



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN
EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LAS
ESTACIONES DE BOMBEO DE LOS POZOS UNO Y DOS
DE LA ESPOCH -RIOBAMBA”**

**ALMACHIGUAMANI WILSON SANTIAGO
OCHOA ROMÁN ERROL ROLANDO**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-12-19

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ALMACHIGUAMANI WILSON SANTIAGO
OCHOA ROMÁN ERROL ROLANDO**

Titulada:

**“EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN EL SISTEMA
ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE LOS
POZOS UNO Y DOS DE LA ESPOCH-RIOBAMBA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán Gallegos
DIRECTOR DE TESIS

Ing. César Astudillo Machuca
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALMACHIGUAMANI WILSON SANTIAGO

TÍTULO DE LA TESIS: “EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE LOS POZOS UNO Y DOS DE LA ESPOCH-RIOBAMBA.”

Fecha de Examinación: 2015-07-22

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Manuel Fernando González PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Santillán Gallegos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. César Astudillo Machuca ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Manuel Fernando González
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

D E R E C H O S D E A U T O R Í A

El presente trabajo de grado, es original y está basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

W i l s o n S a n t i a g o A l m a c h i G u a m a n i

R o m á n

E r r o l R o l a n d o O c h o a

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de tesis en primer lugar a Dios por darme la vida, por guiarme y por estar siempre a mi lado en momentos de tristeza y alegría.

A mi madre Vilma Guamani, por el apoyo incondicional durante mi formación académica, por sus enseñanzas, por sembrar en mí valores éticos y morales los cuales me han encaminado a ser un hombre de bien.

Y en especial a mis familiares, amigos y profesores que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de mi vida.

Wilson Santiago Almachiguamani

El presente trabajo está dedicado a mis queridos padres quienes estuvieron constantemente apoyándome en este largo camino para alcanzar tan anhelada meta.

También agradezco a todas las personas que me han brindado su apoyo necesario para culminar con éxito mis estudios.

Errol Rolando Ochoa Román

A G R A D E C I M I E N T O

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad. De igual manera al Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico por las facilidades prestadas para el ingreso a los pozos Uno y Dos.

Al Ing. Marco Santillán y al Ing. César Astudillo, por brindarnos su dirección y asesoría, compartiendo sus conocimientos y de este modo permitir que este trabajo llegue a un feliz término.

W ilson Santiago Almachi Guamani

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarnos los conocimientos en las aulas y así obtener una profesión y servir al país.

Además quiero hacer extensivo mi agradecimiento al Director de esta tesis, que dedico su valioso tiempo en la dirección de la misma.

Errol Rolando Ochoa Román

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Método de eficiencia energética eléctrica.....	3
2.1.1 <i>Importancia de la calidad de energía eléctrica</i>	4
2.1.1.1 <i>Parámetros de calidad de energía eléctrica</i>	4
2.1.1.2 <i>Problemas que genera una mala calidad de energía eléctrica</i>	4
2.2 Perturbaciones eléctricas.....	6
2.2.1 <i>Origen de las perturbaciones</i>	6
2.2.1.1 <i>Internas</i>	6
2.2.1.2 <i>Externas</i>	6
2.3 Estaciones de bombeo de agua	7
2.3.1 <i>Ubicación de las estaciones de bombeo</i>	7
2.3.2 <i>Clasificación de las estaciones de bombeo de agua</i>	8
2.3.2.1 <i>Primarias</i>	8
2.3.2.2 <i>Secundarias</i>	8
2.3.3 <i>Elementos principales de una estación de bombeo</i>	8
2.3.3.1 <i>Bombas sumergibles</i>	9
2.3.3.2 <i>Tuberías y accesorios de interconexión</i>	9
2.3.3.3 <i>Válvulas de compuerta</i>	10
2.3.3.4 <i>Válvulas de retención o check</i>	10
2.4 Componentes eléctricos de la estación de bombeo.....	10
2.4.1 <i>Motor eléctrico sumergible</i>	10
2.4.1.1 <i>Cables eléctricos sumergibles</i>	11
2.4.1.2 <i>Protección para motores trifásicos sumergibles</i>	11
2.4.1.3 <i>Frecuencia de arranques</i>	11
2.4.2 <i>Transformador de distribución</i>	12
2.4.3 <i>Variador de frecuencia</i>	12
2.4.4 <i>Logo Siemens</i>	13
2.4.5 <i>Contactores</i>	13
2.4.6 <i>Interruptores termomagnéticos</i>	14
2.4.7 <i>Guardamotor</i>	14
2.5 Tipo de arranque del motor eléctrico trifásico	14
2.5.1 <i>Arranque estrella-triángulo (Y/Δ)</i>	14
2.5.1.1 <i>Arranque estrella-triángulo con temporización en el paso "Y/Δ"</i>	15
2.5.1.2 <i>Arranque estrella-triángulo en tres tiempos</i>	15
2.5.1.3 <i>Arranque estrella-triángulo sin corte o interrupción</i>	15
2.6 Diagramas eléctricos	15
2.6.1 <i>Circuito de mando y señalización</i>	15
2.6.2 <i>Circuito de potencia o de fuerza</i>	16

2.7	Parámetros utilizados en calidad eléctrica.....	16
2.7.1	Armónicos.....	16
2.7.1.1	Origen de los armónicos.....	17
2.7.1.2	Clasificación de los armónicos.....	17
2.7.1.3	Frecuencia del armónico.....	17
2.7.1.4	Efecto que producen los armónicos.....	18
2.7.1.5	Distorsión armónica total (THD).....	18
2.7.1.6	Distorsión armónica total de tensión (THD_v).....	18
2.7.1.7	Distorsión armónica total de corriente (THD_i).....	19
2.7.2.	Transitorios.....	20
2.7.2.1	Tipos de transitorios.....	20
2.7.3	Flicker.....	21
2.7.4	Variaciones de tensión.....	22
2.7.5	Variaciones de frecuencia.....	23
2.7.6	Desequilibrio.....	23
2.7.6.1	Desequilibrio de tensión.....	23
2.7.6.2	Desequilibrio de corriente.....	23
2.7.6.3	Causas del desequilibrio.....	24
2.7.7	Interrupciones.....	24
2.8	Puesta a tierra.....	24
2.8.1	Composición de una instalación a tierra.....	25
2.8.2	Referencias para la puesta a tierra.....	25
2.9	Analizadores de la calidad de energía.....	25
2.9.1	Parámetros de medición del equipo.....	26
2.9.2	Componentes del equipo analizador.....	27
2.10	Límites para determinar los parámetros eléctricos.....	28
2.10.1	Parámetros de voltaje.....	28
2.10.2	Parámetros de corriente.....	28
2.10.3	Parámetros de factor de potencia.....	28
2.10.4	Parámetro de armónicos.....	29
2.10.5	Parámetros de frecuencia.....	29
2.10.6	Parámetro flicker.....	29
2.11	Descripción del analizador energético FLUKE 453 SERIES II.....	29
3.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN TÉCNICA ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LOS POZOS UNO Y DOS DE LA ESPOCH	
3.1	Pozo Uno.....	31
3.1.1	Ubicación geográfica.....	32
3.1.2	Componentes del pozo Uno.....	32
3.2	Pozo Dos.....	33
3.2.1	Ubicación geográfica.....	34
3.2.2	Componentes del pozo Dos.....	34
3.3	Puntos donde se realizan las mediciones.....	35
3.4	Alimentación eléctrica para el pozo Uno.....	35
3.5	Alimentación eléctrica para el pozo Dos.....	36
3.6	Características básicas del motor eléctrico.....	37
3.7	Componentes de los tableros de control.....	38
3.7.1	Tableo de control del pozo Uno.....	38

3.7.2	<i>Tablero de control del pozo Dos.</i>	39
3.8	Mantenimiento en las instalaciones de los pozos Uno y Dos	39
3.9	Normas para realizar el análisis eléctrico	39
3.9.1	<i>Normas EN 50160</i>	40
3.9.2	<i>Norma ICE 61000 4-30. IEC</i>	41
3.10	Regulación CONELEC 004/01	41
3.10.1	<i>Límites para armónicos que regula la CONELEC 004/01</i>	41
4.	MEDICIONES Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD ELÉCTRICA DE LOS TABLEROS DE CONTROL DE LOS POZOS UNO Y DOS DE LA ESPOCH.	
4.1	Conexión del analizador de calidad eléctrica	43
4.1.1	<i>Conexión del equipo analizador al tablero del pozo Uno.</i>	44
4.1.1.1	<i>Verificación de la conexión previo al monitoreo del pozo Uno.</i>	46
4.1.2	<i>Conexión del equipo analizador al tablero del pozo Dos.</i>	47
4.1.2.1	<i>Verificación de la conexión previo al monitoreo del pozo Dos.</i>	47
4.1.3	<i>Forma de orientación de las sondas de corriente</i>	48
4.1.4	<i>Equipo de protección personal.</i>	49
4.2	Métodos de medición	49
4.2.1	<i>Método A</i>	50
4.2.2	<i>Método B</i>	50
4.3	Mediciones y Análisis eléctrico en el pozo Uno	50
4.4	Análisis de los parámetros de calidad eléctrica del pozo Uno	51
4.4.1	<i>Análisis de voltaje.</i>	51
4.4.1.1	<i>Problemas presentes en el pozo Uno.</i>	53
4.4.2	<i>Análisis de corriente</i>	55
4.4.2.1	<i>Corriente de arranque</i>	56
4.4.3	<i>Análisis de la frecuencia.</i>	57
4.4.4	<i>Medición del factor de potencia.</i>	58
4.4.4.1	<i>Procedimiento para corregir el $\cos \phi$.</i>	59
4.4.5	<i>Análisis del THD de voltaje</i>	59
4.4.6	<i>Análisis del THD de corriente.</i>	60
4.4.7	<i>Análisis de flicker.</i>	61
4.4.7.1	<i>Análisis del PIt.</i>	62
4.4.8	<i>Análisis de la potencia.</i>	63
4.5	Costo total en dólares del consumo en el pozo Uno	64
4.6	Desequilibrio entre fases	65
4.7	<i>Eventos de onda.</i>	65
4.7.1	<i>Eventos RMS.</i>	66
4.8	Mediciones y análisis eléctrico en el pozo Dos	67
4.8.1	<i>Análisis de voltaje.</i>	67
4.8.2	<i>Análisis de corriente</i>	70
4.8.3	<i>Análisis de la frecuencia.</i>	71
4.8.4	<i>Análisis del factor de potencia.</i>	72
4.8.4.1	<i>Procedimiento para corregir el $\cos \phi$.</i>	73
4.8.5	<i>Análisis del THD de voltaje</i>	73
4.8.6	<i>Análisis de THD de corriente.</i>	74
4.8.7	<i>Análisis de flicker.</i>	75
4.8.8	<i>Análisis de la potencia.</i>	77

4.9	Costo total en dólares del consumo en el pozo Dos- ESPOCH	78
4.9.1	<i>Eventos de onda</i>	79
4.9.2	<i>Eventos RMS</i>	80
4.10	Calculo del valor del condensador para corregir el $\cos \phi$	81
4.11	Conexión de los condensadores	83
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones.....	84
5.2	Recomendaciones.....	85

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Número de arranques	11
2	Armónicos, frecuencia y secuencia	18
3	Tipo de resistividad del suelo	25
4	Elementos del equipo FLUKE 435	27
5	Características técnicas del transformador	36
6	Características técnicas del transformador	37
7	Límites de la norma EN 50160	40
8	Límites de armónicos	42
9	Voltajes entre línea y neutro	53
10	Resumen de valores de corriente	56
11	Resumen de valores de frecuencia	57
12	Resumen de valores de factor de potencia pozo Uno	58
13	Resumen de valores promedios de flickers	62
14	Resumen de valores de voltaje	69
15	Resumen de valores de corriente	71
16	Resumen de valores de frecuencia	72
17	Resumen de valores de factor de potencia	73
18	Resumen de valores promedios de flickers	76
19	Valores del factor K	81

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1	Sistema de generación eléctrica.....	7
2	Elementos principales de una estación de bombeo de agua	9
3	Logo siemens 24C	13
4	Comportamiento del arranque Y/ Δ	14
5	Onda ideal vs armónicos.....	16
6	Transitorio oscilatorio.....	20
7	Transitorio impulsivo.....	21
8	Porcentaje de variación de tensión.....	22
9	Grado de desequilibrio.....	24
10	Componentes del equipo FLUKE 435	27
11	Analizador eléctrico FLUKE 435	30
12	Pozo Uno ESPOCH	31
13	Ubicación geográfica pozo uno.....	32
14	Componentes del pozo Uno	33
15	Pozo Dos-ESPOCH	33
16	Ubicación geográfica pozo dos.....	34
17	Pozo 2 ESPOCH	35
18	Transformador trifásico pozo Uno.....	36
19	Transformador trifásico del pozo Dos	37
20	Tablero eléctrico 1	38
21	Tablero eléctrico 2	39
22	Conexión del analizador	43
23	Conexión del equipo al tablero del pozo Uno.....	45
24	Lectura del submonitor.....	46
25	Lectura de voltaje y corriente del analizador.....	46
26	Conexión del equipo al tablero del pozo Dos	47
27	Lectura del submonitor 2	47
28	Lectura de voltaje y corriente del analizador.....	48
29	Orientación de la sonda de corriente.....	48
30	Equipo de EPP básico	49
31	Resumen de mediciones pozo Uno	51
32	Voltaje vs tiempo (línea y línea).....	52
33	Voltaje vs tiempo (línea y neutro)	53
34	Espectro de voltaje vs tiempo	54
35	Onda de distorsión de voltaje fase C	54
36	Corriente vs Tiempo	55
37	Corrientes de arranque del motor.....	56
38	Parámetros de frecuencia	57
39	Factor de potencia.....	58
40	Banco de condensadores.....	59
41	THD de voltaje.....	60
42	THD de corriente	60
43	Flickers pozo Uno	62
44	Flicker de larga duración	63

45	Espectros de potencia: Activa, Reactiva y Aparente	64
46	Costo de pérdidas de energía	64
47	Medición de corriente en las líneas A, B, C y neutro	65
48	Eventos de onda pozo uno	66
49	Eventos RMS del pozo Uno.....	66
50	Resumen de eventos del pozo Dos	67
51	Voltaje vs Tiempo (entre líneas).....	68
52	Voltaje vs tiempo (línea y neutro)	69
53	Corriente vs tiempo.....	70
54	Parámetros de frecuencia	71
55	Factor de potencia pozo Dos.....	72
56	THD de voltaje.....	74
57	THD de corriente	75
58	Flickers pozo Dos	76
59	Espectros de potencia: Activa, Reactiva y Aparente	78
60	Costo de pérdidas de energía	78
61	Medición de corriente en A, B, C y neutro del pozo 2	79
62	Forma de onda de voltaje y corriente pozo Dos	80
63	Eventos RMS pozo Dos	80
64	Conexión de los condensadores	83

LISTA DE ANEXOS

A	Sistemas de distribución eléctrica
B	Circuito de mando y potencia del tablero pozo Uno
C	Circuito de mando y potencia del tablero pozo Dos
D	Simbología del analizador Fluke 435 series II
E	Plan de mantenimiento propuesto para los tableros de control de los pozos
F	Reportes del análisis del pozo Uno
G	Análisis termográfico del pozo Uno
H	Análisis termográfico del pozo Dos
I	Hoja de control diario del pozo Uno
J	Hoja de control diario del pozo Dos

RESUMEN

El análisis de la calidad eléctrica realizado en los tableros de control de las estaciones de bombeo de los pozos Uno y Dos de la ESPOCH-RIOBAMBA, se lo realizó con el propósito de determinar los principales problemas existentes tanto en la red eléctrica externa como en la interna de la institución.

Se conectó el equipo analizador de la calidad eléctrica en los tableros principales de los pozos, durante 7 días continuos con un intervalo en las mediciones de 10 minutos, tiempo en el cual fue registrando los eventos que se hayan producido, debido a anomalías en la red eléctrica. Posteriormente con la ayuda del software Power Log, se procede a descargar la información a la PC para realizar el respectivo análisis de los principales parámetros de calidad de energía, como son: variaciones de tensión y corriente, armónicos, flickers, frecuencia, desequilibrios, corrientes de arranque, factor de potencia y una proyección de pérdidas de energía al año.

Para realizar el análisis de los datos obtenidos, se utilizó las normas de calidad eléctrica como son la UNE 50160 y la CONELEC 004/01, las mismas que permitieron determinar mediante las gráficas o espectros, que valores se encuentran fuera de los rangos permitidos por las normas antes mencionadas.

Determinado los principales problemas, se procede a establecer las posibles soluciones para poder eliminar o minimizar los efectos de estos fenómenos. Las soluciones recomendadas, son poseer una instalación de malla a tierra en los tableros, instalar un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia.

Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento preventivo para los pozos, de esta manera se llevará un control de las principales actividades a realizar.

ABSTRACT

The power quality analysis was done in the dashboards of pumping stations I and II of ESPOCH-RIOBAMBA, to determine the main problems in both the grid and the internal the institution.

The analyzer of power quality in the main board of Wells equipment was connected, for 7 consecutive days with an interval measurements 10 minutes, at which time was recorded the events that have occurred due to network anomalies power. Later with the help of the power Log software, it was proceeded to download the information to the PC to perform the respective analysis of the main parameters of power quality such as: changes in voltaje and current harmonics, flickers, often imbalances currents boot, power factor and a projected loss of energy per year.

To analyze the power quality standards are used UNE 50160 and CONELEC 004/01, the same that allowed to determine by graphical or spectra, which values are outside the range permitted by the those rules.

Identified the main problems, it proceed to establish the posible solutions to eliminate or minimize the effects of these phenomena, the recommended solutions are having a grounding installation mesh on the boards, install a capacitor bank to improve factor power.

It is recommended to develop a preventive maintenance plan for Wells, in a way control of the main activities will be performed.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El avance tecnológico, ha establecido nuevas formas de control y comunicación en los equipos. Dando lugar a la implementación de nuevas formas para el control eficaz de las diversas variedad de sistemas.

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento está encaminada a formar profesionales capaces y competitivos para incursionar en el campo laboral, es por esto se ha visto la necesidad de poder utilizar adecuadamente y en forma racional los recursos tecnológicos modernos, específicamente en el uso del equipo de eficiencia energética, es así que se ha presentado este trabajo investigativo de tal forma que aporte a la institución para verificar el estado actual en el que se encuentra funcionando el sistema eléctrico de potencia de las estaciones de bombeo de los pozos Uno y Dos de la ESPOCH.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no lleva un registro permanente del pago del consumo eléctrico en sus diversas instalaciones donde se utiliza la energía eléctrica, razón por la que se requiere realizar un análisis de la calidad eléctrica que permita evaluar los posibles problemas tanto en la red de distribución como en la red interna de la institución.

1.2 Justificación

Se conoce de muchos adelantos en la actualidad es por eso que se tiene la necesidad de buscar alternativas en el control de los parámetros eléctricos por medio del mantenimiento predictivo, el cual tiene como objetivo detectar cualquier síntoma de falla mediante el monitoreo y evaluación de los equipos, máquinas y otros activos, con la ayuda de los analizadores de calidad eléctrica.

Por ello esta técnica cada vez tiene más acogida dentro de las industrias, esto permite saber cuánto implica la falla de un equipo crítico, en comparación con el precio de un mantenimiento predictivo, ya que abarca la pérdida de producción, la reparación, los repuestos y la contaminación; de ahí una de las ventajas de aplicar este tipo de mantenimiento.

El presente trabajo investigativo de campo, pretende dar un aporte para que el consumo de energía eléctrica en la ESPOCH sea de manera racional.

1.3 O b j e t i v o s

1.3.1 *Objetivo general.* Evaluar las pérdidas energéticas en el sistema eléctrico de potencia de las estaciones de bombeo de los pozos Uno y Dos de la Espoch-Riobamba.”

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Analizar la situación técnica actual de los sistemas de bombeo Uno y Dos de la ESPOCH.

Establecer los principales parámetros eléctricos de las instalaciones de los pozos Uno y Dos.

Determinar los procedimientos adecuados para la utilización y manejo del equipo analizador de calidad eléctrica.

Determinar los puntos de medición en los equipos donde serán tomadas las medidas.

Realizar el montaje del equipo y toma de datos en la estaciones de bombeo.

Comparar los datos obtenidos de las medidas con los datos que sugiere el equipo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Método de eficiencia energética eléctrica

La energía eléctrica es un producto que presenta aspectos especiales: se genera lejos de los lugares de consumo, mediante la red de transporte llega a estos puntos luego de pasar por varios transformadores, para recorrer muchos kilómetros de líneas aéreas y subterráneas hasta llegar al usuario. Por tal motivo es importante realizar un análisis de la calidad eléctrica, el mismo que nos permitirá:

- Medir la eficiencia de las operaciones, cuánta energía se utiliza y como se registra el consumo eléctrico a través el tiempo.
- Identificar y cuantificar el desaprovechamiento, debido a una mala calidad eléctrica, llevando a cabo verificaciones de parámetros como: variaciones de tensión, corriente, armónicos, desequilibrio, factor de potencia entre otros.
- Detectar el desaprovechamiento de energía, por incrementos de temperatura en los componentes eléctricos, utilizando una cámara termográfica.

Los componentes eléctricos en mal estado o instalados incorrectamente pueden ocasionar no solo un desaprovechamiento de energía, sino también una potencial interrupción en la producción, mal funcionamiento de equipos o maquinas. Además los equipos añadidos a lo largo de toda la planta, contribuyen al consumo excesivo de energía.

Las buenas prácticas de mantenimiento permiten prolongar la eficiencia de un equipo o maquinaria, reduciendo el desaprovechamiento y costos de energía, manteniendo los mismos servicios energéticos sin disminuir la calidad, protegiendo el medio ambiente y

distribuyendo una corriente balanceada. Esta técnica se utiliza para reducir el consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir la calidad de éste y protegiendo el medio ambiente.

2.1.1 *Importancia de la calidad de energía eléctrica.* En toda empresa industrial pública, privada o establecimiento educativo primario, secundario y superior, requieren de una calidad eléctrica eficiente por lo cual resulta importante realizar un revisión del estado eléctrico de las conexiones de los diferentes puntos de alimentación, mediante el análisis y estudio los parámetros de la calidad eléctrica.

2.1.1.1 *Parámetros de calidad de energía eléctrica.* Para realizar un análisis general de la calidad eléctrica la norma EN 50160, recomienda tomar en cuenta ciertos parámetros tales como:

- Variaciones de tensión y corriente
- Flicker Pst / Plt
- Armónicos
- Frecuencia
- Desequilibrio
- Eventos repentinos en tensión
- Interrupciones

Todos estos parámetros deben ser evaluados durante 1 semana completa (siete días continuos), criterio que está bajo la norma europea EN 50160 de calidad eléctrica.

2.1.1.2 *Problemas que genera una mala calidad de energía eléctrica.* Las pérdidas de energía asociadas a una deficiente calidad eléctrica, son producidas por los siguientes síntomas y causas.

Síntomas

- Cortes del suministro eléctrico
- Disparo de protecciones magneto-térmicas y diferenciales

- Incremento en la factura eléctrica
- Luces que parpadean
- Equipos que trabajan de forma ruidosa y se sobrecalientan
- Fallos prematuros en los equipos
- Rendimiento bajo y paradas no programadas
- Pérdida de datos en sistemas informáticos y de telecomunicaciones.

Causas

- Caídas y subidas de tensiones
- Transitorios
- Interferencias
- Distorsión armónica
- Desequilibrio de tensiones y corrientes (www.fluke.com/fluke/eces/products.)

2.2 Perturbaciones eléctricas.

Son aquellos fenómenos o eventos que afectan a las características del suministro eléctrico (tensión, corriente y frecuencia), pueden estar originadas en las centrales eléctricas, sistemas de distribución o en las propias instalaciones de los usuarios y se caracterizan por su magnitud y duración (transitorios de microsegundos, a pérdidas de suministro de horas, etc.)

2.2.1 Origen de las perturbaciones. Este tipo de problemas se generan por las siguientes causas:

2.2.1.1 Internas. Aproximadamente el 80% de las perturbaciones eléctricas se originan en la propia instalación del usuario, entre las causas potenciales se incluyen el arranque y parada de grandes cargas, cableado deficiente, sobrecargas, cortocircuitos y armónicos.

2.2.1.2 Externas. Alrededor del 20% de los problemas asociados a una calidad eléctrica deficiente se originan en los sistemas de producción y distribución eléctrica, entre las principales causas tenemos: rayos, fallos en los propios sistemas, fenómenos atmosféricos, sistemas de transferencia, como se muestra en la **figura 1**.

Un pequeño desequilibrio de tensión puede deteriorar las conexiones, reduciendo la cantidad de tensión suministrada, esto hace que los diferentes equipos eléctricos y electrónicos, dispongan de una menor corriente y se deterioren con rapidez. Por otro lado un desequilibrio grande puede llegar a fundir un fusible, provocando que las operaciones el sistema fallen o no funcionen.

Figura 1. Sistema de generación eléctrica



Fuente: (PROTECO, 2012)

2.3 Estaciones de bombeo de agua

Una estación de bombeo es un conjunto de estructuras civiles, máquinas, equipos, tuberías y accesorios, que permiten obtener el agua de manera directa o indirecta desde la fuente de abastecimiento, hasta un tanque de almacenamiento o a su vez en forma directa a la red de distribución.

2.3.1 Ubicación de las estaciones de bombeo. Las estaciones de bombeo están seleccionadas de tal manera que permitan un funcionamiento seguro y continuo, considerando los siguientes detalles:

- Fácil acceso al área de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de inundaciones, deslizamientos y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- Topografía del terreno.

2.3.2 *Clasificación de las estaciones de bombeo de agua.* Se clasifican en estaciones de bombeo primarias y secundarias.

2.3.2.1 *Primarias.* Toman el agua desde fuente de abastecimiento o de algún cárcamo (pozo) y la elevan a un almacenamiento y de ahí la distribuyen a la red directamente o al consumidor. Se construyen de una cámara o dos cámaras y se usan generalmente bombas de eje vertical o sumergible.

2.3.2.2 *Secundarias.* Mejoran las condiciones de una estación primaria, incluyendo un tratamiento del agua, aumentando la presión para distribuirlo al consumidor. (www.siapa.gob.mx/estacionesdebombeo.pdf)

2.3.3 *Elementos principales de una estación de bombeo.* Está integrada por un conjunto de sistemas como: hidráulicos, electromecánicos y sin dejar de lado las obras civiles, donde se fusionan los conocimientos hidráulicos, estructurales, funcionales y estéticos, como se observa en la **figura 2.A** continuación se describen en forma separada los principales constituyentes de cada uno de ellos.

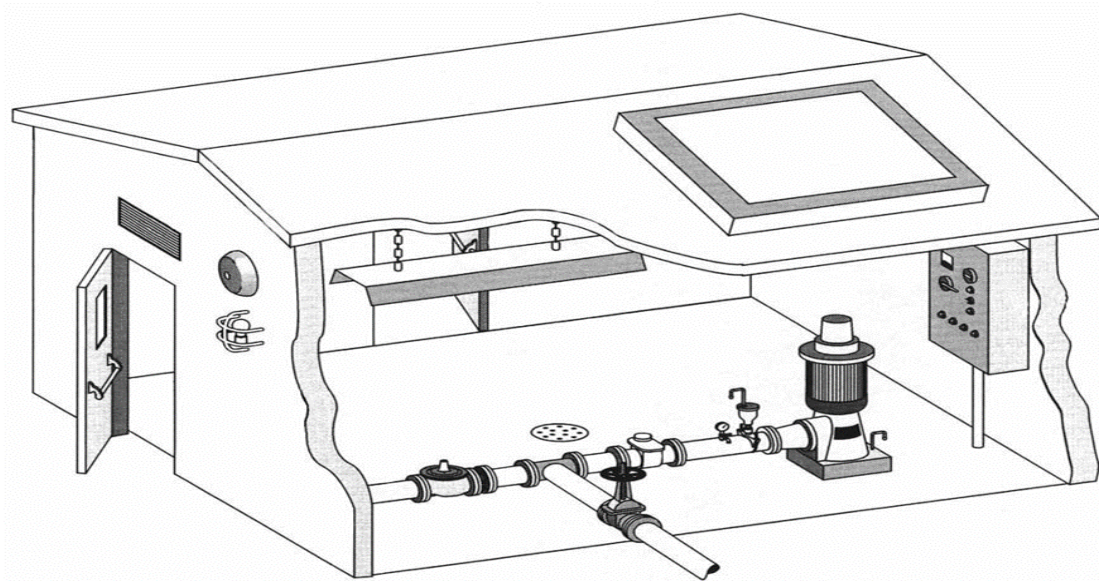
Obras civiles

- Pozo de bombeo/cámara de succión
- Casa de bombas
- Sala de comando

Sistemas electromecánicos

- Bombas
- Colector de salida
- Válvulas
- Motores
- Gabinete metálico
- Iluminación
- Elementos de medición y control. (ESTACIONES, 2002)

Figura 2.Elementos principales de una estación de bombeo de agua



Fuente: (INSPECCIONES, 2010)

2.3.3.1 Bombas sumergibles. Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación, se emplean exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical.

La desventaja de estas bombas radica en el costo de operación ya que es elevado por su alto consumo de energía y no es factible hacer regulaciones durante la operación para variar la velocidad.

2.3.3.2 Tuberías y accesorios de interconexión. En las estaciones de bombeo se emplean tuberías y codos de un material como el hierro fundido dúctil, galvanizado y de PVC, estos materiales permiten la interconexión fácil y segura y al mismo tiempo pueden resistir altas presiones.

La ventaja de las tuberías de hierro, es que son muy durables y resistentes al impacto. Su desventaja está en su costo relativamente elevado. Las tuberías de PVC, no son muy resistentes al impacto, pero tienen ventajas económicas respecto a los anteriores. Los accesorios de conexión tales como, codos de 45°, 90° y te, serán del mismo material que las tuberías.

2.3.3.3 *Válvulas de compuerta.* Son utilizadas para aislar la línea de impulsión de la estación de bombeo en casos de mantenimiento, poseen una compuerta con cierre estanco por compresión del mismo y son accionados por un volante a través de un vástago.

2.3.3.4 *Válvulas de retención o check.* Impiden el retorno del flujo en las tuberías, reaccionan automáticamente a los cambios de dirección de flujo y son de preferencia tipo swing con amortiguación hidráulica, neumática o mecánica en el cierre y apertura para evitar golpes de ariete, según sean las condiciones de la operación. Pueden ser de cierre rápido o lento. (ESTACIONES, 2002)

2.4 Componentes eléctricos de la estación de bombeo

2.4.1 *Motor eléctrico sumergible.* Es un medio confiable, eficiente y sin problemas para accionar una bomba. Los requisitos para una vida prolongada del motor son sencillos y son los siguientes:

- Disponer de un ambiente de operación apropiado
- Poseer un suministro de electricidad adecuado
- Tener un flujo adecuado de agua refrigerante sobre el motor
- Proporcionar una carga apropiada de la bomba

2.4.1.1 Cables eléctricos sumergibles. Son planos o circulares concéntricos, extraflexibles, multihilos y de diámetros de dos tramos independientes, cada uno de los cuales debe tener tres cables identificados por colores más el cable a tierra. El cable se sujeta a lo largo de la columna de la bomba, con abrazaderas de acero inoxidable lo suficientemente robustas para soportar el peso del cable y sujetadas en cada tramo de la columna. El material del conductor es de electrolito recocido y la caída de tensión de los cables debe ser el 3% del voltaje nominal del motor. (ESTACIONES, 2002)

2.4.1.2 Protección para motores trifásicos sumergibles. Están diseñados para proteger bombas trifásicas con rangos de factor de servicio de 3 hasta 359 A. Posee una pantalla para visualizar de forma inmediata las lecturas de corriente y voltaje de las tres fases.

2.4.1.3 Frecuencia de arranques. El número promedio de arranques por día en un período de meses o años influye en la vida de un sistema sumergible de bombeo, ya que el exceso de ciclos afecta la vida de los componentes de control como interruptores de presión, arrancadores, relevadores y condensadores, también puede provocar daños en el estriado del eje del motor, daños en el cojinete y puede también provocar sobrecalentamiento del motor. Todas estas condiciones pueden reducir la vida del motor.

El tamaño de la bomba y de otros controles debe ser seleccionado para mantener bajo el número de arranques por día para una vida más prolongada. El número máximo de arranques en un período de 24 horas se muestra en la **Tabla 1.** (FRANKLINELECTRIC, 2001)

Tabla 1. Número de arranques

Capacidad del motor		Arranques máximos en 24 hr	
HP	kW	Monofásico	Trifásico
Hasta 0.75	Hasta 0.55	300	300
1 a 5.5	0.75 a 4	100	300
7.5 a 30	5.5 a 22	50	100 [^]
40 y mas	30 a mas	-	100

Fuente:(FRANKLIN, 2009)

2.4.2 Transformador de distribución. Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión o corriente en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, comercios.

Se fabrican en potencias normalizadas desde 25 hasta 1000 kVA y tensiones primarias de 13.2, 15, 25 y 35 kV. Según especificaciones del cliente.

La elección correcta de un transformador de distribución no es tarea que se pueda tomar a la ligera, por lo que el conocimiento a fondo de esta máquina es indispensable para todo proyectista eléctrico, por otra parte, poner fuera de servicio un transformador representa un serio problema para las empresas que prestan el servicio de electricidad a las, ya que ello siempre trae consigo un apagón más o menos prolongado de un sector poblacional.

2.4.3 Variador de frecuencia. Es un regulador electrónico de velocidad, está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, cuya función principal es transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Este sistema es utilizado para controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna.

Una de las aplicaciones más importantes de los variadores de frecuencia es en las bombas centrífugas, ya que permite llevar un control de caudal determinado o también para el empleo en sistemas de presión constante y volumen variable, representando enormes ahorros en consumo de electricidad.(CENTRAL MATIC, 2005)

2.4.4 *Logo Siemens*. Es un controlador lógico programable, que permite realizar un trabajo de forma automática sin que se requiera la intervención humana.

Figura 3. Logo siemens 24C



Fuente:(CONTROLADORES, 2005)

2.4.5 *Contactores*. Son componentes electromagnéticos que tienen como finalidad establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el de mando, tan pronto se alimenta de corriente a la bobina y su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden.

Constructivamente son similares a los relés, pero su diferencia radica en la misión que cumple cada uno, pero ambos permiten controlar en forma manual o automática, la conexión y desconexión de circuitos.

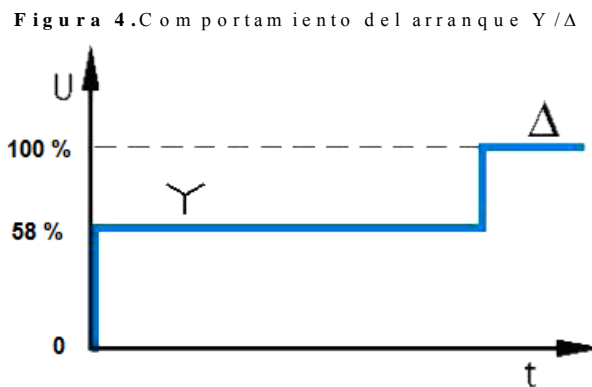
2.4.6 Interruptores termomagnéticos. Son dispositivos eléctricos, cuya función principal es la de ofrecer la protección al circuito contra sobrecargas o cortocircuitos.

2.4.7 Guardamotor. Es un interruptor magneto térmico diseñado para la protección de motores contra sobrecargas o cortocircuitos y en algunos casos frente a la falta de fase. A diferencia otros interruptores estos son regulables.

2.5 Tipo de arranque del motor eléctrico trifásico

Comúnmente este tipo de motores requieren para puesta en marcha el arranque estrella triángulo.

2.5.1 Arranque estrella-triángulo (Y/Δ). Es el método más habitual y sencillo para reducir la corriente de arranque en los motores. Durante el arranque los devanados estatoricos del motor se conectan en estrella, los mismos que se encuentran alimentados con una tensión igual a la tensión de la red dividida por $\sqrt{3}$ o sea un 58% de la tensión nominal como se muestra en la **figura 4**.



Fuente:(ARRANQUES, 2002)

El par motor, se reduce a $1/3$ del par proporcionado por un motor en arranque directo y la corriente de línea de alimentación se reduce en la misma proporción. Esta reducción genera picos de corriente de consideración y de par de transición de Y/Δ, por lo cual no se puede aplicar este método a motores de más de 30 kW o 40 HP. Para limitar estos fenómenos transitorios, se recomienda utilizar tres variantes de este método:

2.5.1.1 *Arranque estrella-triángulo con temporización en el paso "Y/Δ"*. Por lo general de 1 a 2 segundos.

2.5.1.2 *Arranque estrella-triángulo en tres tiempos*. La interrupción subsiste, pero se intercala una resistencia en serie con los devanados del motor conectados en triángulo, aproximadamente por 3 segundos.

2.5.1.3 *Arranque estrella-triángulo sin corte o interrupción*. La resistencia destinada a conectarse de manera temporal en serie con los devanados en triángulo es conectada inmediatamente antes de la apertura del contactor de estrella, con el fin de evitar toda la desconexión del circuito. (SANTILLÁN, 2010)

2.6 Diagramas eléctricos

Para el diseño, construcción y mantenimiento de cualquier equipo y maquinaria, se requieren de instrucciones concretas que permitan efectuar un trabajo seguro y fácil, es por ello que los diagramas son el medio de comunicación entre el diseñador, constructor y el personal técnico. Estos diagramas deben ser de trazos simples, cuyos signos y símbolos deben ser, al menos de conocimiento general y normalizado.

Los circuitos que más se utilizan en la actualidad para identificar el funcionamiento de un equipo o sistema eléctrico son los de mando y de potencia.

2.6.1 *Circuito de mando y señalización*. Conocido también como circuito de control, es un diagrama de tipo bifilar (todo el circuito queda enmarcado entre dos líneas), que representa la alimentación de bobinas de mando de relés, contactores, lámparas de señalización, entre otros. Contiene símbolos (letras) de identificación de los equipos y aparatos eléctricos, sus componentes y conexiones.

En toda instalación eléctrica de sistemas trifásicos existen dos tipos de circuito que son: circuito de mando y de potencia, los cuales permiten interpretar de mejor manera como están instalados cada uno de los componentes del sistema, para de esta forma realizar una correcta conexión y evitar accidentes.

2.6.2 *Circuito de potencia o de fuerza.* Conocido también como circuito de trabajo, es de representación multifilar, que muestra la fuente o red de tensión de la carga, los dispositivos de protección del circuito derivado como: cortocircuitos y/o sobrecargas, los contactos principales o polos de un contactor y el equipo o maquina eléctrica a controlar. (SANTILLÁN, 2010)

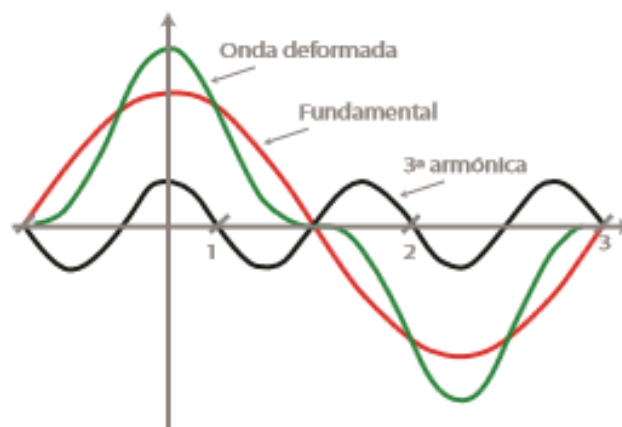
2.7 **Parámetros utilizados en calidad eléctrica**

2.7.1 *Armónicos.* Se define como una tensión sinusoidal cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60 Hz) de la tensión de alimentación del sistema.

Es la deformación de las ondas sinusoidales de tensión y/o de corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal. Las ondas son representaciones gráficas en el tiempo, es una curva que representa las variables en función del seno.

La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en un sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores en las medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, disminución de la vida útil de los equipos entre otros. A continuación la **figura 5**, muestra una onda ideal con presencia de 2 armónicos.

Figura 5. Onda ideal vs armónicos



Fuente:(RTRENERGIA, 2012)

2.7.1.1 Origen de los armónicos. Las principales causas que producen armónicos son las siguientes:

- Las reactancias electromagnéticas y electrónicas de alumbrado.
- Equipos de soldadura eléctrica.
- Equipos electrónicos conectados a la red monofásica.
- Variadores de velocidad.
- Convertidores CA /CC.
- Motores eléctricos.
- Ordenadores. (RTRENERGIA, 2012)

2.7.1.2 Clasificación de los armónicos. Los armónicos se clasifican por su orden, frecuencia y secuencia que define correctamente la función del armónico correspondiente a los sistemas eléctricos, es decir que dependiendo de su secuencia y giro, causan diferentes efectos:

- *Secuencia (+).* Giro Directo, puede ocasionar calentamiento de conductores, desperfectos en circuitos, etc.
- *Secuencia (-).* Giro Inverso, puede ocasionar un freno en el motor, es decir se va a producir un campo magnético giratorio contrario a la fundamental, además provocara calentamiento en conductores y por ende problemas en el motor.
- *Secuencia (0).* No tiene sentido de giro, pero puede ocasionar calentamiento. La secuencia de armónicas cero son múltiplos de la tercera armónica, comúnmente son llamados "Triplens".

2.7.1.3 Frecuencia del armónico. Se define como resultado de multiplicar el número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz).

Ejemplo:

$$3^{\text{a}} \text{ Armónica } 3 \times 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$$

En la **tabla 2**, se muestra el orden, frecuencia y la secuencia de los armónicos.

Tabla 2. Armónicos, frecuencia y secuencia

Armónico	Frecuencia (Hz)	Secuencia
0 (DC)	0	
1 (Fundamental)	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	0
10	600	+
11	660	-

Fuente: (ARMÓNICOS, 2012 p. 45)

2.7.1.4 Efecto que producen los armónicos. La presencia de armónicos en sistemas eléctricos ocasionan serios problemas tales como: daño de fusibles, breakers, transformadores, interruptores. Para corregir estos problemas se debe instalar reactores de línea, filtros, corregir cargas no lineales.

2.7.1.5 Distorsión armónica total (THD). La tasa de distorsión armónica total es la frecuencia utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa. Es el parámetro de medición de distorsión más conocido, por lo que es recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales (I y V). al igual que la corriente directa es útil cuando se trabaja con equipos que deben responder solo a la señal fundamental, como el caso de algunos relevadores de protección. (ARMONICOS, 2008).

2.7.1.6 Distorsión armónica total de tensión (THD_v). Es usado para medir la distorsión de una onda periódica de tensión, con respecto a una senoidal de frecuencia fundamental.

Este índice se obtiene relación entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del valor VRMS de cada armónico y el valor máximos de la fundamental se expresa en porcentaje.

El porcentaje de distorsión armónica permitido en el voltaje es de menos del 8% como rige en la norma Europea EN 50160.

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

D ó n d e :

THDv: Distorsión Armónica Total de Tensión.

V_h : Es el valor individual de cada componente armónica.

V_1 : Es valor eficaz de voltaje de la componente fundamental (60 Hz).

h : Número del armónico.

$hmax$: Es el armónico máximo.

2.7.1.7 Distorsión armónica total de corriente (THDi). Es usado para medir la distorsión de una onda periódica de corriente, con respecto a la demanda máxima, el índice se obtiene de la relación entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del RMS de cada armónico y el valor RMS de la demanda máxima de la fundamental. El porcentaje de variación de armónicos de corriente es de -8% que rige la norma EN 50160 Europea. (ARMONICOS, 2008).

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

D ó n d e :

THDi: Distorsión Armónica Total de Corriente.

I_n : Valor individual de cada componente.

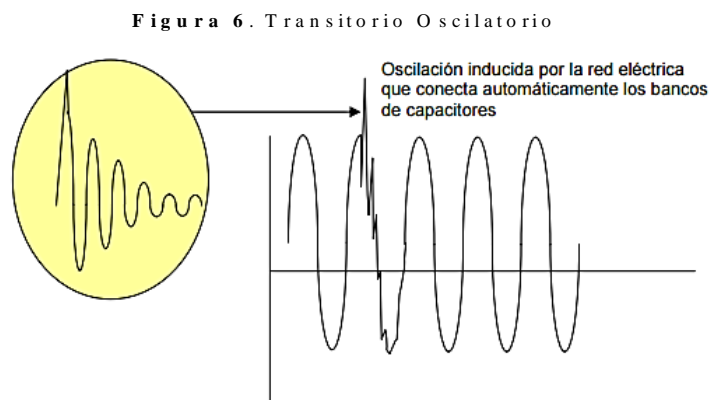
I_1 : Es valor eficaz de corriente de la componente fundamental (60 Hz).

h_{max} : Es el armónico máximo.

2.7.2 Transitorios. Son incrementos de tensión y corriente con magnitudes altas y amperajes que pasan a través de los elementos que se encuentran en cada uno de los circuitos eléctricos y que suceden de manera momentánea.

2.7.2.1 Tipos de transitorios. A continuación se describen los diferentes tipos de transitorios que se presentan en la red eléctrica.

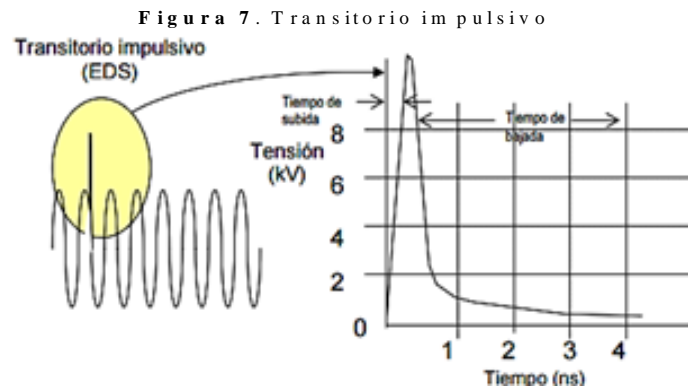
- **Oscilatorio**, produce un cambio rápido de frecuencia de la fundamental (60 Hz), un brusco cambio de la señal de la tensión y de la corriente, produciendo valores de polaridad tanto positivo como negativo, se describe por su contenido espectral que presenta en un osciloscopio, como se muestra en la **figura 6**. (AGUILAR, 2010)



- **Impulsivo**, cambia súbitamente la señal de la tensión o corriente y de polaridad unidireccional negativo o positivo, tiene una duración típica mayor que 0.1 milisegundos, como se observa en la **figura 7**. (AGUILAR, 2010).

En un circuito que no esté alimentado donde no hay presencia de voltaje y corriente, si en un momento dado se aplica una tensión al sistema, hasta que alcance la corriente

estable de funcionamiento del circuito pueden producirse corrientes que superen la nominal, es por ello por lo que cualquier equipo de informática es recomendable no desconectar o conectar ningún dispositivo a un ordenador mientras éste se encuentre en funcionamiento



Fuente: (ELÉCTRICO, 2011)

2.7.3 Flicker. Denominado también parpadeo, es un fenómeno de variación de la intensidad de flujo luminoso que afecta a la visión humana generado por fluctuaciones en tensión de la red. Se muestra en la luz eléctrica pero el efecto está en el voltaje.

El flicker se relaciona con variaciones luminosas, es el resultado de pequeñas fluctuaciones de tensión por el funcionamiento de cargas variables importantes tales como: hornos de arco, variadores, motores eléctricos y bombas.

2.7.5 *Variaciones de frecuencia.* La frecuencia debe mantenerse siempre en el valor nominal (60 Hz), si la frecuencia es superior, la bomba podría sobrecargar el motor y si es inferior, caerá el rendimiento de la bomba. Un cambio en la frecuencia provocará un desequilibrio en la corriente.

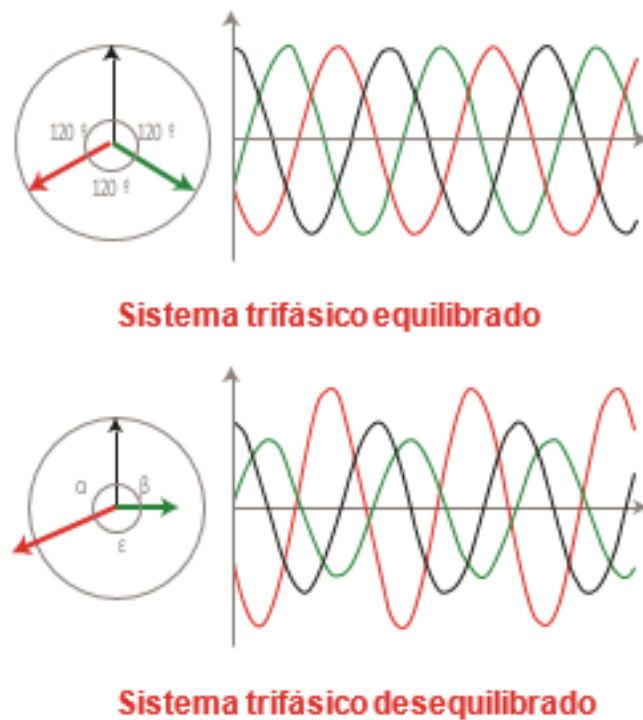
2.7.6 *Desequilibrio.* Es un problema de calidad de energía eléctrica que afecta gravemente a los sistemas de distribución de baja tensión. Sin embargo, es posible cuantificarlo de manera relativamente sencilla con la generación de parámetros que pueden compararse con valores normalizados.

2.7.6.1 *Desequilibrio de tensión.* Se genera en un sistema trifásico cuando existen diferencias entre los valores eficaces (RMS) de las tensiones, tenga o no distribuido el neutro.

2.7.6.2 *Desequilibrio de corriente.* Se producen cuando por las tres fases de un sistema trifásico no circulan las mismas intensidades, este tipo de desequilibrio provoca sobrecalentamiento en cables de alimentación y protecciones que incluso podrían llegar a disparar y circulación de corriente por el neutro. (DESEQUILIBRIOS, 2009)

También se dice que es la relación entre la componente de secuencia negativa con la componente de secuencia positiva.

Figura 9. Grado de desequilibrio



Fuente:(RTRENERGIA, 2012)

2.7.6.3 Causas del desequilibrio. Las principales causas son cargas monofásicas sobre el sistema eléctrico trifásico, por no tener una igual distribución, en especial las de los consumidores de baja tensión de índice monofásico.

2.7.7 Interrupciones. Son eventos durante el cual el voltaje, en el punto de conexión del consumidor, cae a cero y no retorna a sus valores normales automáticamente. De acuerdo con la IEC, el tiempo mínimo de una larga interrupción es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 minutos, se denomina corta interrupción.

2.8 Puesta a tierra

Es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas y que consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra por medio de uno o varios electrodos enterrados en el suelo, impidiendo de esta manera que el usuario entre en contacto con la electricidad.

La finalidad principal de una puesta tierra, es no permitir que exista tensión en la tierra, la resistencia que tenga una puesta a tierra debe ser de una impedancia 2Ω o menor que se lo revisa con equipos de medición como termómetro de gancho.

2.8.1 Composición de una instalación a tierra. Para una instalación a tierra en una estación de bombeo, se debe tener en cuenta varios factores tales como:

- Tipo de suelo
- Tomas a tierra
- Conductor de tierra con electrodo
- Masa
- Elemento conductor
- Canalización metálica principal de agua

(MARCOMBO, 2010)

2.8.2 Referencias para la puesta a tierra. Para una puesta a tierra se debe tener en cuenta la resistividad del suelo, ya que no es homogéneo en todo el país debido a su naturaleza propia por estar sometido a efectos climáticos, todo esto hace que la resistividad sea muy variable en las regiones del Ecuador. A continuación se muestra en la **tabla 3**, los diferentes tipos de terreno y su resistividad.

Tabla 3. Tipo de resistividad del suelo

Naturaleza del terreno	Resistividad (Ohm-m)	Dosis THOR-GEL Por m ²
Terrenos cultivables y fértiles	50	1
Terraplenes compactos y húmedos	50	1
Terrenos cultivables poco fértiles	500	De 1 a 2
Suelos pedregosos desnudos arena seca	3000	2
Suelos rocosos fraccionados	6000	De 2 a 3
Suelos rocosos compactos	14000	3

Fuente: (MONOGRAFÍAS, 2007 p. 28)

2.9 Analizadores de la calidad de energía

Los analizadores trifásicos de Energía y Calidad Eléctrica son instrumentos que permiten medir, las potencias y energías consumidas por las cargas eléctricas. Además ofrecen información necesaria para establecer soluciones adecuadas y oportunas para

determinarla calidad eléctrica, también ayuda a la detección de posibles problemas como: perturbaciones, armónicos, transitorios, corrientes de arranque, desequilibrio, potencia, energía activa, reactiva, factor de potencia y variaciones de tensión en cargas lineales monofásicas y trifásicas así como determinar su magnitud al instante. Estos parámetros generalmente son en baja tensión. Además permiten memorizar y registrar datos de estos parámetros como es el caso del analizador de calidad eléctrico FLUKE 435 series II.

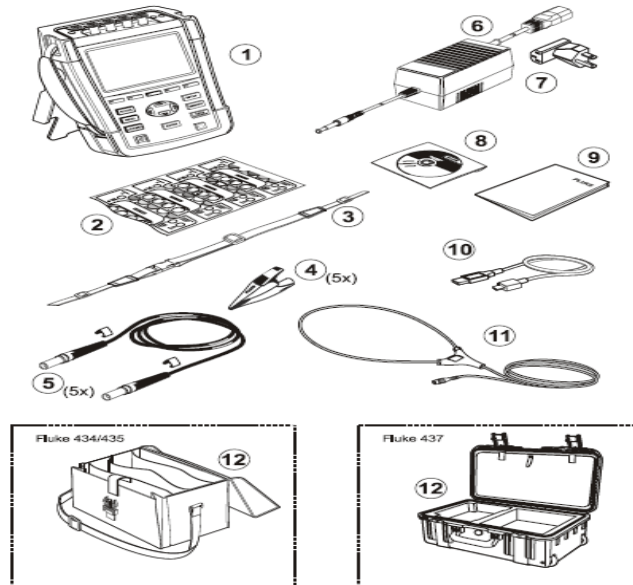
Para realizar las mediciones con el analizador de calidad de energía se regirá a la norma de regulación de la **CONELEC_004/01 "CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN"**, la cual determina que se deben realizar las mediciones durante 7 días continuos con intervalos de 10 minutos para obtener las diferentes valores de mediciones, datos y gráficas de los tableros eléctricos principales y transformadores (CONELEC, 2001).

2.9.1 Parámetros de medición del equipo. El analizador FLUKE 435, posee varias opciones para visualizar la información, los cuales se detallan a continuación:

- **Resumen:** Permite introducir información adicional como nombre del cliente.
- **Tabla:** Es la encargada de registrar fechas y horas de las mediciones del equipo.
- **Tensión y corriente:** Muestra el tiempo con la tensión registrada.
- **Estadísticas:** Nos ayuda con historial de las medidas en forma de barras.
- **Armónicos:** Muestra la distorsión de la tensión y corriente.
- **Frecuencia y desequilibrio:** Muestra el desequilibrio en la tensión en %.
- **Potencia:** Muestra la potencia de consumo.
- **Energía:** muestra la energía acumulada o en promedios de ejecución.
- **Transitorios:** Muestra las variaciones de las ondas.
- **Huecos y picos:** Muestra la gravedad del hueco con relación a la tensión nominal.
- **Eventos RMS:** Muestra los perfiles de eventos con una duración de 7 segundos.
- **Eventos WAVE:** muestra las formas de onda de tensión y corriente capturadas durante el evento. Muestra 1 segundo (100/120 ciclos) de datos para señales de 50/60 Hz (FLUKE, 2012)

2.9.2 Componentes del equipo analizador. El equipo analizador de calidad eléctrica, cuenta con los siguientes elementos y accesorios para su correcto funcionamiento, el que a continuación se muestra en la **figura 10**.

Figura 10. Componentes del equipo FLUKE 435



Fuente:(FLUKE, 2012)

Antes de utilizar el equipo se debe leer detenidamente el manual del usuario para un buen manejo del mismo.

En la **tabla 4** se describe cada uno de los accesorios que contiene el analizador de energía.

Tabla 4. Elementos del equipo FLUKE 435

Tabla de elementos del analizador Fluke 435	
Nº	Descripción
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43x Serie II + correa lateral, juego de baterías
2	Juego de etiquetas para tomas de entrada (Nuevo UE y Reino Unido, UE, China, Reino Unido,
3	Correa
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5.
5	Cables de prueba, 2,5 m + pinzas codificadas con colores. Juego de 5
6	Adaptador de red
7	Juego de adaptadores de enchufe de red (UE, EE.UU., Reino Unido, Australia/China, Suiza.
8	Manual de instrucciones de seguridad (en varios idiomas).
9	CD-ROM con manuales (en varios idiomas), software Power-Log y controladores USB.
10	Cable de interfaz USB para conexión al PC (USB A mini USB B).

11	Sonda de corriente de CA 6.000 A flexible (no se incluye en la versión básica).
12	Estuche de transporte flexible C1740, Malletín rígido con ruedas C437-II.

Fuente:(FLUKE, 2012)

2.10 Límites para determinar los parámetros eléctricos

Para determinar la calidad eléctrica, tenemos que saber cuáles son los límites permitidos de los parámetros como: voltaje, corriente, frecuencia, armónicos, flickers, entre otros.

2.10.1 Parámetros de voltaje. Para el análisis del voltaje nos regimos a la norma de la CONELEC, la cual nos indica que para el voltaje tenemos una variación del +/- 10% del voltaje nominal de 127 V, 220V, 380V, 460 V en baja tensión.

Por ejemplo para un voltaje nominal de 127V el valor mínimo debe ser de 114.3V y el valor máximo 139.7V, con estos límites se determina el comportamiento mediante gráficas.

2.10.2 Parámetros de corriente. Para el análisis de cargas en las líneas de un sistema trifásico, la norma IEEE, indica que debe existir máximo un 3% de desbalance entre líneas.

2.10.3 Parámetros de factor de potencia. Se debe considerar que 5% o más del periodo evaluado, el valor del factor de potencia es inferior al límite establecido, cuyo rango según la norma oscila entre 0.92 y 1 como máximo.

Si este fuera el caso, el consumidor tendrá penalización económica, debido a que se está perjudicando al distribuidor, por lo cual es muy importante el análisis de este parámetro.

La norma que ayuda a determinar este parámetro es el de la CONELEC, la cual se respalda de la UNE 50160 norma española.

2.10.4 *Parámetro de armónicos.* Los valores RMS de voltaje individuales, o conocidos como THD que son representados en porcentajes de voltaje nominal no deben sobrepasar los valores límites establecidos por la CONELEC que debe ser menor al 8% .

2.10.5 *Parámetros de frecuencia.* Para el análisis de la frecuencia la norma, indica que debe existir una variación de +/-1% que da un valor de 60.129 Hz y 59.836Hz .

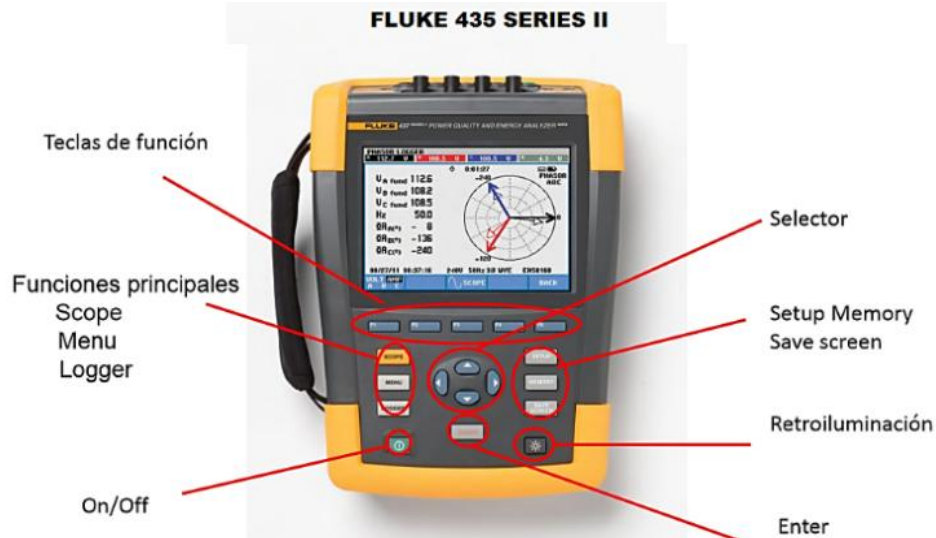
2.10.6 *Parámetro flicker.* Efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de 10 minutos, y para mediciones de larga duración mayores a 2 horas, con un límite menor a 1, lo que nos indica la norma de la CONELEC .

2.11 Descripción del analizador energético FLUKE 453 SERIES II

El analizador nos ayuda a determinar los parámetros de calidad eléctrica de baja y media tensión en una forma rápida y portátil ya que el mismo graba los eventos y el comportamiento durante un tiempo determinado que está establecido por las normas de calidad eléctrica antes mencionadas. Además de esto el equipo, sirve como un osciloscopio para observar el comportamiento de las fases .

También ayuda a determinar la condición del transformador y como envía su señal a la carga, y lo más importante ayuda a determinar el costo económico por pérdidas de energía, como se observa en la **figura 11**.

Figura 11. Analizador eléctrico FLUKE 435



Fuente: (FLUKE, 2012)

En la pantalla se puede visualizar los respectivos voltajes así como también los vectores con sus direcciones lo cual nos ayuda para verificar si las conexiones están bien realizadas.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN TÉCNICA ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LOS POZOS UNO Y DOS DE LA ESPOCH.

Para realizar el análisis de la situación técnica actual de los tableros de control en los pozos Uno y Dos de la ESPOCH, como primer paso se solicita la autorización, mediante un oficio al Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico, para que se permita el ingreso a los pozos de la institución, antes mencionados.

El análisis se realizará específicamente en los tableros de control de los pozos, en donde se verificará la calidad de energía eléctrica de la carga en este caso las bombas, las mismas que están alimentados desde una red externa.

El presente análisis ayudará a determinar si los parámetros de calidad eléctrica, se encuentran o no dentro de los rangos establecidos por la norma de la CONELEC, para poder eliminar o minimizar en lo posible los problemas que se estén generando.

3.1 Pozo Uno

Se encuentra ubicado junto a las piscinas de la ESPOCH y abastece del líquido vital a la mayor parte de facultades, inició sus operaciones hace 30 años y trabaja de lunes a sábado, en el horario de 7:00 a 19:00.

Figura 12. Pozo Uno ESPOCH



Fuente: Autores

La operación o puesta en marcha de esta estación de bombeo, se la realiza de forma manual, por parte de un empleado de la institución, quien además lleva un registro diario de parámetros de caudal y sistema eléctrico, **ver anexo I.**

3.1.1 Ubicación geográfica. Mediante una vista aérea se puede observar el sitio exacto donde está ubicado la estación de bombeo del pozo uno como se muestra en la **figura 13.**

Figura 13. Ubicación geográfica pozo uno.



Fuente: (G O O G L E , 2 0 0 8)

3.1.2 Componentes del pozo Uno. Esta estación de bombeo consta está integrada por los siguientes elementos:

- C a s e t a
- P o z o e n c a m i s a d o
- B o m b a - M o t o r s u m e r g i b l e (F R A N K L I N E L E C T R I C) d e 5 0 H P
- T u b e r í a s d e s u c c i ó n
- V á l v u l a s d e r e g u l a c i ó n y c o n t r o l
- T a b l e r o d e c o n t r o l
- L o g o S i e m e n s
- C o n t a c t o r e s
- R e l é s
- S u b m o n i t o r
- C o n t a c t o r p r i n c i p a l
- C a b l e a d o e l é c t r i c o
- T r a n s f o r m a d o r 3 f (M O R E T R A N)

Figura 14. Componentes del pozo Uno



Fuente: Autores

3.2 Pozo Dos

Se encuentra ubicado en la parte norte de la institución, abastece del líquido vital a los departamentos y facultades que se encuentran por esa área, empezó sus operaciones hace 6 años aproximadamente y su jornada de trabajo es de lunes a viernes de 7:00 a 15:00.

Figura 15. Pozo Dos-ESPOCH



Fuente: Autores

La operación o puesta en marcha de esta estación de bombeo, se la realiza de forma manual, por parte de un empleado de la institución, quien además lleva un registro diario de parámetros de caudal y sistema eléctrico, ver anexo I.

3.2.1 Ubicación geográfica. Mediante una vista aérea se puede observar el sitio exacto donde está ubicado la estación de bombeo del pozo dos como se muestra en la figura 16.



Fuente: (GOOGLE, 2008)

3.2.2 Componentes del pozo Dos. Esta estación de bombeo consta está integrada por los siguientes elementos:

- Caseta
- Pozo encamizado
- Bomba-Motor sumergible (FRANKLIN ELECTRIC) de 60 HP
- Tuberías de succión y descarga de 6 pulgadas
- Válvulas de regulación y control
- Tablero de control
- Variador de frecuencia (DANFOSS MCD 3000)
- Interruptores Termomagnéticos
- Relés
- Submonitor

- Cableado eléctrico
- Transformador 3f (ECUATRAN)
- Ventilador

Figura 17. Pozo 2 ESPOCH



Fuente: Autores

3.3 Puntos donde se realizan las mediciones

Se conectará el equipo en los tableros de control tanto del pozo Uno como en el pozo Dos, las mediciones se realiza con el analizador de calidad eléctrica FLUKE 435, se realizara durante un tiempo determinado por las normas eléctricas. Generalmente se toma como puntos de medición en la entrada a la carga (bomba).

3.4 Alimentación eléctrica para el pozo Uno

El pozo uno está alimentado por un transformador que se encuentra ubicado en forma aérea en las afueras de la institución en la vía principal desde un poste, posee 3 fases, 1 neutro y una puesta a tierra como se muestra en la **figura 18**, el mismo que tiene una vida útil de 30 años aproximadamente, posee un voltaje primario de 13800 V, mientras que en el secundario tiene un voltaje de 220/127 V. Este valor se utilizara para programar el equipo analizador de la calidad eléctrica.

Figura 18. Transformador trifásico pozo Uno



Fuente: Autores

Tabla 5. Características técnicas del transformador

Datos técnicos	
Marca	MORETRAN
Potencia	125 kVA
Fases	3
Año de fabricación	1979
Voltaje AT	13800 V
Voltaje BT	220/127 V
Peso total	890 kg
Tipo de conexión	Dyn5

Fuente: Autores

3.5 Alimentación eléctrica para el pozo Dos

El pozo Dos, está alimentado por un transformador trifásico que se encuentra empotrado en la misma estación de bombeo, adicional cuenta con una instalación a tierra como se muestra en la **figura 19**, tiene una vida útil de 6 años aproximadamente, posee un voltaje primario de 13800 V, mientras que en el secundario tiene un voltaje de 460/380 V. Este valor se utilizara para programar el equipo analizador de la calidad eléctrica.

Figura 19. Transformador trifásico del pozo Dos



Fuente: Autores

Tabla 6. Características técnicas del transformador

Datos técnicos	
Marca	ECUATRAN
Potencia	100 kVA
Fases	3
Año de fabricación	2010
Voltaje AT	14490 V
Voltaje BT	460/256 V
Peso total	586 kg
Aceite refrigerante	144 Kg
Tipo de conexión	Dyn5
Color	Plomo

Fuente: Autores

3.6 Características básicas del motor eléctrico

Los motores de los pozos Uno y Dos de la ESPOCH-RIOBAMBA, son de la marca Franklin Electric de 50 y 60 HP respectivamente, los mismos que son construidos para una operación confiable y segura, los mismos que poseen las siguientes características:

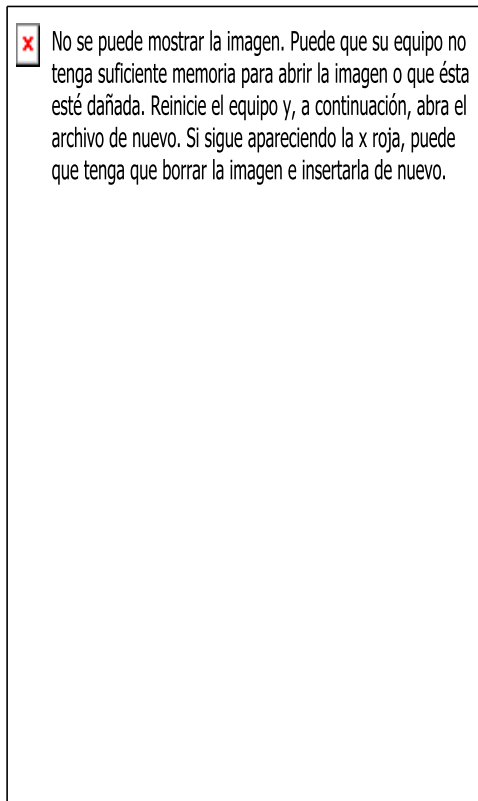
- Punto de diseño a 3450 RPM, en 60 Hz
- Temperatura máxima de los devanados NEMA clase 200
- Estriado del eje en acero inoxidable
- Diseño de doble brida

- Área del estator herméticamente sellado
- Devanados encapsulados en resina
- Cubierta externa de acero inoxidable
- Diafragma para compensación de cambios en la presión interna
- Configuraciones en tres y seis cables (estrella-triángulo)
- Conector Water Bloc, removible e intercambiable
- Rotor con anillos de cobre (ROTORPUMP, 2002)

3.7 Componentes de los tableros de control

3.7.1 *Tableo de control del pozo Uno.* El tablero de control se encuentra suministrado de energía por el transformador trifásico antes mencionado, el mismo que en su interior posee un gabinete metálico, guardamotor, contactores, logo, registrador de corriente y voltaje (submonitor), relés, protector de voltaje, como se muestra en la **figura 20**. Además posee una instalación a tierra.

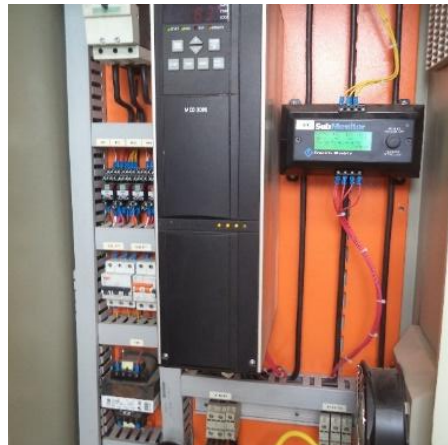
Figura 20. Tablero eléctrico 1



Fuente: Autores

3.7.2 Tablero de control del pozo Dos. El tablero de control se encuentra suministrado de energía por el transformador trifásico antes mencionado, el mismo que en su interior posee un gabinete metálico, guardamotor, contactores, variador de frecuencia, submonitor, relés, protector de voltaje, y un ventilador, como se muestra en la **figura 21**. Además posee una instalación a tierra.

Figura 21. Tablero eléctrico 2



Fuente: Autores

3.8 Mantenimiento en las instalaciones de los pozos Uno y Dos

Se acudió al Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico de la ESPOCH, para solicitar información referente a las actividades de mantenimiento que se realizan en los diversos equipos e instalaciones de los pozos. Dicha información no se obtuvo debido a que no se lleva un registro permanente, no hay planificación de actividades, por lo que se realiza solo mantenimiento correctivo en dichos pozos.

3.9 Normas para realizar el análisis eléctrico

Las normas que se van a utilizar para el análisis eléctrico del presente trabajo se toma muy en cuenta cada regulación eléctrica ya que esto ayudará en la evaluación de los datos que se obtendrá de la mediciones que se realizarán más adelante en los pozos Uno y Dos de la ESPOCH-RIOBAMBA.

3.9.1 Normas EN50160 Describe las características principales de la tensión suministrada por las empresas distribuidoras de energía en las redes públicas de cada sector para baja, media tensión en condiciones normales.

Algunos parámetros tienen asignada una tolerancia que debe cumplir el 95% de las veces, por lo que pueden estar fuera de la tolerancia a lo largo de 8 horas a la semana. (SLIDE, 2008). Como se observa en la **tabla 7**.

Tabla 7. Límites de la norma EN 50160

Fenómeno	Parámetro	Límites para los indicadores de la calidad eléctrica (EN 50160)	Inferior o igual a la probabilidad
Frecuencia de red	Valor medio durante 10 segundos	+1% / -1% +4% / -6%	99,5% de un año 100% de las veces
Variaciones de la tensión de alimentación	V Rms medios más de 10 min	10% / -10% +10% / -15%	95% una semana 100% de las veces
Los cambios rápidos de tensión	Número de eventos	Corta duración y 5% U_n La corta duración y el 10% de U_n normal	Varias veces por día
Severidad del parpadeo		Plt (2 horas)	≤ 1 para el 95% una semana
Interrupciones breves	Número de eventos	Duración < 1 segundo y < 1% de U_n 10 - 1000 eventos por año	> 70% de todas las interrupciones
larga interrupción	Número de eventos con	Duración > 180 segundos y < 1% de U_n	10 ... 50 eventos por año
Las sobretensiones (50Hz)	Número de eventos	Con pocos segundos de duración > 110% U_n y $\leq 1,5$ kV	
Las sobretensiones transitorias	Número de eventos	Microsegundos a mseg. de duración > 1,5 kV y < 6 kV	
Desequilibrio	UNEG / UPOS más de 10 min	< 2%	95% una semana
Tensión armónica	Rms medios más de 10 min THD $\leq 8\%$	Ver Límites armónica Tabla $\leq 8\%$	95% una semana 95% una semana

Fuente: (EN 50160, 2008)

Con la ayuda de la **tabla 7** y los valores que se indican se procederán al análisis de los datos que se obtendrán de dichas mediciones y gráficas para comprobar si se encuentran dentro de los límites y rangos establecidos por la norma.

3.9.2 *Norma ICE 61000 4-30. IEC.* La norma eléctrica, ayuda definir los métodos para la medición e interpretación de resultados para los parámetros de calidad de la energía en 50/60 Hz en sistemas de alimentación. La medición de los parámetros contemplados en esta norma se limita a aquellos fenómenos que pueden llevarse a cabo en un sistema de energía, incluyendo la tensión y / o los parámetros actuales, según el caso (SLIDE, 2008).

3.10 Regulación CONELEC 004/01

Ayuda a asegurar un nivel satisfactorio de la prestación de los servicios eléctricos a que se refieren las disposiciones legales, establecidas en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico y sus reformas, el Reglamento Sustitutivo del Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, el Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la prestación del servicio de energía eléctrica, el reglamento de suministro del servicio de electricidad y el reglamento de tarifas (CONELEC, 2001).

El objetivo de la presente regulación es establecer niveles de calidad para la prestación del servicio eléctrico y distribución.

3.10.1 *Límites para armónicos que regula la CONELEC 004/01.* A continuación se describe en la **tabla 8**, el porcentaje de armónicos para voltaje, el cual es el permitido ya que número de armónico pertenece, para poder saber qué medidas se tomen para su eliminación o atenuación y de esta manera, mejorar la calidad en el consumo de energía eléctrica, evitando así el sobrecalentamiento de los conductores y del motor eléctrico.

La tasa de distorsión armónica permite evaluar en las redes eléctricas la representación matemática de una señal eléctrica función del tiempo. En nuestro caso se tomará la frecuencia fundamental de 60 Hz que se encuentra en los sistemas y dispositivos eléctricos de Ecuador.

Tabla 8. Límites de armónicos

Orden (n) de la armónica y THD	Tolerancia $ v_1' $ o $ THD' $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	0.1 + 0.6 * 25/n	0.2 + 1.3 * 25/n
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Fuente: (CONELEC, 2001)

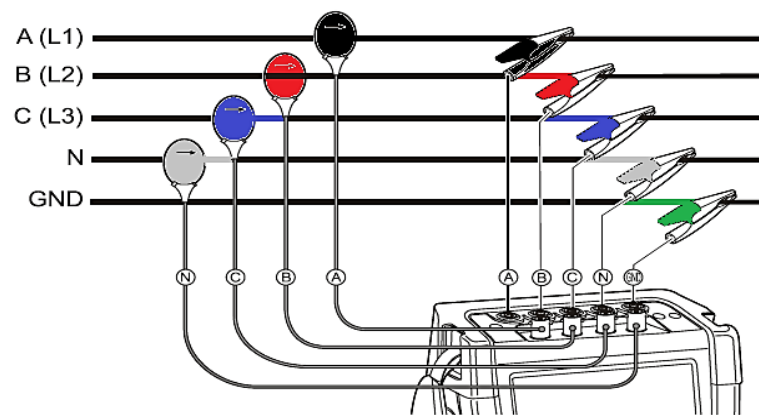
CAPÍTULO IV

4. MEDICIONES Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD ELÉCTRICA DE LOS TABLEROS DE CONTROL DE LOS POZOS UNO Y DOS DE LA ESPOCH.

4.1 Conexión del analizador de calidad eléctrica

El analizador energético FLUKE 435 series II se lo puede conectar de tres formas: monofásica, bifásica y trifásica, para nuestro trabajo el equipo se conectará en la tercera forma mencionada. A continuación se indica en la **figura 22**, cómo se encuentra conectado el equipo. Las conexiones de los cables de medición están codificados de acuerdo a la norma americana.

Figura 22. Conexión del analizador



Fuente: Autores

4.1.1 *Conexión del equipo analizador al tablero del pozo Uno.* Se procede a conectar el analizador de calidad eléctrica a las fases A, B, C, N, GND de la carga (bomba sumergible) que se encuentra en el tablero eléctrico como se observa en **la figura 23**, las mismas que son alimentadas desde un transformador cuyo voltaje nominal es de 220V, una vez realizado este trabajo se deja que el analizador de calidad eléctrica realice un registro general, durante 7 días continuos para observar todos los posibles problemas.

Para ello en primer lugar debemos identificar las tres fases, el neutro y la tierra, posteriormente se ingresan los datos al analizador tales como: voltaje nominal de la red, corriente nominal a la que trabaja el motor, tipo de sondas de corriente entre otros.

Una vez obtenidos las mediciones, mediante el software Power Log, se baja la información al computador, donde se podrá visualizar el comportamiento de cada uno de los parámetros de calidad de energía mediante gráficas o espectros.

El equipo presenta varias opciones para realizar el análisis, sea de manera general o una por una. Para el presente análisis se escoge la opción MONITOR, la cual permite realizar un análisis general.

Figura 23. Conexión del equipo al tablero del pozo Uno



Fuente: Autores

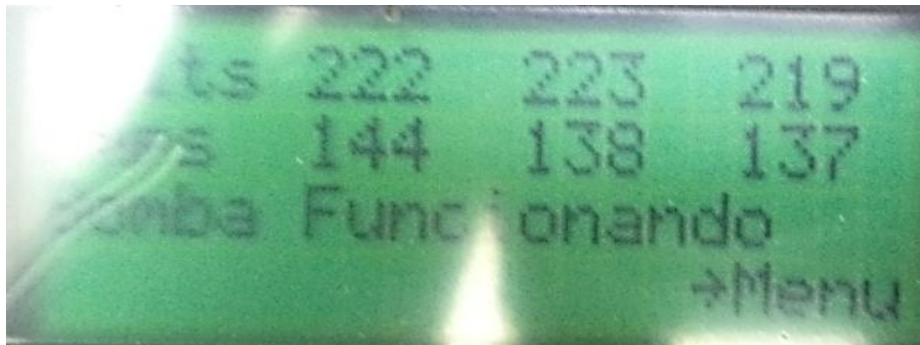
En este pozo no hubo inconvenientes, ya que el área de conexiones eléctricas, tiene espacios suficientes para conectar los cables del equipo en especial los de corriente. Para que el equipo realice el monitoreo, se requiere de una fuente de alimentación para el cargador del mismo, el cual se la obtuvo con una extensión desde una fuente externa.

Antes de hacer la conexión con el analizador FLUKE 435, debemos asegurarnos cuál es la conexión del transformador ya que el equipo tiene varias opciones de conexión, para el presente análisis tenemos que la conexión es en estrella con neutro (4 hilos), de esta forma se obtiene un análisis de calidad eléctrica de manera precisa y correcta.

Antes de la conexión del equipo hay que tomar las medidas de seguridad ya que se trabajara en líneas alimentadas y hay el riesgo de un choque eléctrico.

4.1.1.1 Verificación de la conexión previo al monitoreo del pozo Uno. Una vez realizado la conexión del equipo analizador al tablero de control, se procede a encender el mismo, en la cual se verificara que los valores mostrados de tensión y corriente se asemejen a los valores proporcionados por la pantalla del submonitor. Como se observa en la figura 24.

Figura 24. Lectura del submonitor



Fuente: Autores

Los valores de voltaje y corriente, tanto en el submonitor como en el equipo, se encuentran en niveles similares, con la ventaja que el equipo permite observar la lectura de voltaje en estrella y triángulo, como se observa en la figura 25, lo cual ayuda para determinar que la lectura de voltaje que se visualiza en el Submonitor es entre línea y línea. Además indica que la conexión está bien realizada, permitiendo de esta manera al equipo continuar con el siguiente paso que es el monitoreo del sistema.

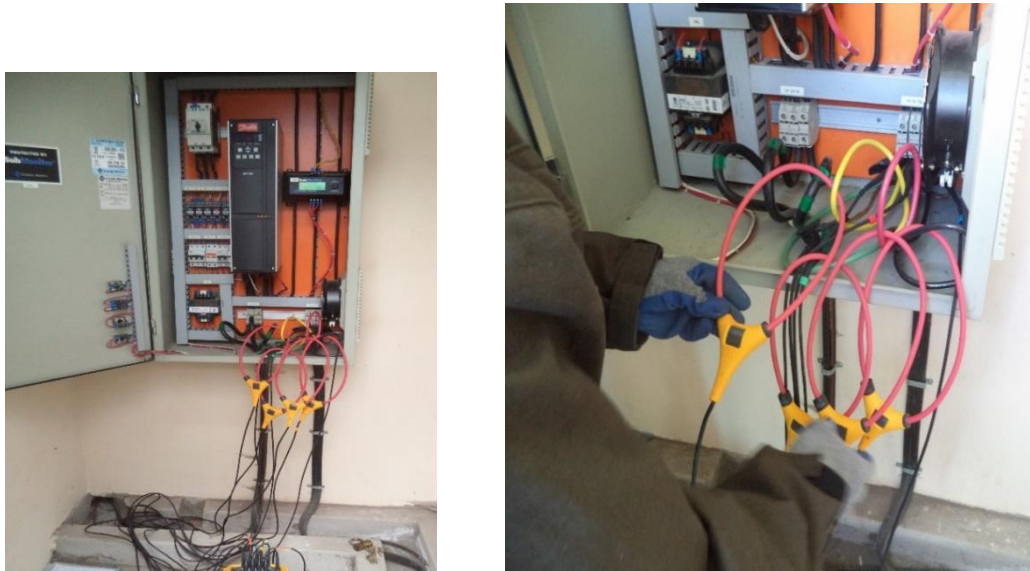
Figura 25. Lectura de Voltaje y corriente del analizador



Fuente: Autores

4.1.2 *Conexión del equipo analizador al tablero del pozo Dos.* El equipo se conectó durante 7 días continuos en el tablero 2, como se indica en la **figura 26**, en este tiempo irá registrando todos los eventos que se van a producir.

Figura 26. Conexión del equipo al tablero del pozo Dos

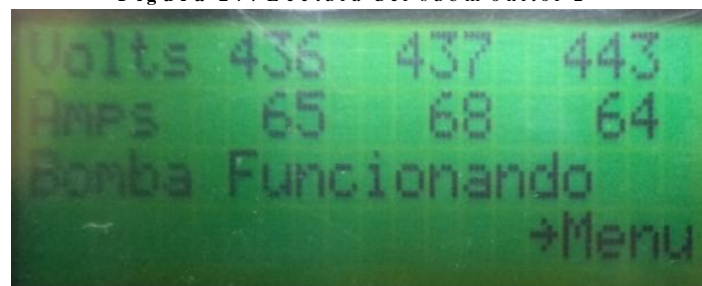


Fuente: Autores

El inconveniente que se produjo fue que el área donde están ubicado las conexiones del tablero es muy reducida, razón por la cual se utilizó un tipo de cable flexible para el amperaje, también se requiere de una fuente de alimentación para conectar el cargador del mismo, la cual se la obtuvo con una extensión desde una fuente externa.

4.1.2.1 *Verificación de la conexión previo al monitoreo del pozo Dos.* Esta instalación cuenta con un submonitor que permite visualizar los valores de voltaje y corriente con la cual trabaja la bomba sumergible, como se observa en la **figura 27**.

Figura 27. Lectura del submonitor 2



Fuente: Autores

Al encender el equipo, se observa que los valores de voltaje y corriente se encuentran en niveles similares, con la ventaja que el equipo permite observar la lectura de voltaje en estrella y triángulo, como se observa en la **figura 28**. Además indica que la conexión está bien realizada, permitiendo de esta manera al equipo continuar con el siguiente paso que es el monitoreo del sistema eléctrico del pozo Dos.

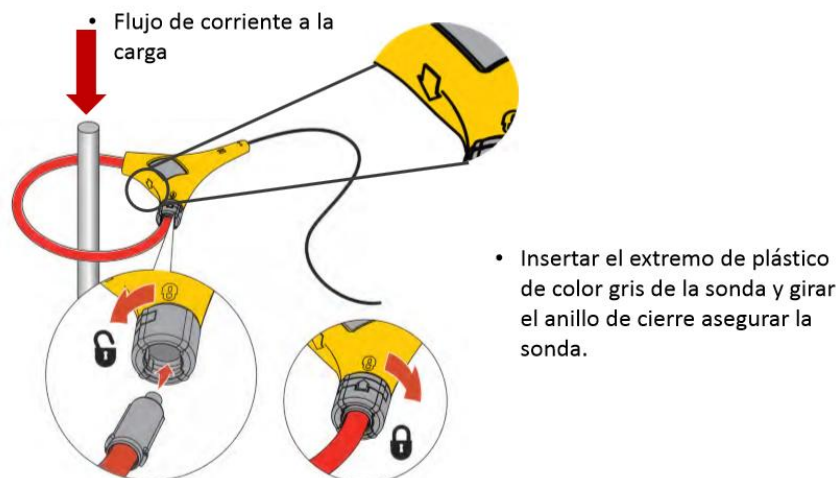
Figura 28. Lectura de Voltaje y corriente del analizador



Fuente: Autores

4.1.3 Forma de orientación de las sondas de corriente. Para una correcta obtención de lecturas, se debe tomar muy en cuenta hacia donde está la carga. La flecha que se encuentra en el interior de la sonda, debe apuntar hacia la carga que se está analizando, como se observa en la **figura 29**.

Figura 29. Orientación de la sonda de corriente.



Fuente: (FLUKE, 2012)

4.1.4 Equipo de protección personal. Para realizar la conexión del equipo se debe considerar de manera especial contar con un equipo de EPP básico, tales como: casco, overol, guantes dieléctricos, gafas y orejeras, como se observa en la **figura 30**.

Figura 30. Equipo de EPP básico



Fuente: Autores

4.2 Métodos de medición

Existen dos métodos para realizar las mediciones que a continuación se presentan:

4.2.1 *Método A.* Rentabilidad, donde son necesarias mediciones con alta precisión, los cuales se lo hacen con equipos de medición analizadores de red.

- Aplicaciones en equipos o sistemas específicos.
- Cumplimiento de las normas establecidas.
- La interpretación y análisis.

4.2.2 *Método B.* También llamado de rendimiento donde se requiere información de los consumos de los equipos o sistemas para un análisis correspondiente.

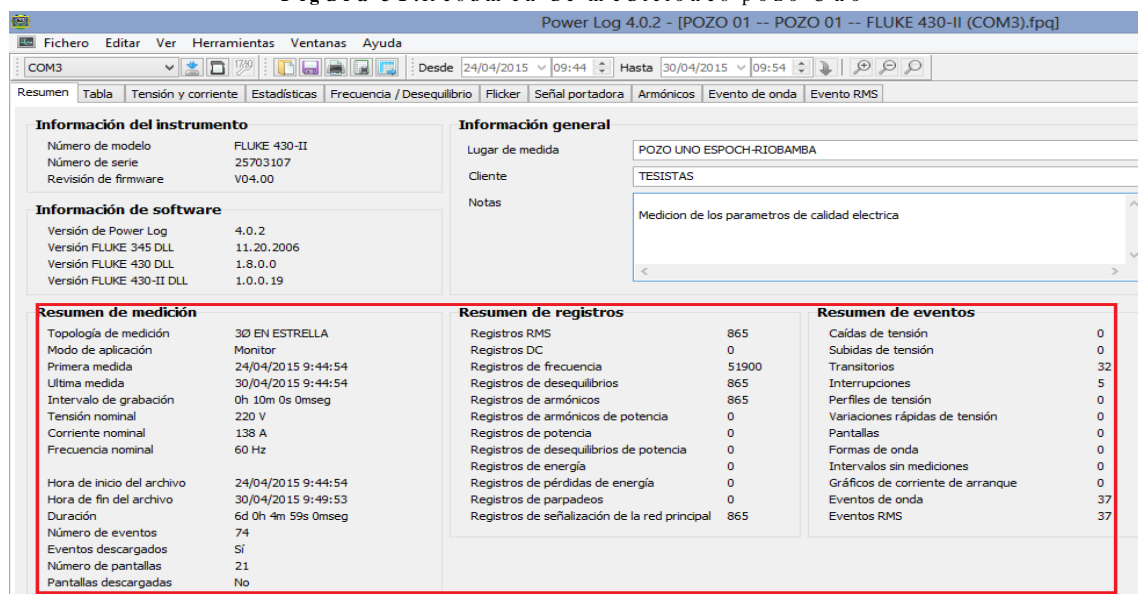
- Los estudios estadísticos
- Solución de problemas

Para el presente trabajo de análisis se toma el método A ya que se cuenta con el equipo de análisis eléctrico FLUKE 435 series II para realizar las mediciones.

4.3 Mediciones y Análisis eléctrico en el pozo Uno

Al finalizar los 7 días de las mediciones el equipo permite visualizar un cuadro de resumen en donde se observa, el número de registros y eventos que se presentaron, además la fecha de inicio y fin del registro, como se observa en la **figura 31**.

Figura 31. Resumen de mediciones pozo Uno



Fuente: Autores

El equipo registra 865 mediciones, presentándose 74 eventos, 5 interrupciones, 32 transitorios y 37 eventos RMS.

4.4 Análisis de los parámetros de calidad eléctrica del pozo Uno

4.4.1 *Análisis de voltaje.* Se permite una variación de voltaje +/-10 del voltaje nominal de 220V que rige la norma EN 15060 Europea y la CONELEC del Ecuador para alimentación de media tensión. El equipo analizador registra valores de voltaje máximos, mínimos y promedio, lo cual permite relacionar con los rangos determinados por las normas indicadas, se observan si hay un decremento o incremento en la tensión.

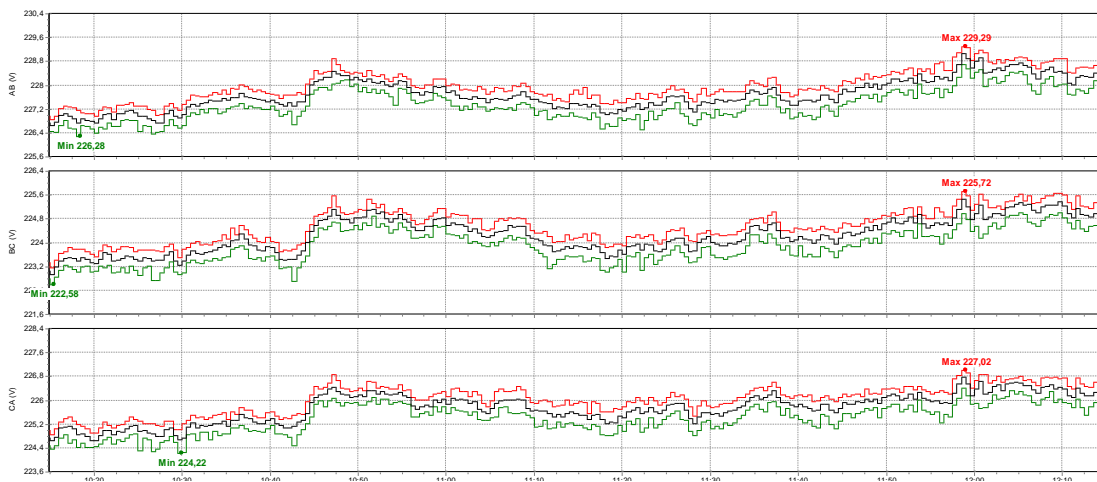
Los valores deben estar dentro de los límites de 198V mínimo y de 242V máximo. Los valores que se obtienen son entre línea y línea como se observa en la figura 32.

Se observa en la línea AB que el valor máximo es de 229,29V y con un voltaje mínimo de 226,28V.

Se observa en la línea BC que el valor máximo es de 225,72V y con un voltaje mínimo de 222,58V, y en la línea CA se observa que el valor máximo es de 227,02V y con un voltaje mínimo de 224,22V.

En el neutro podemos observar que tiene un valor bajo de tensión que es de 0,04V durante el tiempo establecido cumpliendo con la norma que especifica que el voltaje en el neutro debe ser lo más cercano a cero.

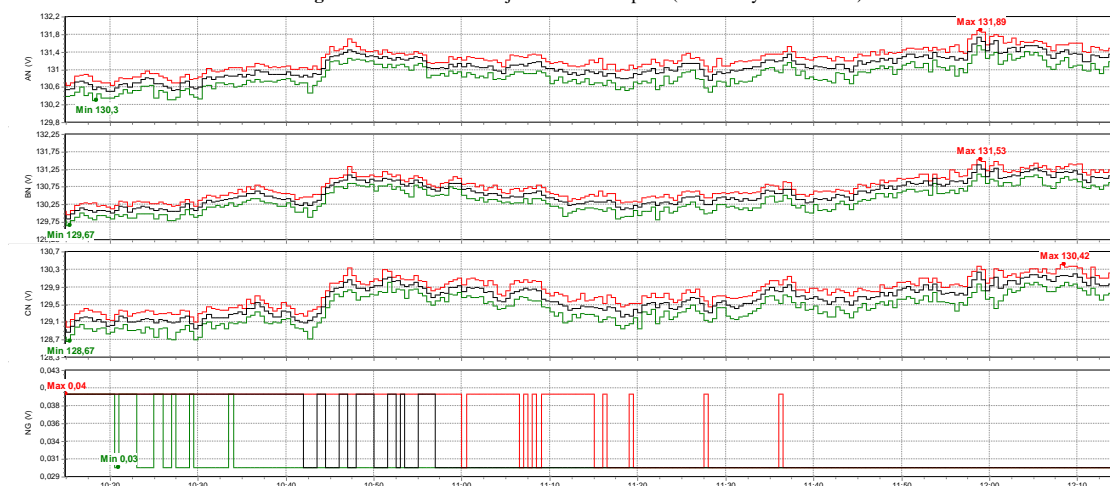
Figura 32. Voltaje vs tiempo (línea y línea)



Fuente: Autores

También se analiza el voltaje de fase, para lo cual se tiene una nominal de 127V, se observa un comportamiento similar en las tres líneas, cuyos valores se encuentran dentro del rango del +/-10, como se visualiza en la figura 33. El desbalance entre las fases, se obtiene con el voltaje máximo registrado con relación del voltaje nominal 127V, el desbalance es de 0,83% este valor está dentro del rango establecido por la norma que establece un 3% de variación tensión en las líneas.

Figura 33. Voltaje vs tiempo (línea y neutro)



Fuente: Autores

Los datos registrados por el analizador eléctrico en el tablero del pozo Uno, en las tres líneas y neutro se encuentran dentro de la norma CONELEC 004/01 como resultado el parámetro de voltaje cumple.

Tabla 9. Voltajes entre línea y neutro

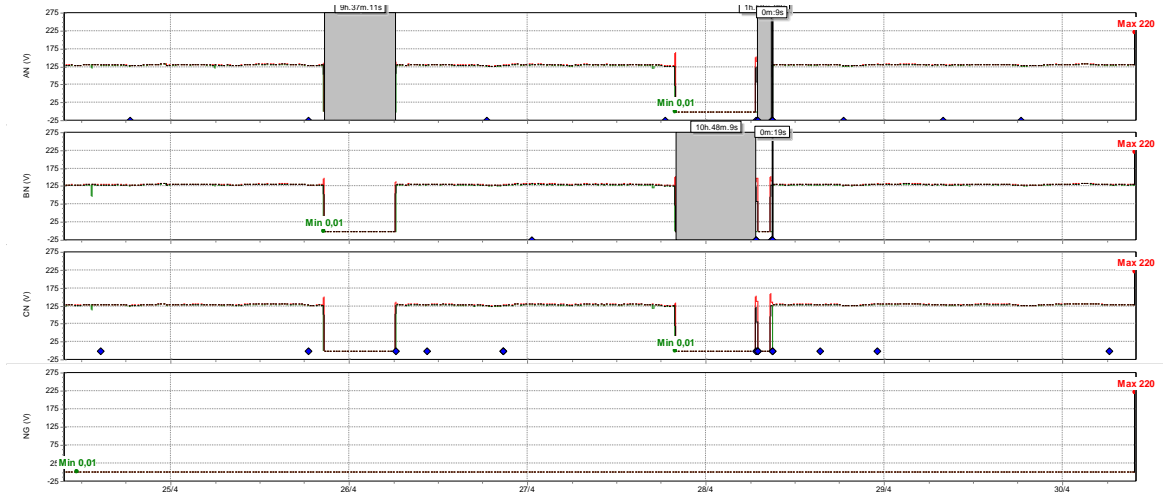
Voltajes del tablero del pozo 1		
Fases	V_{max} [V]	V_{min} [V]
L 1	131,89	130,3
L 2	131,53	129,67
L 3	130,42	128,67
N	0,04	0,03

Fuente: Autores

4.4.1.1 Problemas presentes en el pozo Uno. En la **figura 34**, se puede apreciar los diferentes problemas que existe al analizar los diferentes parámetros eléctricos en los 7 días continuos en el pozo Uno. Para este análisis se configura el equipo en la opción MONITOR, la cual permite visualizar las posibles caídas de tensión que se pueden presentar.

Para ello en la pantalla del equipo analizador de la calidad de energía, indica todos los rangos de los parámetros de calidad, de producir algún fenómeno o problema se observara mediante un gráfico de barras todos los valores que están fuera del rango.

Figura 34. Espectro de Voltaje vs tiempo

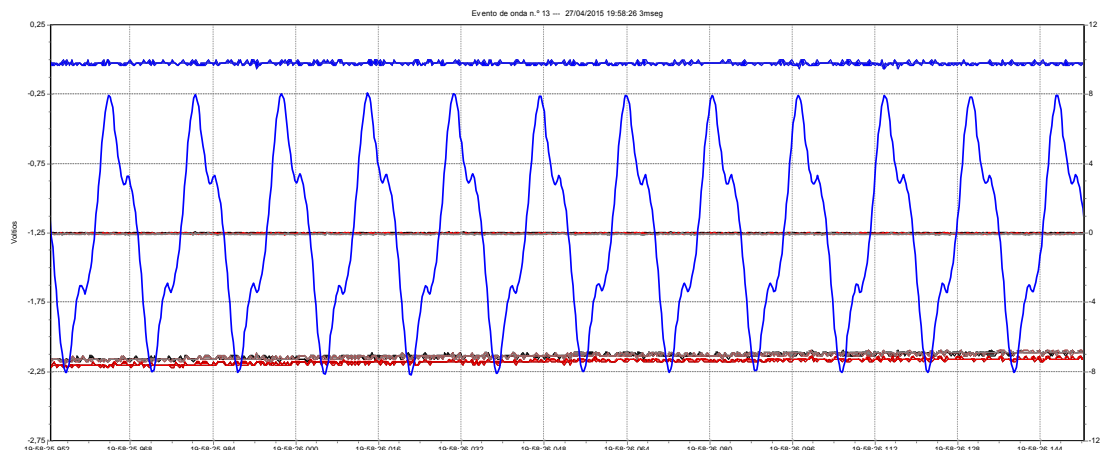


Fuente: Autores

Al realizar el análisis refleja los sitios donde se presentan los problemas (puntos azules), esto se debe a la presencia de transitorios. También se visualiza caídas de tensión (huecos), que generalmente sucede en este caso por el corte de suministro de energía, ya que el pozo Uno, trabaja en un horario de 7:00 a 19:00, los días martes y jueves, mientras que el resto de la semana trabaja las 24 horas.

En la fase C de la figura 35, se observa un gran número de transitorios, lo que provoca que exista distorsión de la onda sinusoidal, debido a que existió una mayor caída de tensión en esta fase.

Figura 35. Onda de distorsión de voltaje fase C



Fuente: Autores

4.4.2 Análisis de corriente. El límite permitido de desbalance de corrientes en las fases que rige la norma europea es de 0% ideal en un máximo del 40% .

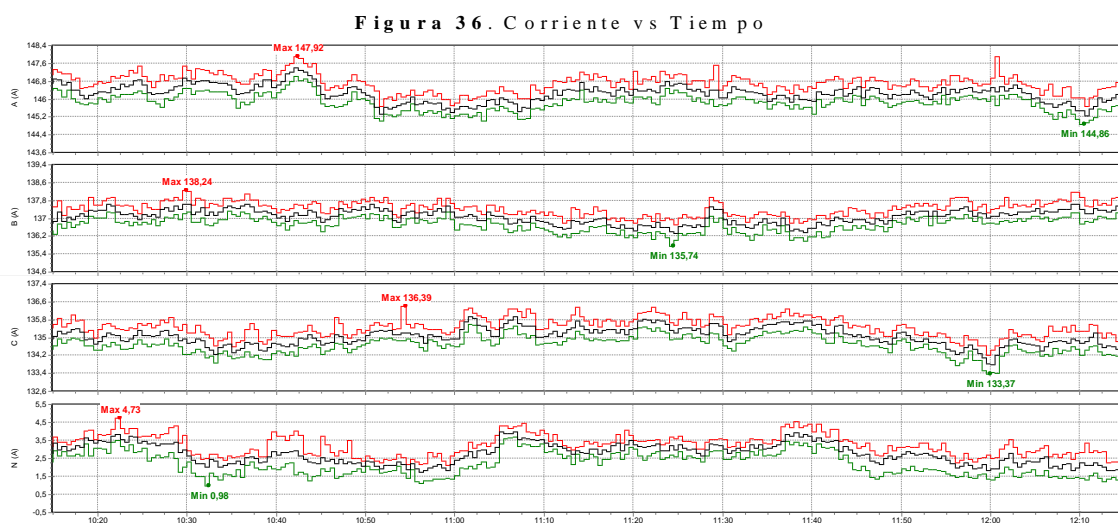
Se observa que en la línea A tenemos una corriente máxima de 147,92 A y una mínima de 144,86 A , valores registrados el 30/04/2015 a las 10h42.

Se observa que en la línea B tenemos una corriente máxima de 138,24 A y una mínima de 135,74 A , valores registrados el 30/04/2015 a las 10h29.

Se observa que en la línea C tenemos una corriente máxima de 136,39 A y una mínima de 133,37 A , valores registrados el 30/04/2015 a las 10h54. En el neutro tenemos una corriente máxima de 4,73 A registrado el 30/04/2015 a las 10h22 como se observa hay circulación de corriente por el neutro debido a que la corriente producida en las líneas no es consumida en su totalidad.

En la **figura 36**, se observa un similar comportamiento de la corriente en las tres fases del tablero eléctrico pero con un ligero desequilibrio entre las fases.

Como se observa, los valores de corriente obtenidos, están dentro del rango que nos da en el dato de placa del motor que es de 138 a 157 A . Los valores que se muestran en la tabla 10, indican que existe un desbalance del 20% .



Fuente: Autores

Tabla 10. Resumen de valores de corriente

Corriente del tablero del pozo 1		
Fases	I_{max} . [A]	I_{min} . [A]
L 1	147,92	144,86
L 2	138,24	135,64
L 3	136,39	133,37
N	4,73	0,98

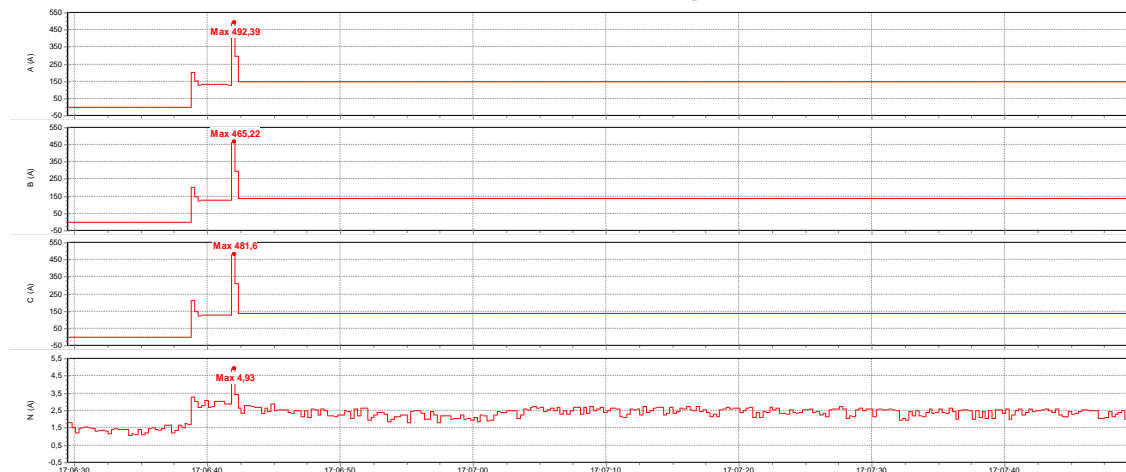
Fuente: Autores

El tablero de control del pozo Uno, posee una puesta a tierra, lo cual ayuda a conducir la corriente no consumida para que no recircule por el neutro provocando que no se caliente el motor.

4.4.2.1 Corriente de arranque. La corriente requerida para el funcionamiento del motor es de 157A, pero se observa que en el momento del arranque tenemos un valor de corriente 3 veces mayor que la nominal del motor cuyos valores como se observa en la **figura 37**.

Líneas A = 492,39A: B = 465,22A y C = 481,6A, estos valores indican que la corriente en el arranque subió a ser tres veces más que la nominal del motor, pero es solo en el momento de arrancar la bomba ya que necesita de un alto amperaje.

Figura 37. Corrientes de arranque del motor



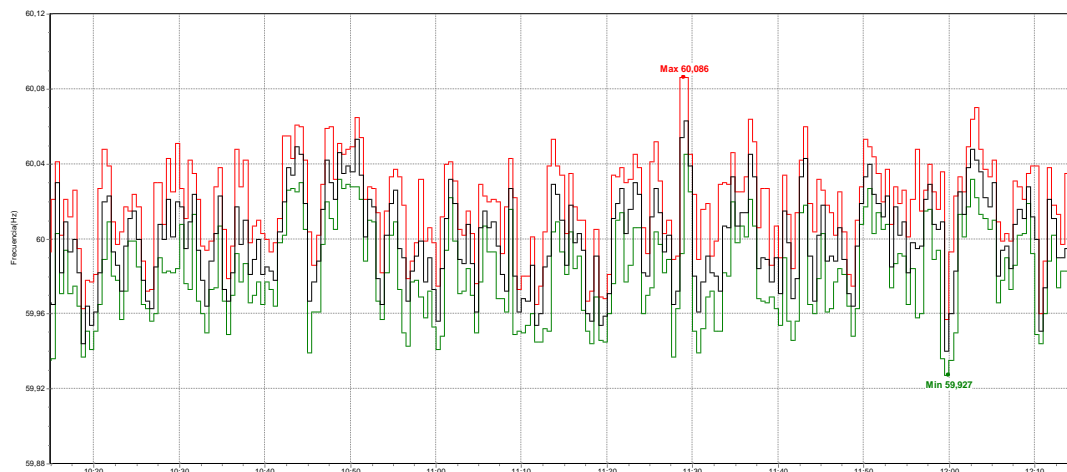
Fuente: Autores

4.4.3 Análisis de la frecuencia. Se observa en la **figura 38**, la variación de frecuencia máximo, mínimo los límites establece la norma EN 50160 Europea que rige un máximo de variación de frecuencia de +/-1% que da un valor de 60.129 Hz y 59.836 Hz.

El valor más alto de frecuencia se registró el 30/04/2015 exactamente a las 11h28, con un valor máximo de 60,086Hz el cual está dentro de la norma

El valor más bajo de frecuencia se registró el 30/04/2015 exactamente a las 11h59, con un valor mínimo de 59,927Hz el cual está dentro de la norma.

Figura 38. Parámetros de frecuencia



Fuente: Autores

Como se observa en la figura los valores de frecuencia se encuentran dentro de la norma de la CONELEC, por lo tanto el parámetro de la frecuencia está dentro del rango permitido, por lo tanto no existen problemas con este parámetro de calidad de energía eléctrica.

Tabla 11. Resumen de valores de frecuencia

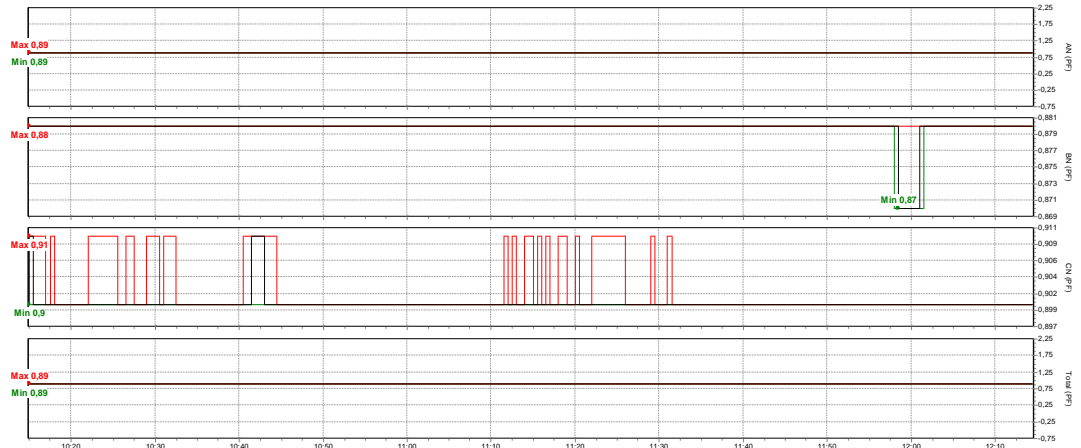
Frecuencia		
Magnitud	f [Hz]	f [Hz]
Frecuencia	60,086	59,927
Frecuencia promedio	59,927	

Fuente: Autores

4.4.4 Medición del factor de potencia. Para el análisis del factor de potencia existen límites admisibles por la regulación del CONELEC 004/01 establece entre un valor máximo de 1 y un mínimo de 0,92.

Como se observa en la **figura 39**, los valores en las tres líneas no superan el mínimo aceptable por la norma eléctrica Ecuatoriana CONELEC 004/01.

Figura 39. Factor de potencia



Fuente: Autores

Tabla 12. Resumen de valores de factor de potencia pozo Uno

Factor de Potencia		
Líneas	FP _{max}	FP _{min}
L 1	0,89	0,89
L 2	0,88	0,87
L 3	0,91	0,9
FP Promedio	0,89	

Fuente: Autores

El parámetro de factor de potencia obtenido tiene un valor mayor al requerido por el motor, pero está fuera del rango mínimo permitido por la norma de la CONELEC, por lo que se requiere corregir este parámetro ($\cos \phi$). Un bajo factor de potencia, origina un mayor consumo de corriente, lo que origina la necesidad de utilizar cables de mayor sección; esto no resulta práctico para las compañías eléctricas puesto que el gasto sería mayor, además de recibir una multa o penalización.

4.4.4.1 Procedimiento para corregir el $\cos \phi$. Para mejorar el factor de potencia en el pozo uno, es necesario instalar un banco de capacitores (**figura 40**), conectado directamente a la red principal, lo cual permitirá reducir la potencia reactiva del sistema eléctrico, ya que los capacitores actúan sobre la senoide de la corriente, produciendo un efecto contrario al de la inductancia, impidiendo que la corriente se atrase mucho en relación con el voltaje, de esta forma se conseguirá que las sinusoides se pongan en fase y que el valor del factor de potencia se aproxime lo más posible a 1.

Figura 40. Banco de condensadores



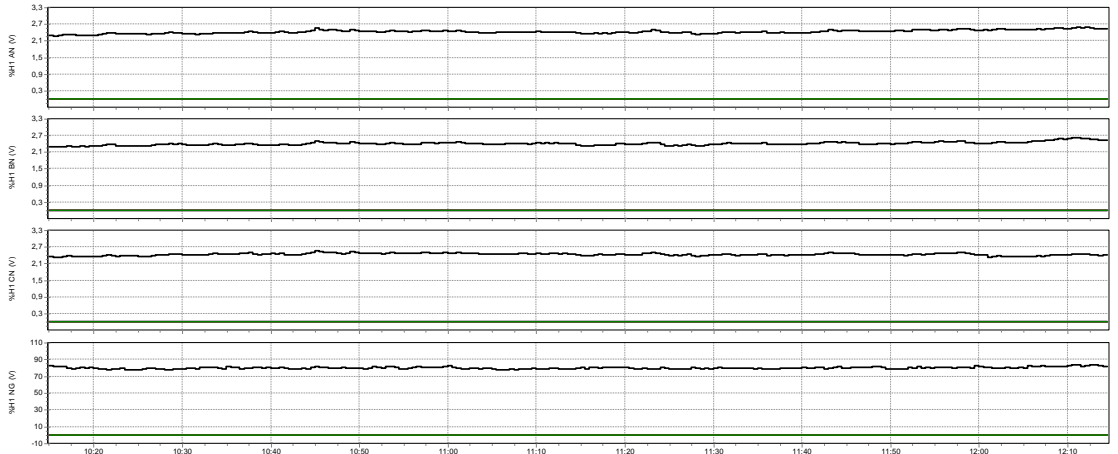
Fuente: (INFOCOMERCIALES, 2013)

4.4.5 Análisis del THD de voltaje. Para el análisis de la distorsión armónica total se lo hará para cada fase para determinar que armónicos se generan. Los límites máximos de variación que permite la norma EN 50160 Europea es de 8% .

En la **figura 41**, se observa los armónicos en el siguiente orden, línea A 2,57% , línea B 2,63% y línea C 2,56% , lo cual indica que está dentro de la norma. Pero estos valores totales no sobrepasan el 8% que permite la norma Europea y la CONELEC 004/01.

El parámetro de armónicos de voltaje no sobrepasan el 3% , lo cual indica que estamos dentro de lo que la norma establecida.

Figura 41. THD de voltaje

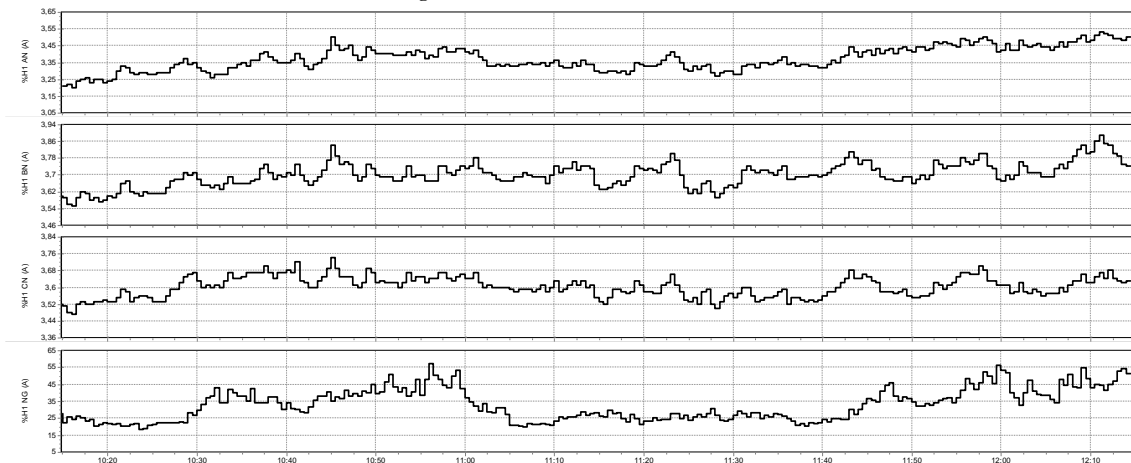


Fuente: Autores

4.4.6 *Análisis del THD de corriente.* Se analiza para cada fase la distorsión armónica THD de corrientes de valores máximos y se identifica el armónico preponderante según el comportamiento de la carga. Como se observa en la figura 42.

La Norma del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) indica que el valor máximo permitido debe ser igual a 8% o menor al valor mostrado. El THD de corriente máxima en la línea A es de 3,53% en la línea B 3,89% en la línea C 3,74% En neutro el THD máximo es de 57,3% y mínimo es 21,81% predominando la armónica 3 y 5. El parámetro de distorsión de corriente está dentro de los rangos permitidos, a excepción del neutro que tiene un valor superior.

Figura 42. THD de corriente



Fuente: Autores

4.4.7 Análisis de flicker. Los límites de severidad de perturbaciones del voltaje cambia en una amplitud moderada en un 10% del voltaje nominal que se pueden repetir varias veces por segundo este problema genera los llamados “flicker”.

Los límites. Pst, evalúan la severidad del flicker en periodos cortos con intervalos de 10 minutos el Pst. No debe sobrepasar 1 si esto ocurre se considera como factor negativo.

Plt: Evalúa la severidad a largo plazo, con intervalos de medición de 2 horas con un límite de Plt menor a la unidad.

Estos límites son establecidos por la norma del CONELEC 004/01, y la norma europea EN50160, el cual nos indica los rangos permitidos para la evaluación de calidad eléctrica para baja tensión.

El análisis de flicker de corta duración (Pst), como se ve en la **figura 43** se tiene en la línea L1 un máximo de Pst=0,148 registrado el 30/04/2015 a las 11h33.

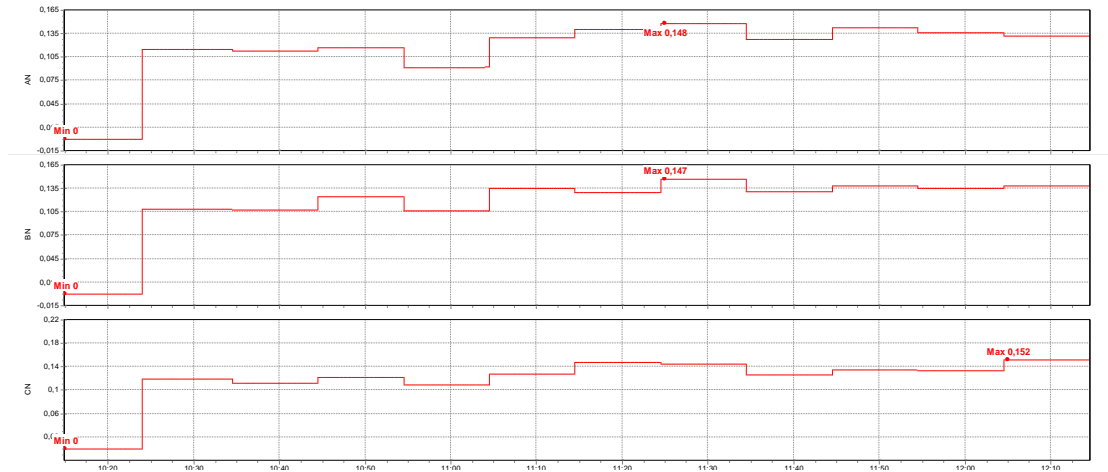
En las línea L2 se observa un máximo de Pst=0,147 registrado 30/04/2015 a las 11h34 al igual que en la L3 Pst=0,152 el 30/04/2015 a las 12h13.

Los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos como establece la norma CONELEC 004/01.

Resultando que del 100% de las mediciones hay un 5% de límite permitido por lo cual en este caso tenemos apenas un 2% de las mediciones que se salen fuera del rango que determina la norma. Por lo tanto los valores están dentro de la norma.

Los valores que están fuera de los rangos se debe al encendido de luminarias y motores trascurido un tiempo se estabilizan y el valor promedio de flickers es de 0,149 que encuentra filtrando los datos. En los flickers de corta duración Pst, no encontramos ningún problema están dentro del rango permitido, mientras que en los flickers de larga duración Pst es donde encontramos serios inconvenientes.

Figura 43. Flickers pozo uno



Fuente: Autores

Tabla 13. Resumen de valores promedios de flickers

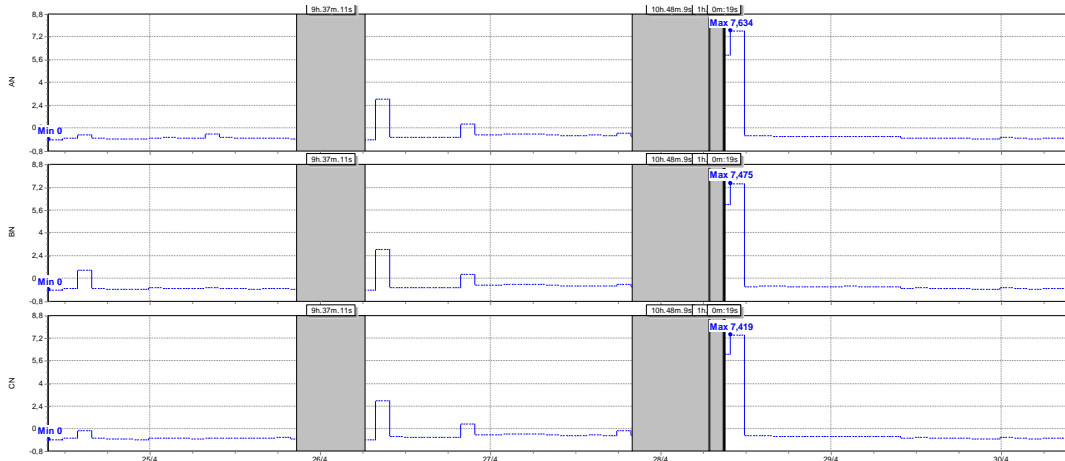
Flickers del tablero del Pozo Uno	
Líneas	Pst Promedio
L 1	0,148
L 2	0,147
L 3	0,152
Flickers promedio total	0,149

Fuente: Autores

4.4.7.1 Análisis del Plt. Evalúa la severidad a largo plazo, con intervalos de medición de 2 horas con un límite de Plt menor a la unidad. Para minimizar o eliminar este fenómeno se debe instalar una alimentación eléctrica independiente para la iluminación y no estar instalado en la misma línea de funcionamiento de la electrobomba.

Se observa un comportamiento anormal en las tres líneas, lo cual indica que existe un problema serio sobre todo con el comportamiento del motor, esto sucede sobre todo en el momento de arranque de grandes cargas, como se observa en la figura. Esta medida es tomada en los 7 días que el equipo registró las anomalías en la red eléctrica interna y externa de la ESPOCH-RIOBAMBA.

Figura 44. Flicker de larga duración



Fuente: Autores

Las bombas por lo general siempre tienen problemas de flicker en especial de larga duración y como se puede observar en la **figura 44**, se tiene un flicker demasiado elevado en las tres líneas cuyas medidas son:

En la línea A se observa un máximo de $Plt = 7,634$, registrado el 28/04/2015 a las 9:44, en la línea B se observa un máximo de $Plt = 7,475$, registrado el 28/04/2015 a las 9:44, y en la línea C se observa un máximo de $Plt = 7,419$, registrado el 28/04/2015 a las 9:44.

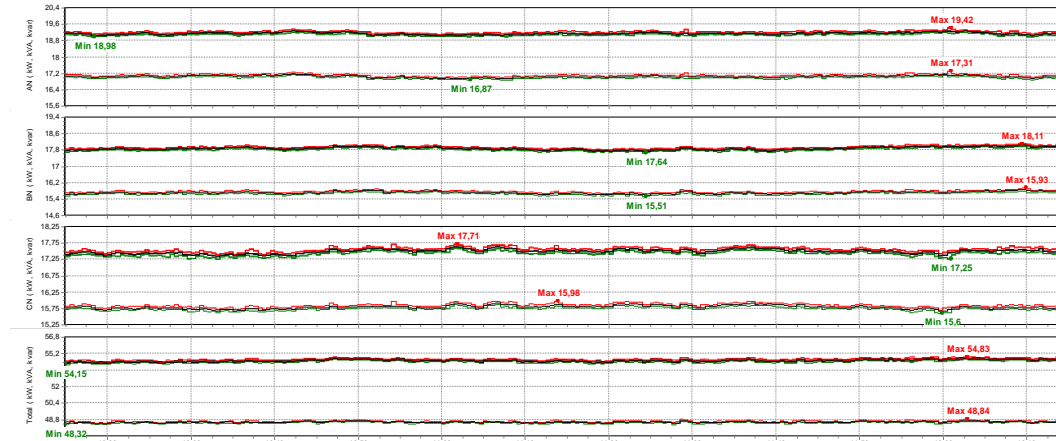
4.4.8 Análisis de la potencia. Se analiza en las tres líneas la potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente que se observa en la **figura 45**.

Las líneas A, B y C tienen el mismo comportamiento con la diferencia que al momento de encenderse la bomba necesita mayor carga y luego se estabiliza estos valores están en el orden de 17,31kW, 15,93kW y 15,98kW respectivamente, se observa que las tres líneas se encuentran casi equilibradas.

Potencia reactiva como se observa hay un equilibrio entre las líneas tiene características capacitivas e inductivas. Podemos ver que en la línea 1 tiene una medida de 19,44VAR, la línea 2 con 18,13VAR y la línea 3 con 17,73VAR podemos ver que existe un balance entre las líneas. En la potencia aparente se observa un equilibrio en las tres fases 1, 2 y 3 como se observa en la **figura 45**. La potencia máxima aparente en las líneas A, B, C son 19,42W, 18,11W y 17,71W.

Este valor es lo que se debería pagar realmente al distribuidor, pero debido a que el medidor no registra cargas reactivas.

Figura 45. Espectros de potencia: Activa, Reactiva y Aparente



Fuente: Autores

4.5 Costo total en dólares del consumo en el pozo Uno.

Figura 46. Costo de pérdidas de energía

CALCULADORA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA				
P _{WHI}		0:00:02		
	Total	Loss	Cost	
Effective kW	48.5	kW 1.15	\$	0.11 /hr
Reactive kvar	24.0	kW 0.28	\$	0.03 /hr
Unbalance kVA	2.4	kW 0.02	\$	0.00 /hr
Distortion kVA	1.9	kW 0.01	\$	0.00 /hr
Neutral A	2.7	kW 0.00	\$	0.00 /hr
Total			\$	1272 /y
04/24/15 09:44:00		220V 60Hz 3Ø WYE		EN50160
Cu LENGTH	DIAMETER	METER	RATE	HOLD
100 ft	4 AWG		0.10 /kWh	RUN

Fuente: Autores

Como se puede visualizar en la **figura 46**, las pérdidas de energía que se presentan en el pozo uno son de la siguiente manera: tenemos un consumo de 48,5 Kilowatios útiles (potencia) disponibles, con una pérdida de 1,15 kW, consumo de potencia reactiva (no útil) con un valor de 24 kW, con una pérdida de 0,28 kW, consumo de 2,4 kW de potencia no útil debido a desequilibrios, con un perdida de 0,02 kW, consumo de 1,9 de

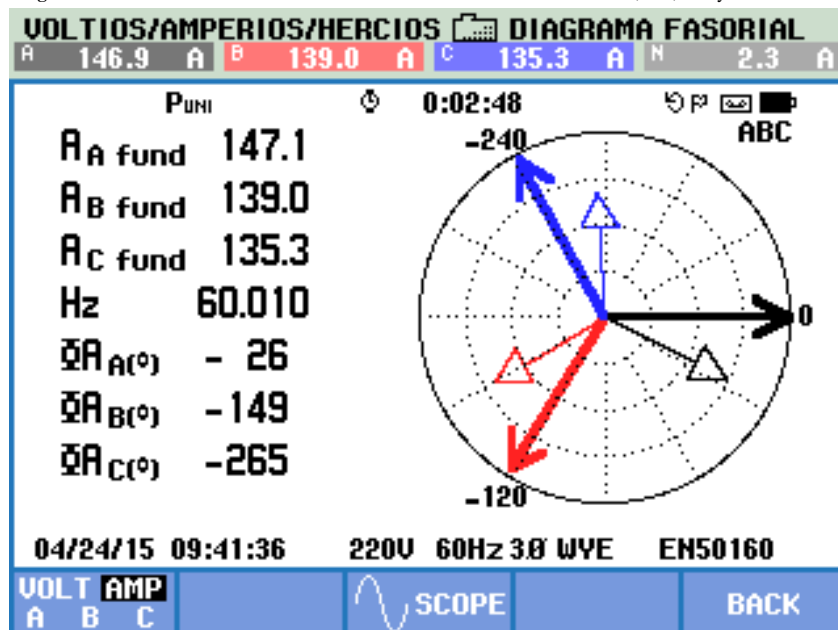
potenciano útil debido a armónicos, con una pérdida de 0,01 kW y un consumo de 2,7 kW corriente del neutro. Por lo tanto se tiene un total de kilowatios/ hora desperdiciados de 1272 dólares por año.

Antes de realizar el presente análisis se debe de ingresar al equipo los parámetros de longitud y calibre del conductor, así como también el costo del kW / hora que en este caso es de 0,10 centavos de dólar.

4.6 Desequilibrio entre fases

En la **figura 47**, se puede observar las lecturas de corriente de las tres fases, lo cual indica que existe un desequilibrio en las mismas. Dando lecturas de corriente diferentes.

Figura 47. Medición de corriente en las líneas A, B, C y neutro

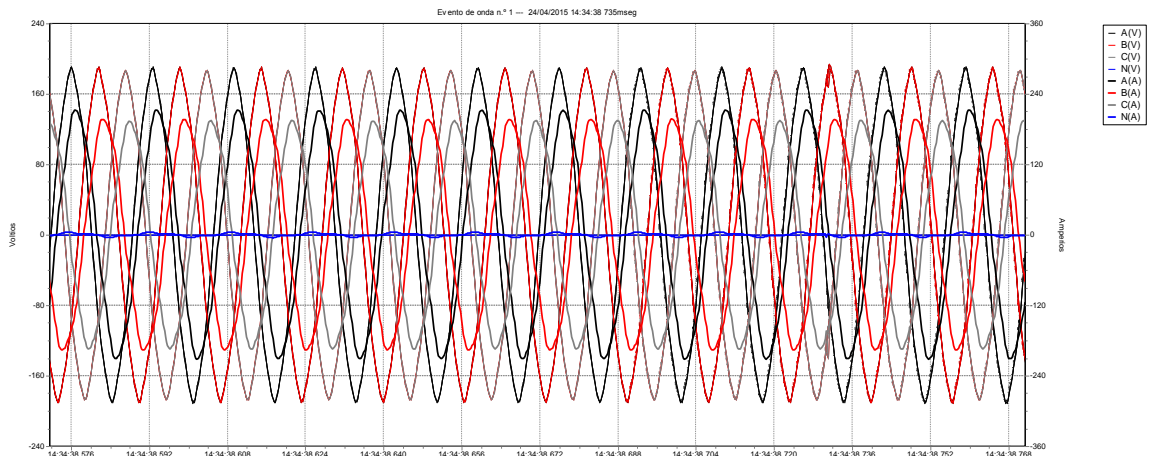


Fuente: Autores

4.7 Eventos de onda. Los eventos ayudan a determinar la onda que se encuentra deformada debido a posibles fallas a la hora del arranque de los equipos eléctricos y como caídas de voltaje en las fases distorsión de la sinusoidal de corriente al arranque de cargas.

En la **figura 48**, podemos ver las formas de onda ejemplo de voltaje y corriente que en algunos momentos se disminuye la amplitud de la onda.

Figura 48.Eventos de onda pozo uno

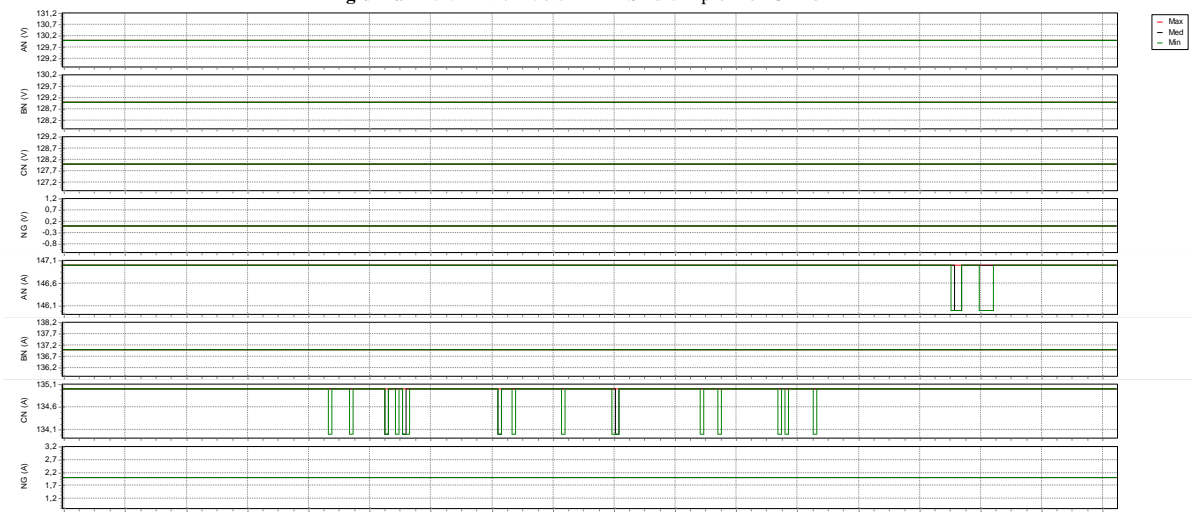


Fuente: Autores

4.7.1 Eventos RMS. Sirve para determinar los eventos que se producen durante la medición que ocurren por diferentes motivos como caídas de voltaje arranque de equipos y malas conexiones eléctricas. En la figura 49, se puede observar un comportamiento similar en las tres líneas, a excepción del neutro que presenta unos picos de corriente y voltaje bastante significativos.

Lo adecuado es no tener presencia de eventos, que la energía suministrada sea la correcta, pero esto se da por motivos tanto atmosféricos como rayos, caídas de árboles, malas conexiones, etc.

Figura 49.Eventos RMS del pozo Uno

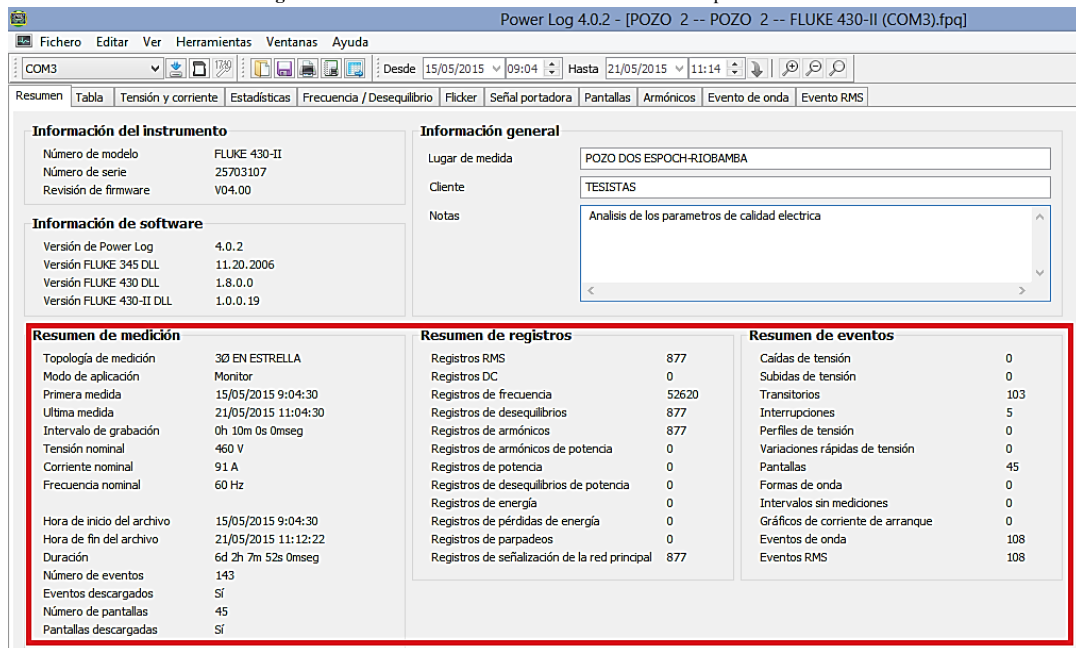


Fuente: Autores

4.8 Mediciones y análisis eléctrico en el pozo Dos

Al finalizar los 7 días de las mediciones el equipo permite visualizar un cuadro de resumen en donde se observa, el número de registros y eventos que se presentaron, además la fecha de inicio y fin del registro, como se observa en la figura 50.

Figura 50. Resumen de eventos del pozo Dos



Fuente: Autores

El equipo registra 877 mediciones, presentándose durante la medición 143 eventos, 5 interrupciones, 103 transitorios y 108 eventos RMS.

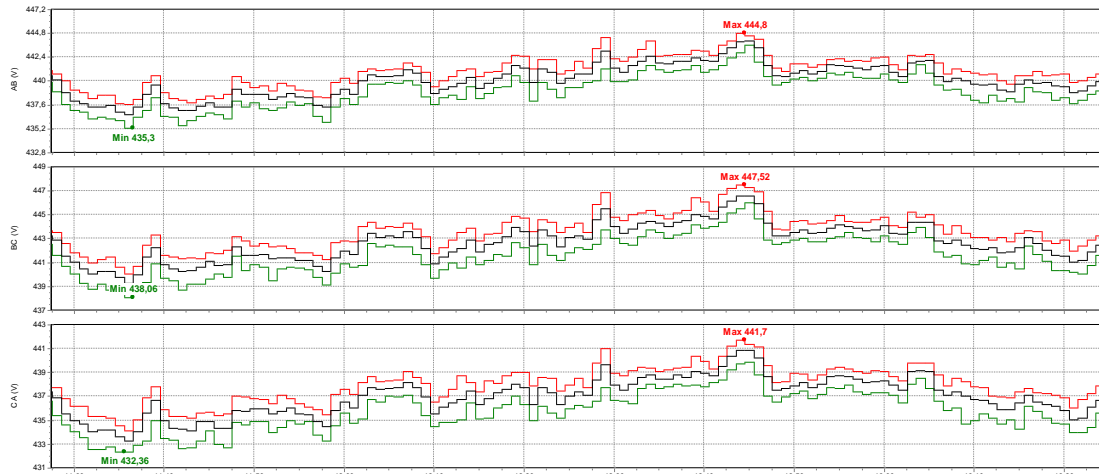
4.8.1 Análisis de voltaje. Se permite una variación de voltaje +/-10 del voltaje nominal que en este caso es de 460V que rige la norma EN 15060 Europea y la CONELEC del Ecuador para alimentación de media tensión. Los valores deben estar dentro de los límites de 414V mínimo y 506 V máximo. Este rango es para el valor de voltajes entre líneas. Como se observa en la figura 51.

Se observa en la línea AB el valor máximo es de 444,8V y un voltaje mínimo de 435,3V.

Se observa en la línea BC que el valor máximo es de 447,52V y un voltaje mínimo de 438,06V.

Se observa en la línea CA que el valor máximo es de 441,7V y con un voltaje mínimo de 432,36V. En la figura 51, se observa un comportamiento similar en las tres fases, lo que permite concluir que los valores están dentro de la norma antes mencionada.

Figura 51. Voltaje vs Tiempo (entre líneas)



Fuente: Autores

Para los valores de voltaje entre línea y neutro tenemos un valor nominal de 256V, lo cual indica que se debe tener una variación entre 230,4V mínimo y 281,6V máximo. Como se observa en la **figura 52**.

Se observa en la línea A el valor máximo es de 255,14V y un voltaje mínimo de 249,72V.

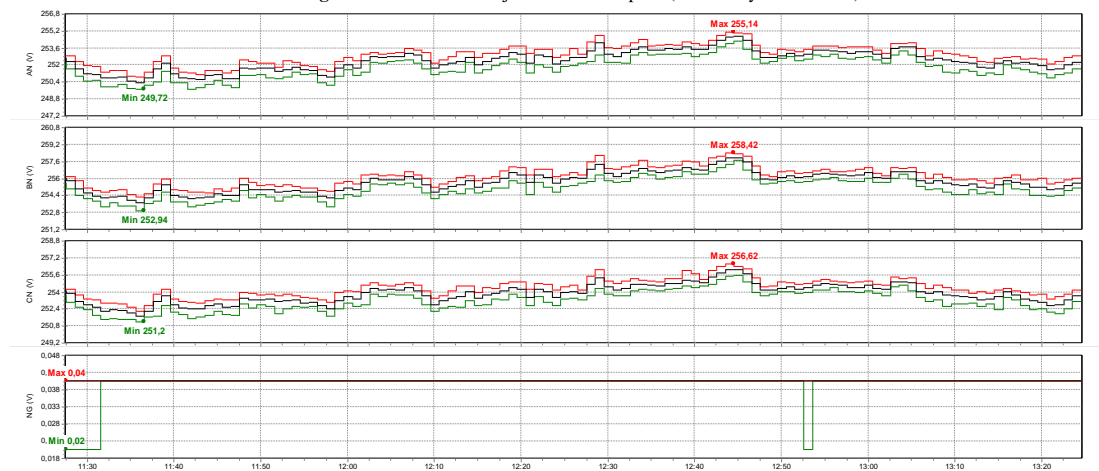
Se observa en la línea B el valor máximo es de 258,42V y un voltaje mínimo de 252,94V.

Se observa en la línea C el valor máximo es de 256,62V y un voltaje mínimo de 251,2V.

En el neutro podemos observar que se tiene un valor máximo de 0,04V y un valor mínimo de 0,02V, durante el tiempo establecido cumpliendo con la norma que especifica que el voltaje en el neutro debe ser lo más cercano a cero.

Para obtener valores de voltaje bajos en el neutro de debe contar con una conexión de malla a tierra en los tableros de control tanto del pozo Uno como del Dos y la conexión se lo debe realizar lo más cercano del tablero eléctrico.

Figura 52. Voltaje vs tiempo (línea y neutro)



Fuente: Autores

Los datos registrados por el analizador en el tablero del pozo 2 en las tres líneas y neutro se encuentran dentro de la norma CONELEC 004/01.

Tabla 14. Resumen de valores de voltaje

Voltajes del tablero del pozo 2		
Fases	V_{max} [V]	V_{min} [V]
L 1	255,14	249,72
L 2	258,42	252,94
L 3	256,62	251,2
N	0,04	0,1

Fuente: Autores

4.8.2 Análisis de corriente. El límite permitido de desbalance de corrientes en las fases que rige la norma europea es de 0% ideal en un máximo del 20% , pero debido a los problemas que se presentan en la red externa hay un desbalance aceptable.

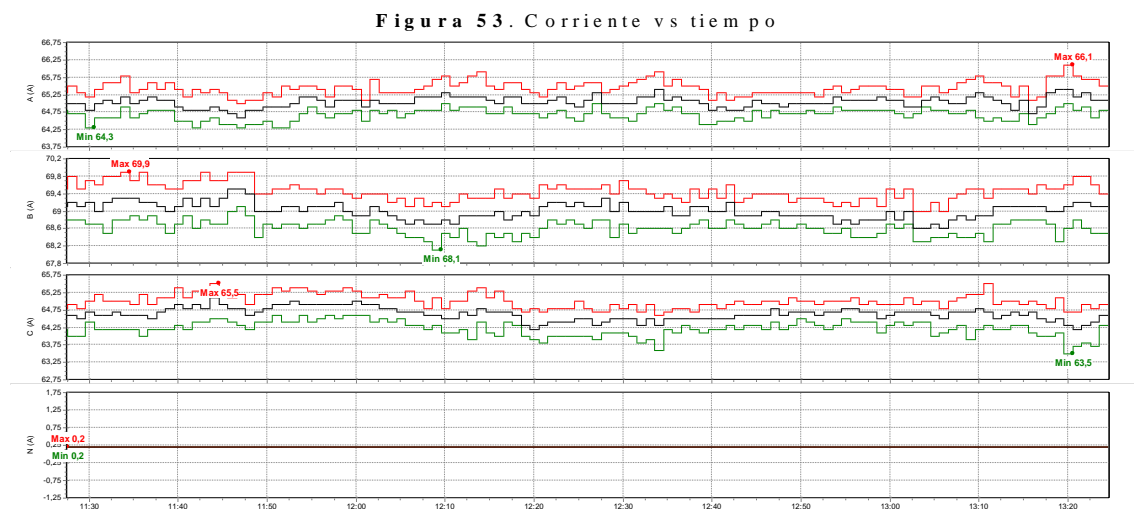
En la **figura 53**, se observa que el comportamiento de la corriente en las tres fases del tablero eléctrico medido es similar, como se observa en el espectro de corriente en la línea A, B y C.

Se observa que en la línea A tenemos una corriente máxima de 66,1A y una mínima de 64,3A, valores registrados el 21/05/2015 a las 13h20.

Se observa que en la línea B tenemos una corriente máxima de 69,9A y una mínima de 68,1A, valores registrados el 21/05/2015 a las 11h34. En la línea C tenemos una corriente máxima de 65,5A y una mínima de 63,5 A, valores registrados el 21/05/2015 a las 11h44.

En el neutro tenemos una corriente máxima de 0,2A registrado el 21/05/2015 a las 11h27.

Como se sabe todo equipo tiene un valor nominal de corriente de consumo eso dependerá mucho a que porcentaje de carga está trabajando, lo cual nos dará valores de corriente variables.



Fuente: Autores

A continuación se presenta los valores de corrientes en las tres líneas y en el neutro observando que existe un desbalance leve en las cargas.

Tabla 15. Resumen de valores de corriente

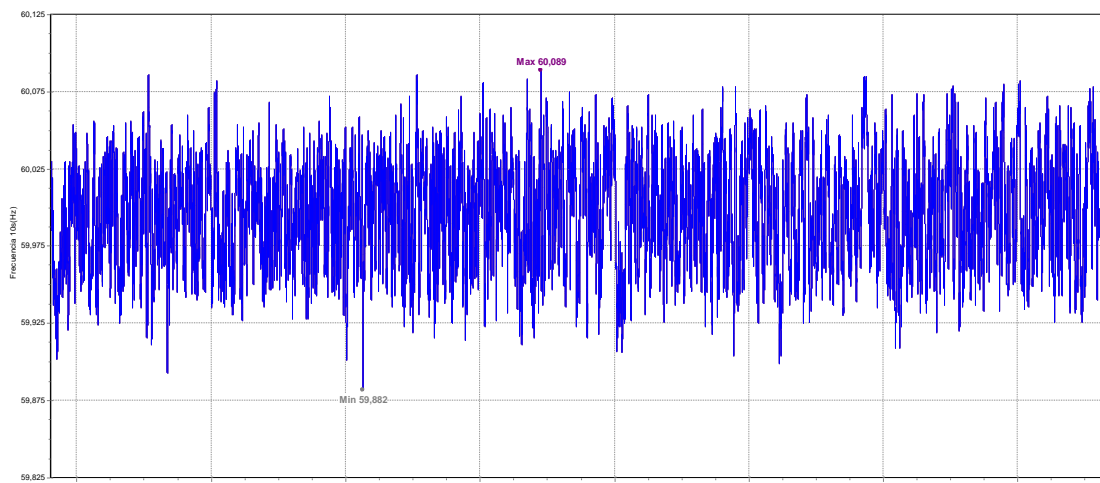
Corriente del tablero del pozo dos		
Fases	$I_{max.}$ [A]	$I_{min.}$ [A]
L 1	66,1	64,3
L 2	69,9	68,1
L 3	65,5	63,5
N	0,2	0,2

Fuente: Autores

4.8.3 Análisis de la frecuencia. Se observa en la **figura 54**, la variación de frecuencia debe ser de +/-1% , como indica la norma de la CONELEC .

El valor más alto de frecuencia se registró el 15/05/2015 exactamente a las 20h15, con un valor máximo de 60,089Hz y valor más bajo de frecuencia se registró el 15/05/2015 exactamente a las 11h59, con un valor mínimo de 59,882Hz, los cuales están dentro de la norma. Como se puede observar en la figura la frecuencia está dentro de los límites establecidos por la norma de la CONELEC .

Figura 54. Parámetros de frecuencia



Fuente: Autores

Tabla 16. Resumen de valores de frecuencia

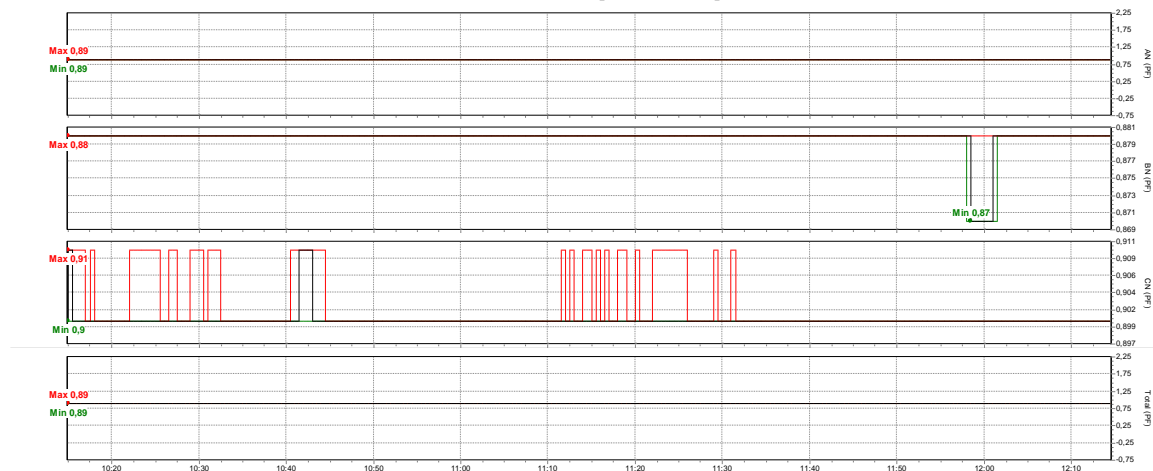
Frecuencia		
Magnitud	f [Hz]	f [Hz]
Frecuencia	60,089	59,882
Frecuencia promedio	59,882	

Fuente: Autores

La frecuencia que se requiere para el Ecuador es de 60 Hz se lo calibra, se nivela la hora y el día actual que se realiza el registro de datos y por último se establece el tiempo o días que se lo deja midiendo, por lo tanto se tiene que no existió ningún problema con este parámetro de calidad de energía.

4.8.4 Análisis del factor de potencia. Para el análisis del factor de potencia existen límites admisibles por la regulación del CONELEC 004/01 establece entre un valor máximo de 1 y un mínimo de 0,92. Como se observa en la figura 55 los valores en las tres líneas no superan el mínimo aceptable por la norma eléctrica Ecuatoriana CONELEC 004/01.

Figura 55. Factor de potencia pozo Dos



Fuente: Autores

Tabla 17. Resumen de valores de factor de potencia

Factor de Potencia		
Líneas	FP _{max}	FP _{min}
L 1	0,90	0,89
L 2	0,88	0,87
L 3	0,87	0,85
FP Promedio	0,88	

Fuente: Autores

El factor de potencia requerido del motor es de 0,85 mientras que el factor de potencia obtenido mediante la medición de los 7 días continuos es de 0,88.

El parámetro de factor de potencia obtenido tiene un valor mayor al requerido por el motor, pero esta fuera del rango mínimo permitido por la norma de la CONELEC, por lo que se requiere corregir este parámetro ($\cos \phi$).

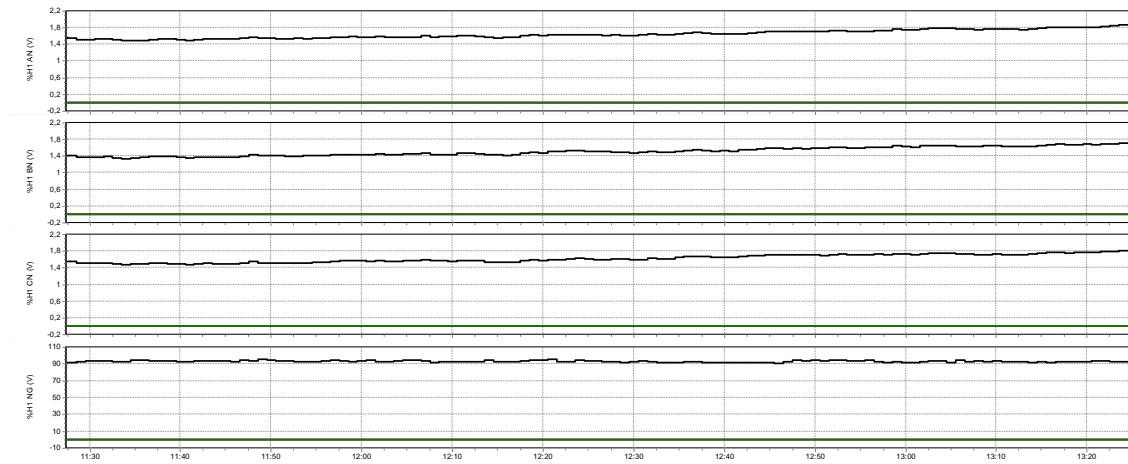
4.8.4.1 Procedimiento para corregir el $\cos \phi$. Para mejorar el factor de potencia en el pozo 2, es necesario instalar un banco de capacitores, conectado directamente a la red principal, lo cual permitirá reducir la potencia reactiva del sistema eléctrico, ya que los capacitores actúan sobre la sinusoide de la corriente, produciendo un efecto contrario al de la inductancia, impidiendo que la corriente se atrase mucho en relación con el voltaje, de esta forma se conseguirá que las sinusoides se pongan en fase y que el valor del factor de potencia se aproxime lo más posible a 1.

4.8.5 Análisis del THD de voltaje. Para el análisis de la distorsión armónica total se lo hará para cada fase para determinar que armónicos se generan. Los límites máximos de variación que permite la norma EN 50160 Europea es de 8%.

En la figura se observa los armónicos en el siguiente orden, línea A 1,86%, línea B 1,71% y línea C 1,8%, lo cual indica que estamos dentro de la norma, ya que éstos valores totales no sobrepasan el 8% que permite la norma Europea y la CONELEC 004/01.

El parámetro de armónicos de voltaje no sobrepasan el 2% , lo cual indica que estamos dentro de lo que la norma establecida.

Figura 56. THD de voltaje



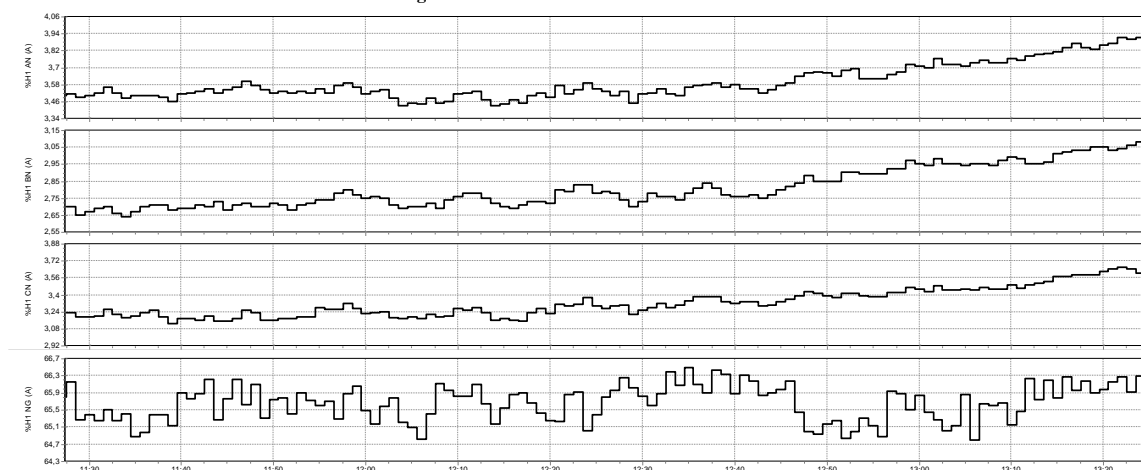
Fuente: Autores

Analizando las líneas A, B y C se determinan valor de distorsión máximo total en las tres líneas, que corresponden al valor del THD de voltaje valores que se encuentran dentro de la norma que indica que debe mantenerse por debajo del 8% del periodo de registro.

4.8.6 Análisis de THD de corriente. Se analiza para cada fase la distorsión armónica THD de corrientes de valores máximos y se identifica el armónico preponderante según el comportamiento de la carga.

La Norma del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) indica que el valor máximo permitido debe ser igual a 8% o menor al valor mostrado. El THD de corriente máxima en la línea A es de 3,91% en la línea B 3,08% en la línea C 3,66% En neutro el THD máximo es de 64,49% y mínimo es 64,79% predominando la armónica 3 y 5. El parámetro de distorsión de corriente está dentro de los rangos permitidos, a excepción del neutro que tiene un valor superior.

Figura 57. THD de corriente



Fuente: Autores

4.8.7 Análisis de flicker. Los límites de severidad de perturbaciones del voltaje cambia en una amplitud moderada en un 10% del voltaje nominal que se pueden repetir varias veces por segundo este problema genera los llamados “ficker” o llamados también parpadeos, causados por fluctuaciones de voltaje en lámparas de luz a una frecuencia detectable del ojo humano.

Límites. Pts. Evalúa la severidad del ficker en periodos cortos con intervalos de 10 minutos el Pts. No debe sobrepasar 1 si esto ocurre se considera como factor negativo se utiliza este límite para nuestro caso. En las bombas sumergibles no existen problemas de flicker de corta duración, pero hay serios inconvenientes con los flickers de larga duración, que pueden resultar peligrosos en algún momento.

Plt: Evalúa la severidad a largo plazo, con intervalos de medición de 2 horas con un límite de Plt menor a la unidad.

Estos límites son establecidos por la norma del CONELEC 004/01, y la norma europea EN50160, el cual nos indica los rangos permitidos para la evaluación de calidad eléctrica para baja tensión.

El análisis de flicker como se ve en la figura 43 tenemos en la línea L1 un máximo de

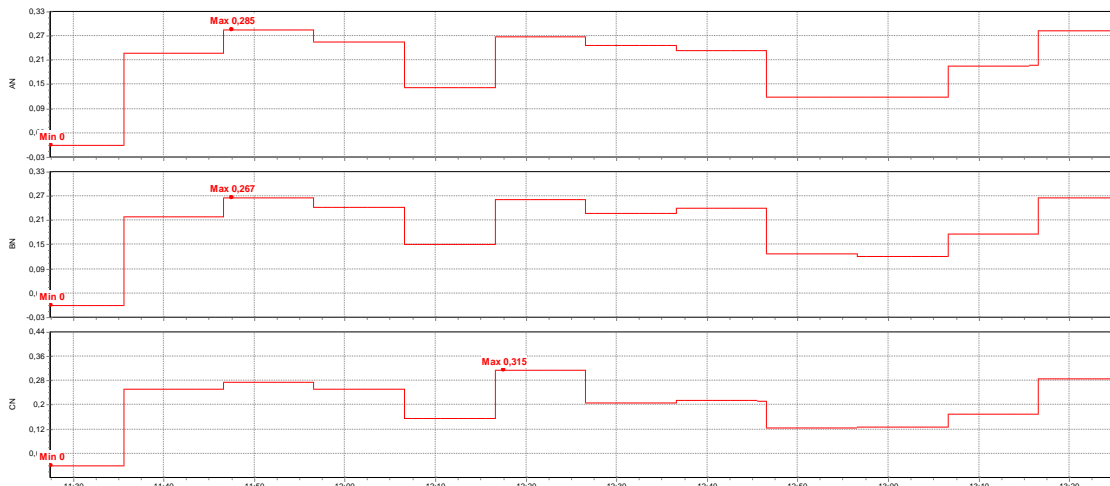
Pst=0,285 registrado el 21/05/2015 a las 11h47. En las línea L2 se observa un máximo de Pst=0,267 registrado 21/05/2015 a las 11h47 al igual que en la L3 se observa un Pst=0,315 el 21/05/2015 a las 12h17.

Los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos como establece la norma CONELEC 004/01.

Resultando que del 100% de las mediciones hay un 5% de límite permitido por lo cual en este caso tenemos apenas un 2% de las mediciones que se salen fuera del rango que determina la norma.

Por lo tanto se concluye que los valores obtenidos están dentro de los límites establecidos por las normas antes mencionadas.

Figura 58. Flickers pozo Dos



Fuente: Autores

Tabla 18. Resumen de valores promedios de flickers

Flickers del tablero del Pozo 1	
Líneas	Pst Promedio
L 1	0,285
L 2	0,267
L 3	0,315
Flickers	0,289

promedio	
total	

Fuente: Autores

4.8.8 Análisis de la potencia. Se analiza en las tres líneas la potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente que se observa en la **figura 59**.

Las líneas 1,2 y 3 tienen el mismo comportamiento con la diferencia que al momento de encenderse la bomba necesita mayor carga y luego se estabiliza estos valores están en el orden de 15kW , 15,7kW y 14,4kW respectivamente, se observa que las tres líneas se encuentran casi equilibradas.

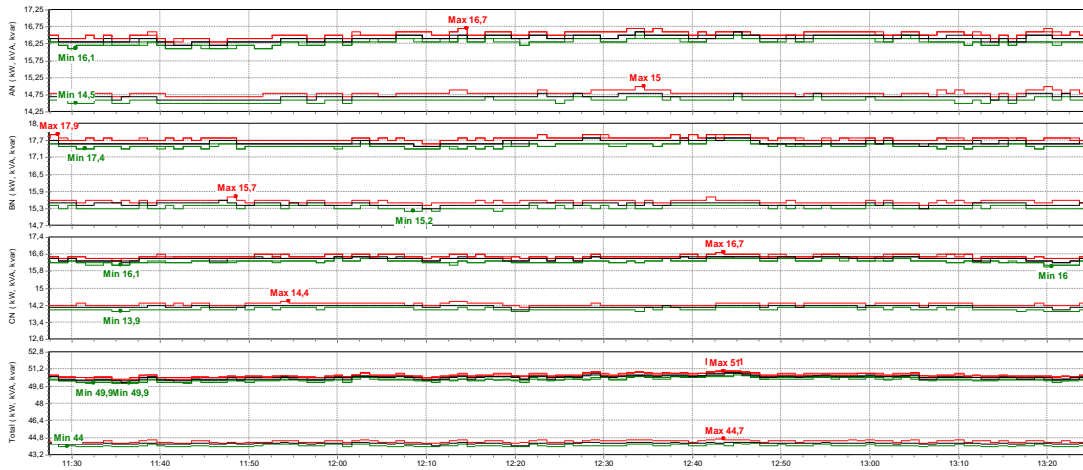
Potencia reactiva como se observa hay un equilibrio entre las líneas tiene características capacitivas e inductivas. Podemos ver que en la línea 1 tiene una medida de 16,7VAR , la línea 2 con 17,9VAR y la línea 3 con 16,7VAR podemos ver que existe un balance entre las líneas.

En la potencia aparente se observa un equilibrio en las tres fases 1,2 y 3 como se observa en la figura 81.La potencia máxima aparente en las líneas 1, 2 y 3 son 16,7W , 17,9W y 16,7W .

Este valor es lo que se debería pagar realmente al distribuidor, pero debido a que el medidor no registra cargas reactivas.

Durante el lapso de la noche el transformador trabaja en vacío y lo cual produce un bajo factor de potencia en la red de alimentación del pozo Dos.

Figura 59. Espectros de potencia: Activa, Reactiva y Aparente



Fuente: Autores

4.9 Costo total en dólares del consumo en el pozo Dos- ESPOCH

Para poder realizar el presente análisis primero se debe de ingresar al equipo los parámetros de longitud y calibre del conductor, así como también el costo del kW / hora que en este caso es de 0,10 centavos de dólar.

Figura 60. Costo de pérdidas de energía

CALCULADORA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA				
P _{UTIL}	0:00:03			
	Total	Loss	Cost	
Effective kW	44.0	W 19.3	\$ 0.00	/hr
Reactive kvar	24.0	W 5.7	\$ 0.00	/hr
Unbalance kVA	2.7	W 12.8	\$ 0.00	/hr
Distortion kVA	2.2	W 14.3	\$ 0.00	/hr
Neutral A	0.5	W 0.0	\$ 0.00	/hr
Total			\$ 45.65/y	
05/15/15 08:43:52 460V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
Cu LENGTH	DIAMETER	METER	RATE	HOLD
5 ft	4 AWG		0.10 /kWh	RUN

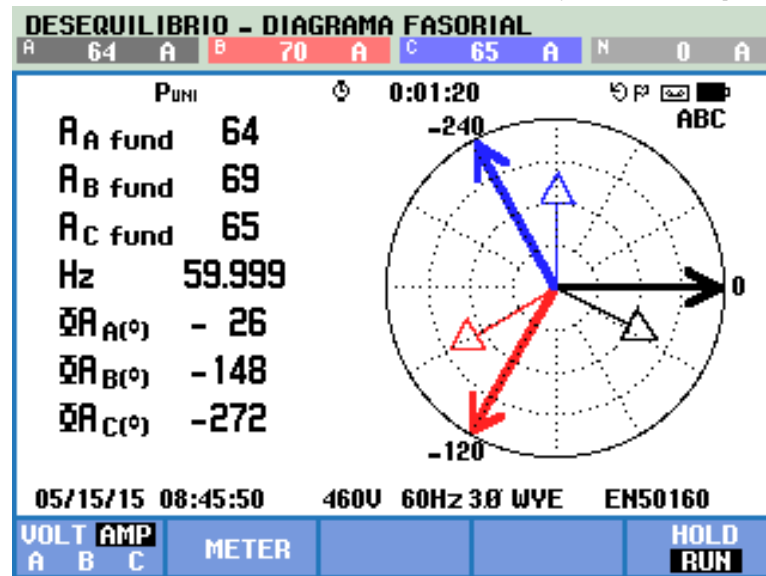
Fuente: Autores

Como se puede visualizar en la figura 60, las pérdidas de energía que se presentan en el pozo Dos, son de la siguiente manera: tenemos un consumo de 44,0 kilowatios útiles (potencia) disponibles, con una pérdida de 19,3 kW , consumo de potencia reactiva (no útil) con un valor de 24 kW , con una pérdida de 5,7 kW , consumo de 2,7 kW de potencia no útil debido a desequilibrios, con un perdida de 12,8 kW , consumo de 2,2 de

potencia no útil debido a armónicos, con una pérdida de 14,3 kW y un consumo de 0,0kW corriente del neutro. Por lo tanto se tiene un total de k W / hora desperdiciados de 45,65 dólares por año.

En la figura 61, se puede observar las lecturas de corriente de las tres fases del tablero 2, lo cual indica que existe un desequilibrio en las mismas.

Figura 61. Medición de corriente en A, B, C y neutro del pozo 2



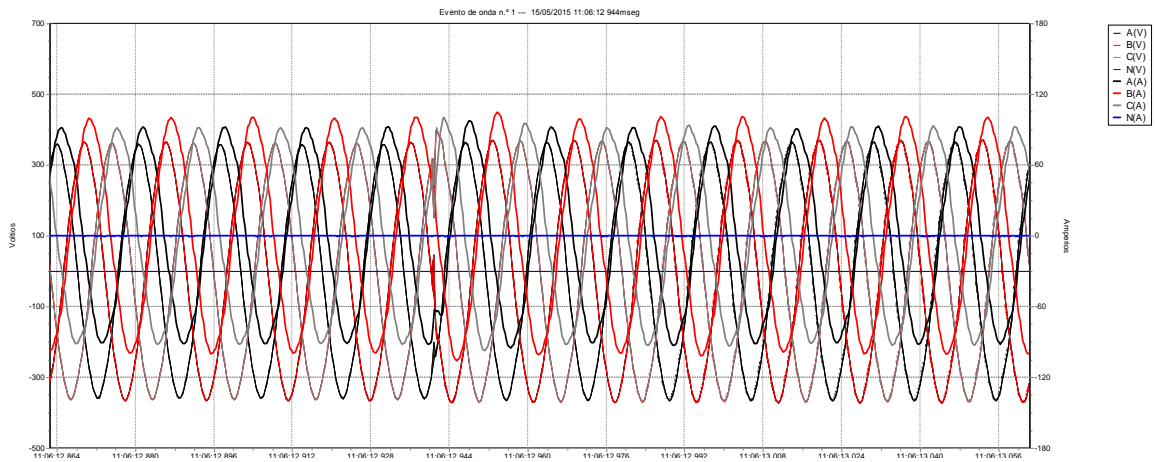
Fuente: Autores

4.9.1 *Eventos de onda*. Los eventos ayuda a determinar la onda que se encuentra deformada debido a posibles fallas a la hora del arranque de los equipos eléctricos y como caídas de voltaje en las fases distorsión de la sinusoidal de corriente al arranque de cargas.

En la figura 62, podemos ver las formas de onda ejemplo de voltaje que algunos momentos se disminuye la amplitud de la onda.

Al realizar el análisis respectivo se tiene que existe una ligera distorsión en las ondas sinusoidales tanto de voltaje como de corriente, estos fenómenos son producidos por los transitorios aunque son de corta duración aproximadamente de 0,1 milisegundos, pero afectan de forma significativa en el rendimiento del motor de la bomba del pozo Dos de la ESPOCH-RIOBAMBA.

Figura 62. Forma de onda de voltaje y corriente pozo Dos

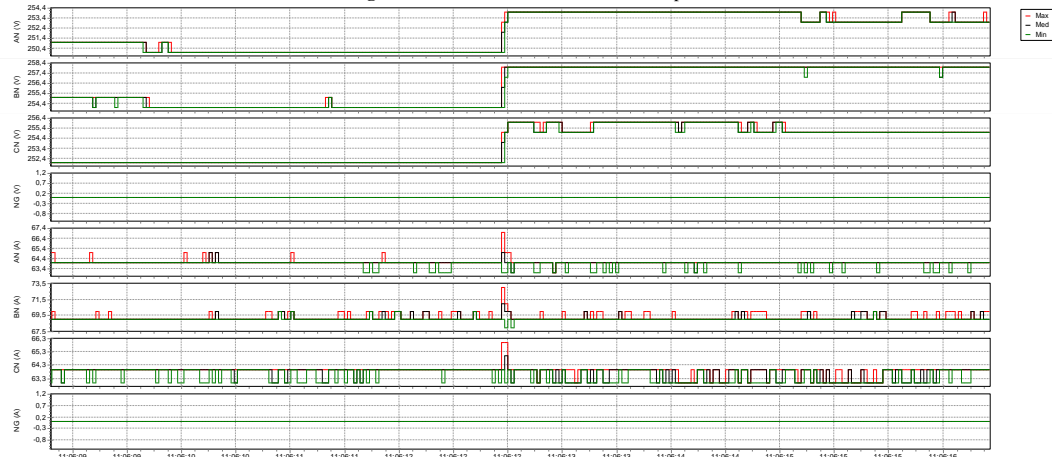


Fuente: Autores

4.9.2 Eventos RMS. Sirve para determinar los eventos que se producen durante la medición que ocurren por diferentes motivos como caídas de voltaje arranque de equipos y malas conexiones eléctricas. En la figura 63, se observa un comportamiento similar en las tres fases tanto de corriente como de voltaje, pero a su vez indica también que existieron presencia de transitorios de corta duración.

Lo correcto sería no tener presencia de eventos que la energía suministrada sea la correcta pero esto se da por motivos tanto atmosféricos como rayos, caídas de árboles, malas conexiones.

Figura 63. Eventos RMS pozo Dos



Fuente: Autores

4.10 Cálculo del valor del condensador para corregir el $\cos \varphi$

Para el cálculo del $\cos \varphi$ de la bomba del pozo Uno, se tiene una potencia de 43 kW con un factor de potencia de 0,85 y se desea corregir 0,92. Con alimentación de la red 220 V y frecuencia de 60 Hz.

En la **tabla 19** se tienen valores en función del factor de potencia antes y después de la compensación, lo cual permitirá hallar el factor K, se multiplica por la Potencia Activa dividida para tres por tratarse de un sistema trifásico. Finalmente este valor se utiliza para calcular el valor del capacitor.

Tabla 19. Valores del factor K

Factor de potencia existente: $\cos \varphi$	Factor de potencia deseado: $\cos \varphi_c$																		
	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00			
0.70	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020			
0.71	0.372	0.398	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992			
0.72	0.344	0.370	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964			
0.73	0.316	0.343	0.370	0.396	0.424	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936			
0.74	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909			
0.75	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882			
0.76	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855			
0.77	0.209	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829			
0.78	0.183	0.209	0.236	0.263	0.290	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802			
0.79	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776			
0.80	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750			
0.81	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724			
0.82	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698			
0.83	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672			
0.84	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646			
0.85	0.000	0.026	0.053	0.080	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620			
0.86	####	0.000	0.027	0.054	0.081	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593			
0.87	####	####	0.000	0.027	0.054	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567			
0.88	####	####	####	0.000	0.027	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540			
0.89	####	####	####	####	0.000	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512			
0.90	####	####	####	####	####	0.000	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484			

Fuente: (CAPACITORES, 2012)

$$\frac{P_A}{3} = \frac{43}{3} = 14,33 \text{ kW}$$

$$Q_c = P_A * K$$

$$Q_c = 14330 \text{ W} * 0.194$$

$$Q_c = 2780,02 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q_c}{W * (V^2)}$$

$$W = 2\pi * f$$

$$C = \frac{2780,02 VAR}{(2\pi * 60Hz) * (220^2)}$$

$$1,523 \times 10^{-4} F$$

$$C = 152 \mu f$$

Una vez calculado el valor del condensador, se necesita instalar tres capacitores de **152 μf** a cada línea de alimentación del motor.

Para el cálculo del factor de potencia de la bomba del pozo Dos, se tiene una potencia de 45 kW con un factor de potencia de 0,85 y se desea corregir 0,92. Con alimentación de la red 460 V y frecuencia de 60 Hz.

$$\frac{P_A}{3} = \frac{45}{3} = 15 kW$$

$$Q_c = P_A * K$$

$$Q_c = 15000 W * 0,194$$

$$Q_c = 2910 VAR$$

$$C = \frac{Q_c}{W * (V^2)}$$

$$W = 2\pi * f$$

$$C = \frac{2910 VAR}{(2\pi * 60Hz) * (460^2)}$$

$$C = 3,647 \times 10^{-5} F$$

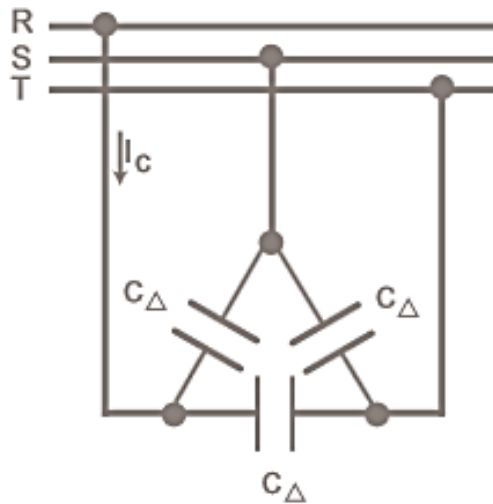
$$C = 365 \mu F$$

Una vez calculado el valor del condensador, se necesita instalar tres capacitores de **365 μf** a cada línea de alimentación del motor.

4.11 Conexión de los condensadores

Como el motor tiene un arranque estrella-triángulo, se realizará la conexión de los condensadores a través de contactores, de manera que el condensador se conecte una vez que el motor ha terminado su arranque (estrella) y se encuentre en régimen permanente (triángulo). La utilización de este esquema evita las sobreintensidades y sobretensiones que se producen al conectar el motor. Como se observa en la **figura 64**.

Figura 64. Conexión de los condensadores



Fuente: (CAPACITORES, 2012)

CAPÍTULO VI

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Al realizar las mediciones con el analizador de energía FLUKE 435 en los sistemas eléctricos de los pozos Uno y Dos de la ESPOCH, se detectaron varios problemas sobre todo en los dispositivos de control del pozo Uno, ya que por los años que llevan funcionando y la falta de mantenimiento, está por cumplir su tiempo de vida útil.

En el pozo Dos, se puede evidenciar un funcionamiento normal, ya que posee elementos de control más actualizados.

Se obtuvo un conocimiento adecuado sobre el manejo del equipo FLUKE 435, conjuntamente utilizando la norma energética EN50160, conjuntamente con la CONELEC, para obtener resultados correctos y de alta calidad.

Se verificó las diferentes conexiones desde el transformador hasta los tableros de distribución, con el fin de programar el equipo correctamente.

Se conectó el equipo en los tableros principales de distribución de los pozos Uno y Dos con la finalidad de detectar anomalías en las diferentes líneas que alimentan a los sistemas.

Al realizar el análisis del factor de potencia en los pozos, se observó que no se encuentran dentro de los valores que establece la norma de la CONELEC.

Se evaluaron los resultados obtenidos para proporcionar un informe técnico de soluciones al Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico de la ESPOCH, en base a los datos que nos brinda el equipo analizador.

No se puede estimar un valor económico de ahorro en los pozos debido a que existen solo dos medidores eléctricos para toda la ESPOCH, según la información proporcionada por el departamento financiero de la institución.

5.2 Recomendaciones

Realizar la limpieza y desalojo de materiales innecesarios del área externa e interna de los pozos Uno y Dos de la ESPOCH, lo cual puede causar algún accidente.

Realizar una limpieza en el interior de los tableros eléctricos, para evitar acumulación de polvo que puede provocar una mala conexión de los contactores en el momento del arranque de la bomba.

No conectar circuitos de iluminación o electrónicos a estas redes de energía, porque debido al nivel alto de flicker que producen se verá afectado el mismo.

Instalar un banco de capacitores en los pozos para corregir el factor de potencia.

Revisar de la puesta a tierra en los tableros eléctricos de distribución ya que en el momento de realizar la conexión del equipo analizador, estas corrientes sean descargadas por esta.

Elaborar un plan de mantenimiento para los equipos de las estaciones de bombeo.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- AGUILAR, Eduardo. 2001. Transitorios y ruido eléctrico. 2010.** TRANSITORIOS Y RUIDO ELECTRICO. [En línea] 10 de 11 de 2010. [Citado el: 19 de 3 de 2014.] <http://www.reasa.com.mx/pdf/FTREA00310-Transitorios-y-ruido-electrico.pdf>.
- ARMONICOS, redes electricas. 2008.** ARMÓNICOS EN REDES ELÉCTRICAS CPU1,. *web*. [En línea] Nombre, 19 de 11 de 2008. [Citado el: 6 de 3 de 2014.] [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Arm_nicos_en_Redес_El_ctricas%20\(30\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Arm_nicos_en_Redес_El_ctricas%20(30).pdf).
- CENTRALMATIC. 2005.** <http://www.centralmatic.cl/manuales.html>. [En línea] 2005. <http://www.centralmatic.cl/manuales.html>.
- CONEELEC. 2001.** CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION. [En línea] 23 de 5 de 2001. [Citado el: 10 de 3 de 2014.] www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc.
- CONEELEC, regulacion No. - 004/01. 2001.** CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION. [En línea] 23 de 5 de 2001. [Citado el: 10 de 3 de 2014.] www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc.
- DESEQUILIBRIOS. 2009.** [En línea] 2009. www.electricidad-desequilibriosdetension.com.
- EN50160, NORMA de calidad electrica.** [En línea]
- ESTACIONES, bombeo. 2002.** www.fi.uba.ar/Estaciones_de_Bombeo.pdf. [En línea] 2002. www.fi.uba.ar/Estaciones_de_Bombeo.pdf.
- FLUKE. 2012.** Analizador trifásico de energía y calidad de energía eléctrica. www.cedesa.com.mx/pdf/fluke/fluke_434II-435II_user_manual.pdf. [En línea] 2 de 2 de 2012. [Citado el: 3 de 4 de 2014.] http://www.cedesa.com.mx/pdf/fluke/fluke_434II-435II_user_manual.pdf.
- FRANKLINELECTRIC. 2001.** <http://www.franklinagua.com/>. [En línea] 2001. <http://www.franklinagua.com/>.
- <http://www.rotorpump.com/pdf/Motores%20y%20Accesorios%20Franklin%2050%20hz.pdf>. [En línea]
- MARCOMBO. 2010.** [En línea] 2010. <http://www.marcombo.com/Descargas/8496334147-INSTALACIONES%20EL%20C3%29CTRICAS%20DE%20INTERIOR/UNIDAD%2010.pdf>.
- ROTORPUMP. 2002.** www.rotorpump.com/Motores.pdf. [En línea] 2002. www.rotorpump.com/Motores.pdf.
- RTRENERGIA. 2012.** LOS ARMÓNICOS Y LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, Juan. [En línea] GLP Ghostscript8.71, 21 de 6 de 2012. [Citado el: 15 de 3 de 2012.] http://www.rtrenergia.es/rtr/ficheros/armonicos_2012.pdf.

SANTILLÁN, Marco. 2010. TEXTO BASICO DE CONTROL INDUSTRIAL. RIOBAMBA : Politecnica, 2010.

SLIDE. 2008. Advanced Concepts Power Quality. [En línea] 17 de 3 de 2008. [Citado el: 9 de 5 de 2014.] Advanced Concepts Power Quality FLUKE rlucero@coasin.com.ec.pdf.

UNE-EN-60150, NORMA. [En línea]

WIERDA, René. FLICKERS. 2001. 2001. [En línea] 10 de 8 de 2001. [Citado el: 8 de 3 de 2014.] <http://www.schneiderelectric.es>.

www.bvsde.org/estacionesdebombeo. [En línea]

www.fluke.com/fluke/eces/products. [En línea]

www.siapa.gob.mx/estacionesdebombeo.pdf. [En línea]

