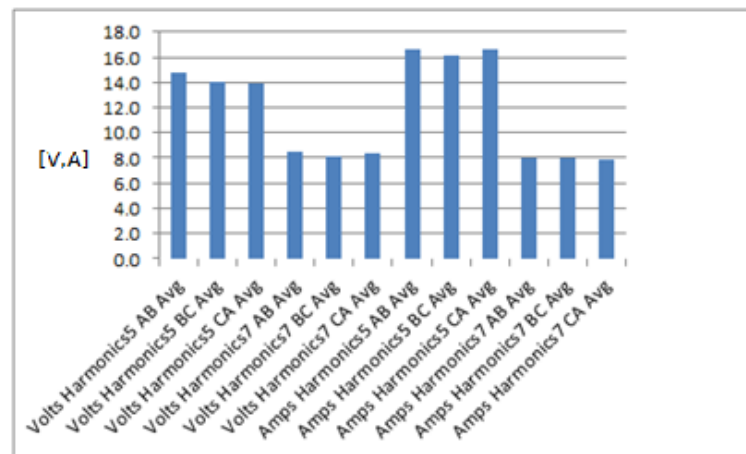
**PINDO 14, BusWP\_1 y BusWP\_2:** Se escogieron estos bus por alimentar a las cargas principales, tres pozos cada uno.

- Inicio medición en el BusWP\_1: 11/09/2013, hora: 09:16:15am. Finalización medición: 11/09/2013, hora 03:30:15pm.
- Inicio medición en el BusWP\_2: 11/09/2013, hora: 09:16:15am. Finalización medición: 11/09/2013, hora 03:30:15pm.

**GRAFICO 50 Armónicos de mayor incidencia BusWP\_1 (Transformador 1200KVA)**



**GRAFICO 51 Armónicos de mayor incidencia BusWP\_2 (Transformador 1600KVA)**



Analizando las tablas (del anexo V), de comparación de datos reales energéticos con las normas antes estudiadas, se determina las siguientes interpretaciones:

- Voltajes: En cuanto al nivel de voltaje de cada punto medido, se está cumpliendo con la normativa IEC61000-1-1 a un 100%, pero se podría mejorar la calidad de energía corrigiendo la caída de tensión existente.
- Frecuencia y Desbalance de tensiones: Se encuentra en los parámetros a un 100%, dictaminados por las normas: IEC61000-1-1, IEEE 1159 2009, IEEE 141 1993 ó IEC 61000-2-2, respectivamente.
- Desbalance de corrientes: Se está incumpliendo con la norma IEEE 1159 en un 30.77% de los puntos medidos, siendo los puntos de mas críticos los siguientes: BusP11\_5, y BusP09\_4.
- Factor de potencia: Se está incumpliendo con la normativa IEEE 1459, en un 92,31% de los puntos medidos, se podría decir que los valores de factor de potencia en la mayoría de los casos están cercanos a lo establecido entre (0,82 y 0.99).
- Armónicos de tensión y corriente: Por lo que se visualiza este es un gran problema en esta red de distribución eléctrica, pues no se está cumpliendo con lo estipulado en las normativa IEEE 519, El armónico de tensión y corriente

más incidente en este punto de medición es el 5°. Los armónicos medidos se deben en gran medida a los variadores de velocidad que funcionan con esta red debido a la electrónica de potencia usada para su funcionamiento. Con excepción del BusP12\_7, pues a este se le ha instalado un transformador relación 1:1 estrella – delta, agua arriba del variador de frecuencia, que además es de 12 pulsos, disminuyendo por total los armónicos.

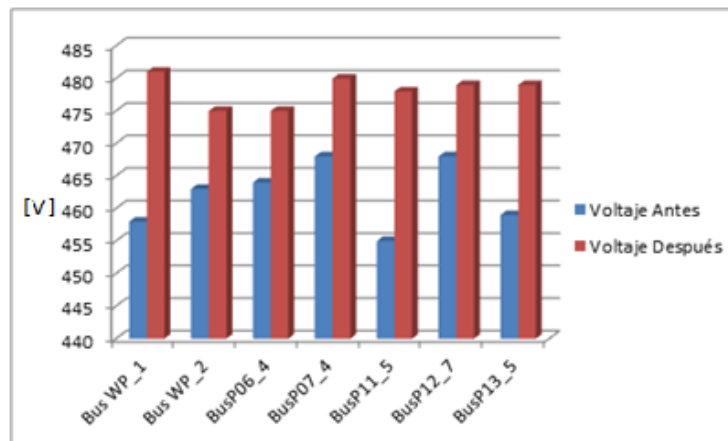
#### 4.7 Análisis para la Calidad de Energía, por Software.

**VOLTAGE:** En la simulación se detectó una caída de tensión que coincide con los datos del analizador de cargas, a estos se corrigió subiendo el Tab de los transformadores antes de las cargas. En la tabla 10 se visualiza las magnitudes de antes y después de la corrección de voltajes para los bus estudiados.

**TABLA 10 Corrección de Voltaje.**

Bus	Voltaje Antes [V]	Voltaje Después [V]	# de Tap
Bus WP_1	458	481	2
Bus WP_2	463	475	1
BusP06_4	464	475	1
BusP07_4	468	480	1
BusP11_5	455	478	2
BusP12_7	468	479	2
BusP13_5	459	479	2

**GRAFICO 52 Corrección de Voltaje**



**ARMONICOS:** Primero se calcular la corriente de cortocircuito que permite determinar para cuales armónicos es necesario diseñar un filtro, lo establecido por la norma IEEE 519-1992, con las siguientes expresiones:

$$R_{sc} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad 4.1$$

Donde:

$R_{sc}$  = Relación de cortocircuito

$I_{sc}$  = Corriente de cortocircuito

$I_L$  = Corriente de línea

Para los Bus: MCC, BusP06\_5, BusP07\_4, BusP09\_4, BusP11\_5, BusP13\_5, Bus WP\_1, Bus WP\_2, los valores de  $I_{sc}$  y  $I_L$ , son tomados de la simulación de Etap 6.0. En la tabla 11, se presenta el valor calculado de  $R_{sc}$ .

**TABLA 11 Relación de Cortocircuito**

<b>Dato</b>	<b>MCC</b>	<b>BusP06_5</b>	<b>BusP07_4</b>	<b>BusP09_4</b>
$I_{sc}$ (A)	39800	10600	9200	25800
$I_L$ (A)	488.3	455.4	114.9	213.7
Rsc	81.51	23.28	80.07	120.73
<b>Dato</b>	<b>BusP11_5</b>	<b>BusP13_5</b>	<b>Bus WP_1</b>	<b>Bus WP_2</b>
$I_{sc}$ (A)	7600	5500	14300	16500
$I_L$ (A)	404	277.7	855.6	708.7
$R_{sc}$	18.81	19.81	16.71	23.28

Comparando con la norma IEEE 519, se puede apreciar que las **armónicas 5 y 7 exceden los valores límites**, se requiere la utilización de filtros. Para llevar a cabo la simulación del sistema eléctrico se tomó el punto de conexión común en el secundario de cada transformador, con la ayuda de las mediciones realizadas se pudo determinar el nivel de contaminación armónica de la instalación.

**SIMULACIÓN SIN FILTROS:** Los valores de THD que se muestran en las tablas 12 y 13 fueron tomados de la simulación. La tabla 14 muestra los valores promedio de THD para corriente y tensión en los Bus.

**TABLA 12 Valores de THD para cada armónica antes de incorporar los filtros.**

h	THD Individual (%) MCC						THD Individual (%) BusP06_5					
	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.4	6.4	6.8	48.9	61.8	59.1	14.0	13.7	14.7	28.4	26.8	27.7
7	4.2	4.1	4.2	22.7	28.1	26.8	6.6	6.6	6.7	5.3	5.2	5.5
h	THD Individual (%) BusP07_4						THD Individual (%) BusP09_4					
	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	10.3	10.4	11.1	60.9	60.0	62.0	13.3	12.7	12.4	26.4	26.8	25.6
7	7.0	6.8	7.0	34.0	34.3	33.2	7.0	6.9	6.9	6.7	6.7	7.0
h	THD Individual (%) BusP11_5						THD Individual (%) BusP13_5					
	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	13.6	13.1	14.1	20.9	20.3	20.0	14.7	14.4	15.5	25.9	24.5	24.4
7	7.3	7.4	7.5	9.7	9.7	9.8	7.5	7.6	7.7	7.0	7.2	7.3
h	THD Individual (%) Bus WP_1						THD Individual (%) Bus WP_2					
	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	14.0	14.8	13.9	17.0	17.1	18.1	14.8	14.1	13.9	16.6	16.2	16.7
7	7.6	7.8	7.7	7.5	7.3	7.4	8.4	8.2	8.3	8.0	8.0	7.8

**TABLA 13 Valores de THD para cada fase de los bus antes de incorporar los filtros**

Barras	THD %					
	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic
MCC	7.9	7.9	8.3	60.3	75.0	73.7
BusP06_5	17.7	17.5	18.4	31.7	30.0	30.8
BusP07_4	13.1	13.1	13.8	74.8	73.9	75.4
BusP09_4	15.8	15.3	15.0	30.5	31.1	29.9
BusP11_5	16.2	15.8	16.7	24.3	23.9	23.6
BusP13_5	17.6	17.4	18.4	29.6	28.2	28.1
Bus WP_1	16.7	17.5	16.6	19.6	19.8	20.5
Bus WP_2	17.6	16.9	16.8	19.4	19.1	19.4

**TABLA 14 Valores promedio de THD para Cada Bus antes de incorporar los filtros**

Barras	Promedio THD: V %	Promedio THD: I %
MCC	8.1	69.7
BusP06_5	17.9	30.8
BusP07_4	13.3	74.7
BusP09_4	15.4	30.5
BusP11_5	16.2	23.9
BusP13_5	17.8	28.6
Bus WP_1	16.9	20.0
Bus WP_2	17.1	19.3

Estimando el valor de  $Q_F$  (formula 2.20) para cada orden de armónicas de los Bus, se obtuvieron los resultados que se reflejan en la tabla 15 (formulas desde 2.21 hasta 2.28).

**TABLA 15** Parámetros de los filtros de supresión para cada orden de armónica

	h	$Q_F$	$X_f$	$R$	$X_c$	$X_L$	$L$	$C$	$f_o$
		kVAr	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	mH	$\mu f$	Hz.
<b>MCC</b>	5	300	0.7680	0.03	0.80	0.032	0.00002	0.0007	300
	7	100	2.3040	0.08	2.35	0.048	0.00002	0.0002	420
<b>BusP06_5</b>	5	500	0.4608	0.02	0.48	0.019	0.00001	0.0011	300
	7	200	1.1520	0.04	1.18	0.024	0.00001	0.0003	420
<b>BusP07_4</b>	5	100	2.3040	0.08	2.40	0.096	0.00005	0.0002	300
	7	50	4.6080	0.16	4.70	0.096	0.00004	0.0001	420
<b>BusP09_4</b>	5	230	1.0017	0.03	1.04	0.042	0.00002	0.0005	300
	7	200	1.1520	0.04	1.18	0.024	0.00001	0.0003	420
<b>BusP11_5</b>	5	400	0.5760	0.02	0.60	0.024	0.00001	0.0009	300
	7	200	1.1520	0.04	1.18	0.024	0.00001	0.0003	420
<b>BusP13_5</b>	5	300	0.7680	0.03	0.80	0.032	0.00002	0.0007	300
	7	100	2.3040	0.08	2.35	0.048	0.00002	0.0002	420
<b>Bus WP_1</b>	5	1000	0.2304	0.01	0.24	0.010	0.00001	0.0022	300
	7	900	0.2560	0.01	0.26	0.005	0.00000	0.0015	420
<b>Bus WP_2</b>	5	800	0.2880	0.01	0.30	0.012	0.00001	0.0018	300
	7	400	0.5760	0.02	0.59	0.012	0.00000	0.0006	420

**SIMULACIÓN CON FILTROS:** Al introducir los filtros previamente calculados, se obtuvieron valores de THD que se muestran en las tablas 16 y 17.

**TABLA 16 Valores de THD para cada armónica en los Bus luego de haber incorporado los filtros**

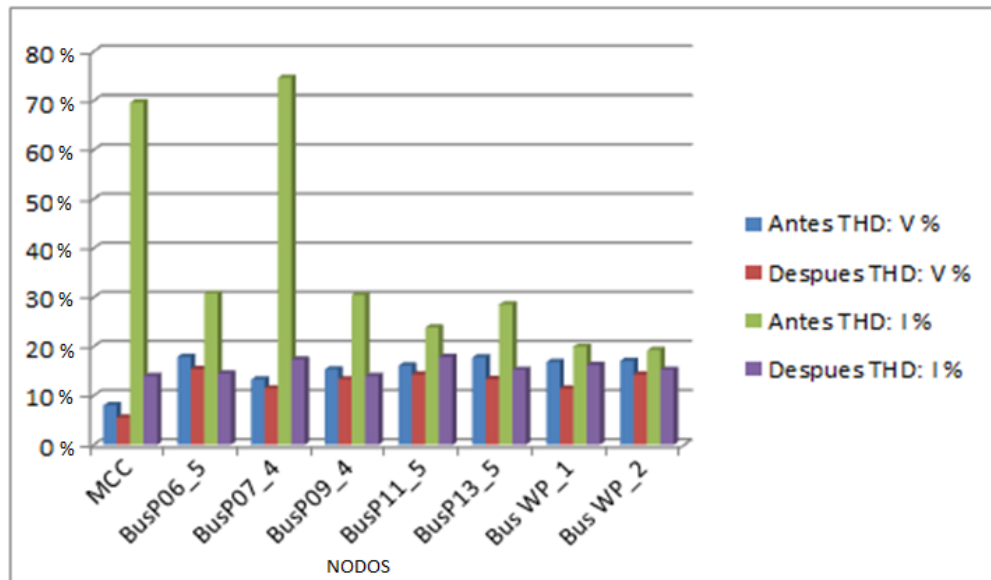
<b>h</b>	<b>THD Individual (%) MCC</b>						<b>THD Individual (%) BusP06_5</b>					
	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.2	6.2	6.6	6.4	6.8	6.1	6.0	6.7	6.8	6.4	6.8	6.7
7	4.0	4.1	4.0	6.0	6.9	6.3	4.6	4.6	4.5	6.3	7.0	6.5
<b>h</b>	<b>THD Individual (%) BusP07_4</b>						<b>THD Individual (%) BusP09_4</b>					
	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	7.1	7.2	7.5	6.9	7.0	6.5	6.3	6.7	6.3	7.4	7.8	7.2
7	7.0	6.8	7.0	6.5	6.6	6.2	6.5	6.1	6.1	6.2	6.2	6.8
<b>h</b>	<b>THD Individual (%) BusP11_5</b>						<b>THD Individual (%) BusP13_5</b>					
	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	5.6	5.4	5.3	7.5	7.1	7.0	6.7	6.3	6.4	7.1	7.6	7.4
7	5.2	5.3	5.7	7.0	7.3	7.4	7.1	5.7	5.3	5.1	5.3	5.3
<b>h</b>	<b>THD Individual (%) Bus WP_1</b>						<b>THD Individual (%) Bus WP_2</b>					
	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>	<b>Va</b>	<b>Vb</b>	<b>Vc</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>Ic</b>
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.7	6.4	6.9	7.0	7.3	6.9	6.6	6.8	6.6	7.4	7.6	7.6
7	5.7	5.4	5.3	5	5.2	5.8	6.2	6.3	6.4	8.8	6.7	6.0

**TABLA 17 Valores de THD para cada fase de los bus luego de haber incorporado los filtros.**

Barras	THD %					
	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic
MCC	5.3	5.4	6.0	15.4	15.3	14.0
BusP06_5	15.3	15.7	15.3	14.5	14.3	14.5
BusP07_4	11.3	11.5	11.8	17.4	17.5	17.4
BusP09_4	13.3	13.5	13.3	14.1	13.6	14.0
BusP11_5	14.6	14.2	14.3	17.3	17.3	17.9
BusP13_5	13.3	13.9	13.0	15.2	15.1	15.3
Bus WP_1	11.3	11.5	11.6	16.7	16.3	16.3
Bus WP_2	14.2	14.1	14.6	15.2	15.3	15.3

Por lo tanto en el grafico 53 se resumen los valores de porcentaje de armónicos antes y después de la incorporación de los filtros.

**GRAFICO 53 Porcentaje de Armónicos antes y después de la incorporación de los filtros.**

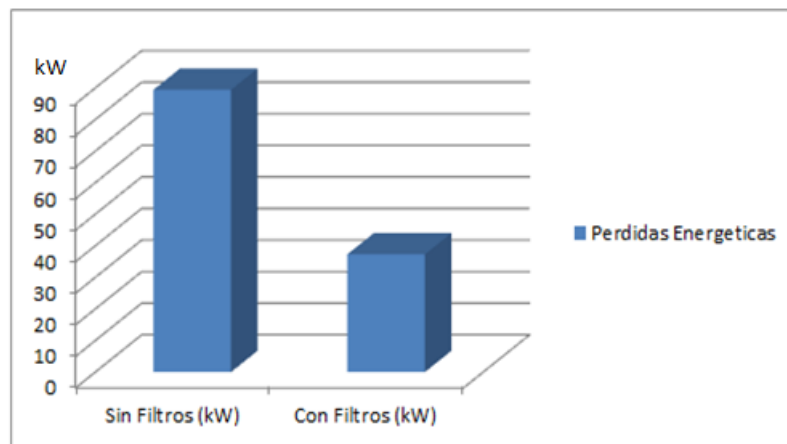


**PÉRDIDAS:** En la tabla 19, y gracias a la modelación del sistema en Etap se conoce las pérdidas totales antes y después de la incorporación de los filtros. (Anexo IX). Además se visualiza en el grafico 54 esta perdidas ya mencionadas.

**TABLA 18 Resultados de las Pérdidas Eléctricas Totales.**

Sin Filtros (kW)	Con Filtros (kW)
89.4	37.3

**GRAFICO 54 Resultados de las Pérdidas Eléctricas Totales**



## **CAPÍTULO V - PROPUESTA ALTERNATIVA A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

### **5.1 Título de la Propuesta.**

Programa para el mejoramiento de la eficiencia y la calidad en la generación distribuida del campo Petrolero Pindo.

### **5.2 Justificación.**

En este apartado incurriremos en los gastos de adquisición y montaje relacionan todos los costos en los que es necesario incurrir para la adquisición del equipamiento que se pretende instalar, los gastos de salario del personal encargado del montaje, ajuste y puesta en marcha, así como los gastos parciales para reparación y mantenimientos.

### **5.3 Objetivo.**

- Reducir las pérdidas y mejorar la calidad del suministro eléctrico en la generación.

### **5.4 Estructura de la propuesta.**

Se propone realizar un programa dirigido a la eficiencia y a la calidad de la energía:

1. Establecer un índice cantidad: en kW/h por: galones de combustible, por generación y por el sistema eléctrico.
2. Para un mayor control de la eficiencia de la producción de las áreas de mayor consumo se debe implementar medidores de consumo de energía que permita hacer el control del índice de consumo por producción.

3. Ajustar los niveles de voltaje en los transformadores mediante los Taps, para garantizar los niveles de tensión en el valor de 480V, logrando así el cumplimiento que establece la norma para los niveles de tensión.
4. Reducir los niveles de contaminación armónica a partir de la colocación de filtros sintonizados simples.

## 5.5 Evaluación Técnico Económico Ambiental.

### 5.5.1 Gastos de Adquisición.

El costo estimado de los filtros esta en 42265 dólares, desglosado según se muestra en la tabla 19.

**TABLA 19 Costos de adquisición y transporte de los filtros**

Descripción	Pot total (kVAr)								Costo \$
	MCC	Pin6	Pin7	Pin9	Pin11	Pin13	Pin14_1	Pin14_2	
Filtros de orden 5, 7	171	339	38	70	139	83	303	229	39072
Puesta a FOB									1188
Flete									1808.4
Seguro									196.68
Costo total de adquisición									42265.08

### 5.5.2 Gastos de Montaje (Materiales).

Los gastos relacionados con los materiales necesarios para el montaje se encuentran resumidos en la tabla 20.

**TABLA 20 Costos de los materiales para la instalación de los filtros.**

Descripción	Uni	Cant	Cost uni \$	Total \$
Cable de cobre con recubrimiento de PVC de 3x120+ 1x70	m	80	27	2160
Cinta aislante (Teype plástico)	u	10	0.87	8.70
Interruptor Magnetotérmico, 3 polos,250 A, 600V, tipo: NS250SX-MA220, fab MG.	u	4	935	3740
Terminales de cobre para cable de 70 mm <sup>2</sup> , con agujeros para tornillos M12, material cobre estañado.	u	12	0.44	5.28

Terminales de cobre para cable de 120 mm <sup>2</sup> , con agujeros para tornillos M12, material cobre estañado	u	36	0.93	33.48
Costo de los materiales				5947.46
Imprevistos (5%)				297.373
Costo total de los materiales				6244.833

### 5.5.3 Gastos en Salario.

Para evaluar los gastos relacionados con el montaje, ajuste y puesta en marcha, se estima un tiempo aproximado de 5 días, con la utilización de 5 trabajadores. La tabla 21 nos muestra el desglose de los trabajadores por categorías, así como el importe total de los gastos en salario, relacionados con el montaje de los filtros.

**TABLA 21 Costos de salario para montaje de los filtros**

Descripción	Cantidad	Costo Diario \$	Costo total \$
Técnico Superior	1	15.21	76.05
Técnico Medio	1	11.83	59.15
Electricista (Categoría B)	3	10.80	162.00
Comida	50	6.00	30.00
Costo de salario			327.20
Imprevistos (5%)			16.36
Costo total de salario			343.56

Adicional en la tabla 22 se toma en cuenta la compra de 2 relés de protección Multil de General Electric (estacionarios), que se los ubicara en las Barras del Swichgear y de MCC del centro de generación, que servirá para la toma de datos eléctricos como analizador de energía, la mano de obra en instalación y mantenimiento se lo hará con los trabajadores de la empresa por lo que no representa costo.

**TABLA 22 Compra de Relé Multilin GE.**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total \$</b>
Multilin GE	2	2500
Imprevistos (5%)		125
Costo total de salario		2625

El cálculo de la inversión total parcial queda determinado por la expresión 5.1.

$$C_{ad-mont} = C_{adt} + C_{salt} + C_{acc} + C_R \quad 5.1$$

Donde:

$C_{ad-mont}$  = Costo de adquisición y montaje

$C_{adt}$  = Costo total de adquisición

$C_{salt}$  = Costo total de salario

$C_{acc}$  = Costo total de los materiales o accesorios

$C_R$  = Costo de adquisición Relé

$$C_{ad-mont} = 42265.08 + 343.56 + 6244.833 + 2625$$

$$C_{ad-mont} = 48879.723 \text{ Dólares}$$

#### **5.5.4 Gastos por Reparación Parcial.**

Para garantizar el buen funcionamiento en la instalación de los bancos de condensadores es necesario realizar un mantenimiento preventivo, este mantenimiento debe ser planificado para un tiempo mínimo de funcionamiento de 6 meses. El mantenimiento estándar de una instalación de este tipo requiere el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Realizar las pruebas de nivel de aislamiento a tierra y de alta tensión, para los niveles de voltaje recomendados por el fabricante.
- Revisar que la corriente de aire no se vea restringida dentro del gabinete.
- Remover el polvo y la tierra acumulada, así como el exceso de óxido en la superficie de los conectores.

- Limpiar la envoltura del condensador y el casquillo de aislamiento.
- Limpiar el área de contacto de los fusibles y los conjuntos portadores.

El costo de mantenimiento ha sido evaluado por el costo de salario del personal que lo realizará, así como el de los materiales necesarios para su ejecución. El mantenimiento se planifica para 4 horas de duración.

Las tablas 23 y 24 muestran el resultado de estos costos para salario y materiales respectivamente.

**TABLA 23 Costos de salario para reparación parcial.**

Descripción	Cantidad	Costo Diario \$	Costo total \$
Técnico Superior, especialista en Mediciones Eléctricas.	1	15.21	7.60
Electricista (Categoría B)	1	10.80	5.40
Costo de salario			13.00
Imprevistos (5%)			0.65
Costo total de salario			13.65

**TABLA 24 Costo de materiales**

Descripción	Uni	Cant	Cost uni	Total
Costo de materiales	u	3	0.87	2.61
Limpiador de contactos (Spray)	u	2	3.24	6.48
Estopa	Kg	0.25	0.0097	0.0024
Costo de los materiales				9.09
Imprevistos (5%)				0.45
Costo total de los materiales				9.54

### 5.5.5 Inversión Total.

El costo general de la inversión para un año de explotación se determina a partir de la sumatoria de todos los gastos deducidos anteriormente, para ello se aplica la expresión 5.2.

$$Inv = C_{ad\ mont} + C_{sal\ mant} \quad 5.2$$

Donde:

$Inv$  = Inversión total

$C_{sal\ mant}$  = Costo total por concepto de salario y materiales para llevar a cabo el mantenimiento.

$$Inv = 48879.723 + 23.19$$

$$Inv = 48902.913 \text{ Dólares.}$$

### 5.5.6 Ahorro en Pérdidas Eléctricas.

A partir del filtrado de armónicos se produce una considerable disminución de las pérdidas eléctricas, para poder realizar este cálculo es necesario tener en cuenta la tarifa eléctrica de la empresa que está en 0,12\$/kWh, este valor será tomado como referencia para el cálculo de las pérdidas eléctricas, según se muestra en la tabla 25.

**TABLA 25 Ahorro en pérdidas eléctricas.**

Instalación	Pérdidas Totales (kW)	Energía Pérdida (kWh/año)	Tarifa (\$/kWh)	Dólares
Sin Filtros	89.4	783144	0.12	93977.28
Con Filtros	37.3	326748	0.12	39209.76
Ahorro anual				54767.52

### 5.5.7 Ahorro en la Producción.

Para la determinación del ahorro relacionado con las afectaciones al proceso productivo se tienen los siguientes datos: Por paros eléctricos se contabilizo en el un año un total de 65 horas, de la cuales el 5% asumiremos fue por armónicos ósea 3.25 horas, el costo actual del barril de petróleo está en 72.52\$. Adicional se

conoce que se produce un aproximado de 6400Bls de crudo en un día. Por lo tanto:

$$T_p = p * t \quad 5.3$$

Donde:

$T_p$  = Barriles perdidos.

$P$  = Productividad promedio.

$t$  = Tiempo de afectación

$$T_p = \frac{6400Bls}{24h} 3.25h = 866,66Bls$$

$$C_{MS} = C_T * T_p \quad 5.4$$

Donde:

$C_{MS}$  = Costo del crudo no procesado.

$C_T$  = Costo de un barril de crudo no procesado

$$C_{MS} = 72.52 * 866.66 = 62850.66 \text{ Dólares}$$

Ahorro total de energía y producción:

$$AT_{EP} = A_E + A_p \quad 5.5$$

Donde:

$AT_{EP}$  = Ahorro total de energía y producción.

$A_E$  = Ahorro de Energía.

$A_p$  = Ahorro en la producción.

$$AT_{EP} = 54767.52 + 62850.66 = 117618.186 \text{ Dólares}$$

### 5.5.8 Tiempo de Recuperación de la Inversión.

El tiempo de recuperación de la inversión está dado por la relación entre la inversión y el ahorro.

$$T = \frac{\text{inversion}}{\text{ahorro}} = \frac{48902.913}{117618.186} = 0.416 \text{ Años}$$

### 5.5.9 Valor Actual Neto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad 5.6$$

Donde:

$V_t$  = Flujo de carga en cada periodo t.

$I_0$  = Valor del desembolso inicial.

$n$  = Número de periodos considerados.

$k$  = Interés.

Para el cálculo se toara los siguientes datos, en el peor de los escenarios tomando en cuenta solo el Ahorro de Energía y no el Ahorro en la producción:

$A_E = 54767.52$  Dólares.

$I_0 = 48902.913$  Dólares.( Inversión)

$n = 2$  años.

Tiempo de vida del equipo = 15 años.

$k = 15\%$

$$VAN = \frac{54767.52}{1 + 0.15} + \frac{54767.52}{(1 + 0.15)^2} - 48902.913$$

$$VAN = 40211.53$$

### 5.5.10 Técnico Económico.

- Se establece técnicas asociadas a los sistemas de gestión eficiente de la energía como es el manejo de indicadores, que permitirán hacer uso más eficiente de la energía y establecer un sistema de monitoreo y control a través

del empleo de medidores locales en las áreas de mayor nivel de consumo de la energía.

- El cumplimiento de las normas de calidad asociadas a la contaminación armónica representa un ahorro de energía de 78.03 dólares al año.
- Esta medida constituye un costo asociado a la colocación de los filtros en 48876.6632 dólares.
- Hay que considerar la solución de este problema de calidad, debido a lo que puede representar en afectaciones a la producción y deterioro del equipamiento, y fiabilidad del sistema.

#### **5.5.11 Análisis Ambiental.**

Por concepto de mejoramiento de la eficiencia, se reduce las pérdidas de energía en 1250.4kWh, y esto representa una disminución de toneladas de emisiones a la atmosfera de 291.3432KgCO<sub>2</sub>. El valor base es de 0,233 KgCO<sub>2</sub>/kWh\_eléctrico y está tomado de la tabla del Observatorio de la Electricidad de WWF del año 2009.

## CONCLUSIONES:

- En la revisión bibliográfica se puede establecer los aspectos más importantes que deben ser evaluados para determinar la calidad y la eficiencia el sistema de generación así como las normas nacionales e internacionales que establecen los requerimientos para los sistemas de generación. En los estudios anteriores se pudo establecer cuales son las tendencias actuales asociadas a las vías existentes para el mejoramiento de la calidad de energía, en presencia de contaminación armónica como es el caso de la de la colocación de filtro.
- El diagnóstico realizado permitió establecer los índices aceptables, 0.07 gal de diésel por kW/h para los GE a diésel, 10.52 miles de pies cúbicos por kW/h para los GE a Gas. Las tendencias de consumo de energía vs combustible a partir de las herramientas sugeridas en la tecnología de gestión total y eficiente de la energía establecieron los modelos para evaluar el pronóstico de consumo en función de los niveles de producción.
- El empleo de las mediciones y la simulación con el software Etap 6. permitió establecer el nivel de afectación de la contaminación armónica, donde los armónicos 5 y 7 son los de mayor incidencia, estando los mismos asociados a las cargas no lineales acopladas a las bombas en los pozos de extracción. Los niveles de pérdidas anuales existentes en el sistema tienen un valor de 783,114 MW/año.
- La implementación del programa permite facilitar y mejorar el sistema de monitoreo y control a partir de los medidores de energía, reducir los costos asociados a la pérdida de energía en 456,4 MWh/ año, que representa una reducción en el consumo de energía de 58.28%. La solución a estos problemas de calidad también repercuten en la producción al disminuirse las horas de parada que origina los disparos actuales de las protecciones.
- La inversión tiene un valor total de 48902.913 dólares, y el tiempo de recuperación del programa es de 0.416 Años, este tiempo resulta muy corto debido al aporte económico que tiene el poder reducir las horas de parada en la producción que están asociadas con los problemas armonios de la red.

## **RECOMENDACIONES:**

- Realizar un estudio para definir los índices en función de los niveles de producción de crudo, con vista a mejorar la gestión energética, pues estos indicadores de producción permiten realizar una evaluación más objetiva de la eficiencia energética del proceso productivo.
- Implementar un sistema escada para el seguimiento de los índices de consumo, y que además apoyen al mantenimiento, monitoreo, control y seguimiento on line de los índices de eficiencia del sistema de generación.
- Realizar estudios similares a este en otros campos de iguales características de generación distribuida con presencia de cargas no lineales predominantes, para determinar las reservas de energía y mejorara la calidad de energía de los sistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, A. (2005). Calidad de potencia eléctrica en redes de distribución. (Edi 1) Venezuela.

Alexander, Charles K. y Sadiku, Matthew N. O. (2001). Fundamentos de Circuitos Eléctricos. Fundamentals of Electric Circuits. McGraw-Hill. USA.

Alves B, Roberto. (2009) Tema V: Perturbaciones y armónicos en redes eléctricas de Potencia, Curso: Potencia Calidad del Servicio Eléctrico. Departamento De Conversión y Transporte de Energía. Universidad Simón Bolívar.

Alves B, Roberto. (2009) Tema VIII: Reducción de armónicos y mitigación de perturbaciones, Curso: Potencia Calidad del Servicio Eléctrico. Departamento De Conversión y Transporte de Energía. Universidad Simón Bolívar.

Arrillaga, Jos y Watson, Neville R. (2003). Armónicos en Sistemas de Potencia. Power Systems Harmonics, 2ª Ed. John Wiley and Sons, Ltd. Inglaterra.

Bingham, Richard P. (1999, junio). Hay oro en esas formas de onda. There's Gold in Those Waveforms. Electrical Contractor Magazine. Recuperado el 07 de julio de 2008. Disponible en línea: <http://www.ecmag.com>.

Bollen Math, H. J. (1999). Entendiendo los problemas de calidad de la potencia: Depresiones del voltaje e interrupciones. Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions. Wiley Interscience. USA.

Borroto Nordelo, A. Monteagudo Yanes, J. (2006). Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios. Colectivo de autores. Cienfuegos, Cuba. Editorial Universidad de Cienfuegos.

Calderón Guizar, J. (2010). Estudios de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos industriales con generación propia interconectados con el sistema de

transmisión. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica, vol. XI (núm. 4), p. 1-8.

Cobas Pereira, Manuel F. (s/f). La calidad del suministro de la energía eléctrica. Presentación para Power Point. Facultad de Energía Eléctrica ISPJAE.

Cobos Castro, A. (2011). Herramienta para mejorar la gestión energética en los grupos electrógenos de tecnología Hyundai instalados en cuba. Tesis presentada en opción al título de Máster en Eficiencia Energética, Instituto Superior Minero-Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, Moa.

CONELEC-004/01 Calidad del Servicio Eléctrico De Distribución Ecuatoriano  
Fuchs, Ewald F. y Masoum, Mohammad A. S. (2008). Calidad de la potencia en Sistemas de Potencia y en máquinas Eléctricas. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. Elsevier. USA.

Grady, Mack. (2005, junio). Entendiendo las armónicas de potencia. Understanding Power Harmonics. Notas para curso. Universidad de Texas en Austin. Texas, USA.

Escalona Pupo, O. (2008). Análisis de Armónicos en la Empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias Técnicas, Tesis Presentada en Opción al Título de master en Ciencias Técnicas, Moa.

Hazel, T. (2011). Producción de energía eléctrica integrada en emplazamientos industriales y edificios comerciales. Cuaderno Técnico Schneider, n° 196 / p. 2, pag 1-28.

Hernández Ramírez, G. Montero Laurencio, R. (2011). Diagnóstico y Auditoria Energética. (Edi 1) Moa, Cuba.

IEEE1159-2009 Recomendaciones Prácticas para el Monitoreo de la Calidad de Energía Eléctrica

IEEE141-1993 Recomendaciones Prácticas para el Distribución de energía eléctrica de las plantas industriales.

IEEE1459-2010 Definiciones estándar para la Medición de Energía Eléctrica en condiciones sinusoidal no sinusoidales, equilibrado, o desequilibrado.

IEEE1531-2003 Guía para la Aplicación y Especificación de los filtros de armónicos.

IEEE242-1986 Recomendaciones Prácticas para el Protección y de la Coordinación de Industrial y sistemas comerciales de energía.

IEEE519-1992 Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia.

ISO 8528-1:1993 (E). Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets part 1: application, ratings and performance.

Marrero, S. González, I. Legrá, Arístides A. (2007). Análisis de la compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados con armónicos. Trabajos Teórico Experimentales, Vol. XXVIII (No.2), p. 1-7.

Ramírez Castaño, S. Cano Plata, E. (2003). Calidad del servicio de energía eléctrica. (Edi 1) Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez Cortés, M. (2009). Calidad de la Energía Eléctrica. (Edi 1) Puebla, México: Instituto Tecnológico de Puebla.

Valencia Gallón, H. (2011) Mantenimiento y operación generadores eléctricos.

Setisa SA de CV (2013), Servicios Técnicos de Ingeniería SA de CV. El Salvador.  
Recuperado en:

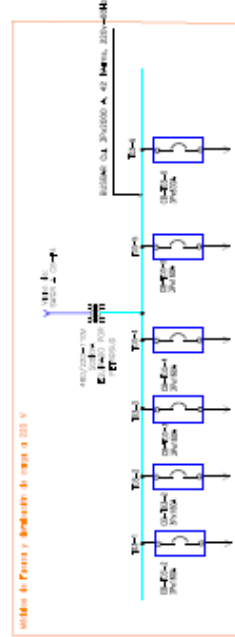
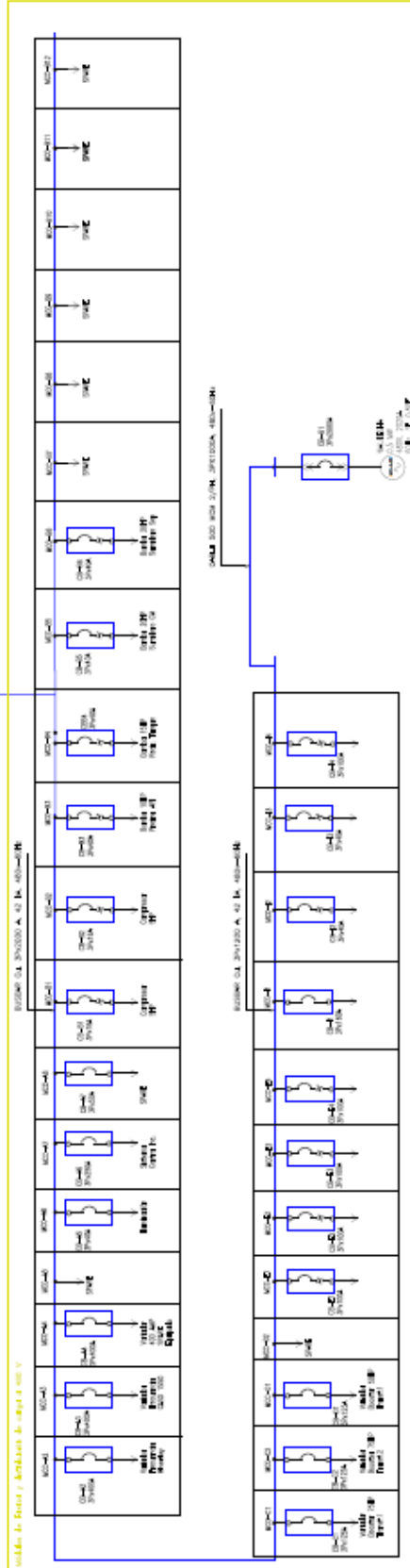
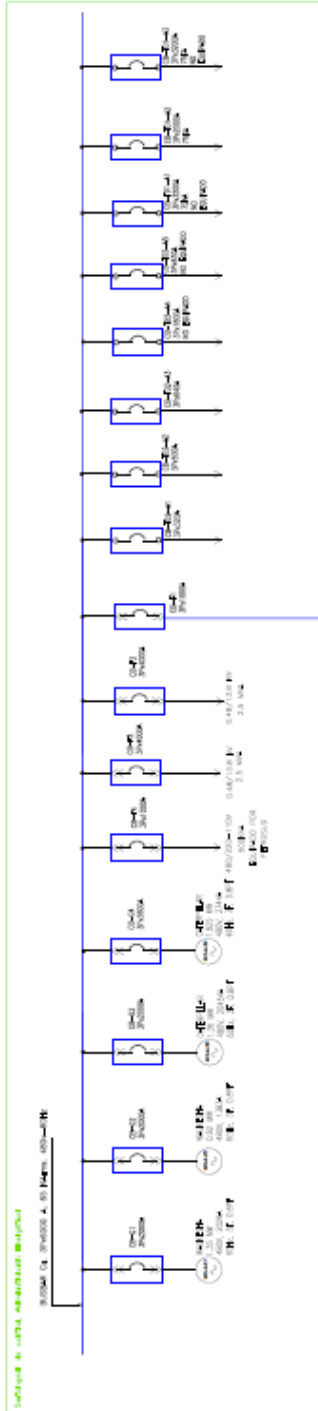
<http://www.setisa.com.sv/ecoenergia/subdivision-electrica/software-etap.html>

Fluke (2013), Fluke 430 serie II Analizadores de energía y calidad de potencia trifásica, Datos Tecnicos. Recuperado en:

[http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/4124644\\_6112\\_SPA\\_C\\_W.PDF](http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/4124644_6112_SPA_C_W.PDF)

## **ANEXOS**

# ANEXO I



ANEXO II

TRANSFORMADORES												
UBICACIÓN	APLICACIÓN	MARCA	MODELO	SERIE	POTENCIA KVA	TIPO	VOLTAJE (V) PRIMAR/SECUR.	CORRIENTE (AMP) PRIM/SECUR.	TIPO AISLA.	DATE	(IMPEDA NCIA)Z	VOL OIL
<b>ESTACION PINDO</b>												
ESTACION PINDO	SUB ESTACION	ABB	N/R	157220	2500	ONAN	480.0	3007.03/104.59	OIL MINERAL NON PCB	2002	5.6%	1129 Lb.
	SUB ESTACION	ABB	N/R	157226	2500	ONAN	480.0	3007.03/104.59	OIL MINERAL NON PCB	2002	5.6%	1129 Lb.
	CAMPAMENTO 1	EQUATRAN	ET50019F	498002	500	OA 3PH	480/210-120	601.4/1374.7	OIL MINERAL	2002	3.94%	N/A
	CAMPAMENTO 2	MELIMO	N/R	10 32 1278	150	3F	480/220-127	181/393	SECO		3.50%	
<b>POZOS DE PINDO</b>												
POZO PIN-01	INEA MEDIA TENSION	MAGNETRON	JARDIN RADIAL	76408	500	ONAN 3PH	13.8/480	21/601	OIL MINERAL NON PCB	2001		
	BOM. ESP. CENT.	SOUTHWEST ELECTRIC	VARIABLE FREQUENCY	3336058	520	CLASS OA 3PH	480/381H-100	625/78-273	OIL MINERAL NON PCB	2000	4.9%	300 lb
POZO PIN-05	INEA MEDIA TENSION	MAGNETRON	N/R	101196	300	ONAN	13.8KV/480V	12.6/361	OIL MINERAL NON PCB		3.6%	
POZO PIN-06	INEA MEDIA TENSION	MORETRAN	JARDIN RADIAL	103229	800	OA 3PH	13.8/480	33.47/962.5	OIL MINERAL NON PCB	2011	5.7%	N/R
	BOM. ESP. CENT.	ARTRANS	VARIABLE FREQUENCY	5293	520	ONAN 3PH	480/1100-3800	N/R	OIL MINERAL NON PCB			
POZO PIN-07	INEA MEDIA TENSION	MAGNETRON	JARDIN RADIAL	106088	800	ONAN 3PH	13.8/480	33.47/962.5	OIL MINERAL NON PCB	2011	5.7%	
	BOM. ESP. CENT.	EQUATRAN	VARIABLE FREQUENCY	0872509	600	CLASS OA 3PH	480/432B-101V	N/R	OIL MINERAL NON PCB	2008		N/A
POZO PIN-09	INEA MEDIA TENSION	MORETRAN	JARDIN RADIAL	109397	500	OA 3PH	13.8KV/480V	20.92/601.41	OIL MINERAL NON PCB	2011	3.77%	N/R
	BOM. ESP. CENT.	SOUTHWEST ELECTRIC	VARIABLE FREQUENCY	8336035	400	CLASS OA 3PH	480/1100-3811	N/R	OIL MINERAL NON PCB	2000	3.78%	255 lb
POZO PIN-11	INEA MEDIA TENSION	MAGNETRON	JARDIN RADIAL	105471	500	ONAN 3PH	13.8KV/480	21/601	OIL MINERAL NON PCB	2005	4.60%	N/R
	BOM. ESP. CENT.	ARTRANS	VARIABLE FREQUENCY	5369	520	ONAN 3PH	480/1100-3800	N/R	OIL MINERAL NON PCB	2001		810 lb
POZO PIN-12	INEA MEDIA TENSION	MORETRAN	JARDIN RADIAL	103022	1600	OA 3PH	13.8 KV/480 V	66.34/1924.50	OIL MINERAL NON PCB	2011	5.92%	N/R
	HPS #01	RVR/CENTRILIFT	SHIFT TRANSFORMER	10121001-1	750		480V/437V	902/435.6	OIL MINERAL NON PCB	2010	5.00%	115 lb
	HPS #02	RVR/CENTRILIFT	SHIFT TRANSFORMER	10121001-2	750		480V/437V	902/435.6	OIL MINERAL NON PCB	2010	5.00%	115 lb
POZO PIN-13	INEA MEDIA TENSION	MAGNETRON	JARDIN RADIAL	101199	400	ONAN 3PH	13.8 KV/480 V	17/481	OIL MINERAL NON PCB	2004	4.0%	N/R
	BOM. ESP. CENT.	ARTRANS	VARIABLE FREQUENCY	5395	520	ONAN 3PH	480/1100-3800	N/R	OIL MINERAL	2005		810 lb
	INEA MEDIA TENSION	MAGNETRON	JARDIN RADIAL	76410	1600	ONAN 3PH	13.8KV/480	61/1825	OIL MINERAL	2001	6%	988 lb
	INEA MEDIA TENSION	MORETRAN	JARDIN RADIAL	109021	1200	OA 3PH	13.8KV/480	50.20/1443.38	OIL MINERAL NON PCB	2011	5.9%	N/R
	BOM. ESP. PIN-14	BAKER HUGHES	VARIABLE FREQUENCY	0H032686	1000	CLASS OA 3PH	480/4666-2306	1202/124-250	OIL MINERAL NON PCB	2009	5.06%	
	BOM. ESP. PIN-15	BAKER HUGHES	VARIABLE FREQUENCY	0A07158	520	CLASS OA 3PH	480/1900-3800	625/79-158	OIL MINERAL NON PCB	2007	4.27%	128 g/c
	BOM. ESP. PIN-16	RVR/CENTRILIFT	VARIABLE FREQUENCY	12051860	650	CLASS OA 3PH	480/1100-3810	782/1341-98.7	OIL MINERAL NON PCB	2012	4.6%	132 g/c
	BOM. ESP. PIN-17	BAKER HUGHES	VARIABLE FREQUENCY	E05400	520	CLASS OA 3PH	480/2134-1097	625/137-274	OIL MINERAL NON PCB	2005	4.50%	128 g/c
	BOM. ESP. PIN-19	RVR/CENTRILIFT	VARIABLE FREQUENCY	11031219-6	400	CLASS OA 3PH	480/1100-3810	481/210-121.61	OIL MINERAL NON PCB	2011	4.6%	155 g/c
	BOM. ESP. PIN-20	MAGNETRON	VARIABLE FREQUENCY	282561	520	ONAN 3PH	480/1100-3800	625.46/273-79	OIL MINERAL NON PCB	2013	3.72%	N/R
	BOM. ESP. PIN-21H	RVR/CENTRILIFT	VARIABLE FREQUENCY	11081195-3	400	CLASS OA 3PH	480/1100-3810	481/210-121.61	OIL MINERAL NON PCB	2011	4.6%	155 g/c

ANEXO III

REPORTE DIARIO PLANTA DE GENERACIÓN " PINDO "

FECHA: SEPTIEMBRE - 13 - 2012

GENERACION - COMBUSTIBLES

CORTE A LAS 04:00

EQUIPOS DE GENERACION	ENERGIA PROMEDIO		COMBUSTIBLE		RELACION		HORAS O & M					
	ACTIVA (KW)	REACT. (KW)	PROM. (KW)	PROM. (LITROS)	GASELS	DIESEL	KW / SCF	KW / GALS	H. OPER.	H. STBY	HMP	HMC
WAUK -1	22020	12110	918	1283	224709		0.10		8477	24	0	0
WAUK -2	19150	10850	798	1116	195421		0.10		4742	24	0	0
CAT -351	18960	9950	790	1105	1200			15.50	4414	24	0	0
CAT -351B	0	0	0	0	0			\$/DIPLO	14013	0	0	24
CAT-3412	4702	196	196	274	654			7.19	Costo diesel-			3.15
CAT-3412(Pin-B)	4324	180	180	252	304			14.22	Costo kw			0.1254
O-32(Pin-12)	8408	380	380	490	709			11.86				
O-32(Pin-16)	9060	378	378	528	582			15.57				
<b>TOTAL</b>	<b>86625</b>	<b>32910</b>	<b>3609</b>	<b>5048</b>	<b>420130</b>	<b>3449</b>						

CONSUMOS: PRODUCCION - TRANSFERENCIA DE CRUDO															
	PINDO-1	PINDO-6	PINDO-7	PINDO-9	PINDO-11	PINDO-13	PINDO-14	PINDO-15	PINDO-16	PINDO-17	PIN-21 (U)	PIN-21 (L)	PIN-ESTER	RAMSF.	CRUDO
Hz	58	52.5	57	49	58.3	58.5	65.5	57.8	60	60.5	46.5	45	56	56	56
Amp	255	490	545	205	350	262	571	420	531	245	0	175	252	100	100
Vel. Més	263	502	555	212	350	309	550	405	618	251	102	184	277	248	248

4401

CONSUMOS: BOOSTER - INYECTORES - AUX. WAUK. - CAMPAMENTO												
REINTECCION AGUA												
	PINDO-12	PINDO-2	W0821H	W0821H	BOOST-PIND-1	BOOST-PIND-1	MP2-1	MP2-2	BOOST-PIND-12	BOOST-PIND-12	Aux. Wauk.	CAMP.
Hz	49	56	50	50			53	53	53	53	60	60
Amp	495	225	225	225			45	45	45	45	120	60
Vel. Més	612	580	580	580			38	38	38	38	248	248

945

5346

AMP.

Operadores:

ACTIVIDADES:

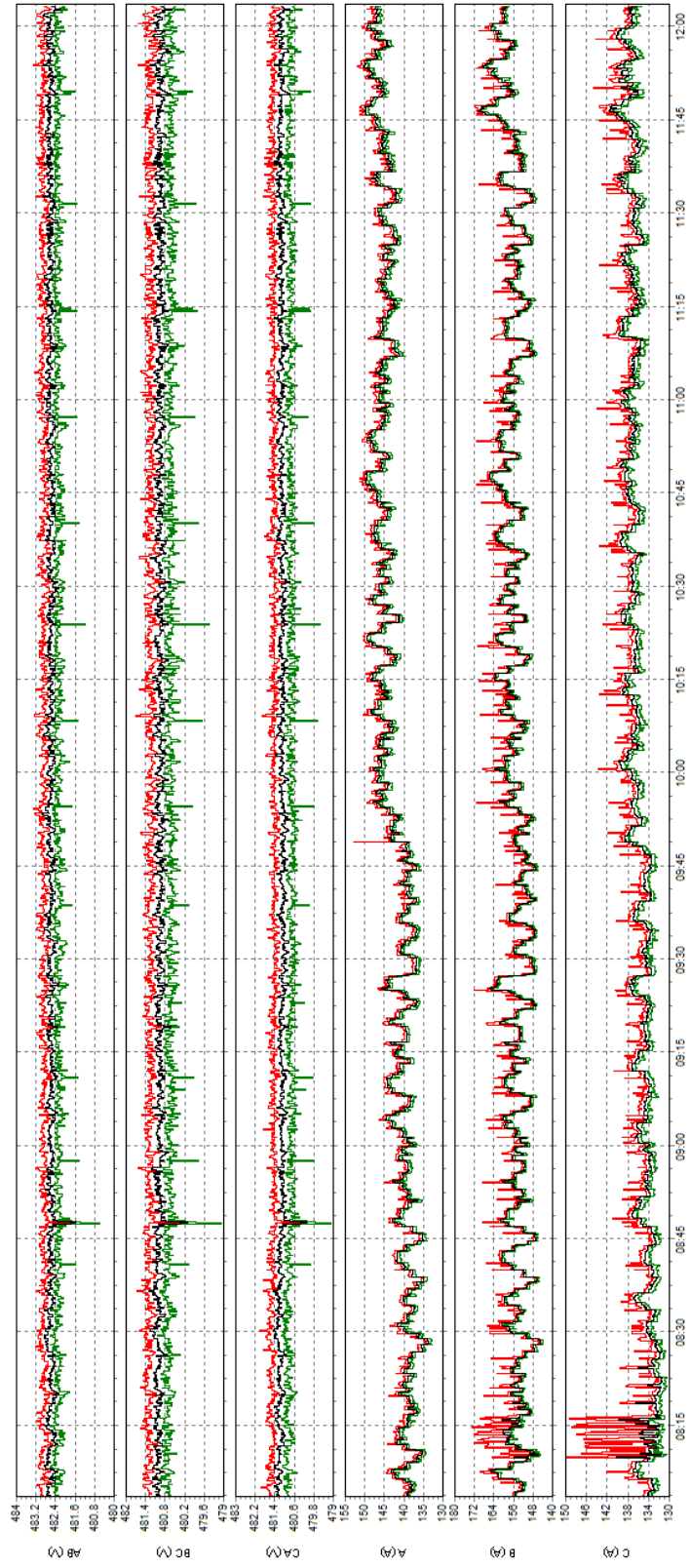
## ANEXO IV

### Tabulación del consumo de Combustibles

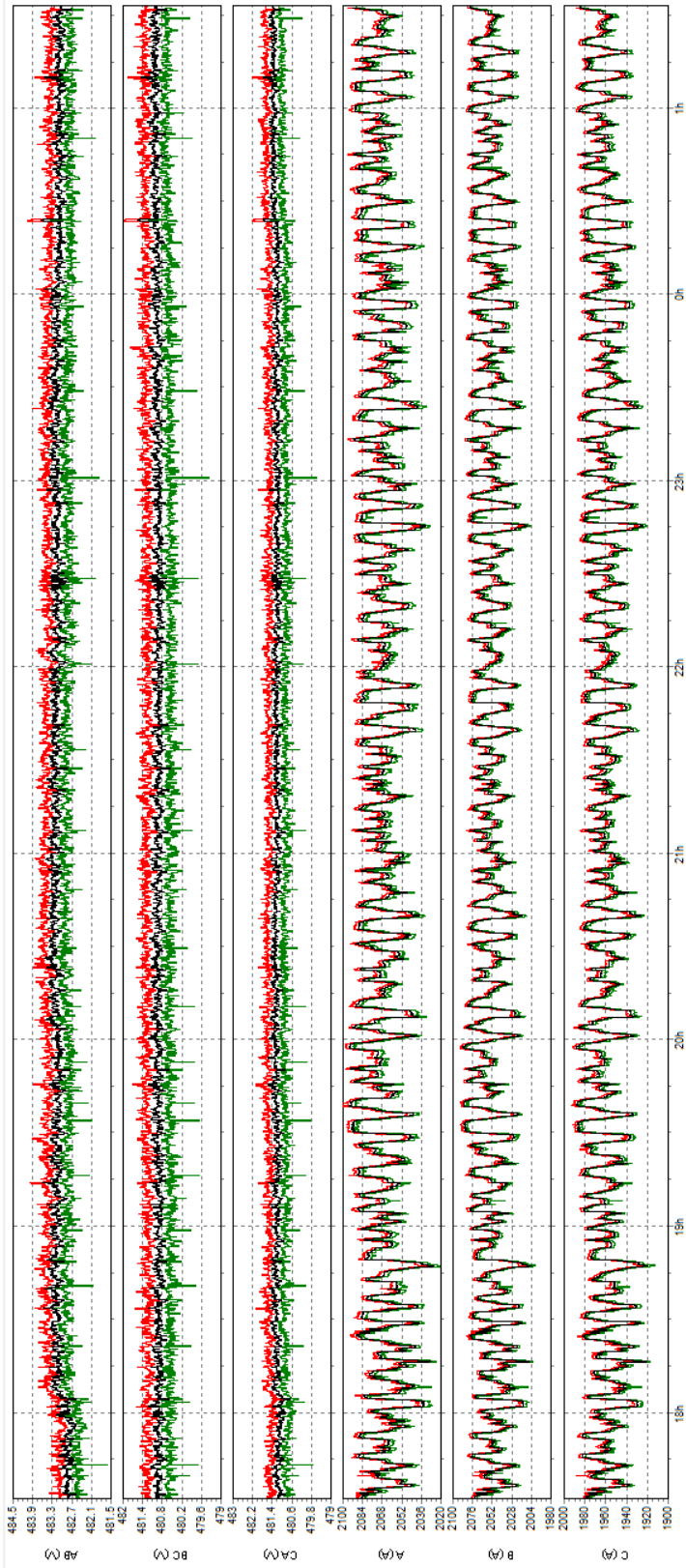
MESES/AÑO	Consumo Mensual de Gas - Generación						Consumo Mensual de Diésel - Generación			
	Waukesha 7100		Waukesha 5904		Waukesha 3600		Caterpillar 3512		Caterpillar 3516	
	Gas	KWh	Gas	KWh	Gas	KWh	Diésel	KWh	Diésel	KWh
Jan-12	7226715	698220	3156630	302290	-	-	21953	341410	65358	652540
Feb-12	7012963	655900	4294725	398890	-	-	22109	338400	52393	577720
Mar-12	6825651	644590	6145239	580560	-	-	7328	110740	48683	658020
Apr-13	6994083	668580	6178727	590720	-	-	1150	16580	55310	734220
May-12	6530770	655250	4539265	453780	-	-	17425	272230	51305	618940
Jun-12	6728442	679660	5739259	580270	-	-	4962	74950	58810	706850
Jul-12	7169898	698380	357512	35250	-	-	37584	584830	41893	570460
Aug-12	6891844	696110	3470248	356790	-	-	19785	310580	51808	680230
Sep-12	6901157	668080	5889598	569860	-	-	24013	373800	19389	256840
Oct-12	6573899	669710	5798419	591290	-	-	31464	492330	10325	138300
Nov-12	7257383	663010	6267853	572700	2042163	182400	1994	28680	61775	791770
Dic 2012	7821142	683120	6788588	592830	2474369	215770	2362	31420	66072	833890
Jan-13	6870327	639670	6187172	577970	722236	59940	11686	173460	60986	747840
Feb-13	1985070	187870	5682916	534660	2456786	229020	20366	330610	54625	606940
Mar-13	5157717	488400	6326738	599050	3107743	294280	5262	76360	60601	662080
Apr 1013	6438738	583790	2758667	251560	2854151	258640	29628	459490	49322	556450
May-13	6789092	623170	6415685	588720	2520254	228180	6350	97020	43342	552910
Jun-13	6809347	612890	6392962	574960	1348852	115090	2774	40490	51001	624870
Jul-13	7633274	624750	7346018	601700	3198224	260240	3373	50900	63573	777910
Aug-13	7425866	561650	7645941	589280	3098769	235350	11986	180920	65601	780300
Sep-13	7168217	617280	5969689	513010	1229928	99910	21977	326620	58709	746780
Oct-13	7802542	625000	7536132	603540	2652242	210770	27317	394860	42154	506150

# ANEXO V

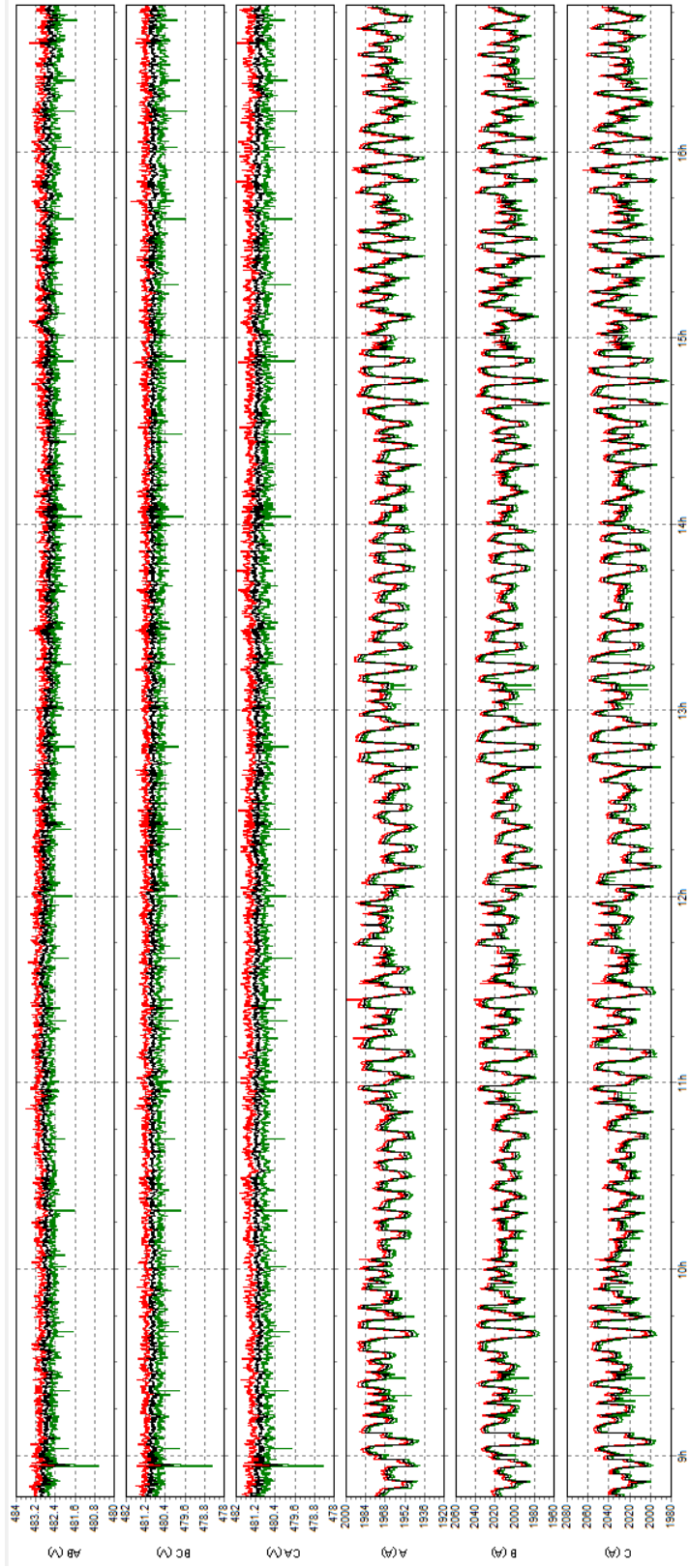
## Voltaje y Corriente Feeder 01



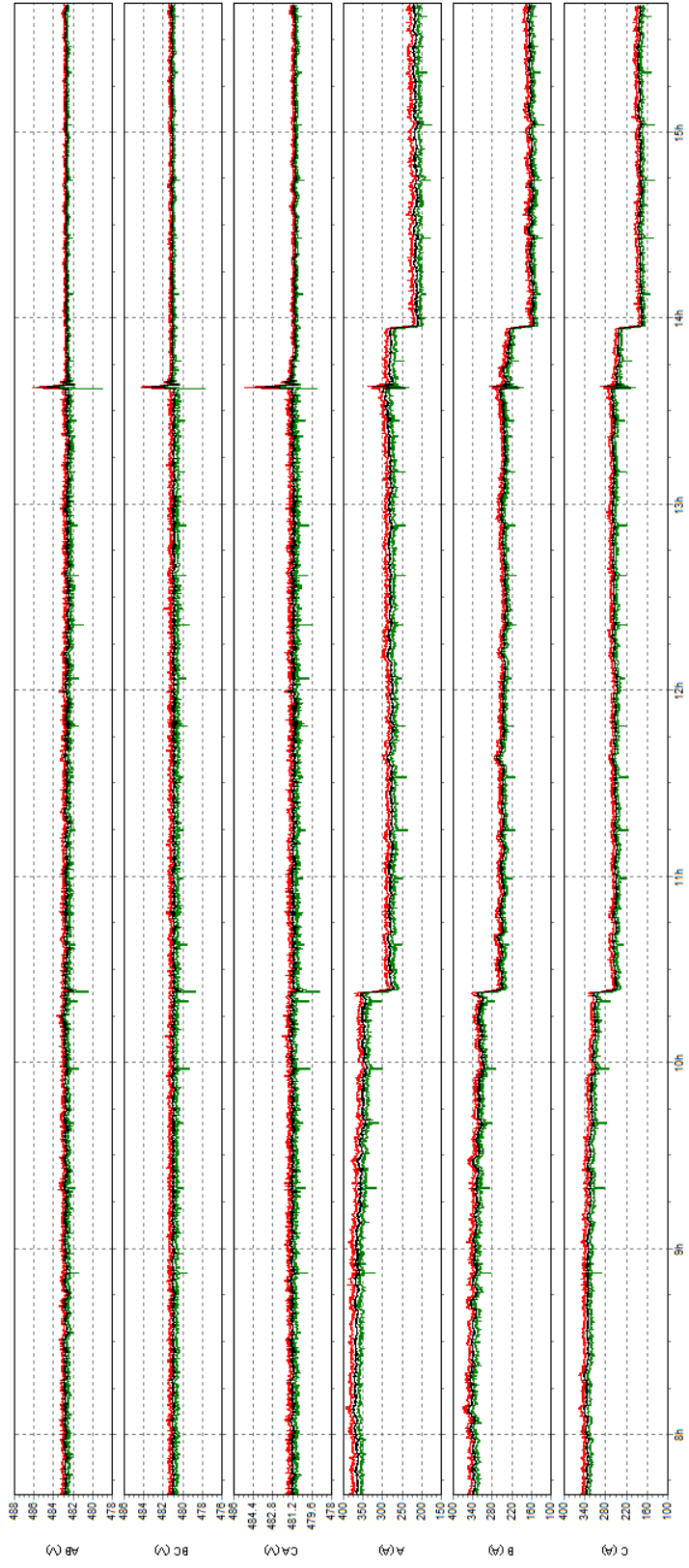
# Voltaje y Corriente Feeder 02



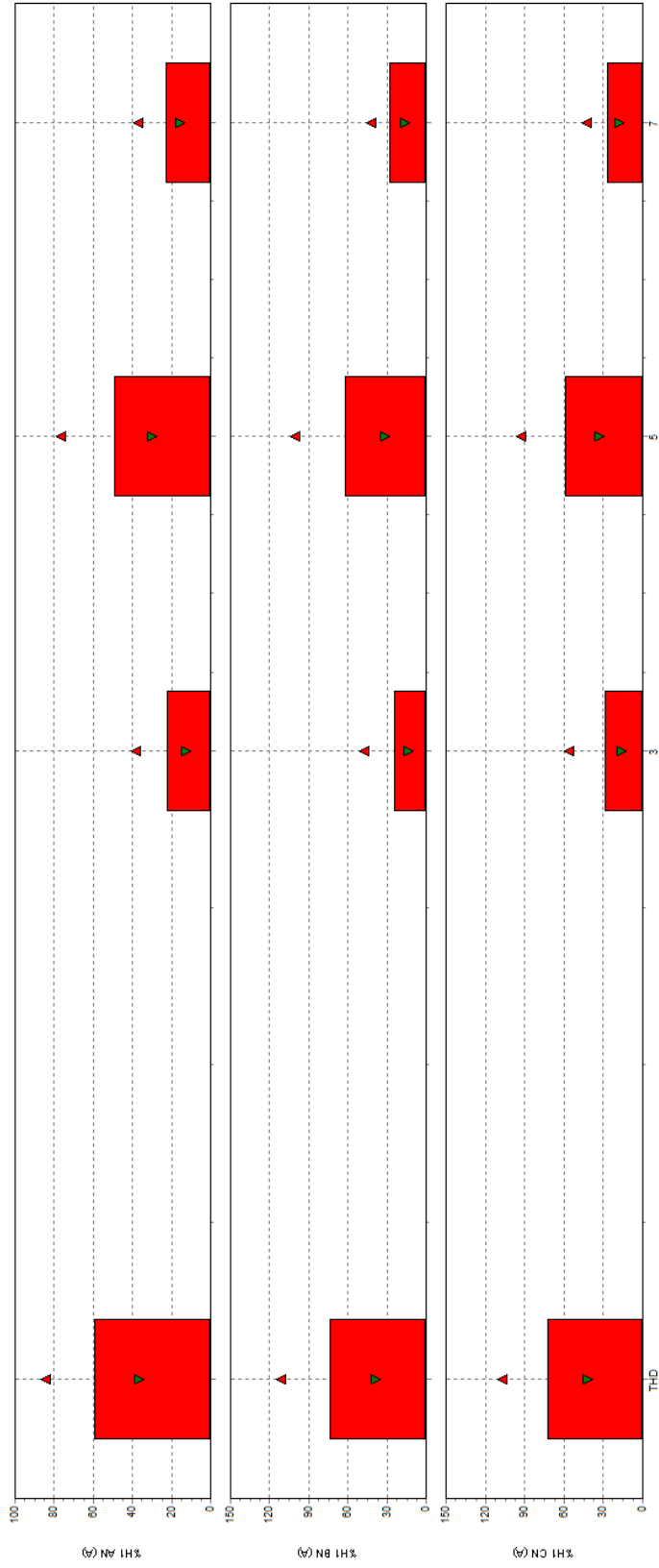
# Voltaje y Corriente Feeder 03



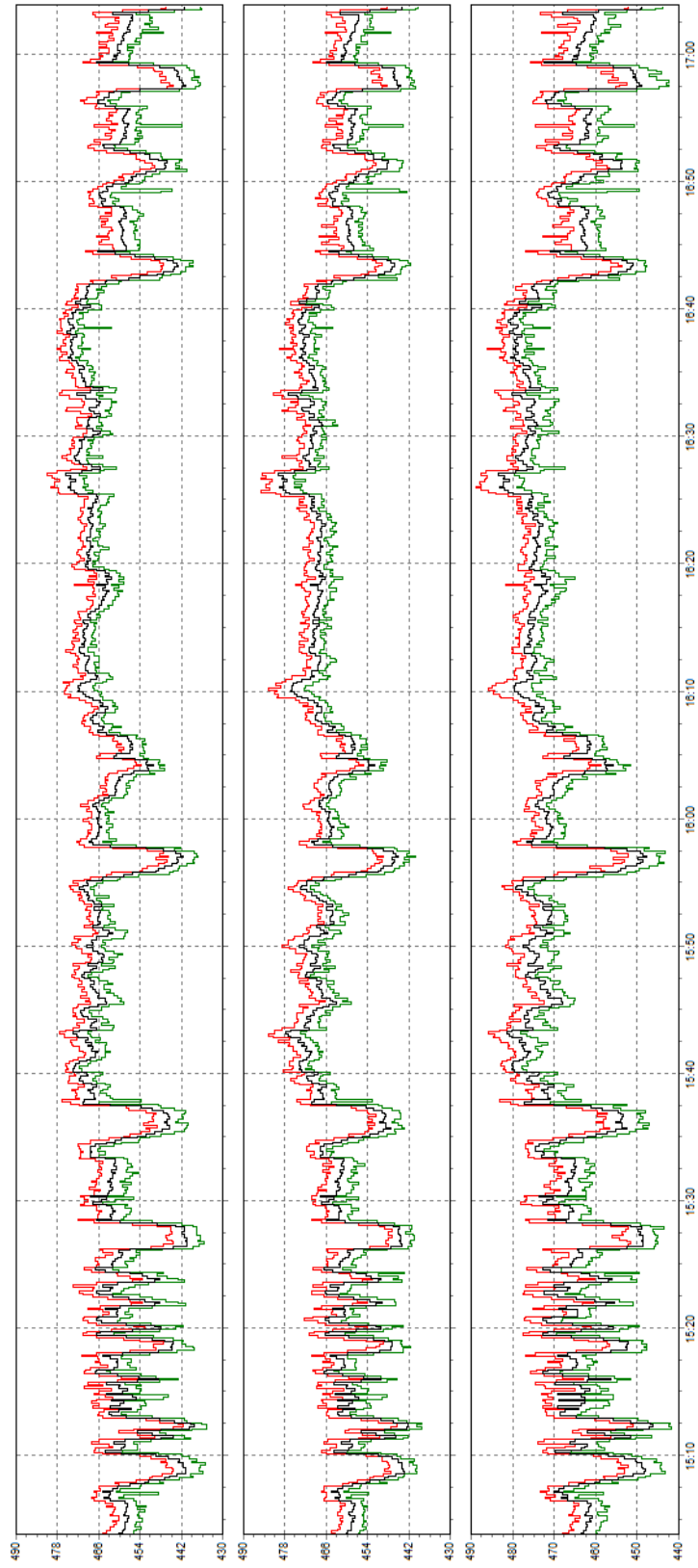
# Voltaje y Corriente Feeder 04



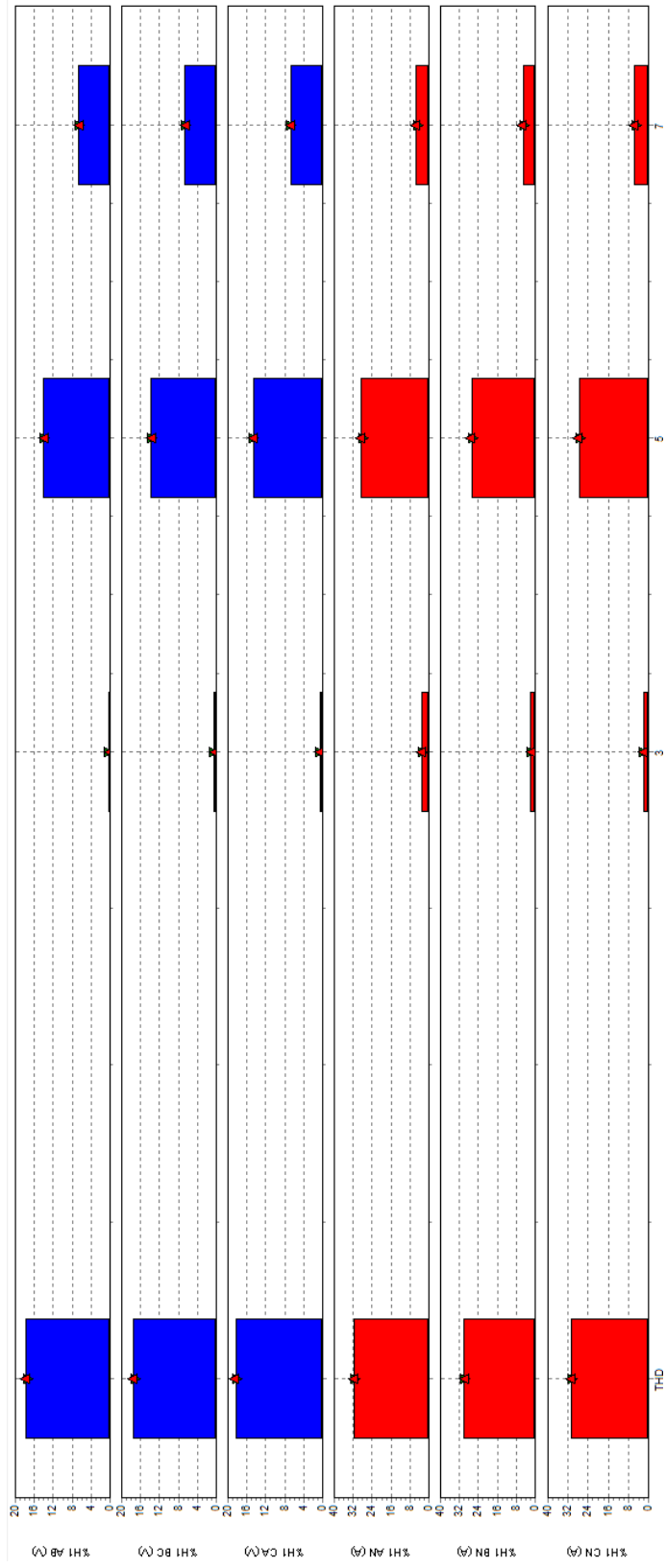
# Armónicos Feeder 04 MCC



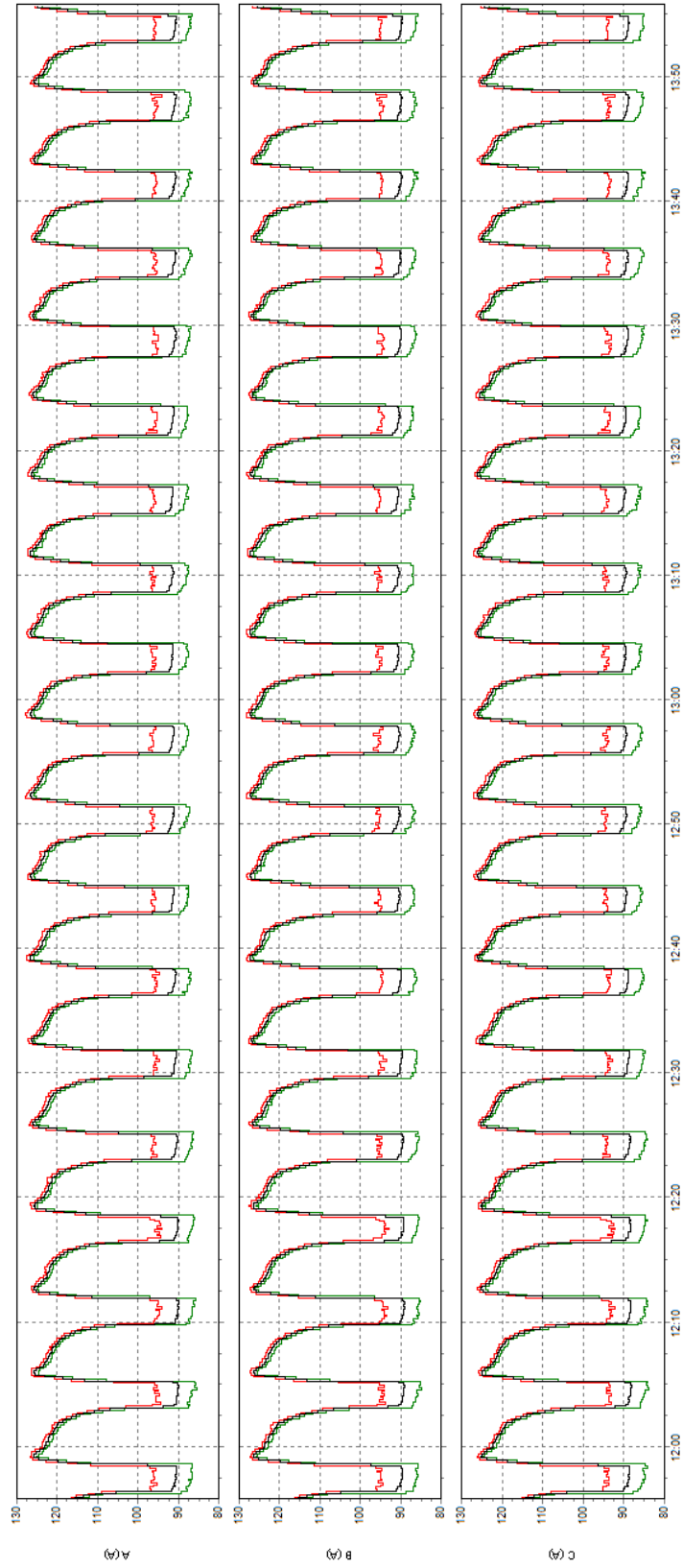
# Corriente Pindo 06



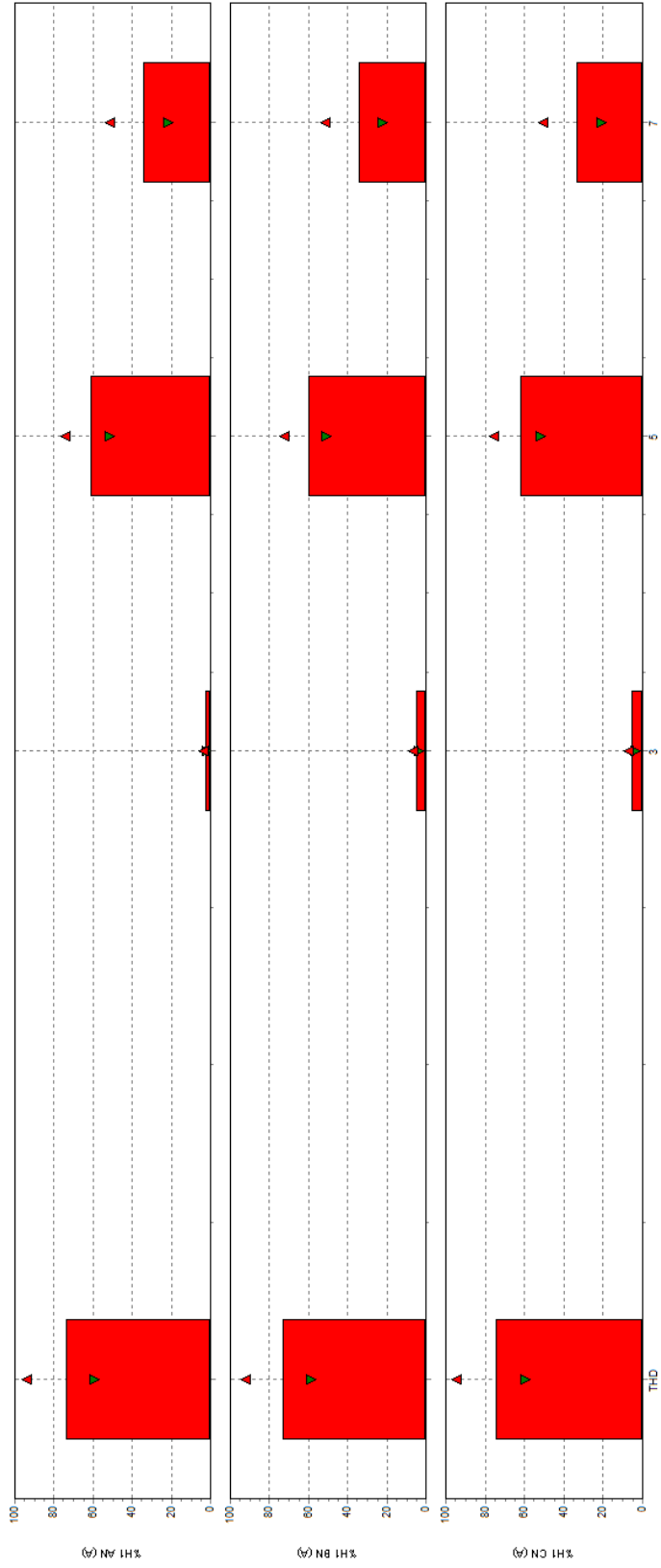
# Armónicos Pindo 06



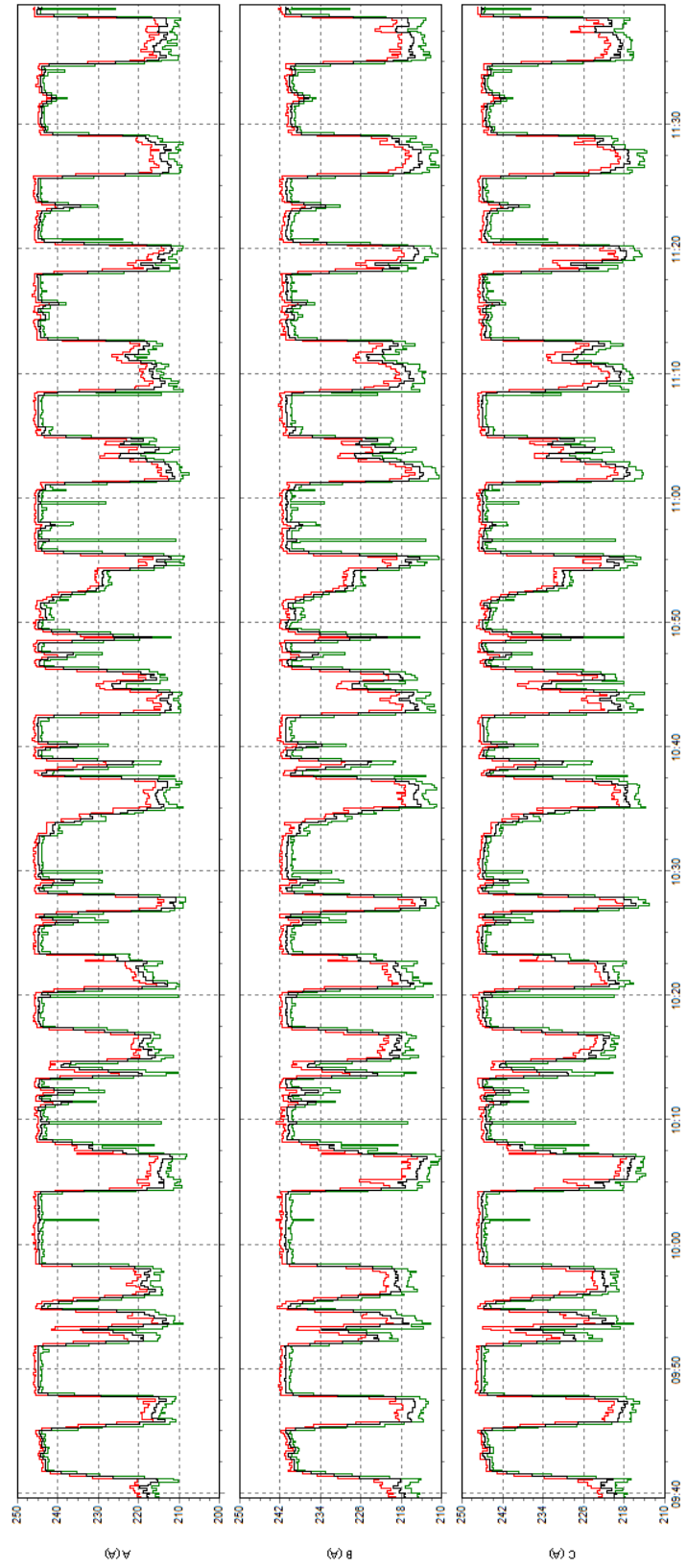
# Corriente Pindo 07



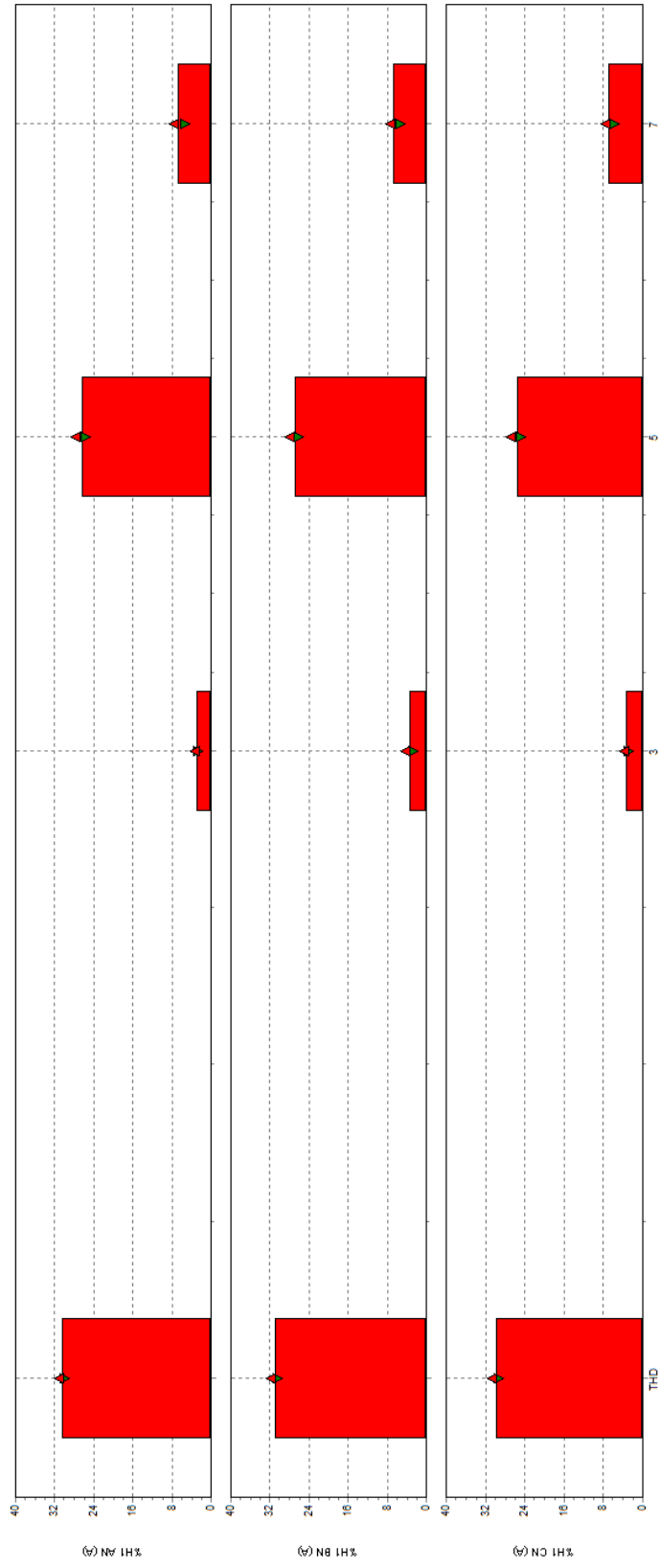
# Armónicos Pindo 07



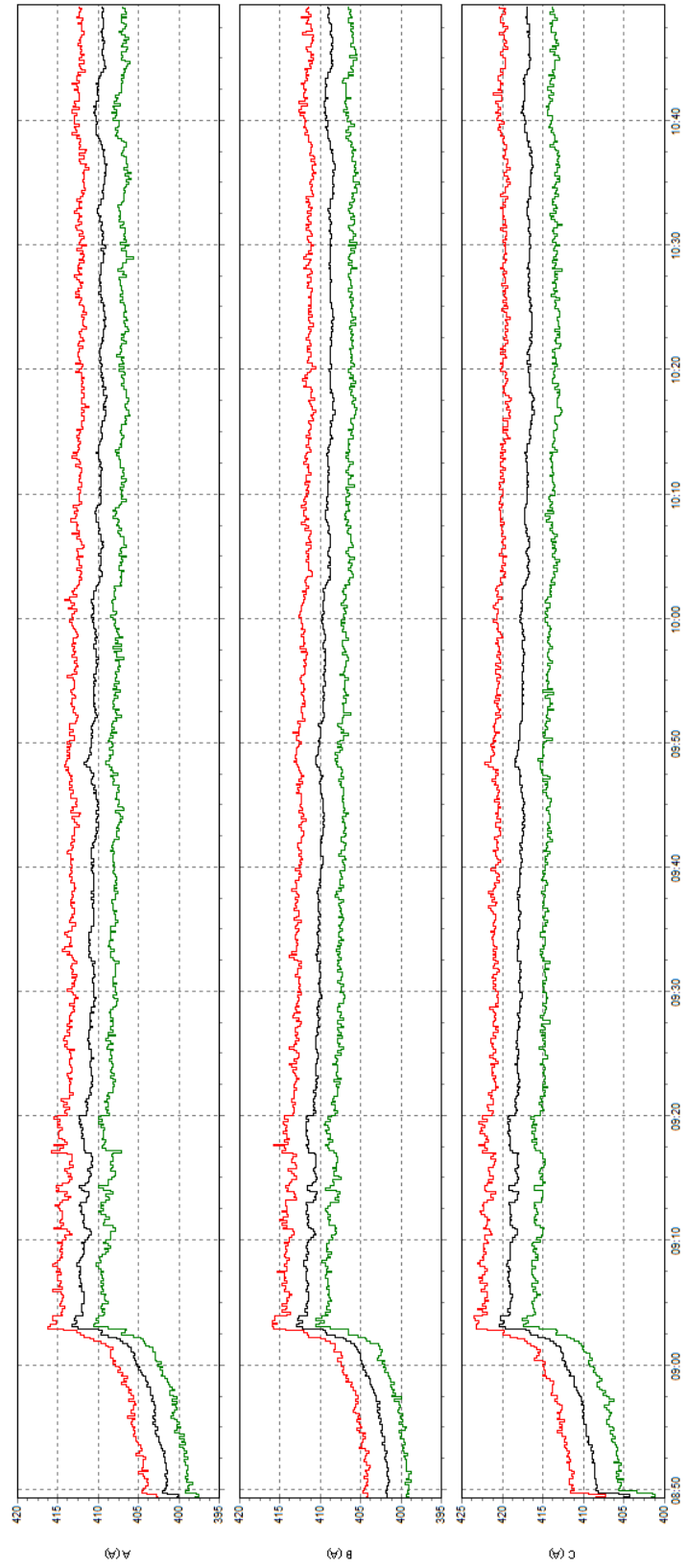
# Corriente Pindo 09



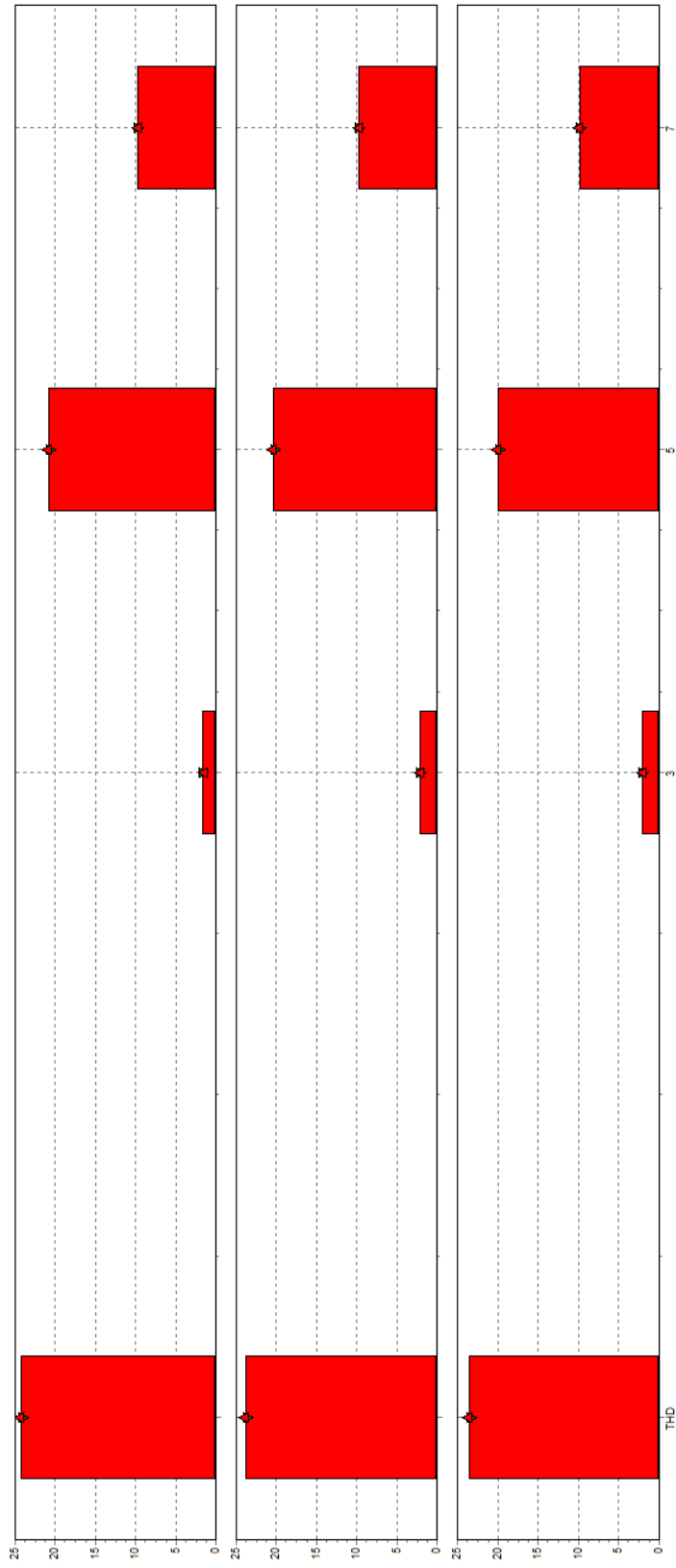
# Armónicos Pindo 09



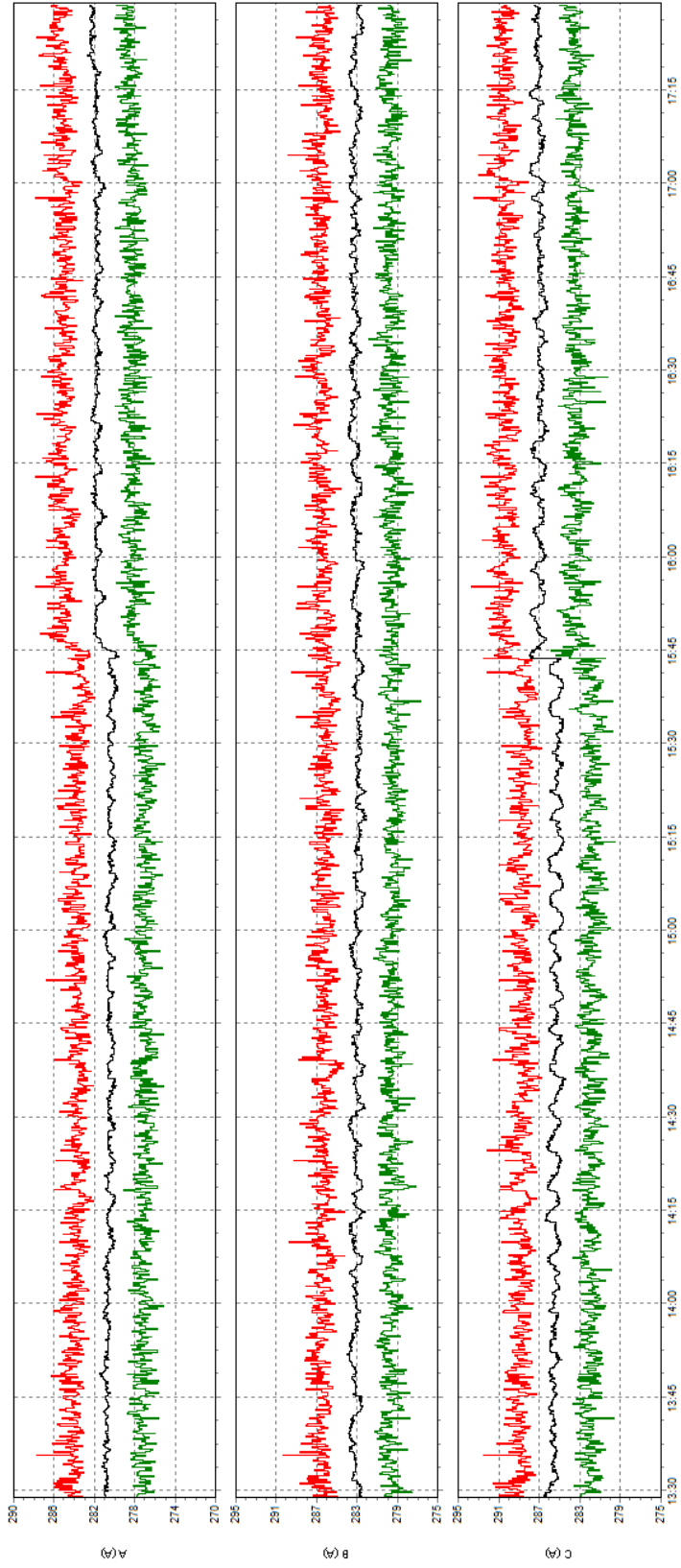
# Corriente Pindo 11



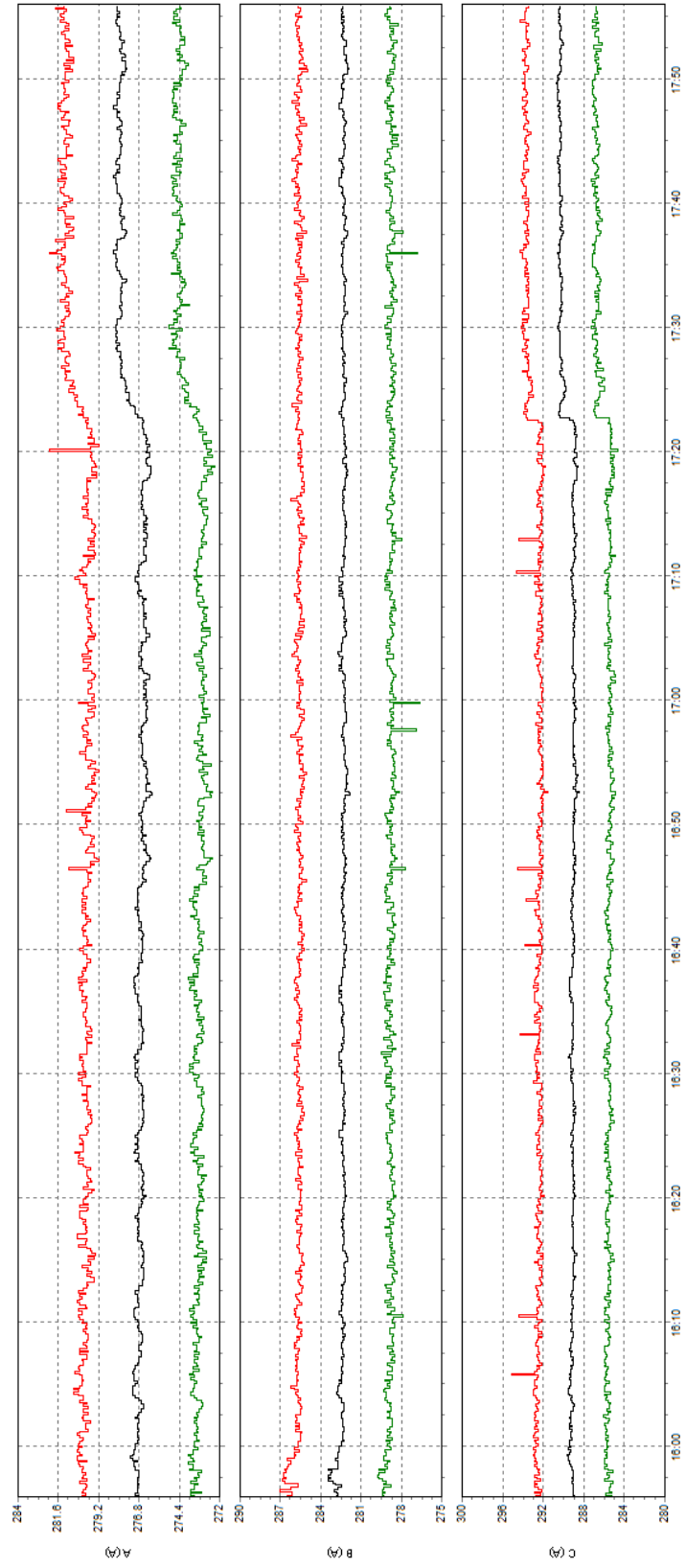
# Armónicos Pindo 11



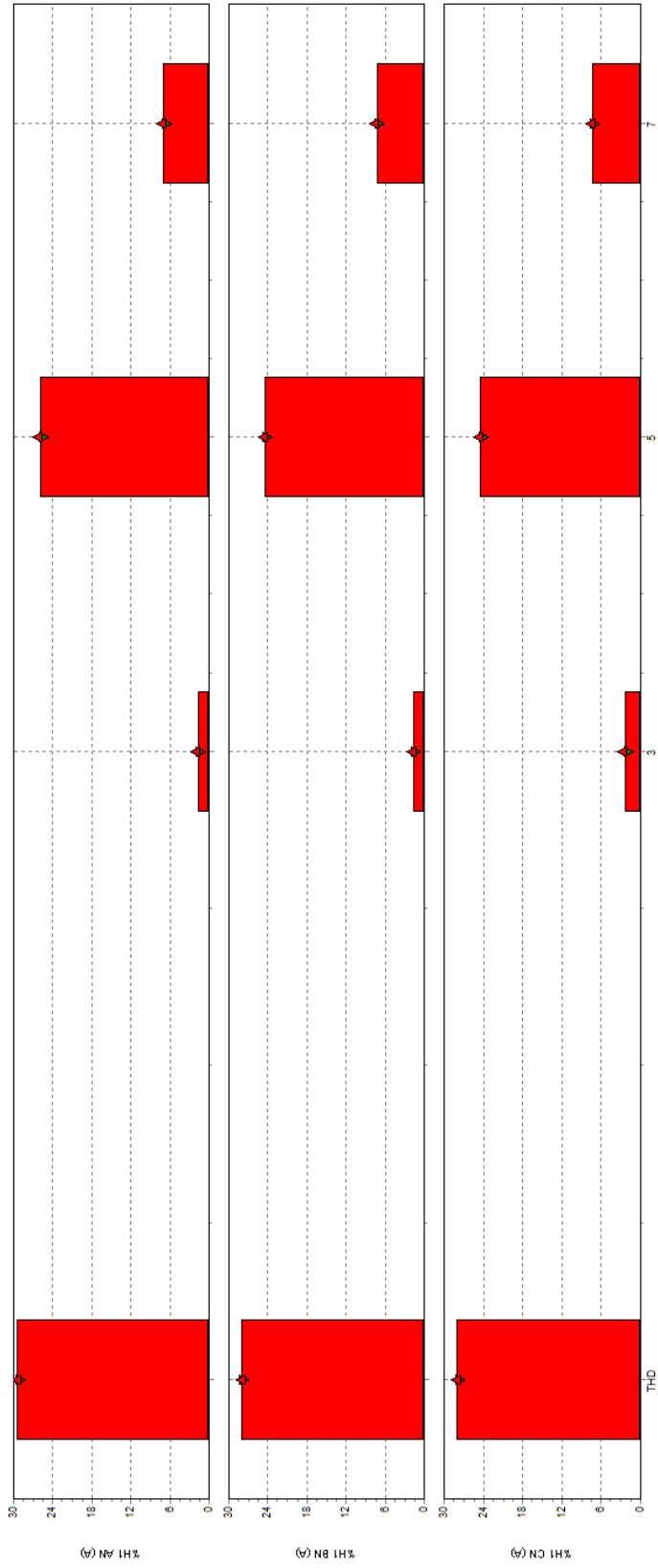
# Voltaje y Corriente Pindo 12



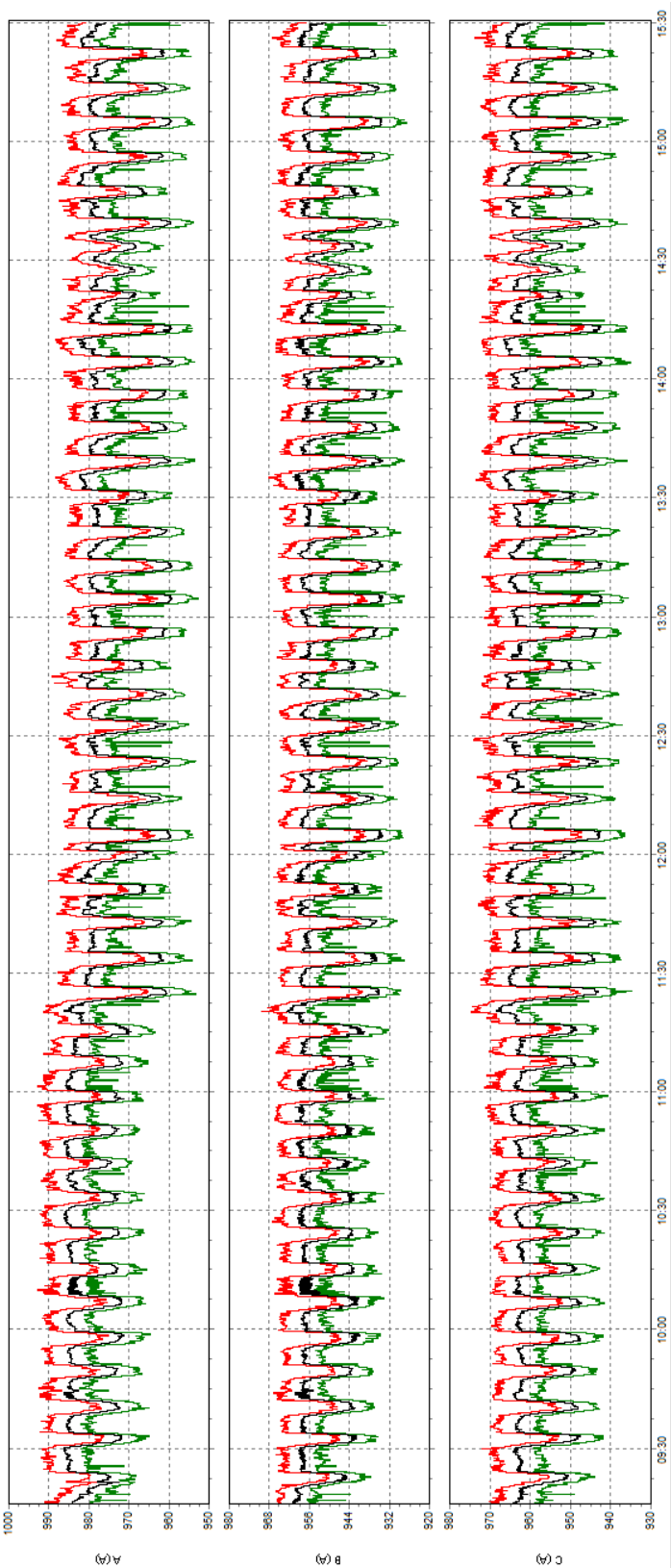
# Corriente Pindo 13



# Armónicos Pindo 13

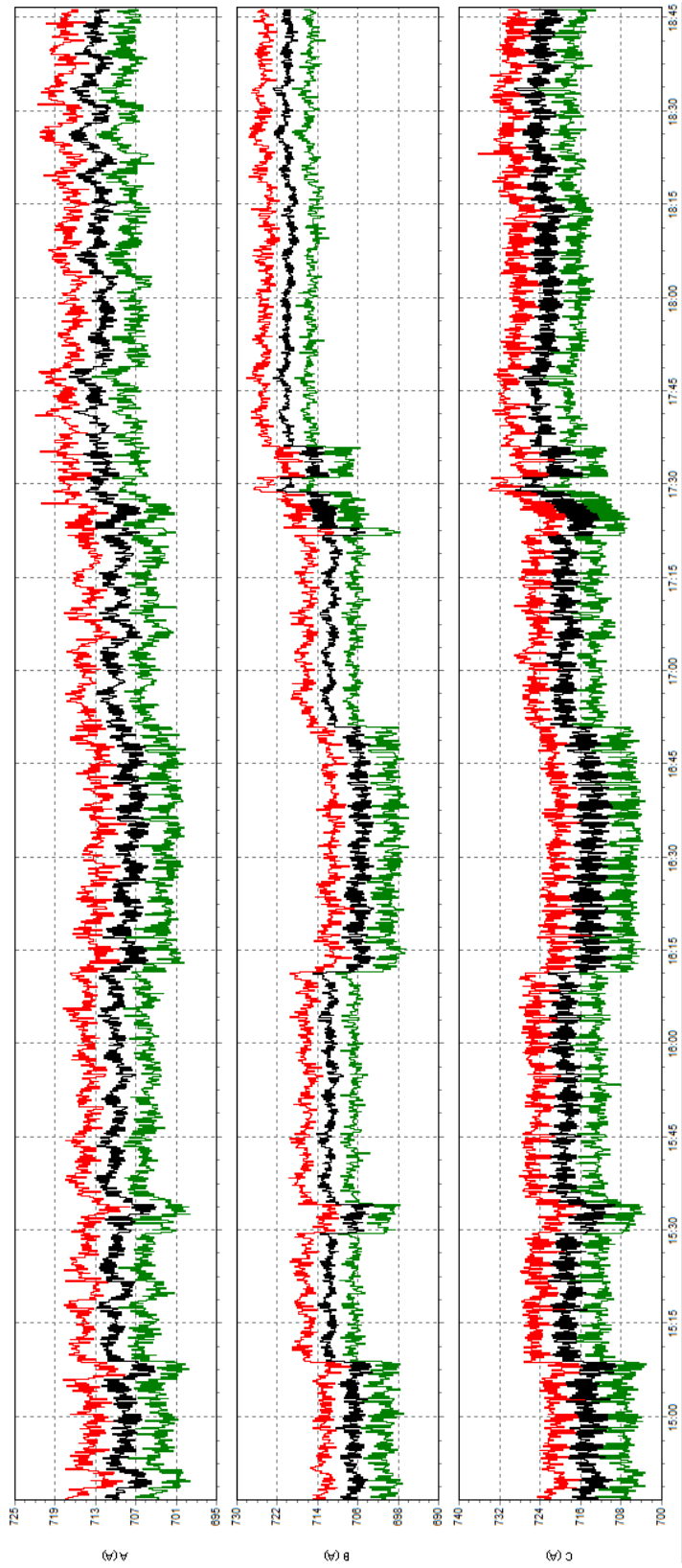


# Corriente Pindo 14 (Trasformador 1200KVA)

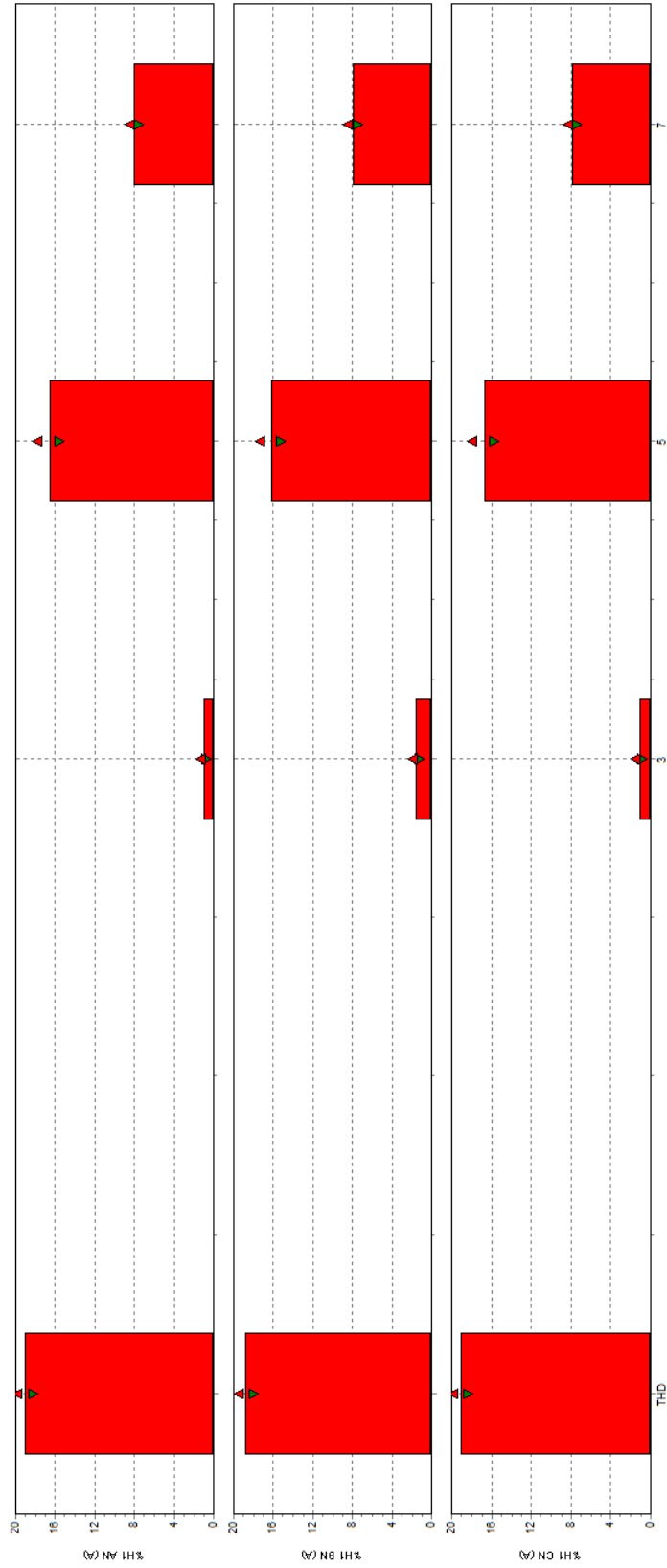




# Corriente Pindo 14 (Trasformador 1600KVA)



### Armónicos Pindo 14 (Trasformador 1600KVA)



Mediciones Swichgear Feeder 01				Mediciones Swichgear Feeder 02			
Variable	Valor	Norma	Cumplimiento	Variable	Valor	Norma	Cumplimiento
Vrms ph-ph AB Min	482.3	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Min	482.8	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph AB Avg	482.6	-	Si cumple	Vrms ph-ph AB Avg	483.1	-	Si cumple
Vrms ph-ph AB Max	482.9	5%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Max	483.4	5%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Min	480.6	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Min	480.6	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Avg	481.0	-	Si cumple	Vrms ph-ph BC Avg	480.9	-	Si cumple
Vrms ph-ph BC Max	481.3	5%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Max	481.3	5%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Min	480.7	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Min	480.9	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Avg	481.1	-	Si cumple	Vrms ph-ph CA Avg	481.2	-	Si cumple
Vrms ph-ph CA Max	481.5	5%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Max	481.6	5%	Si cumple
Current AB Avg	142.9	-	n/a	Current AB Avg	2068.6	-	n/a
Current BC Avg	155.8	-	n/a	Current BC Avg	2054.8	-	n/a
Current CA Avg	136.1	-	n/a	Current CA Avg	1961.7	-	n/a
Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple	Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple
Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple	Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple
Unbalance Vn Avg %	0.2	2%	Si cumple	Unbalance Vn Avg %	0.3	2%	Si cumple
Unbalance An Avg %	8.5	1% - 3%	No cumple	Unbalance An Avg %	3.3	1% - 3%	No cumple
Power Factor Total Avg	0.8	0.92	No cumple	Power Factor Total Avg	0.9	0.92	No cumple
THD V AB Max %	5.0	5%	Si cumple	THD V AB Max %	4	5%	Si cumple
THD V BC Max %	4.9	5%	Si cumple	THD V BC Max %	4.1	5%	Si cumple
THD V CA Max %	4.9	5%	Si cumple	THD V CA Max %	4	5%	Si cumple
THD A AB Max %	11.7	12%	Si cumple	THD A AB Max %	11.5	12%	Si cumple
THD A BC Max %	11.3	12%	Si cumple	THD A BC Max %	11.4	12%	Si cumple
THD A CA Max %	12.0	12%	Si cumple	THD A CA Max %	11.7	12%	Si cumple

Mediciones Swichgear Feeder 03				Mediciones Swichgear Feeder 04 (MCC)			
Variable	Valor	Norma	Cumplimiento	Variable	Valor	Norma	Cumplimiento
Vrms ph-ph AB Min	482.5	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Min	482.4	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph AB Avg	482.7	-	Si cumple	Vrms ph-ph AB Avg	482.7	-	Si cumple
Vrms ph-ph AB Max	483.0	5%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Max	483.0	5%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Min	480.6	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Min	480.7	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Avg	480.9	-	Si cumple	Vrms ph-ph BC Avg	481.0	-	Si cumple
Vrms ph-ph BC Max	481.2	5%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Max	481.3	5%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Min	480.8	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Min	480.8	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Avg	481.1	-	Si cumple	Vrms ph-ph CA Avg	481.1	-	Si cumple
Vrms ph-ph CA Max	481.4	5%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Max	481.4	5%	Si cumple
Current AB Avg	1967.5	-	n/a	Current AB Avg	293.7	-	n/a
Current BC Avg	2010.1	-	n/a	Current BC Avg	256.4	-	n/a
Current CA Avg	2029.2	-	n/a	Current CA Avg	262.6	-	n/a
Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple	Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple
Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple	Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple
Unbalance Vn Avg %	0.3	2%	Si cumple	Unbalance Vn Avg %	0.2	2%	Si cumple
Unbalance An Avg %	1.9	1% - 3%	Si cumple	Unbalance An Avg %	9.6	1% - 3%	No cumple
Power Factor Total Avg	0.9	0.92	No cumple	Power Factor Total Avg	-0.8	0.92	No cumple
THD V AB Max %	4	5%	Si cumple	THD V AB Max %	7.9	5%	No cumple
THD V BC Max %	4.1	5%	Si cumple	THD V BC Max %	7.9	5%	No cumple
THD V CA Max %	4	5%	Si cumple	THD V CA Max %	8.3	5%	No cumple
THD A AB Max %	11.5	12%	Si cumple	THD A AB Max %	60.3	12%	No cumple
THD A BC Max %	11.4	12%	Si cumple	THD A BC Max %	75.0	12%	No cumple
THD A CA Max %	11.7	12%	Si cumple	THD A CA Max %	73.7	12%	No cumple
				Volts Harmonics5 AB Avg	6.4	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics5 BC Avg	6.4	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics5 CA Avg	6.8	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics7 AB Avg	4.2	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics7 BC Avg	4.1	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics7 CA Avg	4.2	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics5 AB Avg	48.9	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics5 BC Avg	61.8	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics5 CA Avg	59.1	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics7 AB Avg	22.7	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics7 BC Avg	28.1	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics7 CA Avg	26.8	-	Mayor incidencia

Mediciones Pindo 06 (BusP06_4)				Mediciones Pindo 07 (BusP07_4)			
Variable	Valor	Norma	Cumplimiento	Variable	Valor	Norma	Cumplimiento
Vrms ph-ph AB Min	470.1	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Min	474.6	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph AB Avg	470.3	-	Si cumple	Vrms ph-ph AB Avg	474.8	-	Si cumple
Vrms ph-ph AB Max	470.5	5%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Max	475.1	5%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Min	473.5	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Min	471.0	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Avg	473.7	-	Si cumple	Vrms ph-ph BC Avg	471.2	-	Si cumple
Vrms ph-ph BC Max	473.9	5%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Max	471.5	5%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Min	470.9	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Min	471.4	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Avg	471.1	-	Si cumple	Vrms ph-ph CA Avg	471.6	-	Si cumple
Vrms ph-ph CA Max	471.3	5%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Max	471.9	5%	Si cumple
Current AB Avg	462.1	-	n/a	Current AB Avg	110.3	-	n/a
Current BC Avg	463.1	-	n/a	Current BC Avg	113.0	-	n/a
Current CA Avg	468.3	-	n/a	Current CA Avg	113.0	-	n/a
Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple	Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple
Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple	Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple
Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple	Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple
Unbalance An Avg %	1.1	1% - 3%	Si cumple	Unbalance An Avg %	1.3	1% - 3%	Si cumple
Power Factor Total Avg	0.9	0.92	No cumple	Power Factor Total Avg	0.6	0.92	No cumple
THD V AB Max %	17.7	5%	No cumple	THD V AB Max %	13.1	5%	No cumple
THD V BC Max %	17.5	5%	No cumple	THD V BC Max %	13.1	5%	No cumple
THD V CA Max %	18.4	5%	No cumple	THD V CA Max %	13.8	5%	No cumple
THD A AB Max %	31.7	12%	No cumple	THD A AB Max %	74.8	12%	No cumple
THD A BC Max %	30.0	12%	No cumple	THD A BC Max %	73.9	12%	No cumple
THD A CA Max %	30.8	12%	No cumple	THD A CA Max %	75.4	12%	No cumple
Volts Harmonics5 AB Avg	14.0	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 AB Avg	10.3	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics5 BC Avg	13.7	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 BC Avg	10.4	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics5 CA Avg	14.7	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 CA Avg	11.1	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 AB Avg	6.6	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 AB Avg	7.0	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 BC Avg	6.6	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 BC Avg	6.8	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 CA Avg	6.7	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 CA Avg	7.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 AB Avg	28.4	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 AB Avg	60.9	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 BC Avg	26.8	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 BC Avg	60.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 CA Avg	27.7	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 CA Avg	62.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 AB Avg	5.3	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 AB Avg	34.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 BC Avg	5.2	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 BC Avg	34.3	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 CA Avg	5.5	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 CA Avg	33.2	-	Mayor incidencia

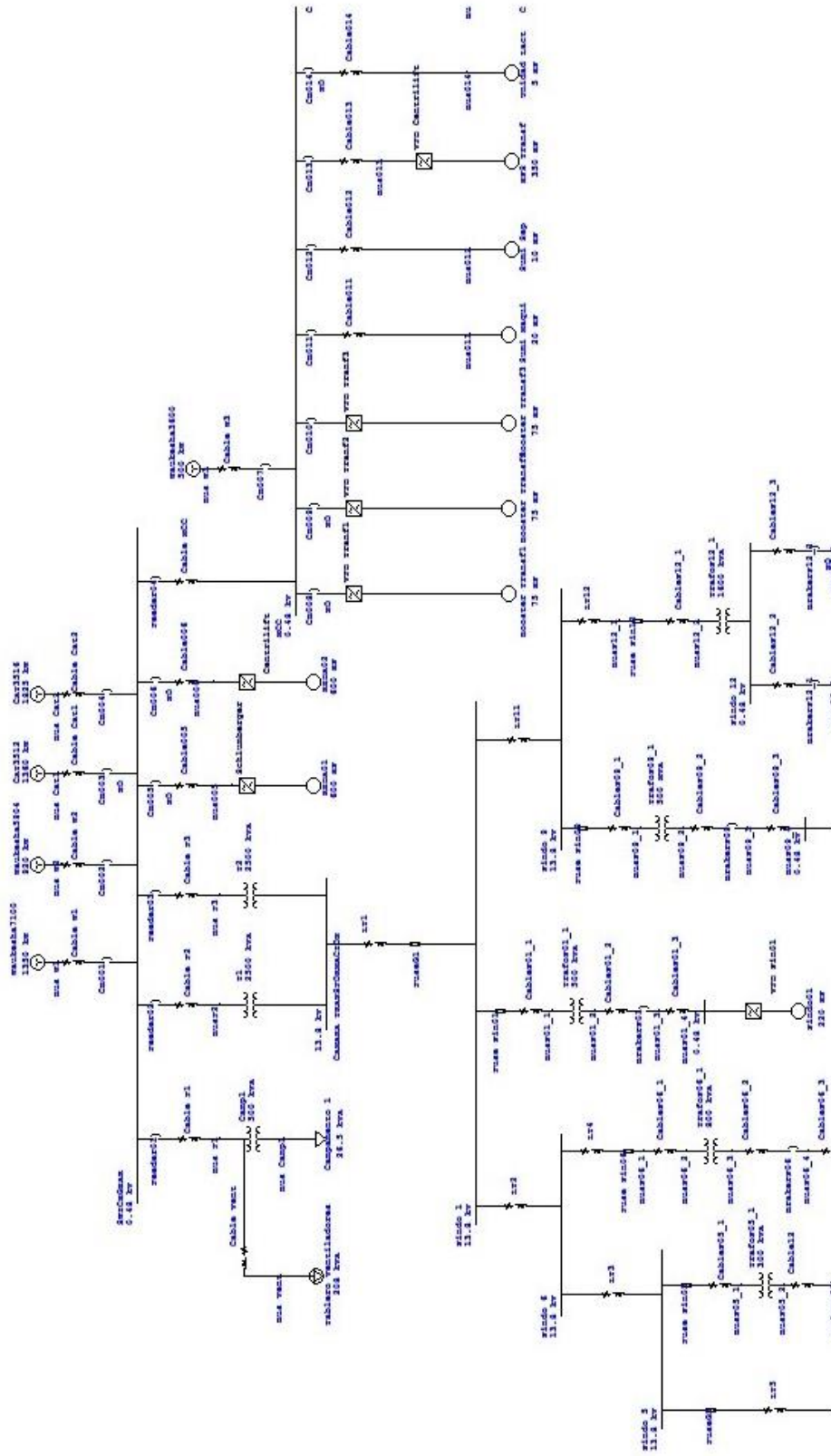
Mediciones Pindo 09 (BusP09_4)				Mediciones Pindo 11 (BusP11_5)			
Variable	Valor	Norma	Cumplimiento	Variable	Valor	Norma	Cumplimiento
Vrms ph-ph AB Min	476.4	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Min	454.5	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph AB Avg	476.7	-	Si cumple	Vrms ph-ph AB Avg	454.8	-	Si cumple
Vrms ph-ph AB Max	477.0	5%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Max	455.0	5%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Min	475.4	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Min	457.4	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Avg	475.8	-	Si cumple	Vrms ph-ph BC Avg	457.7	-	Si cumple
Vrms ph-ph BC Max	476.1	5%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Max	458.0	5%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Min	478.8	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Min	454.8	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Avg	479.2	-	Si cumple	Vrms ph-ph CA Avg	455.1	-	Si cumple
Vrms ph-ph CA Max	479.5	5%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Max	455.3	5%	Si cumple
Current AB Avg	233.1	-	n/a	Current AB Avg	409.6	-	n/a
Current BC Avg	231.5	-	n/a	Current BC Avg	409.0	-	n/a
Current CA Avg	236.3	-	n/a	Current CA Avg	416.7	-	n/a
Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple	Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple
Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple	Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple
Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple	Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple
Unbalance An Avg %	327.7	1% - 3%	No cumple	Unbalance An Avg %	204.8	1% - 3%	No cumple
Power Factor Total Avg	0.0	0.92	No cumple	Power Factor Total Avg	-0.1	0.92	No cumple
THD V AB Max %	15.8	5%	No cumple	THD V AB Max %	16.2	5%	No cumple
THD V BC Max %	15.3	5%	No cumple	THD V BC Max %	15.8	5%	No cumple
THD V CA Max %	15.0	5%	No cumple	THD V CA Max %	16.7	5%	No cumple
THD A AB Max %	30.5	12%	No cumple	THD A AB Max %	24.3	12%	No cumple
THD A BC Max %	31.1	12%	No cumple	THD A BC Max %	23.9	12%	No cumple
THD A CA Max %	29.9	12%	No cumple	THD A CA Max %	23.6	12%	No cumple
Volts Harmonics5 AB Avg	13.3	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 AB Avg	13.6	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics5 BC Avg	12.7	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 BC Avg	13.1	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics5 CA Avg	12.4	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 CA Avg	14.1	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 AB Avg	7.0	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 AB Avg	7.3	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 BC Avg	6.9	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 BC Avg	7.4	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 CA Avg	6.9	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 CA Avg	7.5	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 AB Avg	26.4	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 AB Avg	20.9	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 BC Avg	26.8	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 BC Avg	20.3	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 CA Avg	25.6	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 CA Avg	20.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 AB Avg	6.7	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 AB Avg	9.7	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 BC Avg	6.7	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 BC Avg	9.7	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 CA Avg	7.0	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 CA Avg	9.8	-	Mayor incidencia

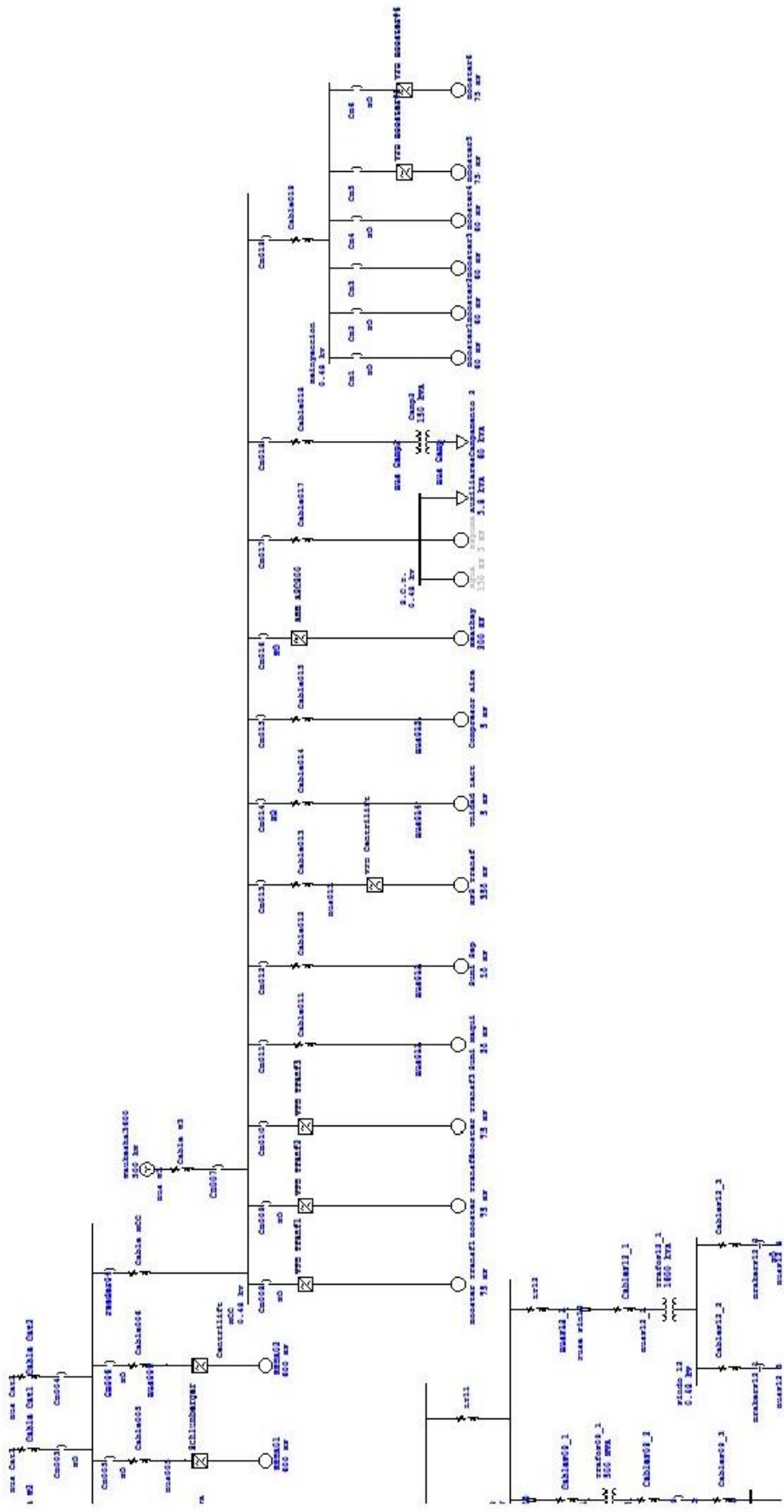
Mediciones Pindo 12 (BusP12_7)				Mediciones Pindo 13 (BusP13_5)			
Variable	Valor	Norma	Cumplimiento	Variable	Valor	Norma	Cumplimiento
Vrms ph-ph AB Min	477.5	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Min	453.3	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph AB Avg	477.8	-	Si cumple	Vrms ph-ph AB Avg	453.6	-	Si cumple
Vrms ph-ph AB Max	478.1	5%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Max	454.0	5%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Min	476.8	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Min	456.5	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Avg	477.1	-	Si cumple	Vrms ph-ph BC Avg	456.9	-	Si cumple
Vrms ph-ph BC Max	477.4	5%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Max	457.2	5%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Min	480.1	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Min	453.4	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Avg	480.4	-	Si cumple	Vrms ph-ph CA Avg	453.8	-	Si cumple
Vrms ph-ph CA Max	480.7	5%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Max	454.1	5%	Si cumple
Current AB Avg	281.1	-	n/a	Current AB Avg	277.0	-	n/a
Current BC Avg	283.1	-	n/a	Current BC Avg	282.4	-	n/a
Current CA Avg	286.1	-	n/a	Current CA Avg	289.4	-	n/a
Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple	Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple
Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple	Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple
Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple	Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple
Unbalance An Avg %	0.9	1% - 3%	Si cumple	Unbalance An Avg %	2.9	1% - 3%	Si cumple
Power Factor Total Avg	1.0	0.92	Si cumple	Power Factor Total Avg	0.9	0.92	No cumple
THD V AB Max %	4.5	5%	Si cumple	THD V AB Max %	17.6	5%	No cumple
THD V BC Max %	4.2	5%	Si cumple	THD V BC Max %	17.4	5%	No cumple
THD V CA Max %	4.2	5%	Si cumple	THD V CA Max %	18.4	5%	No cumple
THD A AB Max %	19.5	12%	Si cumple	THD A AB Max %	29.6	12%	No cumple
THD A BC Max %	19.3	12%	Si cumple	THD A BC Max %	28.2	12%	No cumple
THD A CA Max %	19.2	12%	Si cumple	THD A CA Max %	28.1	12%	No cumple
				Volts Harmonics5 AB Avg	14.7	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics5 BC Avg	14.4	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics5 CA Avg	15.5	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics7 AB Avg	7.5	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics7 BC Avg	7.6	-	Mayor incidencia
				Volts Harmonics7 CA Avg	7.7	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics5 AB Avg	25.9	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics5 BC Avg	24.5	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics5 CA Avg	24.4	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics7 AB Avg	7.0	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics7 BC Avg	7.2	-	Mayor incidencia
				Amps Harmonics7 CA Avg	7.3	-	Mayor incidencia

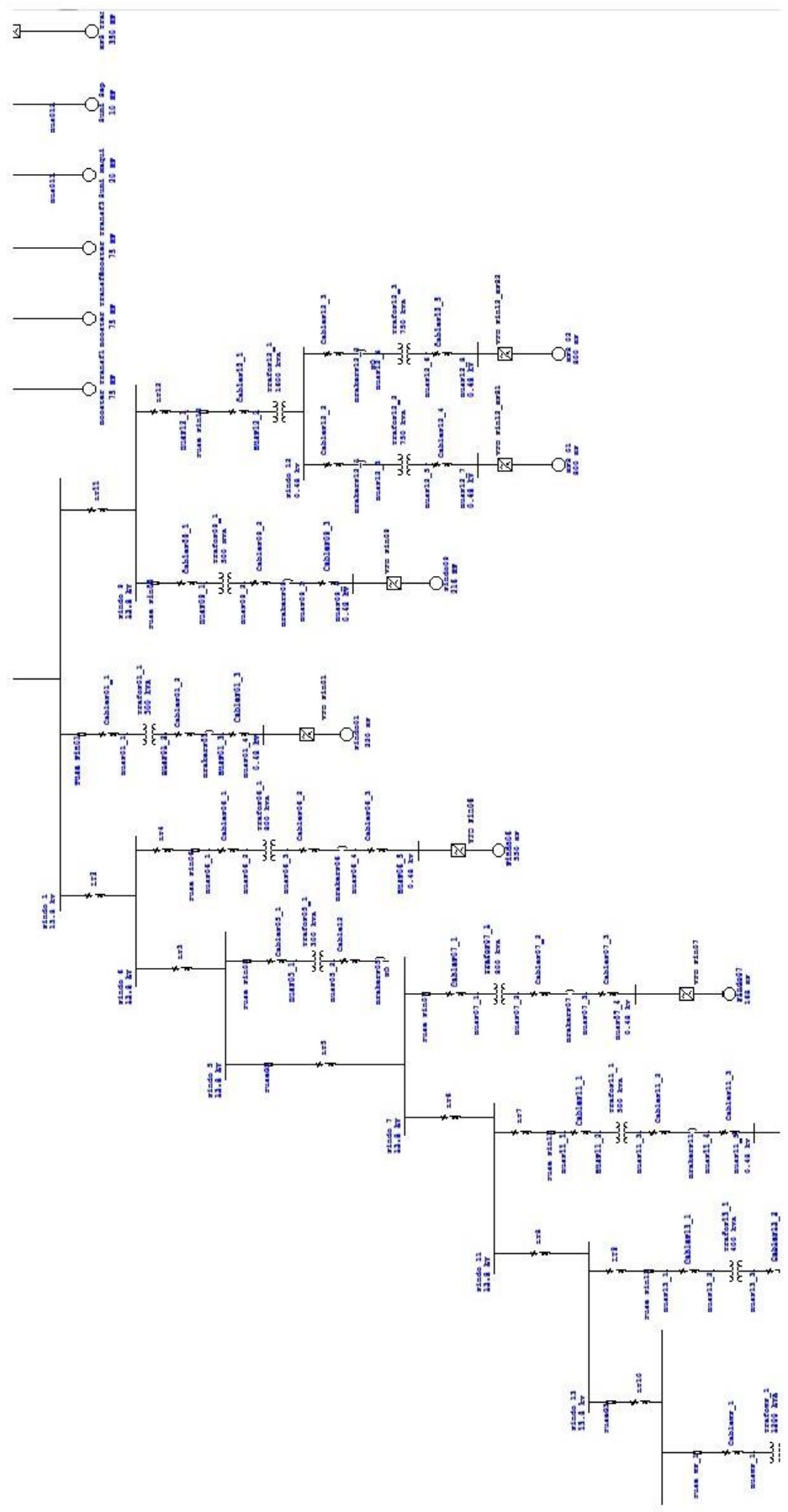
Mediciones BusWP_1				Mediciones BusWP_2			
Variable	Valor	Norma	Cumplimiento	Variable	Valor	Norma	Cumplimiento
Vrms ph-ph AB Min	467.0	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Min	466.5	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph AB Avg	467.2	-	Si cumple	Vrms ph-ph AB Avg	466.8	-	Si cumple
Vrms ph-ph AB Max	467.4	5%	Si cumple	Vrms ph-ph AB Max	467.1	5%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Min	466.8	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Min	466.3	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph BC Avg	467.0	-	Si cumple	Vrms ph-ph BC Avg	466.6	-	Si cumple
Vrms ph-ph BC Max	467.3	5%	Si cumple	Vrms ph-ph BC Max	467.0	5%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Min	469.6	-10%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Min	470.1	-10%	Si cumple
Vrms ph-ph CA Avg	469.8	-	Si cumple	Vrms ph-ph CA Avg	470.5	-	Si cumple
Vrms ph-ph CA Max	470.1	5%	Si cumple	Vrms ph-ph CA Max	470.8	5%	Si cumple
Current AB Avg	976.0	-	n/a	Current AB Avg	710.4	-	n/a
Current BC Avg	951.1	-	n/a	Current BC Avg	712.7	-	n/a
Current CA Avg	958.1	-	n/a	Current CA Avg	719.0	-	n/a
Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple	Frequency Min	60.0	59,8 Hz	Si cumple
Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple	Frequency Max	60.0	60,2 Hz	Si cumple
Unbalance Vn Avg %	0.5	2%	Si cumple	Unbalance Vn Avg %	0.6	2%	Si cumple
Unbalance An Avg %	1.7	1% - 3%	Si cumple	Unbalance An Avg %	0.1	1% - 3%	Si cumple
Power Factor Total Avg	0.9	0.92	No cumple	Power Factor Total Avg	0.9	0.92	No cumple
THD V AB Max %	16.7	5%	No cumple	THD V AB Max %	17.6	5%	No cumple
THD V BC Max %	17.5	5%	No cumple	THD V BC Max %	16.9	5%	No cumple
THD V CA Max %	16.6	5%	No cumple	THD V CA Max %	16.8	5%	No cumple
THD A AB Max %	19.6	12%	No cumple	THD A AB Max %	19.4	12%	No cumple
THD A BC Max %	19.8	12%	No cumple	THD A BC Max %	19.1	12%	No cumple
THD A CA Max %	20.5	12%	No cumple	THD A CA Max %	19.4	12%	No cumple
Volts Harmonics5 AB Avg	14.0	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 AB Avg	14.8	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics5 BC Avg	14.8	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 BC Avg	14.1	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics5 CA Avg	13.9	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics5 CA Avg	13.9	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 AB Avg	7.6	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 AB Avg	8.4	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 BC Avg	7.8	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 BC Avg	8.2	-	Mayor incidencia
Volts Harmonics7 CA Avg	7.7	-	Mayor incidencia	Volts Harmonics7 CA Avg	8.3	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 AB Avg	17.0	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 AB Avg	16.6	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 BC Avg	17.1	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 BC Avg	16.2	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics5 CA Avg	18.1	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics5 CA Avg	16.7	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 AB Avg	7.5	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 AB Avg	8.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 BC Avg	7.3	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 BC Avg	8.0	-	Mayor incidencia
Amps Harmonics7 CA Avg	7.4	-	Mayor incidencia	Amps Harmonics7 CA Avg	7.8	-	Mayor incidencia

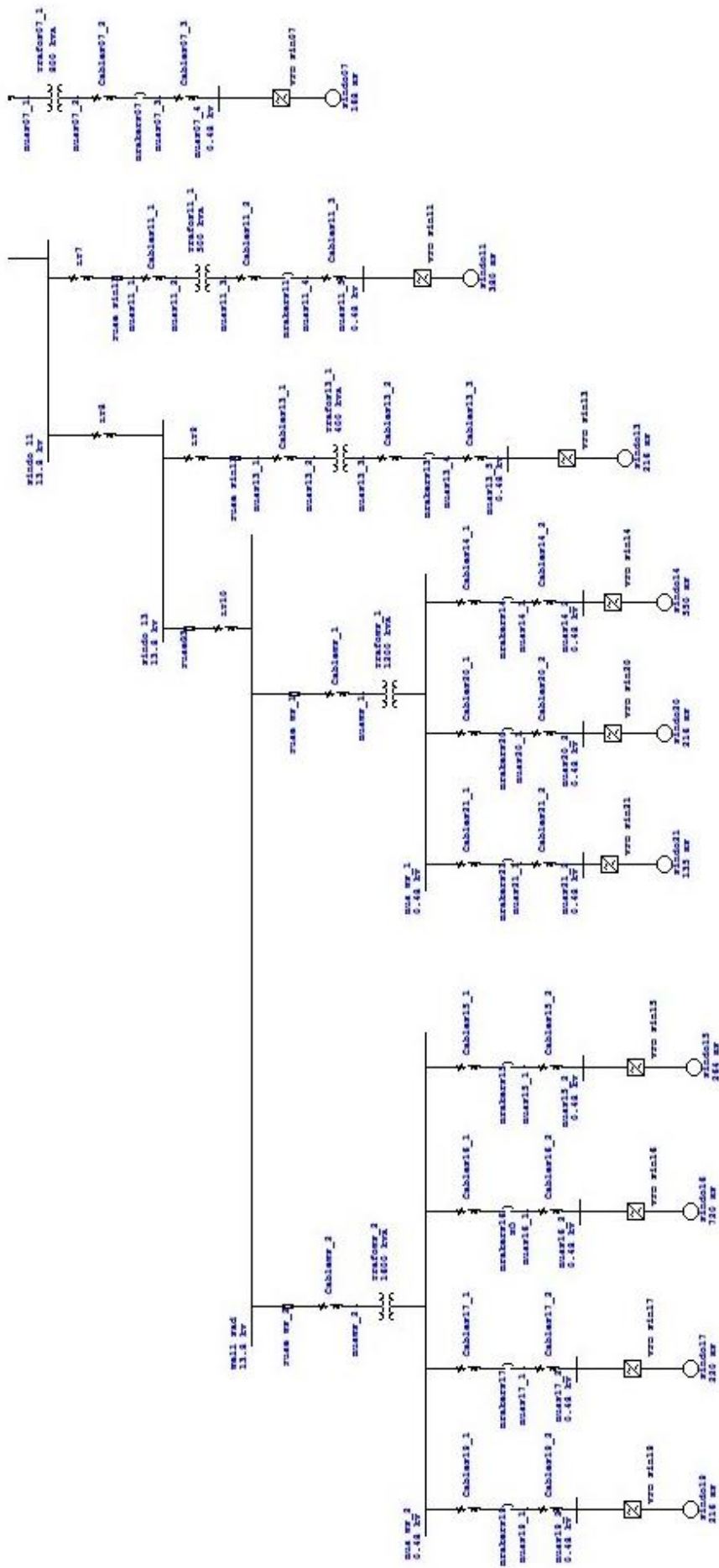
# ANEXO VI

## Diagrama: Etap Pindo Noviembre 2013









**ANEXO VII**  
**Reporte ETAP: Corriente-Alert-Complite**

## **ANEXO VIII**

### **Reporte ETAP: Corriente-Load Flow Report**

## **ANEXO IX**

### **Reporte ETAP: Corriente-Looses**

**ANEXO X**  
**CERTIFICADO PARA LA ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA**