

2015

## Práctica profesional en el área de mantenimiento eléctrico en la industria de hidrocarburos

Carlos Eduardo Amaris Mahecha  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica)



Part of the [Electrical and Electronics Commons](#)

---

### Citación recomendada

Amaris Mahecha, C. E. (2015). Práctica profesional en el área de mantenimiento eléctrico en la industria de hidrocarburos. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica/130](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/130)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

---

**Programa de Ingeniería Eléctrica**



**PRÁCTICA PROFESIONAL EN EL ÁREA DE  
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN LA  
INDUSTRIA DE HIDROCARBUROS**

**PRESENTA**  
CARLOS EDUARDO AMARIS MAHECHA

**Bogotá Colombia 2015**

---

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

---

Programa de Ingeniería Eléctrica

**PRÁCTICA PROFESIONAL EN EL ÁREA DE  
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN LA  
INDUSTRIA DE HIDROCARBUROS**

Práctica profesional  
Para obtener el título de  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTA**  
CARLOS EDUARDO AMARIS MAHECHA

**DIRECTOR**  
CARLOS ADRIÁN CORREA FLOREZ

**Bogotá Colombia 2015**

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primera instancia a mi familia, Carlos, Mariana, Lucas, Felipe y Moncho por el apoyo que me brindaron en estos 21 años de vida, en los cuales me forjaron con valores y principios.

A la Universidad de La Salle y al Programa de Ingeniería Eléctrica por hacerme participe de esta carrera y colmarme de conocimientos tan valiosos que hicieron que amara la Ingeniería.

A los Ingenieros Adrián Correa, Elimeleth Maturana, Antonio Bernal, Gustavo Arciniegas, José Garavito, Fabio Bedoya, Jorge Camacho, Juan Pablo Mariño y Eric Martínez por sus consejos, enseñanzas y buen ejemplo.

A Paola Cadena Díaz quien me sirvió de apoyo durante toda mi carrera a través de su amor y su compañía.

A Tita por su sacrificio y amor.

A Carlos Araque, David Insuasty, Christian Cuervo, mis demás amigos y familiares.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>MARCO DEREFERENCIA .....</b>	<b>1</b>
<b>DEFINICIONES .....</b>	<b>2</b>
1. <i>JUSTIFICACION Y DELIMITACION DE LA PRÁCTICA .....</i>	4
2. <i>METODOLOGIA .....</i>	5
3. <i>PRESENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CAMPO QUIFA .....</i>	7
4. <i>RESULTADOS .....</i>	14
4.1 <i>Calidad de Potencia: .....</i>	14
4.1.1 <i>Corrección de factor de Potencia:.....</i>	15
4.1.2 <i>Cuantificación de armónicos:.....</i>	16
4.1.2.1 <i>Calculo de parámetros de filtro:.....</i>	20
4.2 <i>Mantenimiento Predictivo: .....</i>	21
4.2.1 <i>Termografía: .....</i>	21
4.2.2 <i>Termografía en red de media tensión: .....</i>	22
4.2.3 <i>Centro de control de motores (CCM): .....</i>	25
4.3 <i>Ultrasonido:.....</i>	29
4.3.1 <i>Ultrasonido en red de media tensión: .....</i>	29
4.4 <i>Fallas Eléctricas: .....</i>	32
4.5 <i>Otros Proyectos: .....</i>	42
4.5.1 <i>Justificación económica de pavimentación de vía cercana a Pórtico QSW: 42</i>	
4.5.2 <i>Modelo de Fallas: .....</i>	47
5. <i>CONSLUSIONES .....</i>	49
6. <i>RECOMENDACIONES.....</i>	51
7. <i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	52

## MARCO DEREFERENCIA

Con el ánimo de desarrollar y dar cabida a la opción de grado a través de la modalidad de práctica profesional, la Universidad brinda la posibilidad para que con del desarrollo de la Ingeniería aplicada en la industria en este caso la industria de hidrocarburos, se fortalezcan las competencias del estudiante en la medida en que se complementa la formación académica que ofrece la universidad.

Esta modalidad de grado, plantea una nueva perspectiva tanto para la universidad como para el estudiante, en la medida en que nos acerca y nos prepara para enfrentar con mayores competencias la realidad laboral.

A través de los convenio existentes en la Universidad de la Salle y en desarrollo de la transferencia de conocimiento, se presentó el concurso de mérito para realizar la vinculación con la empresa Pacific Rubiales Energy para desarrollar prácticas laborales. Con el ánimo de contrastar los conocimientos y herramientas teóricas adquiridas, la Universidad de la Salle brinda la modalidad de grado a través de prácticas en ingeniería con una de las empresas más reconocidas en la industria petrolera. Pacific Rubiales Energy es una compañía canadiense con sede en Toronto y oficinas en Bogotá-Colombia y en Lima-Perú que se dedica a la producción y explotación de crudo pesado y gas natural. La empresa es el segundo mayor productor de gas y petróleo del país y tiene una amplia cartera de exploración.

En virtud de la política y los planes del subsector de hidrocarburos, Ecopetrol y Pacific Rubiales Energy tienen un contrato de asociación para la explotación de crudo en los campos Rubiales y Quifa. Siendo este último campo en donde se llevará a cabo la práctica por un periodo de seis meses en donde se desarrollarán las actividades anteriormente mencionadas.

## DEFINICIONES

**MPC:** Meta Petroleum Corporation.

**PEL:** Petroeléctrica de los Llanos S.A.

**IPP:** Independence Power Plant

**TMP:** Planta Termopetroleo ubicada en Campo Rubiales.

**TR:** Planta Termo Rubiales ubicada en campo Rubiales.

**TEBR:** Planta Termo EBR ubicada en Campo Rubiales.

**TLL:** Planta TermoLlanos ubicada en Campo Rubiales.

**Mantenimiento programado.** Es el mantenimiento de equipos reportado por las empresas al CND con una antelación no inferior a una semana respecto de la fecha de inicio del mantenimiento, que fue aprobado por el CND conforme a la coordinación semanal de mantenimientos de equipos.

**Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – MCC.** Metodología utilizada para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

**Evento.** Es la situación que causa la indisponibilidad parcial o total de un Activo de Uso del STN o de un Activo de Conexión al STN y que ocurre de manera programada o no programada.

**Plan de Trabajo.** Documento con el detalle de las actividades a realizar, el estado operativo de los activos y equipos, el Jefe de Trabajos designado, las fechas de ejecución y las medidas de seguridad generales para acondicionar el área de los trabajos, hacer seguimiento durante los trabajos y realizar el cierre de los mismos, como control de los riesgos en las personas, equipos, sistema y medio ambiente.

**Sistema Interconectado Nacional – SIN.** Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión nacional, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los Usuarios.

**Sistema de Transmisión Nacional – STN.** Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

**SQA:** Barra en 34,5 kV que recibe energía desde el transformador 1 230/34,5 kV.

**SQB:** Barra en 34,5 kV que recibe energía desde el transformador 2 230/34,5 kV.

**QFSW:** Pórtico Quifa Sur Oeste, área donde se encuentran un conjunto de equipos de maniobra y control, que distribuyen la carga hacia las Islas de distribución

**QFDP:** Pórtico Quifa Despacho, área donde se encuentran un conjunto de equipos de maniobra y control de la carga demandada por Campo Quifa.

**Islas de distribución:** Pórticos que distribuyen energía hacia los clústers de producción de petróleo. Isla 1, Isla 2, Isla 3 e Isla 4.

**Clústers:** Locación de explotación de petróleo. Consta de un Shelter eléctrico, shelter de variadores de velocidad, Generadores de combustión interna, transformador de potencia y pozos de explotación.

**Modo de falla:** Se define como el causa de la falla o evento que se presenta en la instalación en este caso particular la red de distribución 34,5 kV.

**MTBF:** Mean Time Between Faulure (Tiempo Medio entre fallas) y se define como el tiempo promedio en el cual ocurre un evento o fallo. (Vance Persons, 2012)

**MTTR:** Mean Time to Repare.(Tiempo Medio de Reparación) y se define como el tiempo promedio en el cual el mantenedor demora en aislar la falla y restaurar el sistema (Vesely, Goldberg, Roberts, & Haasl, 1981)

**Disponibilidad:** Se define como la relación entre la diferencia del tiempo neto de operación menos el tiempo de falla sobre el tiempo de operación ideal.

**Batería 4:** Es la locación en donde se concentran todos los sistemas de tratamiento de crudo/agua. Para efectos de este documento y guardando la confidencialidad se denominarán a los 5 CCM's principales como A, B C, D, C y E:

**CCM:** Centro de Control de Motores, Es uno o varios tableros que alimentan, controlan y protegen circuitos cuya carga esencialmente consiste en motores y que usa contactores o arrancadores como principales componentes de control.

**VPN:** Valor presente Neto. Se define como la suma algebraica del valor de la inversión con los valores futuros traídos a valor presente (Año 0).

**TIR:** Tasa Interna de Retorno. Se define como el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de una Inversión.

**Payback:** Tiempo de Recuperación de la inversión. Consiste en el momento en el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial de un proyecto.



## 1. JUSTIFICACION Y DELIMITACION DE LA PRÁCTICA

La Universidad proporciona las bases teóricas que proporciona los conocimientos para el desempeño laboral, en la academia el contacto con la realidad se obtienen a través de los laboratorios en condiciones hipotéticas, lo cual no permite replicar las condiciones de operación normal de una industria. Lo anterior constituye una barrera para el buen desempeño laboral en la medida que se convierte en un círculo vicioso en el cual el recién graduado no se contrata o se contrata en condiciones inequitativas por falta de experiencia. En este sentido, con la finalidad de confrontar los conocimientos y herramientas teóricas adquiridas en el proceso de formación académica, se identifica la necesidad de aplicar, contrastar, desarrollar y fortalecer la formación integral por competencias laborales, Se precisa este tipo de oportunidades y fortalecer este tipo de convenios entre la industria y la academia.

En la industria de hidrocarburos el área eléctrica constituye una parte fundamental de la operación de esta industria y se considera necesario fortalecerla con la inclusión de ingenieros electricistas. Por ello, el área de mantenimiento especializado toma cada vez más un papel importante debido a que garantiza la continuidad de los procesos.

La modalidad de práctica profesional constituye una de las opciones de trabajo de grado en la Universidad de La Salle. El 8 de septiembre del 2014 se abrió el concurso para participar en la escogencia de candidatos para realizar prácticas empresariales con la empresa Pacific Rubiales Energy, concurso del cual salí seleccionado después de presentar las pruebas psicológicas, técnicas y promedio de notas de la carrera. De esta forma se procedió a la firma de contrato de práctica profesional. Es de interés de la Universidad buscar un acercamiento con la industria con la finalidad de abrirle una oportunidad de abrirles a sus estudiantes de confrontar conocimientos y obtener su primera experiencia laboral en desarrollo del programa lectivo de la carrera profesional.

El alcance de esta práctica está directamente relacionada con los requerimientos de la industria de hidrocarburos, para lo cual se trabajará sobre los siguientes temas en específico e intensidad horaria:

Actividad	Intensidad horaria
Reconocimiento y visita a facilidades eléctrica	60
Conocimiento del plan de levantamiento de información	60
Visita a Campo rubiales	60
Elaboración de tablas de control de metas de contratistas	120
Revisión, recopilación y análisis de información de servicios predictivos	180
Seguimiento a consolidación de reportes elaborados por contratistas	780

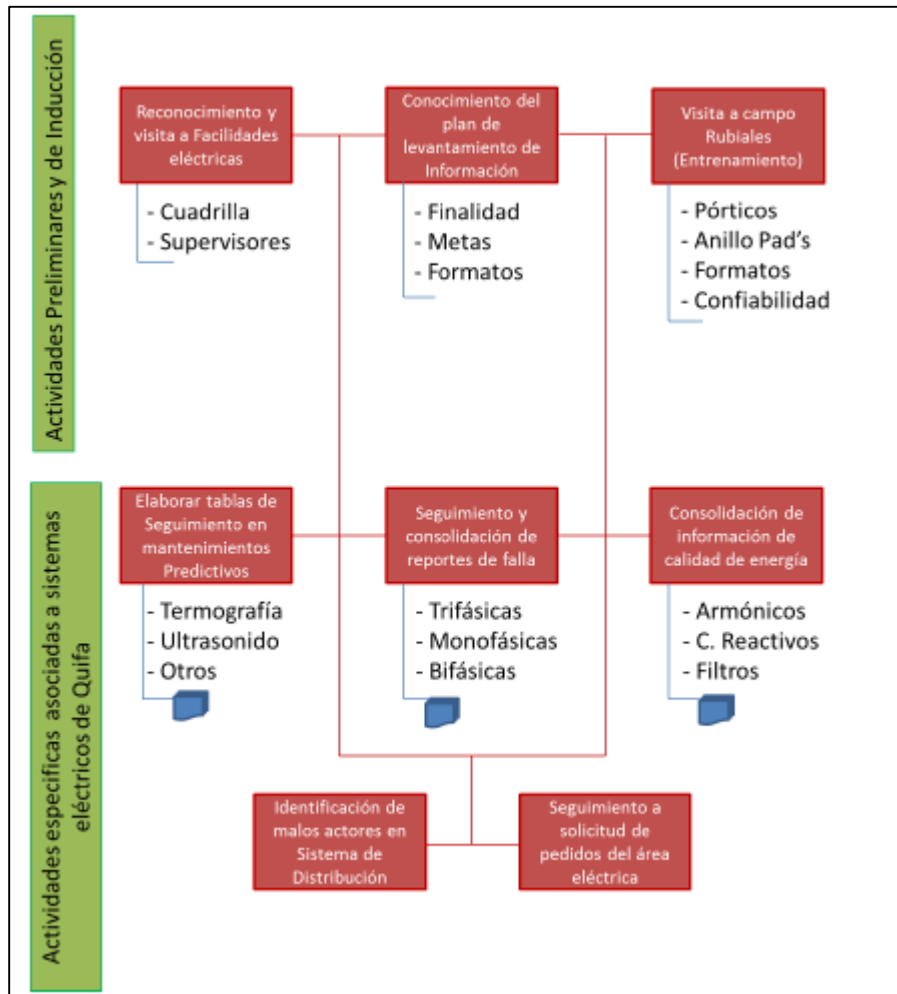
Consolidación de información de calidad de energía	540
Elaborar y mantener actualizado el consolidado de fallas del sistema eléctrico	1200
Identificación de malos actores del sistema de distribución	360
Acompañamiento a personal técnico al personal externo durante servicios de aplicación de técnicas predictivas	600
Elaboración de informes de periódicos y entregables de la práctica estudiantil	240

**Tabla 1:** Distribución de horas de práctica

Además de la anterior delimitación de las actividades, el trabajo tiene especial énfasis en profundizar en Coordinación de protecciones eléctricas en sistemas de distribución usando el software especializado ETAP. El cual consiste en una herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales. ETAP ofrece una suite de programas totalmente integrados incluyendo flujos de carga, cortocircuito, coordinación de protecciones y selectividad de protecciones, dimensionamiento de cables, estabilidad transitoria, flujo óptimo de potencia, entre otras. Su diseño modular permite que sea configurado de acuerdo a las necesidades de cualquier empresa.

## 2. METODOLOGIA

La práctica profesional se llevará a cabo durante un periodo de seis meses equivalente a 1440 horas laborales en campo. Este tiempo de práctica en conocimiento específico, constituye un equivalente en horas a 3 semestres académicos de Ingeniería Eléctrica. Estas horas de práctica profesional se distribuirán en 60 horas semanales en turnos diarios de 12 horas de lunes-viernes. El detalle de las actividades que se desarrollarán en esta práctica profesional la Ilustración 1.



**Ilustración 1:** Diagrama de Actividades

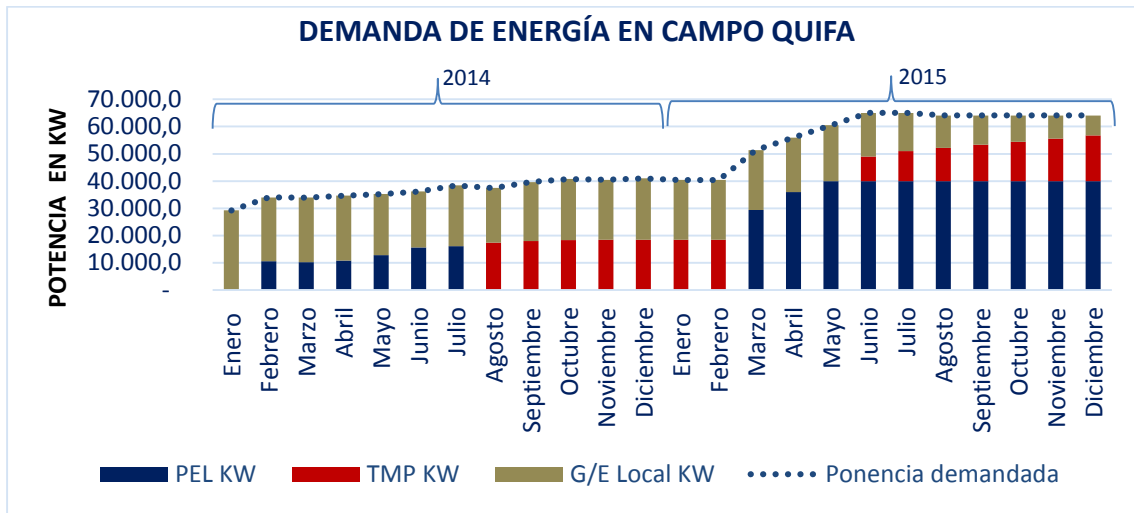
Como se observa, las actividades a desarrollar son las siguientes:

- ✓ Reconocimiento y visita a facilidades eléctricas.
- ✓ Conocimiento del plan de levantamiento de información de sistemas eléctricos Quifa a cargo del contratista SAS.
- ✓ Visita a Campo Rubiales
- ✓ Elaborar tablas de seguimiento de mantenimientos predictivos para elaborar planes de mejora
- ✓ Seguimiento y consolidación de reportes de falla elaborados como solicitud de mejora a proyectos
- ✓ Consolidación de información de calidad de energía como soporte para realizar una solicitud de servicio de diseño de la compensación reactiva de armónicos.

La Evaluación y Certificación del desarrollo de las actividades que están plasmadas en el cronograma que anexo serán realizadas conforme la calidad de los informes entregados. La persona que realizará el proceso de retroalimentación y calificación del proceso serán los supervisores de mantenimiento del área eléctrica John Fabio Bedoya y José Augusto Camacho.

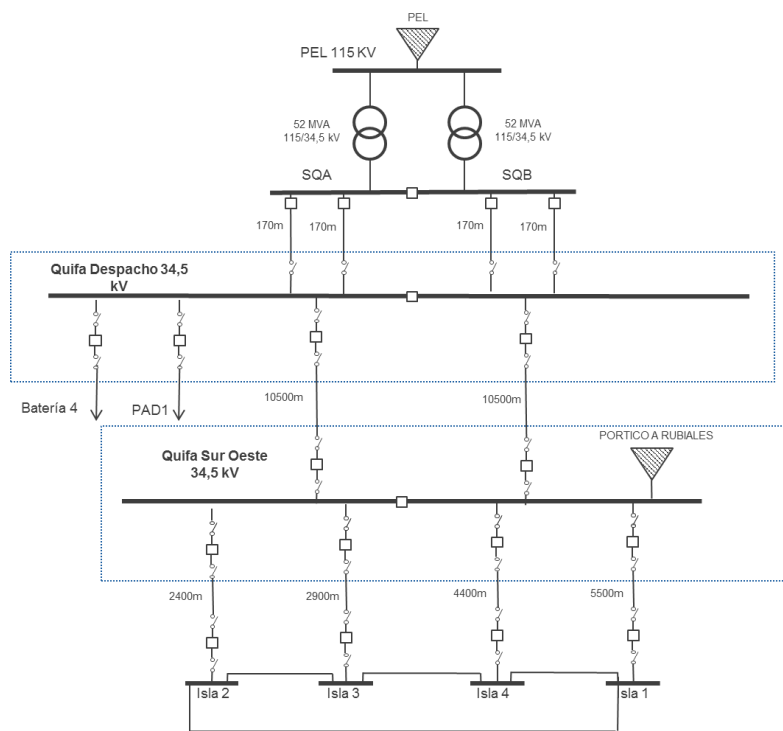
### 3. PRESENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CAMPO QUIFA

El sistema eléctrico de Campo Quifa demanda 40 MW (carga Pico) los cuales actualmente son ofrecidos por la planta térmica Termopetroleo (18 MW) y Generadores de combustión Interna (22MW) (Pacific Rubiales Energy, 2014). Para el mes de marzo está proyectada la entrada en operación de nuevas locaciones de extracción (Clústers) e inyección (PAD 1) que recibirán energía través del SIN a través de la PetroEléctrica de los Llanos (PEL) Ver Ilustración 2.



**Ilustración 2:** Demanda de Energía campo Quifa  
**Fuente:** Elaboración Propia

La carga que suple la red eléctrica de campo Quifa actualmente consta de 13 clúster y la batería 4. Para los meses de marzo, abril y mayo se contempla energizar a través de la Petroeléctrica de los Llanos 17 clústers adicionales, la Batería 4 y el PAD de Inyección de agua (PAD 1).



**Ilustración 3: Diagrama Unifilar Quifa**

En la Ilustración 3 se aprecia la topología del sistema eléctrico de campo Quifa. Está compuesto de un equivalente de red (Transformadores de 230/115 K, líneas Corocora y Jaguey, subestación Chivor, etc), un bus a 115 KV, dos transformadores de 52 MVA con una relación de transformación de 114/34.5 kV que llegan a dos buses SQA y SQB que se conectan a través de un interruptor de acople. Una vez en el pódico Quifa Despacho QFDP, se derivan dos líneas que conectan a la batería 4 y el PAD 1 y dos líneas que se derivan hacia el pódico Quifa sur oeste QFSW, el cual se conecta con cada una de las Islas de Distribución (1,2, 3 y 4) (Pacific Rubiales Energy, 2014).

Las líneas troncales del sistema son:

- **Línea QFDS-QFSW 1:**  
Línea entre los pódicos QFDS y QFSW con una longitud de aproximadamente 11 km
- **Línea QFDS-QFSW 2:**  
Línea entre los pódicos QFDS y QFSW con una longitud de aproximadamente 11 km
- **Línea QFDS-BAT4:**  
Línea entre el pódico QFDS y Batería 4 con una longitud de aproximadamente 11 km
- **Línea QFDS-PAD1:**

Línea entre el pósito QFDS y el PAD 1 de Quifa con una longitud de aproximadamente 18 km.

- **Línea QFSW-I1:**  
Línea entre el pósito QFSW y el pósito de Isla 1 con una longitud aproximada de 5 km
- **Línea QFSW-I2:** Línea entre el pósito QFSW y el pósito de Isla 2 con una longitud aproximada de 6,5 km
- **Línea QFSW-I3:**  
Línea entre el pósito QFSW y el pósito de Isla 3 con una longitud aproximada de 2,5 km.
- **Línea QFSW-I4:**  
Línea entre el pósito QFSW y el pósito de Isla 4 con una longitud aproximada de 3 km.
- **Línea I1-I2:**  
Línea entre el pósito de Isla 1 y el pósito de Isla 2 con una longitud aproximada de 3 km
- **Línea I2-I3:**  
Línea e entre el pósito de Isla 2 y el pósito de Isla 3 con una longitud aproximada de 5 km  
Línea I3-I4: Línea expresa entre el pósito de Isla 3 y el pósito de Isla 4 con una longitud aproximada de 5,5 km.
- **Línea I4-I1:**  
Línea entre el pósito de Isla 4 y el pósito de Isla 1 con una longitud aproximada de 5 km
- **Línea TP-QFSW:**  
Línea entre el Pósito A de Rubiales, alimentada por Termopetroleo, y el pósito de QFSW. Esta línea pertenece al Campo Quifa y tiene una longitud aproximada de 23 km
- **Línea TP-BAT4:**  
Línea entre el Pósito A de Rubiales, alimentada por Termopetroleo, y Batería 4. Esta línea pertenece al Campo Quifa y tiene una longitud aproximada de 11 km
- **Línea PAD5-PAD1:**  
Línea entre el PAD5 de Rubiales y el PAD1 de Quifa construida con el fin de alimentar el PAD1 de Quifa desde Termomorichal II. Esta línea tiene una longitud aproximada de 10 km.

Las subestaciones tipo pórtico (Sin transformación) son:

- **Pórtico Quifa despacho:**

Consta de 10 bahías aéreas con un nivel de tensión de 34,5 KV que se encargan de recibir la energía que proviene del SWG de PEL y transmitirla a través de líneas aéreas hacia la subestación pórtico Quifa Sur Oeste, PAD 1 y batería 4.

Cada bahía posee los siguientes elementos:

- Seccionador de llegada de cable XLPE
- Reconectado de salida a línea aérea con sus respectivos seccionadores
- Seccionador entre tramo de barra y tramo de barra vecina.



*Ilustración 4: Pórtico Quifa Despacho*

- **Pórtico Quifa Sur Oeste**

El pórtico Quifa sur Oeste es un pórtico que es alimentado a través de tres troncales desde Quifa Despacho (2 líneas) y desde el pórtico A del IPP (1 Línea) para distribuir energía hacia las Islas de distribución a través de las 4 troncales que surgen del pórtico. La subestación tiene capacidad para manejar 96 MW. Todas las bahías pueden ser independizadas por medio de los seccionadores de barra para fines de mantenimiento e independizar fuentes.



*Ilustración 5: Pórtico Quifa Sur Oeste*

- **Pórtico Isla i**

Las Islas de distribución cumplen la función de alinear circuitos y entregar la energía necesaria a los clústers para la extracción de crudo a partir de bombas electrosumergibles. (Isla 1, Isla 2, Isla 3 e Isla 4)



**Pórtico Isla 1**



**Pórtico Isla 3**

*Ilustración 6: Pórticos isla 1 e Isla 3*

- **Clusters**

Se le denomina clúster a la zona que alberga los pozos para la explotación de petróleo. El cual cuenta con un sistema de alimentación de energía que puede ser a través de la red eléctrica o generadores de combustión interna. En términos generales y dependiendo de su sistema de alimentación de energía, un Clúster se encuentra abastecidos por los siguientes elementos:

- **Pórtico de llegada y Transformador reductor:**

Consiste en una estructura tipo pórtico de una bahía, la cual cuenta con elementos de apertura y cierre para permitir la energización de la acometida de alto voltaje del transformador reductor.

- Seccionador de Línea
- Seccionador de Barra
- Seccionador de Tierra
- Cortacircuitos
- Descargadores de sobretensión



*Ilustración 7: Estructura tipo Portico de llegada a Cluster*



El Transformador trifásico es un transformador en aceite que reduce el voltaje de entrada 34.5 kV a 480/277 V, con una capacidad que varía entre los 1000 y los 2500 KVA. Conexión Dyn5



**Ilustración 8:** Transformador Reductor 34,5 a 480/277 V. Dyn5

- Shelter de sincronismo de generadores-Red (CCM)  
Consiste en un contenedor que alberga una barra al cual se conectan la entrada de la red eléctrica (Acometida de baja tensión del transformador), generadores de combustión interna y salida hacia variadores de velocidad.



**Ilustración 9:** Shelter de Sincronismo de Red-Generadores

En la Ilustración 10 se muestra el CCM Correspondiente, en él se encuentran instalados los medidores PM810, los cuales permiten visualizar en tiempo real las principales variables eléctricas como Voltaje de fase y de línea, Potencias, Corrientes de línea y de fase, THDv y THDi, etc.

Posteriormente, se encuentra el relé GENCON, el cual cumple la función de realizar el sincronismo de los generadores de combustión interna y la energía proveniente de la red eléctrica. Los parámetros a tener en cuenta para este

sincronismo son la magnitud del voltaje y la frecuencia eléctrica.



*Ilustración 10: Barra de acople Generadores y Red Eléctrica*

- Carga (Bombas electro sumergibles)  
Finalmente, la energía demanda por el sistema se utiliza para alimenta a bombas electro sumergibles, las cuales cumplen la función de extraer y bombear crudo para su posterior transporte por oleoducto hasta la locación de tratamiento del mismo llamado Batería 4.



*Ilustración 11: Pozo de Crudo. Instrumentación Bombas electro sumergibles*

- **Batería 4:**  
En Batería 4 se concentran todos los sistemas de tratamiento de crudo, entre ellos se distinguen las siguientes etapas:

- Separación de Crudo
- Tratamiento de Agua
- Almacenamiento de Agua

En cuanto a la instalación eléctrica de Batería 4, esta cuenta con un doble anillo que permite alimentar los CCM desde el pórtico A o la subestación Quifa despacho. Se encuentran cinco CCM: A, B, C, D y E. Cada uno cuenta con generación localizada con el fin de tener respaldo en caso de contingencias en la red eléctrica.

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1 Calidad de Potencia:

Con el fin de realizar un diagnóstico de calidad de potencia en Batería 4. Se realizó el levantamiento de información de las principales variables eléctricas de los CCM's. Estas variables se midieron en el lado de baja de cada uno de los transformadores a través de los módulos PM810 instalado en cada una de las barras principales de los Centros de Control de Motores. Se identifica que según las normas internacionales IEC 61000, IEC 61000-4 27 y ANSI C84, los valores de %THDi y THDv en algunos puntos son violados además de que el factor de potencia se encuentra por debajo de 0.9 (Ver Tabla 2).

UBICACIÓN	EQUIPO	V [v]	I [A]	Cos(φ)	P [Kw]	Q [KVAR]	S [KVA]	E [Gwh]	THDv%			THDi%		
									L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1	L2	L3
CCM A.	TR1	455	2237	<b>0,831</b>	1460	978	1757,29	7,7384	5,2	5,1	4,9	3,7	4	3,8
	TR2	466	1123	<b>0,917</b>	825	360	900,12	5,3213	6,9	6,9	6,9	11,8	12,8	12,2
CCM B.	TR1	455	2677	<b>0,892</b>	1881	955	2109,55	11,303	5,8	5,7	5,6	1,4	1,5	1,5
	TR3	456	2135	<b>0,908</b>	1937	896	2134,19	12,192	6,9	6	5,9	1,8	6,3	3,5
CCM C.	TR1	468	426	<b>0,871</b>	301	170	345,69	1,7436	5,1	5,1	4,9	4,3	4,5	4,3
	TR2	467	867	<b>0,871</b>	611	344	701,18	2,3946	5	5	4,9	4,5	4,5	4,3
CCM D.	TR1	469	1393	<b>0,879</b>	995	539	1131,61	2,9374	5,2	5,1	4,9	3,6	3,8	3,8
	TR2	486	488	<b>0,8864</b>	358	187	403,90	5,1218	5,5	5,4	5,4	9,1	8,9	8,8
CCM E.	TR1	465	408	<b>0,891</b>	265	135	297,41	807,75	6,4	6,3	6,1	13,4	13	13,5

Rojo: Incumplimiento de Norma

Verde: Cumplimiento de Norma

**Tabla 2:** Variables Eléctricas

**Fuente:** Elaboración Propia

La principal causa de encontrar este tipo de anomalías en la instalación, se debe a la naturaleza de la carga, la cual constituye elementos de electrónica de potencia como variadores de velocidad de 16 pulsos y arrancadores suaves que si bien cumplen una función esencial deterioran el factor de potencia de la instalación y además inyectan corrientes armónicas aguas arriba de la carga que contribuyen a la pérdida de eficiencia de la instalación eléctrica.

#### 4.1.1 Corrección de factor de Potencia:

Una vez identificado el valor de factor de potencia al cual se desea realizar la compensación, se realiza el cálculo de la energía reactiva necesaria y el banco de condensadores pertinentes para alcanzar el valor esperado. Por tanto:

$$\cos \theta_2 = 0.9$$

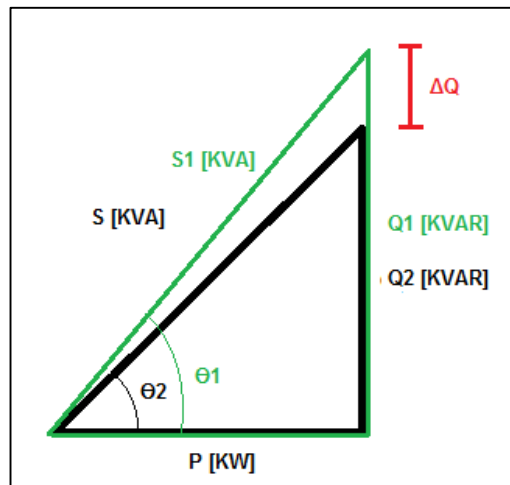
$$Q_1 = P \times \tan \theta_1$$

$$Q_2 = P \times \tan \theta_2$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2$$

$$\Delta Q = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$C = \frac{\Delta Q}{V^2 \times \omega}$$



*Ilustración 12: Compensación de reactivos*

En la Tabla 3, se aprecian los valores calculados de diferencia de potencia reactiva  $\Delta Q$ , Potencia reactiva nueva Q y Potencia Aparente nueva S necesaria para llevar el factor de potencia a 0,9.

UBICACIÓN	EQUIPO	V[v]	I[A]	VALORES Reales				VALORES CALCULADOS					
				Cos(θ1)	θ1		S	θ2			S[KVA]		

					P [Kw]	Q [KVAR]	[KVA]		Cos(θ) <sup>1</sup>		P [Kw]	ΔQ [KVAR]	Qnueva [KVAR]	
CCM A.	TR1	455	2237	0,83	33,817	1460	978	1757,29	0,98	11,48	1460	681,5	1659,5	2210,4
	TR2	466	1123	0,92	23,575	825	360	900,12	0,98	11,48	825	192,5	552,5	992,9
CCM B.	TR1	455	2677	0,89	26,917	1881	955	2109,55	0,98	11,48	1881	573,0	1528,0	2423,4
	TR3	456	2135	0,91	24,824	1937	896	2134,19	0,98	11,48	1937	502,7	1398,7	2389,2
CCM C.	TR1	468	426	0,87	29,457	301	170	345,69	0,98	11,48	301	108,9	278,9	410,3
	TR2	467	867	0,87	29,380	611	344	701,18	0,98	11,48	611	219,9	563,9	831,5
	TR1	469	1393	0,88	28,445	995	539	1131,61	0,98	11,48	995	337,0	876,0	1325,6
CCM D.	TR2	486	488	0,89	27,580	358	187	403,90	0,98	11,48	358	114,3	301,3	467,9
CCM E.	TR1	465	408	0,89	26,996	265	135	297,41	0,98	11,48	265	81,2	216,2	342,0

**Tabla 3: Cálculo de Energía reactiva**  
Fuente: Elaboración Propia

UBICACIÓN	EQUIPO	Banco 3φ [uF]
CCM A.	TR1	8,732661973
	TR2	-
CCM B.	TR1	7,342583291
	TR3	-
CCM C.	TR1	1,318668026
	TR2	2,675067163
	TR1	4,063591226
CCM D.	TR2	1,28373203
CCM E.	TR1	0,996036859

**Tabla 4: Cálculo Condensador**  
Fuente: Elaboración Propia

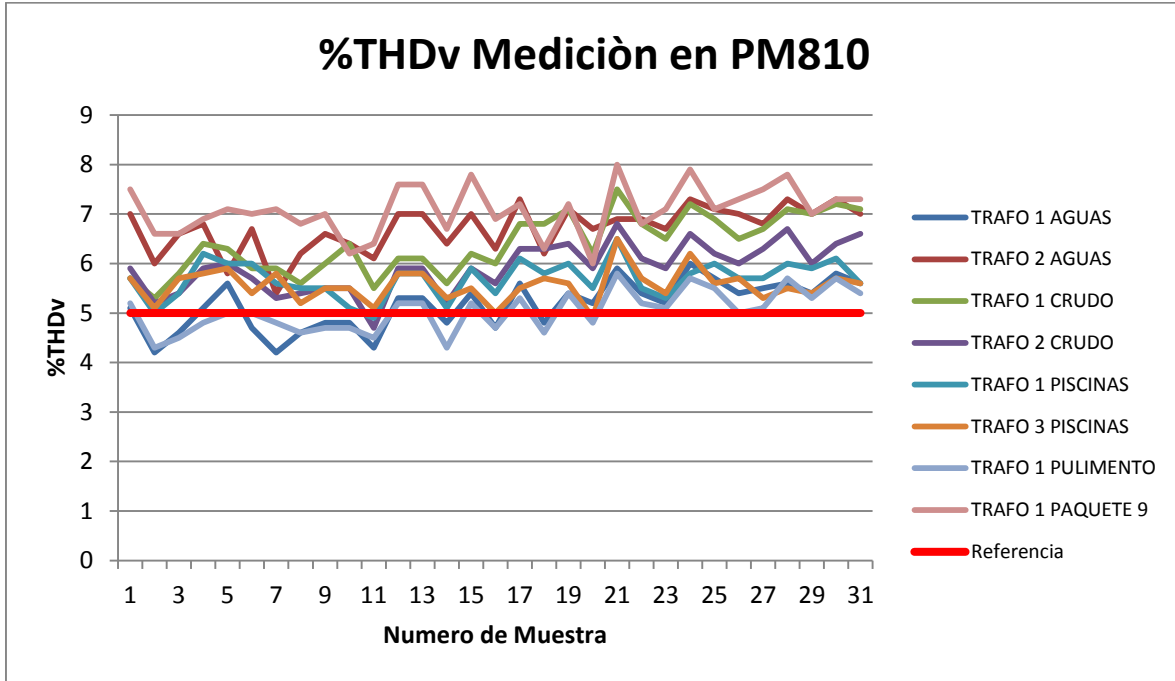
Teniendo en cuenta los valores obtenidos, se aprecia que todos los puntos aguas abajo de los transformadores de batería 4 se requiere una inyección de reactivos, con la excepción del transformador No 2 y 3 de los CCM A. y B. respectivamente. Este inconveniente genera ese bajo valor de factor de potencia que constituye un problema para la instalación, en el sentido en que se aumentan las pérdidas por efecto Joule manifestándose en calentamiento de conductores y embobinados de motores y transformadores por elevadas corrientes, disparos sin causa aparente de dispositivos de protección, sobrecarga de generadores, transformadores y líneas de distribución, aumento de la caída de tensión e incremento en la facturación eléctrica del Campo.

#### 4.1.2 Cuantificación de armónicos:

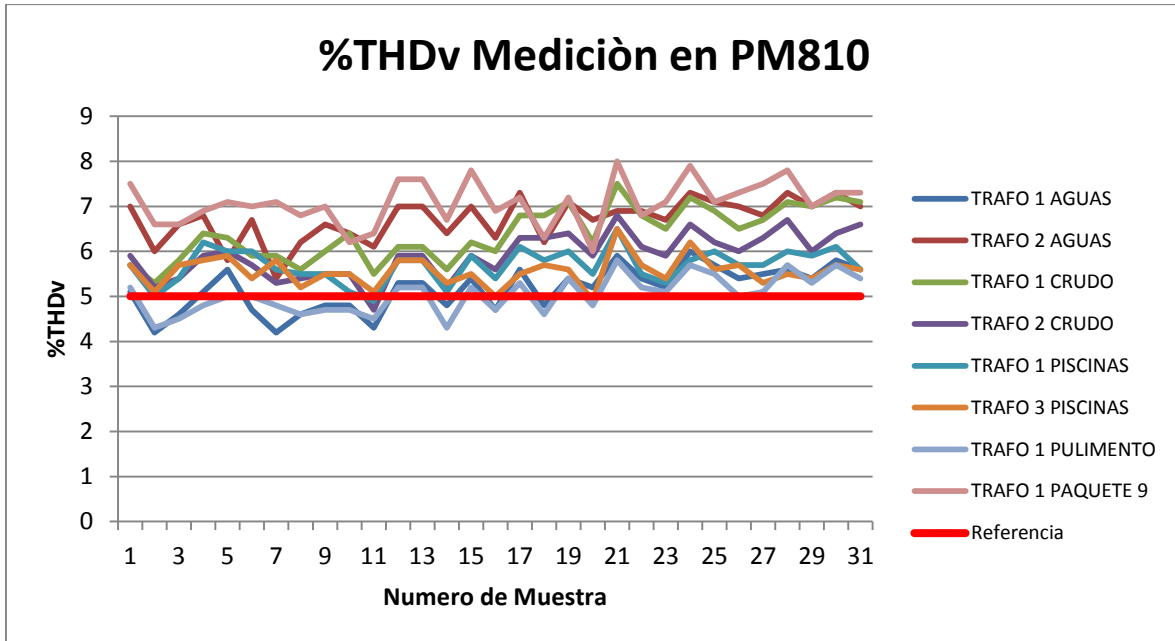
Con el fin de realizar un primer acercamiento a la cuantificación de armónicos en los CCM's

<sup>1</sup> Factor de potencia esperado al implementar filtros AccuSine - Filtro activo de armónicos de BT. Schneider Electric (Ver Anexo)

de Batería 4, se realizó el levantamiento de información relacionada con los porcentajes de distorsión armónica en corriente y voltaje. Teniendo en cuenta lo anterior se muestra en la Ilustración 13 y la Ilustración 14.



*Ilustración 13: Muestreo de % de THDv (nivel de voltaje 480 kV)*



*Ilustración 14: Muestreo de % de THDi (nivel de voltaje 480 kV)*

Si bien es cierto que la normatividad existente contempla la conexión de un analizador energía durante un tiempo determinado y que además se exige una muestra determinada

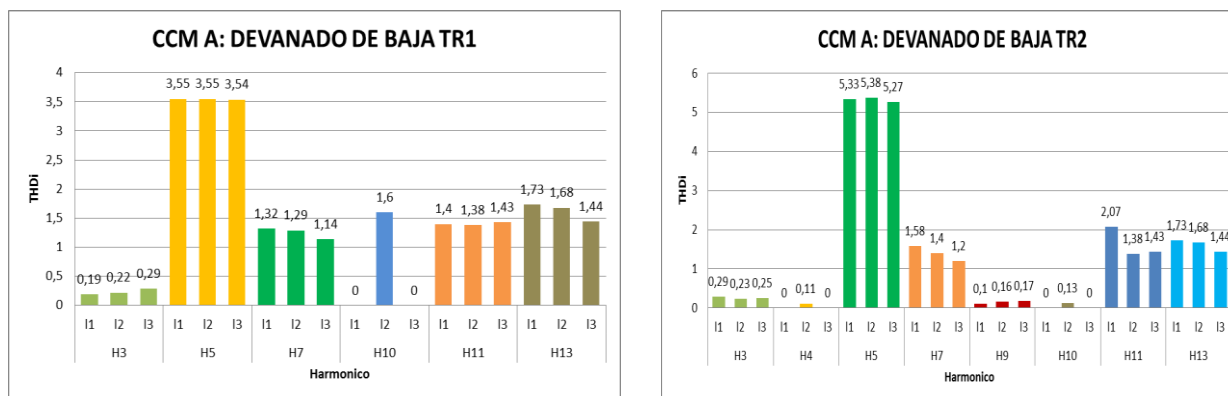
para guardar datos, lo anterior también permite realizar un acercamiento a la realidad de la instalación. En ambos casos se deslumbra que existe un incumplimiento con los valores establecidos por la norma.

El módulo PM810, permite también la medida de los indicadores de armónicos como el porcentaje de distorsión individual por fase y total de armónicos en corriente y en tensión. De esta manera en la Tabla 5 se muestran los valores obtenidos a partir de una medición realizada los tres principales CCM's.

	CCM A.						CCM B.						CCM D.		
	TR1			TR2			TR1			TR3			TR2		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
H1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
H2	0	0	0	0	0	0	0,21	0,18	0,23	0,31	0,16	0,23	0,58	0,67	0,8
H3	0,19	0,22	0,29	0,29	0,23	0,25	0	0	0,1	0,47	5,03	2,26	0,93	1,19	2,33
H4	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0,17	0,12	0	0,5	0,44	0,29
H5	3,55	3,55	3,54	5,33	5,38	5,27	0,8	0,43	0,67	1,07	0,45	0,54	7,57	6,94	7,26
H6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0
H7	1,32	1,29	1,14	1,58	1,4	1,2	0,67	0,81	0,83	0,63	1,28	1,02	4,27	4,08	4,29
H8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,27	0,26
H9	0	0	0	0,1	0,16	0,17	0	0	0	0,1	0,11	0	0,25	0,27	0,26
H10	0	1,6	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21
H11	1,4	1,38	1,43	2,07	1,38	1,43	0,7	0,68	0,67	0,76	0,6	0,71	1,49	1,88	1,57
H12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H13	1,73	1,68	1,44	1,73	1,68	1,44	0,49	0,49	0,52	0,54	0,49	0,54	0,85	0,52	0,53
THDi 1φ	3,7	4	3,8	11,8	12,8	12,2	1,4	1,5	1,5	1,8	6,3	3,5	9,1	8,9	8,8
THDi 3φ	3,83			12,27			1,47			3,87			8,93		

**Tabla 5: %ID Armónicos**  
Fuente: Elaboración Propia

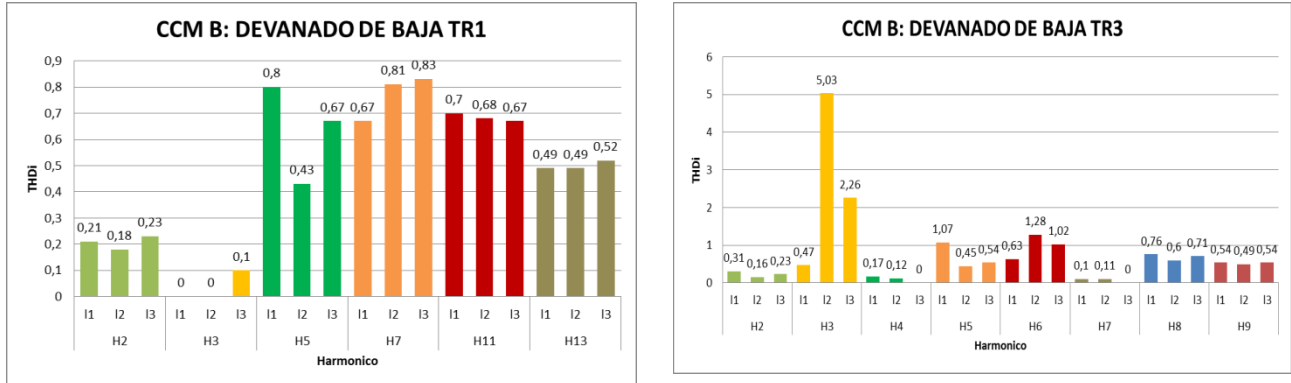
Realizando una representación gráfica de los datos de la Tabla 5, se muestra a continuación en la Ilustración 15, Ilustración 16 e Ilustración 17 el espectro de corrientes armónicas inyectadas al sistema aguas arriba de la carga que alimenta cada uno de los CCM's principales (A, B y D).



**Ilustración 15: Espectro de corrientes armónicas CCM A.**  
Fuente: Elaboración Propia

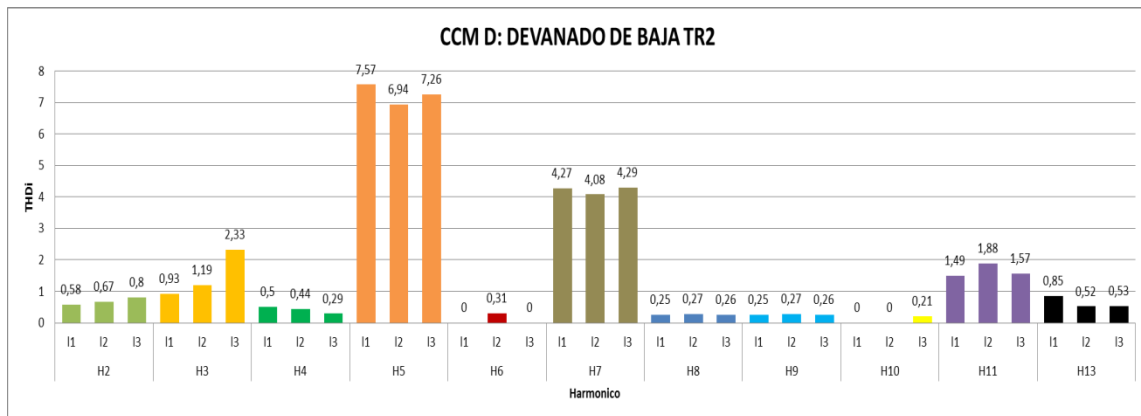
En el CCM A. se evidencia la marcada presencia del armónico 5<sup>o</sup> en ambos transformadores que alimentan a la barra 1 y barra 2 que posee el CCM de Aguas, con

valores de ID% de 3.55% y 5.35% respectivamente. La carga asociada a esta locación consta de aproximadamente 75 bombas, motores y transformadores de servicios auxiliares, que en total demandan una potencia total de 2,657 MVA.<sup>2</sup>



**Ilustración 16:** Espectro de corrientes armónicas CCM B.  
Fuente: Elaboración Propia

En el CCM B. se evidencia el aporte del armónico 3<sup>o</sup> en una de las fases (5.03%) de la barra correspondiente a el transformador TR3. La carga asociada a esta locación consta de aproximadamente 75 bombas, motores y servicios auxiliares, que en total demandan una potencia total de 4.24374 MVA<sup>3</sup>



**Ilustración 17:** Espectro de corrientes armónicas CCM D.  
Fuente: Elaboración Propia

<sup>2</sup> Levantamiento de Información realizado en 2013. Lectura de variables eléctricas instantáneas realizadas el 18/02/2015

<sup>3</sup> Levantamiento de Información realizado en 2013. Lectura de variables eléctricas instantáneas realizadas el 18/02/2015



En el CCM D. se evidencia la marcada presencia del armónico 5<sup>o</sup> y 7<sup>o</sup> en el transformador que alimenta la barra 2 del CCM. La carga asociada a esta locación corresponde a 70 Bombas, motores, calderas y servicios auxiliares que en total demandan una potencia total de 403,90 KVA<sup>4</sup>.

#### 4.1.2.1 Cálculo de parámetros de filtro:

Teniendo en cuenta la marcada presencia de los armónicos identificados en el capítulo anterior, se realiza el cálculo de los parámetros de filtros pasivos que representen una baja impedancia para el sistema y cumplan la función de no permitir que las corrientes armónicas circulen aguas arriba del sistema de distribución. En la Tabla 6 se evidencian los resultados obtenidos.

UBICACIÓN		THDi%	h	Q filtro <sup>5</sup> [KVAR]	Potencia por rama [KVAR]	h adecuado	Xf	Xcap	Q C/fase (kVAr)	C(uF)	XI	L(mH)	R[mΩ]
CCM A	TR1	3,8	5	875	291,7	4,85	0,710	0,7394	280,0	1,63	0,031	0,083	2,10
	TR2	12,3	5	875	291,7	4,85	0,745	0,7756	280,0	1,59	0,033	0,087	2,20
CCM B.	TR1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TR3	3,9	3	875	291,7	2,91	0,713	0,8020	259,3	1,51	0,095	0,251	6,31
CCM C.	TR1	4,4	3	640	213,3	2,91	1,027	1,1550	189,6	1,07	0,136	0,362	9,09
	TR2	4,4	3	640	213,3	2,91	1,022	1,1501	189,6	1,08	0,136	0,360	9,05
	TR1	3,7	3	640	213,3	2,91	1,031	1,1600	189,6	1,07	0,137	0,363	9,13
CCM D.	TR2	8,9	5	875	291,7	4,85	0,810	0,8436	280,0	1,53	0,036	0,095	2,39
			7	875	291,7	6,79	0,810	0,8267	280,0	1,53	0,018	0,048	1,20
CCM E.	TR1	13,3	5	875	291,7	4,85	0,741	0,7722	261,6	1,49	0,033	0,087	2,19
			7	875	291,7	6,79	0,741	0,7568	261,6	1,49	0,016	0,044	1,09

**Tabla 6:** Cálculo de parámetros de Condensador

Fuente: Elaboración Propia

Con el Diagnóstico realizado, se identificó la necesidad que solicitar un servicio de calidad de potencia, que tenga como fin la realización de un estudio detallado de calidad de potencia en donde se incluya las posibles opciones de mejora (Bancos de condensadores, Filtros activos, etc. En la Ilustración 18 se muestra los términos de referencia para licitación cerrada, en ella se identifica el objeto, justificación, descripción y alcance del servicio requerido.

<sup>4</sup> Levantamiento de Información realizado en 2013. Lectura de variables eléctricas instantáneas realizadas el 18/02/2015

<sup>5</sup> **Potencia reactiva del filtro:** Calculada como el 35% (Ingeniería) del transformador correspondiente

Descripción de la Actividad					
Tipo Requerimiento	Servicios	Tipo Imputación		Prioridad	B - Urgencia (37 Días)
Objeto	ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA Y EN BATERÍA 4			Presupuesto Estimado (Sin IVA)	\$ 35.000.000
Justificación	Debido al registro de altos indicadores de armónicos como porcentaje de distorsión total en corriente y voltaje (%THDi y %THDv) y porcentajes de distorsión Individual (ID) leídos en los módulos PM810, se requiere cuantificar y proponer alternativas de solución para mitigar la presencia de armónicos. Con la entrada en servicio de la fuente PEL y a su vez la interconexión del las redes de Campo Quifa con el Sistema Interconectado Nacional es imprescindible cumplir con los valores limites que en la normatividad vigente se plantea.				
Descripción Alcance	<p>Ante la energización de las redes de Campo Quifa a través de la subestación Quifa Despacho, se requiere realizar el estudio de Calidad de Potencia en la locación denominada Batería 4, lugar en donde se realiza el proceso de separación, filtración y otras actividades para el tratado del crudo. Para llevar a cabo lo anterior es necesario utilizar en su gran mayoría cargas no lineales (Electrónica de potencia) las cuales son responsables de la inyección de perturbaciones de este tipo a la red.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar estudio de calidad de energía, analizar la información y preparar informes para las instalaciones eléctricas correspondientes al sistema eléctrico 34,5/0,48 kV de Batería 4/campo Quifa (Barras 34,5 kV de los CCM's de batería 4).</li> <li>- Si al momento del monitoreo se encuentra un equipo e instalación eléctrica en estado crítico, éste deberá reportarse el mismo día del monitoreo a manera de reporte preliminar.</li> <li>- Análisis de resultados y emisión de recomendaciones concretas, indicando las acciones a realizar para la prevención, corrección o mitigación del modo de falla detectado.</li> <li>- Los informes se deben presentar por equipo o instalación eléctrica así no se detecte ninguna deficiencia; se debe generar el informe para efectos de hacer seguimiento a su contexto operacional.</li> <li>- Presentar informes técnicos que faciliten la trazabilidad de los resultados, con parámetros de control alineados con estándares reconocidos o las mejores practicas de mantenimiento, donde se incluyan indicadores de condición global de los equipos monitoreados.</li> <li>- Al finalizar el levantamiento de información se debe generar un informe gerencial consolidando todos los informes de los equipos e instalaciones eléctricas monitoreados. Se debe entregar una copia del informe final en medio físico (condición peligrosa) y una en medio magnético (todos los monitoreo). 10 días máximo.</li> <li>- Presentar informes diarios de avance del servicio.</li> <li>- Los informes deberán contener como mínimo la siguiente información: Firma de la empresa que realiza el diagnóstico, fecha, identificación del equipo y sus puntos de medición (fotografía), evidencia de los síntomas, indicadores de armónicos, espectro de armónicos individuales, nivel de confianza del diagnóstico, acción correctiva propuesta concreta, acciones para mitigar la presencia de estas perturbaciones, norma técnica con la cual se referencia el informe.</li> <li>- La cuadrilla de monitoreo con su vehículo recorrerá la batería 4 con acompañamiento de personal PRE; cumpliendo con el programa de seguridad vial y HSE establecido por la compañía.</li> </ul>				

**Ilustración 18:** Términos de referencia para estudio de Calidad de Potencia

## 4.2 Mantenimiento Predictivo:

En el año 2014 se llevaron a cabo dos tipos de técnicas predictivas en el sistema eléctrico de Quifa, esto con el fin de identificar posibles puntos de mejora para prevenir posibles fallas en la red de distribución a 34,5 kV o los Centros de Control de Motores. Las técnicas predictivas que se implementaron en la red de distribución a 34,5 KV fueron el estudio de termografía y es estudio de ultrasonido. En los capítulos 4.2.1. Y 4.2.3 se definirá brevemente cada una de las técnicas mencionadas y se mostrarán a manera de graficas tipo pastel los principales resultados obtenidos.

### 4.2.1 Termografía:

El uso de la termografía para la detección de fallas en elementos eléctricos por elevación de temperatura es habitual, efectuada desde tierra. Cuando se deben controlar grandes distancias en líneas de transmisión o plantas de distribución muy alejadas entre sí, el uso de termografía aérea puede ser muy conveniente porque permite realizar las verificaciones en tiempos breves. Sin embargo, la termografía aérea presenta el problema de que el fondo puede confundirse con el elemento que se controla, mientras que en las imágenes térmicas tomadas desde tierra el fondo es normalmente el cielo, el cual está a baja temperatura, por lo que se obtiene un buen contraste.

**De acuerdo con los criterios definidos en la norma NETA, se encuentra en la O/A: Over Ambient:**  
(Sobre T ambiente)

O/S: Over Similar: (Sobre T de un cuerpo similar en condición normal)

Tabla 7 los criterios establecidos de acuerdo con los deltas de temperatura identificados:

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE FALLAS ELÉCTRICAS SEGÚN NETA Y REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE		
Diferencial de Temperatura	Clasificación	Severidad
1°C - 10°C O/A ó <3°C O/S	En buen estado	Bueno
11°C-20°C O/A y 3°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Aceptable
21°C-40°C O/A y >15°C O/S	Deficiencia	Permisible
>40°C O/A y >15°C O/S	Deficiencia mayor	Criterio

O/A: Over Ambient: (Sobre T ambiente)

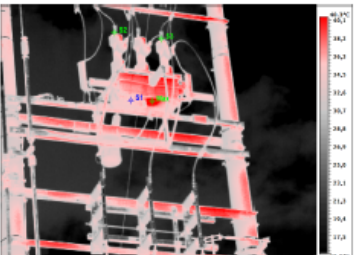

O/S: Over Similar: (Sobre T de un cuerpo similar en condición normal)

**Tabla 7:** Criterios según deltas de temperatura

#### 4.2.2 Termografía en red de media tensión:

Una vez ejecutada la técnica predictiva en la red de 34,5 KV, se realizó la consolidación a manera de cuadro de las principales variables entre las que se encuentra las temperatura entre puntos homólogos y los deltas que se generan entre ellos, la condición asignada de acuerdo a la norma NETA, el diagnóstico realizado y las recomendaciones que el especialista realiza. En Campo Quifa, actualmente se ha realizado una inspección de termografía debido a la edad infantil que tiene la red de distribución en 34,5 KV.

El especialista en termografía consolida los resultados obtenidos a través de los protocolos como el que se muestra en Ilustración 19, en donde se identifican los ítems inherentes al estudio termográfica del equipo analizado.

PROTOCOLO No. 86																																
EMPRESA	PACIFIC RUBIALES ENERGY - CAMPO QUIFA	TC-TG-2014-002																														
CIRCUITO - ESTRUCTURA	BATERIA 4 - CIRCUITO 18 – PÓRTICO SPPTA-91	IR002359																														
ELEMENTO - FASE	RECONECTADOR ABB – CONEXIONES EN BUEN ESTADO	26/05/2014																														
DIAGNOSTICO	FALLA INTERNA PARTE INFERIOR DEL EQUIPO	09:50:47 a.m.																														
<b>IMAGEN TÉRMICA</b>		<b>IMAGEN VISUAL</b>																														
																																
<b>ANÁLISIS TÉRMICO</b>																																
<table border="1"> <tr> <td>DELTA T°C O/S:</td> <td>23,3</td> </tr> <tr> <td>CLASIFICACION DE FALLA</td> <td style="background-color: yellow;">PERMISIBLE</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td>65%</td> </tr> <tr> <td>Emisividad</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>Temp. ambiente</td> <td>40,5°C</td> </tr> <tr> <td>Distancia al objeto</td> <td>20 mts</td> </tr> </table>		DELTA T°C O/S:	23,3	CLASIFICACION DE FALLA	PERMISIBLE	Humedad	65%	Emisividad	0,93	Temp. ambiente	40,5°C	Distancia al objeto	20 mts	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametro del Objeto</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Max</td> <td>58,8°C</td> </tr> <tr> <td>Max: Emisividad</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>S1</td> <td>35,5°C</td> </tr> <tr> <td>S1:Emisividad</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>33,9°C</td> </tr> <tr> <td>S2:Emisividad</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>33,5°C</td> </tr> <tr> <td>S3:Emisividad</td> <td>0,93</td> </tr> </tbody> </table>	Parametro del Objeto	Valores	Max	58,8°C	Max: Emisividad	0,93	S1	35,5°C	S1:Emisividad	0,93	S2	33,9°C	S2:Emisividad	0,93	S3	33,5°C	S3:Emisividad	0,93
DELTA T°C O/S:	23,3																															
CLASIFICACION DE FALLA	PERMISIBLE																															
Humedad	65%																															
Emisividad	0,93																															
Temp. ambiente	40,5°C																															
Distancia al objeto	20 mts																															
Parametro del Objeto	Valores																															
Max	58,8°C																															
Max: Emisividad	0,93																															
S1	35,5°C																															
S1:Emisividad	0,93																															
S2	33,9°C																															
S2:Emisividad	0,93																															
S3	33,5°C																															
S3:Emisividad	0,93																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Para clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, teniendo en cuenta las normas NETA y los requerimientos del cliente. * O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient</th> </tr> <tr> <th>DIFERENCIAL DE TEMPERATURA</th> <th>CLASIFICACION</th> <th>SEVERIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1°C - 10°C O/A o - 3°C O/S</td> <td>En buen estado</td> <td style="background-color: green;">BUENO</td> </tr> <tr> <td>11°C–20°C O/A y 3°C a 15°C O/S</td> <td>Probable deficiencia</td> <td style="background-color: yellow;">ACEPTABLE</td> </tr> <tr> <td>21°C–40°C O/A y &gt; 15°C O/S</td> <td>Deficiencia</td> <td style="background-color: orange;">PERMISIBLE</td> </tr> <tr> <td>&gt;40°C O/A y &gt; 15°C O/S</td> <td>Deficiencia mayor</td> <td style="background-color: red;">CRITICO</td> </tr> </tbody> </table>			Para clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, teniendo en cuenta las normas NETA y los requerimientos del cliente. * O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient			DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	CLASIFICACION	SEVERIDAD	1°C - 10°C O/A o - 3°C O/S	En buen estado	BUENO	11°C–20°C O/A y 3°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE	21°C–40°C O/A y > 15°C O/S	Deficiencia	PERMISIBLE	>40°C O/A y > 15°C O/S	Deficiencia mayor	CRITICO												
Para clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, teniendo en cuenta las normas NETA y los requerimientos del cliente. * O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient																																
DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	CLASIFICACION	SEVERIDAD																														
1°C - 10°C O/A o - 3°C O/S	En buen estado	BUENO																														
11°C–20°C O/A y 3°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE																														
21°C–40°C O/A y > 15°C O/S	Deficiencia	PERMISIBLE																														
>40°C O/A y > 15°C O/S	Deficiencia mayor	CRITICO																														
<b>RECOMENDACIONES</b>																																
<p>Investigar con el proveedor o fabricante especificaciones técnicas y posible falla de diseño – SE DEBE TENER EN CUENTA QUE ESTA ES UNA MEDICION INDIRECTA Y QUE LA TEMPERATURA REAL DE LA FALLA AL INTERIOR DEL EQUIPO PUEDE ESTAR ALREDEDOR DE 10°C POR ENCIMA DE LA REPORTADA (DEPENDIENDO DE LA DISTANCIA DEL PUNTO DE FALLA A LA SUPERFICIE MEDIDA).</p>																																

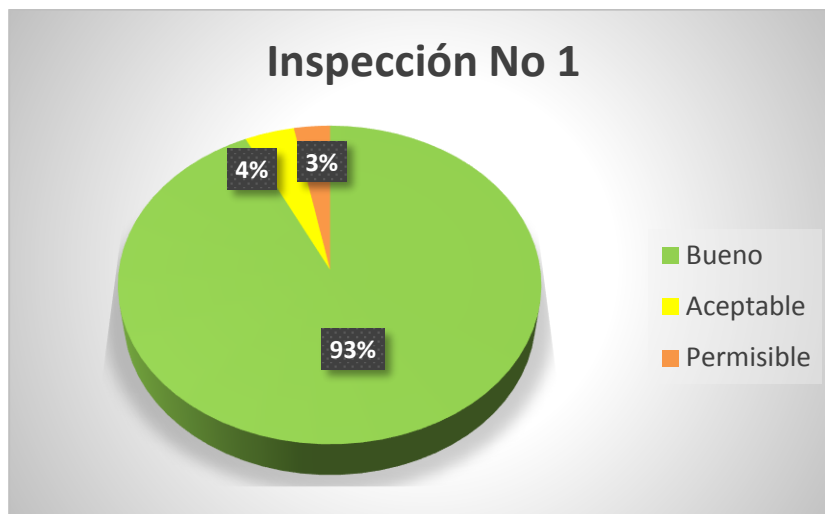
**Ilustración 19: Protocolo de termografía en reconectador (Pacific Rubiales Energy, 2012)**

En la Tabla 8 se aprecia una sección del cuadro consolidado de los resultados de cada uno de los protocolos realizados por el experto, en él se condensan ítems como ubicación, circuito-Estructura, No de protocolo, fecha, condición, diagnóstico, emisividad, temperaturas y deltas de temperaturas, observaciones y orden de trabajo asignada. A partir del cuadro consolidado es posible realizar un mejor seguimiento a los equipos que presentan puntos calientes y requieran una atención diferente a la de otros equipos.

Datos Generales			Inspección No 1													
			No Protocolo	Fecha	Condición	Diagnostico	Emsividad	Ambiente (°C)	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Observaciones	OT
Ubicación	Circuito-Estructura	Elemento-Fase							Tmax (°C)	ΔT (°C)	Tmax (°C)	ΔT (°C)	Tmax (°C)	ΔT (°C)		
Periferias	CIRCUITO 18 – ESTRUCTURA C18 / PÓRTICO DE SALIDA IPP	TABLERO DE CONTROL DEL RECONECTADOR RQ-18	IR002254	02/10/2014	Bueno	IMAGEN DE CONTROL	0,93	29,3	55,9	1,8	54,1	REF		La temperatura entre elementos del equipo inspeccionado es normal y no requiere la ejecución de ningún correctivo.		
Periferias	CIRCUITO 18 – ESTRUCTURA C18 / PÓRTICO DE SALIDA IPP	SECCIONADOR DE SALIDA DEL RQ 18	IR002258	02/10/2014	Permisible	FALLA EN CONEXIÓN DE LLEGADA A LA FASE B	0,93	35,3	55,9	17,6	38,3	REF		Realizar reajuste de conexiones previa limpieza de las áreas en contacto. Cambiar tornillería y demás elementos que se encuentren defectuosos	<b>AVISO:</b> 3000001607	
Periferias	CIRCUITO 19 – ESTRUCTURA C19 / PÓRTICO DE SALIDA IPP	SECCIONADOR DE SALIDA DEL RQ 19	IR002266	02/10/2014	Aceptable	CONEXIÓN ENTRE BARRAJE LADO INFERIOR FASE C	0,93	38,7	37,3	9,8	28,3	-	27,5	REF	Realizar reajuste de conexiones previa limpieza de las áreas en contacto. Cambiar tornillería y demás elementos que se encuentren defectuosos.	

**Tabla 8:** Tabla ejemplo Termografía en redes

En la Ilustración 20 se muestran los resultados del estudio, en donde se identifica que el 93% equivalente a 246 equipos de los elementos monitoreados no presentan deltas de temperaturas superiores a los 10°C, mientras que tan solo el 3% de los equipos equivalente a 8 equipos son catalogados como permisibles por presentan deltas de temperatura entre 21°C y 40°C.



*Ilustración 20: Resultados Inspección Termográfica No 1*

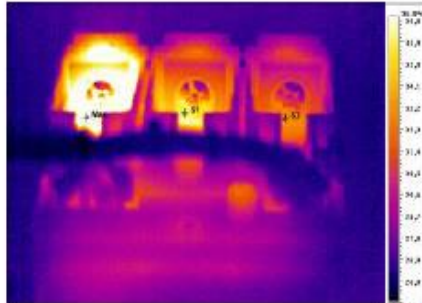
#### **4.2.3 Centro de control de motores (CCM):**

Con la aplicación de la técnica predictiva en los 5 CCM's de Batería 4, al igual que en la red de distribución a 34,5 KV, se realizó la consolidación a manera de cuadro (Ver Tabla 9) de las principales variables entre las que se encuentra las temperatura entre puntos homólogos y los deltas que se generan entre ellos, la condición asignada de acuerdo a la norma NETA, el diagnóstico realizado y las recomendaciones que el especialista realiza. En Campo Quifa, actualmente se ha realizado tres inspecciones de termografía debido la importancia que tiene las cargas que son alimentadas en esta locación.

El especialista en termografía consolida los resultados obtenidos a través de los protocolos como el que se muestra en la Ilustración 21, en donde se identifican los ítems inherentes al estudio termográfica del equipo analizado

EMPRESA	PACIFIC RUBIALES ENERGY - CAMPO QUIFA	TERM 030-14
AREA	PAQUETES DE AGUAS - SHELTER TREN 9	IR000043
EQUIPO	CELDA +N2 – VARIADOR DE VELOCIDAD 100 HP - TOTALIZADOR	13/09/2014
DIAGNOSTICO	FALLA EN CONEXIÓN FASE L1 ENTRADA	Ejecuto: Faber Gamboa

**IMAGEN TÉRMICA**



**IMAGEN VISUAL**



**ANÁLISIS TÉRMICO**

Humedad	65%
Emisividad	0,93
Tem. ambiente	32,0°C

Parametro del Objeto	Valores
Max	44,8°C
S1	36,2°C
S2	33,0°C

Nivel	Delta de Temperatura O/S	Clasificación de Falla
2	11,8°C	ACEPTABLE

Crterios de evaluación de fallas eléctricas con base en la tabla 100.18 de la NETA (International Electric Testing Association) - ° O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient

Nivel	Delta de Temperatura	Clasificación de Falla	Acción
1	1°C a 3°C O/S	BUENO	Efectuar termografía en seis (6) meses
2	4°C a 15°C O/S	ACEPTABLE	Reparar en la próxima parada disponible
3	21°C–40°C O/A y > 15°C O/S	PERMISIBLE	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A y >15°C O/S	CRITICO	REPARAR INMEDIATAMENTE

**RECOMENDACIONES**

Realizar ajuste de conexiones con el torque adecuado, previo lijado y limpieza de las areas en contacto con limpiador dieléctrico.  
Efectuar nueva inspección termográfica máximo en seis (6) meses.

CORRECTIVOS REALIZADOS	FECHA

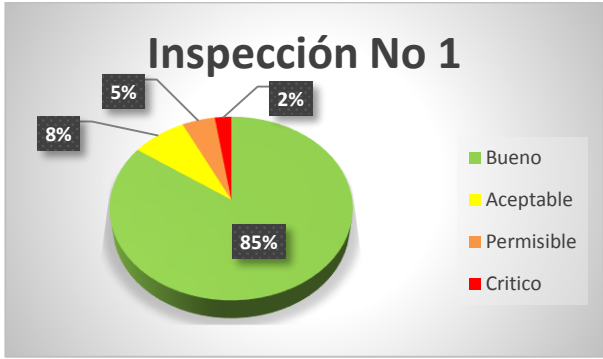
Ilustración 21: Protocolo de termografía en equipo de protección (Pacific Rubiales Energy, 2014)

Datos Generales			Inspección No 1										Observaciones
			Condición	Diagnostico	Emsividad	Ambiente (°C)	Punto 1		Punto 2		Punto 3		
Ubicación	Equipo	Componente					Tmax (°C)	ΔT (°C)	Tmax (°C)	ΔT (°C)	Tmax (°C)	ΔT (°C)	
CCM Tratamiento Aguas	Celda +N01	QT1 Salida CCM Barra No 4	Bueno	No se evidencia ningún calentamiento sobre los diferentes equipos instalados en el tablero. La condición térmica de todos los equipos y conexiones es buena.	0,85	23,4	35,6	0,3	35,3	REF	35,4	0,1	1. No se requiere emprender ninguna acción preventiva. 2. Continuar con las inspecciones predictivas programadas.
CCM PISCINAS	CELDA +N15	Q16 BOMBAS TRANSFERENCIA AGUA A CPF1 410-P-070 400 HP	Aceptable	CONEXION FASE L2 ENTRADA	0,93	33,3	57,9	7,6	50,3	REF	54,4		1. Reajustar conexiones con el torque adecuado, previo lijado y limpieza de las áreas en contacto con limpiador dieléctrico. 2. Efectuar nueva inspección termográfica máximo en seis (6) meses.
CASETA VARIADORES PAQUETE DE AGUA 1 Y 2	CELDA +N05 TABLERO VARIADOR 410-P-120	CONTACTOR	Critico	CONEXIONES FASES L2 Y L3 ENTRADA	0,93	32,4	85,4	21,9	65	-	63,5	REF	Posiblemente el barraje de alimentación de la fase ejerza tensión mecánica hacia afuera, haciendo que tienda a separarse del borne del interruptor generando el sobrecalentamiento, por lo que se requeriría efectuar torsión a la barra para lograr contacto en todos los puntos de las áreas de conexión. Orden de Trabajo: 3000002428 Estado: Ejecutada y Cerrada

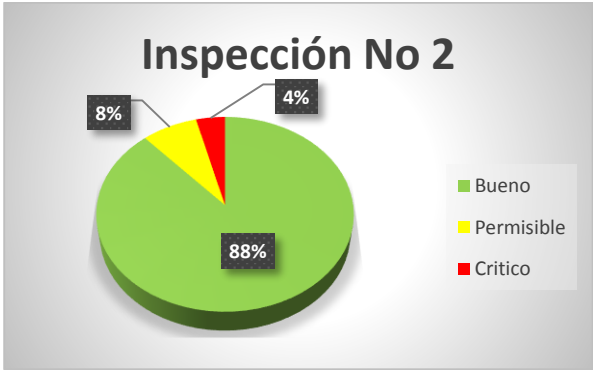
**Tabla 9:** Tabla ejemplo Termografía en CCM's



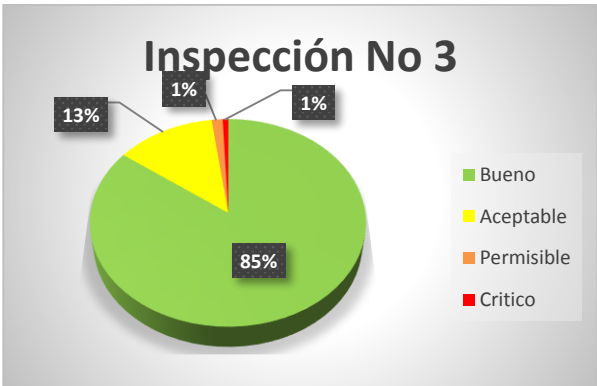
En la Ilustración 22, Ilustración 23 e Ilustración 24, se muestran los resultados de los 3 servicios de termografía realizados en los CCM's de Batería 4, en donde se identifican los porcentajes de los equipos catalogados según los deltas presentados como buenos, aceptables, permisibles y críticos. Es importante resaltar que la cantidad de equipos inspeccionados no fue la misma en los tres servicios. En la inspección se inspeccionaron 125 Elementos, de los cuales 85% presentaron deltas no que no superaron 10°C y tan solo el 2% fue categorizado como equipos críticos ya que presentaron deltas de temperatura mayores a los 40°C. En la segunda inspección se monitorearon 377 equipos de los cuales el 88% no presentaron deltas de temperatura mayores a 10°C y 2l 4% presentaron deltas de temperatura mayores a 40°C. En la última inspección se tomaron imágenes termográfica de 428 equipos, de los cuales tan solo el 1% equivalente a 5 equipos presentaron deltas de temperatura cercanos a los 40°C.



**Ilustración 22:** Resultados Inspecciones de termografía 1



**Ilustración 23:** Resultados Inspecciones de termografía 2



### **4.3 Ultrasonido:**

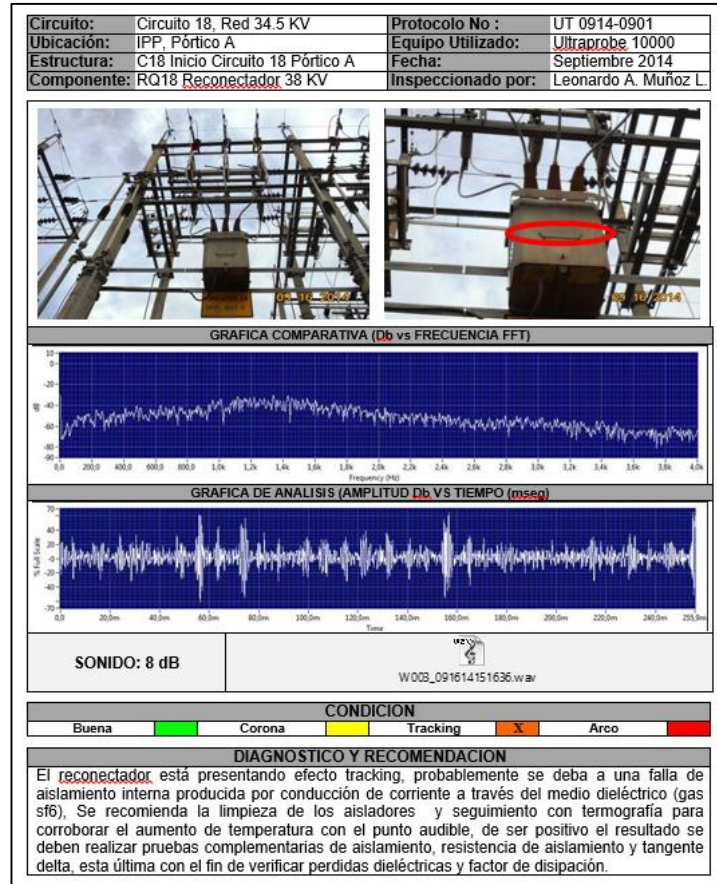
En las redes eléctricas aéreas de media tensión se presentan fenómenos eléctricos y electromecánicos, que bajo las habituales inspecciones visuales, llevadas a cabo por personal altamente calificado en el mantenimiento, no son perceptibles a los sentidos del ser humano. Dichas fallas no son localizadas, quedando latentes, haciendo necesaria la utilización de tecnologías, técnicas y herramientas que de distinta forma nos ayuden a localizar, prevenir y corregir fallas escondidas en el sistema eléctrico. El Ultrasonido propagado en aire y estructuras, es una de ellas, pudiendo localizar los siguientes fenómenos eléctricos (Speaks., 2010):

- **Tracking:** Cuando el material ha sido deteriorado por el efecto Corona se da un fenómeno conocido como Tracking, que es el camino eléctrico superficial por donde aparecen arborescencias eléctricas bidimensionales, cuando la superficie de aislantes está sometida a un gran estrés eléctrico, o contaminación por polvo, sales minerales o humedad.
- **Corona:** Es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta y media tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor. El efecto corona es causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a la colisión de electrones libres que se escapan del sistema, o por adición de electrones al pasar por una órbita de algún átomo capaz de contener esa energía. En el momento que las moléculas de aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire; tal circulación producirá un aro de un color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos.
- **Arco eléctrico:** Se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre, forma entre ellos una descarga luminosa similar a una llama. Durante el tiempo de la descarga se produce una luminosidad muy intensa y un gran desprendimiento de calor. Ambos fenómenos, en caso de ser accidentales, pueden ser sumamente destructivos, como ocurre con la perforación de aisladores o de los aislantes de conductores y otros elementos eléctricos o electrónicos.

#### **4.3.1 Ultrasonido en red de media tensión:**

La técnica predictiva fue aplicada a la red de 34,5 KV. En total se monitorearon 171 estructura del circuito 18 y 19, entre las cuales existían estructuras de maniobra, de paso y de retención. Los resultados se consolidaron a manera de cuadro en donde se condensan las variables inherentes al estudio. En Campo Quifa, actualmente se ha realizado una inspección de ultrasonido debido a la edad infantil que tiene la red de distribución en 34,5 KV.

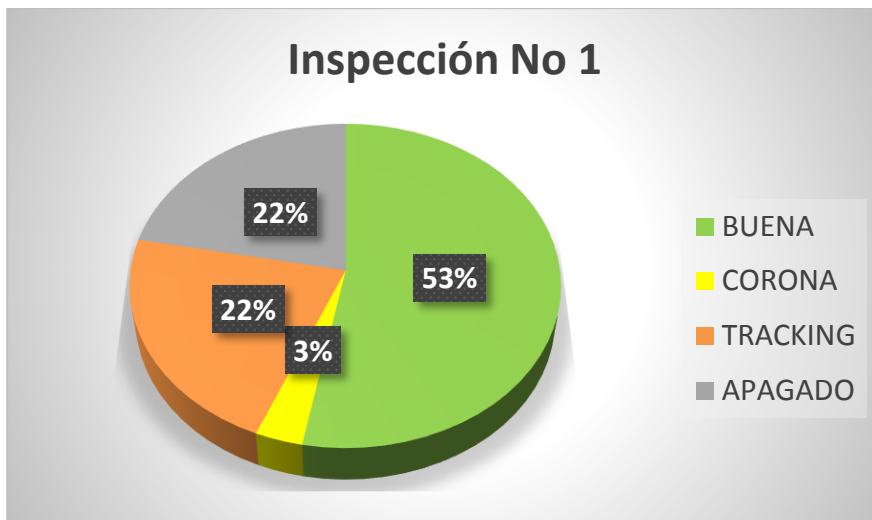
El especialista en la técnica predictiva consolida los resultados obtenidos a través de los protocolos como el que se muestra en la Ilustración 25, en donde se identifica la ubicación, el componente, el espectro, la condición asignada y las recomendaciones planteadas.



**Ilustración 25:** Protocolo de Ultrasonido en Reconectador (*Pacific Rubiales Energy , 2014*)

Datos Generales			Fecha de Inspección	Modo de Falla	Diagnostico	Riesgo potencial de falla	Acciones a tomar	OT
Circuito	Estructura	Equipo						
CIRCUITIO 18	C18 Inicio Cto 18 p <sup>o</sup> rtico A-BAT 04	RQ18 Reconnectador SCHNEIDER 38 KV	SEPTIEMBRE 16 2014	TRACKING	Internamente el reconectador está presentando efecto TRACKING, probablemente se deba al inicio de una falla de aislamiento interna producida por conducción de corriente a través del medio dieléctrico (SF6).	MEDIO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Se recomienda la limpieza de los aisladores (acumulación de suciedad, humedad y polvo) y realizar una inspección visual de su estado.</li> <li>Verificar el ajuste en todos los puntos de conexión del reconectador.</li> <li>Se recomienda en lo posible realizar pruebas complementarias de aislamiento (resistencia de aislamiento y tangente delta), esto con el fin de verificar pérdidas dieléctricas y factor de disipación.</li> </ol>	3000002412
CIRCUITO QUIFA 5-QUIFA 53	I1-020 Tramo Quifa 5 - Quifa 53	Aislador Line Post Fase C, correspondiente a S3-I1-20 Seccionador Monopolar	SEPTIEMBRE 19 2014	CORONA	El aislador tipo line post correspondiente a la fase C está presentando efecto CORONA, este problema obedece al deterioro de la laca aislante por acumulación de suciedad, humedad y descargas atmosféricas.	BAJO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Se recomienda programar limpieza e inspección visual de su estado para determinar si es necesario su reemplazo.</li> <li>Realizar cambio del amarre e instalarlo correctamente para evitar efectos de radio interferencia los cuales me ocasionan daño en el aislador y rotura de los hilos del conductor.</li> </ol>	3000002426
CIRCUITO QUIFA 5-QUIFA 53	I1-021 Tramo Quifa 5 - Quifa 53 (Estructura llegada Quifa 5)	SF1-I1-21 Cortacircuito y pararrayos	SEPTIEMBRE 19 2014	BUENA	La condición es buena y no se requiere ninguna acción preventiva.		<ol style="list-style-type: none"> <li>Continuar con las inspecciones predictivas programadas.</li> </ol>	

En la Ilustración 26 se aprecia que el 53% de los equipos monitoreados fueron categorizados como equipos sin ninguna anomalía, mientras que al 22% se le encontró que presentaban tracking y tan solo el 3% con efecto corona.



*Ilustración 26: Inspección de Ultrasonido No 1*

#### 4.4 Fallas Eléctricas:

La consolidación de reportes de falla se realizó a través de un archivo de Excel (Pacific Rubiales Energy, 2012), en donde se registró la información relevante que permita crear una base de datos suficiente para el análisis de eventos sucedidos en el tiempo. De esta manera en la Ilustración 27 se muestra la pantalla principal de la base de datos, la cual cuenta con tres botones de acceso al consolidado de fallas, indicadores de confiabilidad y graficas resumen:



*Ilustración 27: Presentación base de datos Fallas*  
Fuente: Elaboración Propia

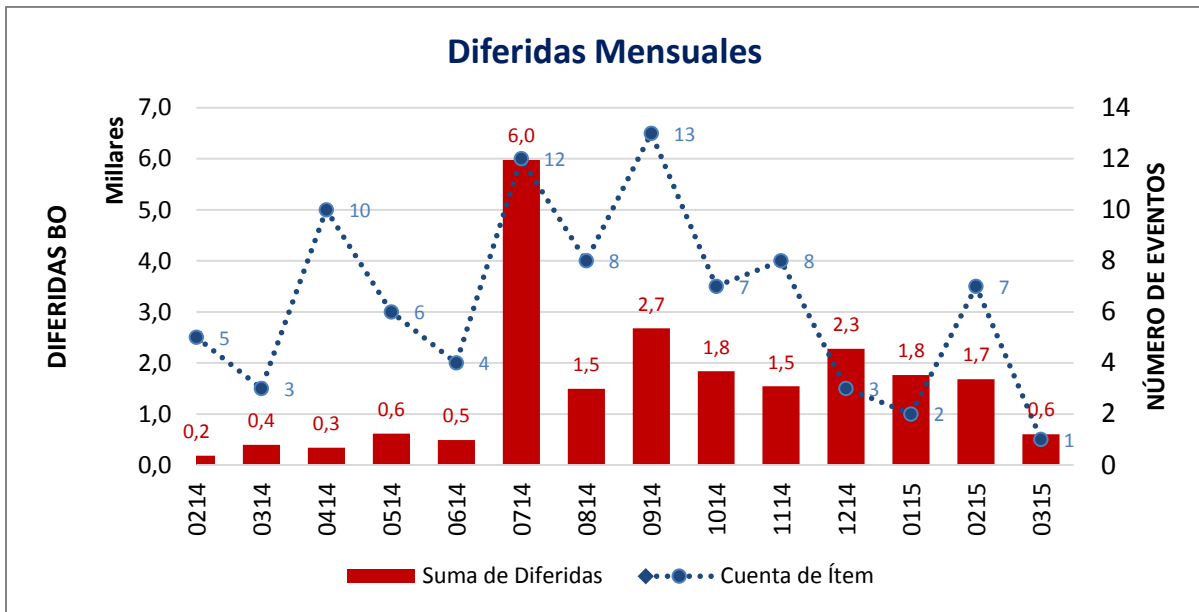
El cuadro consolidado de fallas contiene los componentes principales que se necesitan para realizar el análisis de datos correspondiente.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Ítem	Numero de Falla
Fecha del reporte	Día-Mes-Año de reporte de falla
Circuito	Circuito afectado
Equipo	Referencia de equipos afectados
Carga	Potencia en KVA perdida por evento
Fecha	Día-Mes-Año de falla
Diferidas	Barriles de petróleo BO dejados de producir por evento
Hora de Inicio	Hora de Inicio de falla
Hora de finalización	Hora de Finalización de falla
Tiempo de Falla	Diferencia entre hora de finalización y hora de inicio.
Tiempo acumulado de falla	Sumatoria acumulada de Tiempo de Falla
Descripción	Breve representación del evento
Clasificación	Modo de falla asociado
Causa	Motivo por el cual sucedió la falla

**Tabla 10:** Componentes de cuadro consolidado de falla

A continuación se muestran algunas graficas que muestran el comportamiento del sistema eléctrico de Campo Quifa, así como algunos indicadores de confiabilidad eléctrica. Con la finalidad de guardar la confidencialidad de la cifras en cuanto a las perdidas en la producción de crudo BO (Diferidas) la relación entre el número de fallas y la perdidas por este concepto se realizará sobre cifras hipotéticas:

**Cantidad de Eventos y Diferidas:**



**Ilustración 28:** Numero de Eventos y diferidas producidas

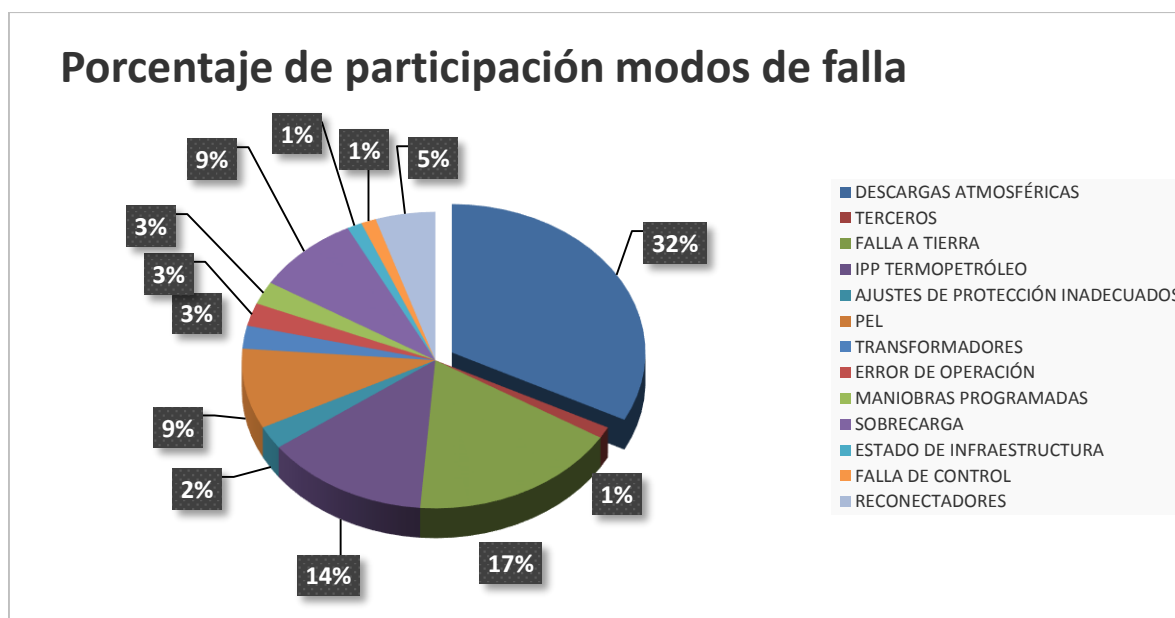
Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 28, se aprecia el comportamiento de los eventos en la red desde febrero del 2014 hasta enero del 2015. El mes de julio fue en donde se dejaron de producir aproximadamente 5320 BO lo cual corresponde al 0.34% de la producción total del campo para esa fecha. El día 30 de julio del 2014 ocurrió la voladura de una de las estructuras de

alta tensión 230 kV que hace parte de la línea Corocora, la cual llega a la subestación 230/34,5 KV en Campo Rubiales y distribuía energía hacia Campo Quifa. El evento tuvo una duración de 1:45 horas con una afectación de 5320 BO correspondiente al 89% de las diferidas del mes de julio en donde ocurrieron 12 eventos.

Con la entrada en operación de la red de media tensión de Campo Quifa se han identificado y clasificado modos de falla típicos en el sistema, de esta manera en la Ilustración 29 se muestra el porcentaje de participación de cada uno de los anteriormente mencionados.

**Modos de Falla:**

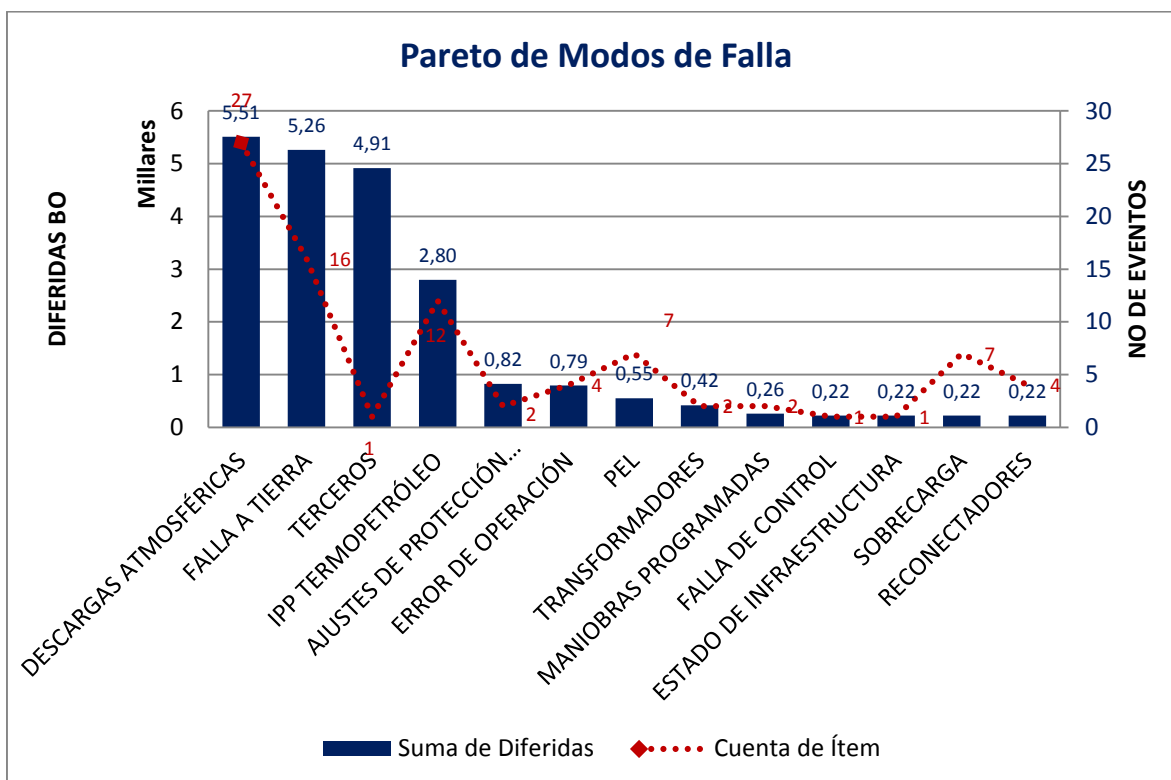


**Ilustración 29:** Porcentaje de participación de Modos de falla  
**Fuente:** Elaboración Propia

En la Ilustración 29 se aprecia que en la red de distribución eléctrica, los modos de falla que son más frecuentes son:

- Descargas atmosféricas: 32%
- Fallas a tierra 17%
- Sobrecarga de equipos 14%.

Ahora bien, en cuanto a las consecuencias generadas (Diferidas), la Ilustración 30 muestra el Diagrama de Pareto relacionado con la cantidad de barriles de petróleo dejados de producir por modo de falla:



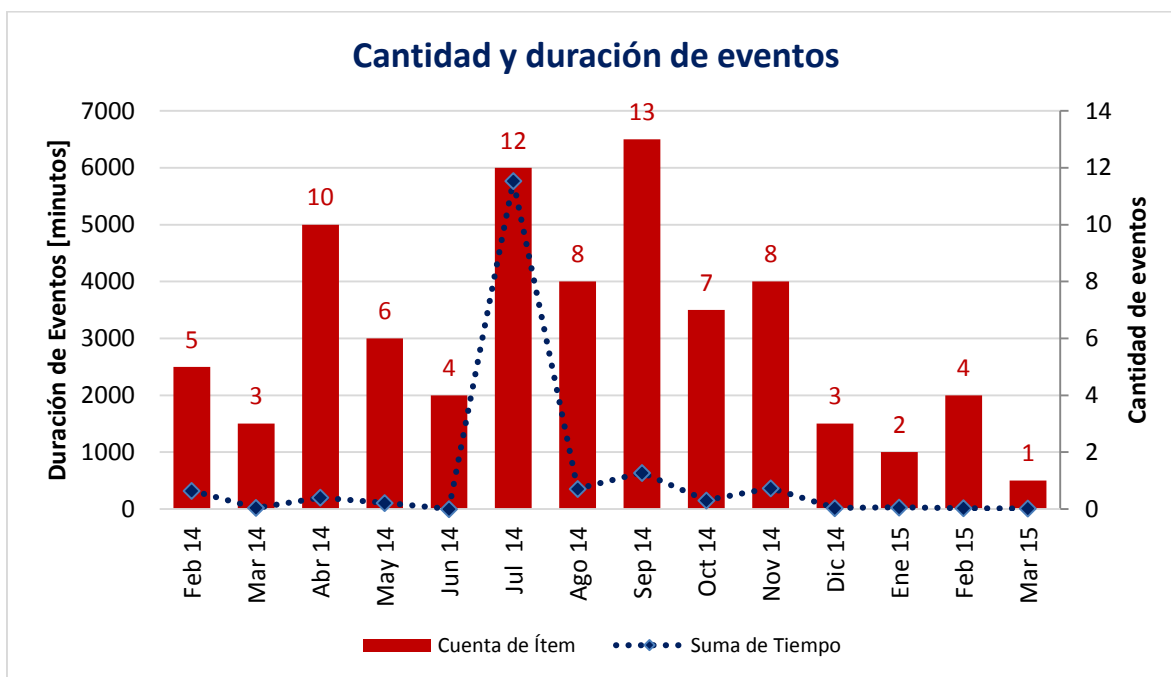
**Ilustración 30:** Modos de falla y diferidas generadas  
**Fuente:** Elaboración Propia

En la Ilustración 30 nuevamente se percibe que el modo de falla que se antepone al resto son las descargas atmosféricas con un porcentaje de participación del 34.5% al total de las diferidas generadas en el año 2014. En orden descendente los modos de falla que más impactaron la producción en el año después de las descargas atmosféricas fueron Terceros 28% (Voladura de Estructura), falla a tierra 20% y las falla en la fuente IPP Termopetróleo 13%.

Otra variable importante por analizar es la duración de cada evento, en la Ilustración 31 se muestra la duración total de los eventos sucedidos mes a mes en el año 2014.

**Duración de Eventos:**





**Ilustración 31:** Duración de eventos  
**Fuente:** Elaboración Propia

En cuanto a la duración de los eventos, se evidencia que en el mes de Julio se muestra un incremento considerable de la duración de los eventos, esto se debe a la voladura de la estructura lo cual impidió que la red estuviese disponible aproximadamente por 4 días.

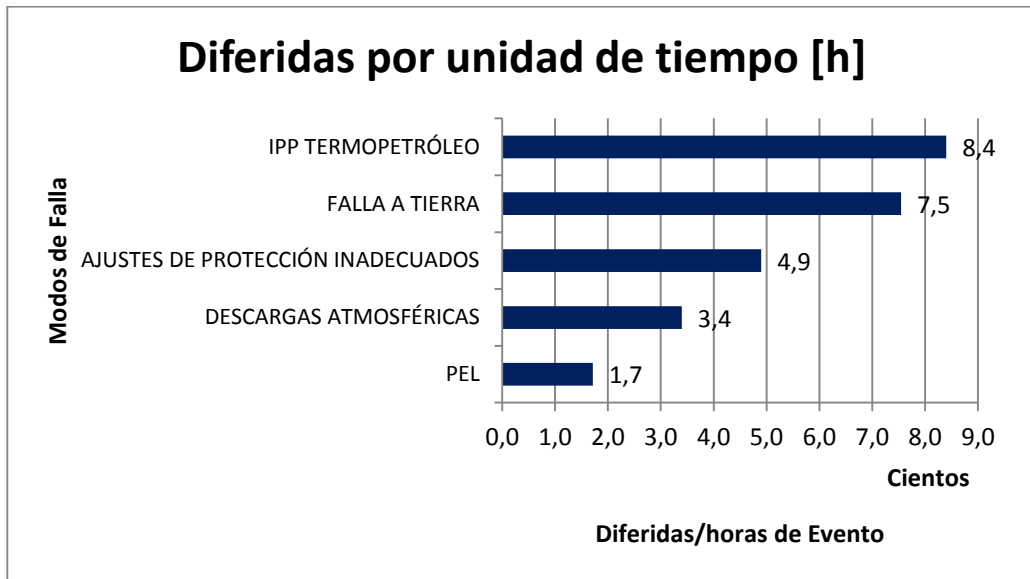
Teniendo en cuenta las tres principales variables analizadas:

- ✓ Numero de eventos
- ✓ Duración de eventos
- ✓ Diferidas Ocasionadas

Es posible establecer una relación entre el tiempo de falla por evento y las diferidas ocasionadas, de esta manera en la Tabla 11 se muestra los resultados de las variables anteriormente mencionadas para los modos de falla que más impactan al sistema eléctrico de Campo Quifa.

Modos de falla	No Eventos	Suma de Diferidas	Suma de Tiempo		Diferida/hora
			Min	h	
PEL	7	550	192,37	3,21	<b>171,5</b>
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	27	5510	973,31	16,22	<b>339,7</b>
AJUSTES DE PROTECCIÓN INADECUADOS	2	800	97,93	1,63	<b>490,1</b>
FALLA A TIERRA	16	5260	418,38	6,97	<b>754,3</b>
IPP TERMOPETRÓLEO	12	2800	200,00	3,33	<b>840,0</b>
PEL	7	550	192,37	3,21	<b>171,5</b>

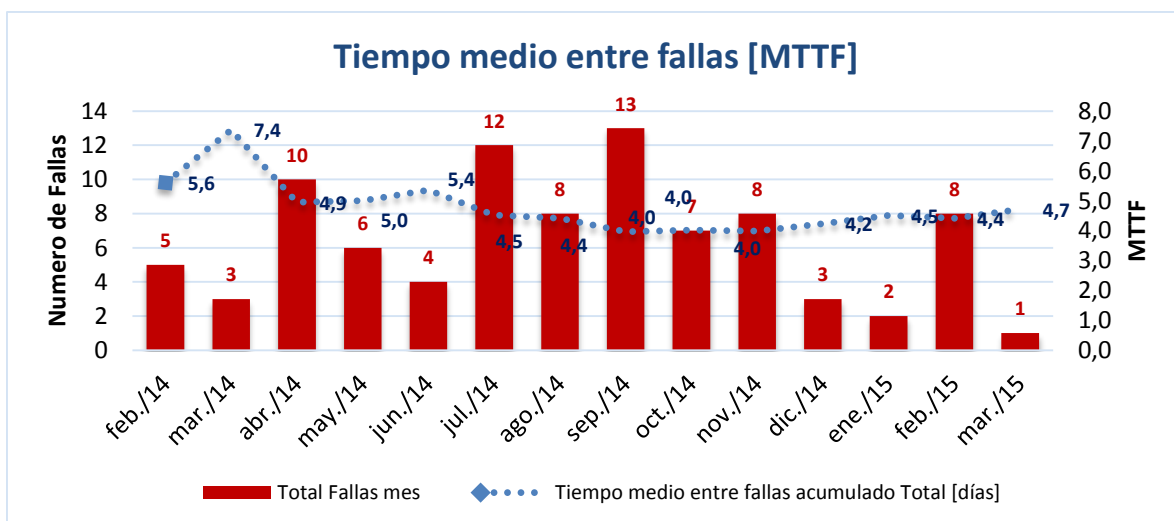
**Tabla 11:** Número de eventos, Duración acumulada y Diferidas por Modo de Falla. Año 2014  
**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 32:** Diferidas por unidad de tiempo  
Fuente: Elaboración Propia

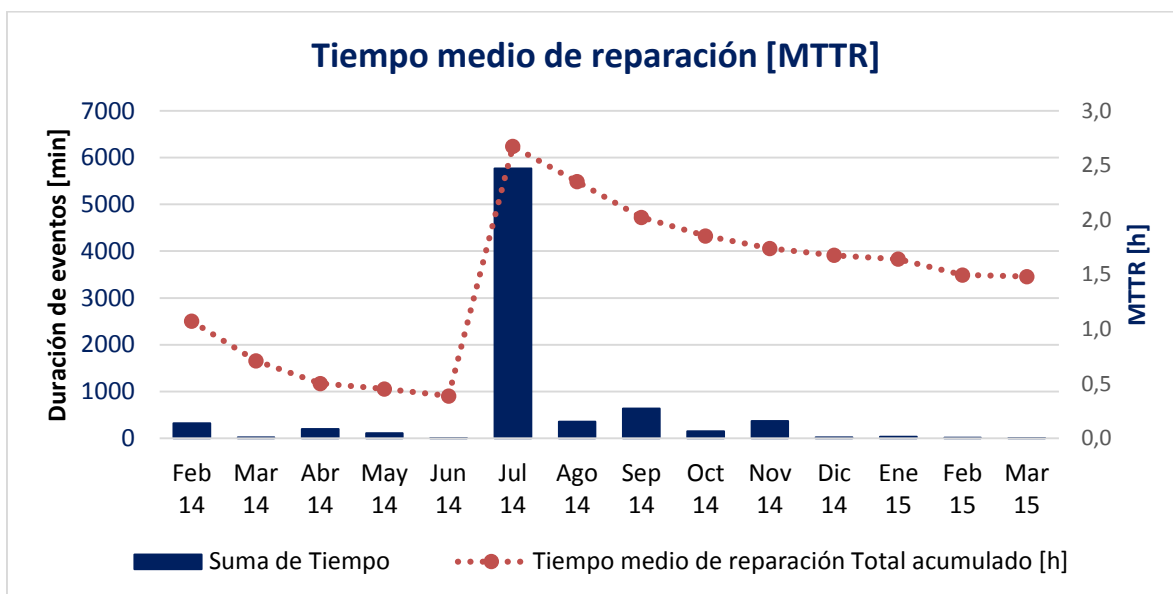
Teniendo en cuenta la base de datos consolidada en el año 2014 y relacionando las variables tiempo y diferida ocasionada es posible establecer el ranking de los modos de falla que generan mayor impacto en la red eléctrica calculadas por unidad de tiempo. (Ver Ilustración 32). De esta manera se obtiene que una de hora de falla por descarga atmosférica genera una diferida aproximadamente 339,7 BO, mientras que en el mismo periodo de tiempo una falla en la fuente IPP Termopetroleo genera una diferida de 840,0 BO, lo cual coincide con la lógica del sistema en el sentido en el que la salida de operación de la fuente de Energía de Campo Quifa repercute en la salida de la totalidad del Campo.

#### MTTF y MTTR:



**Ilustración 33:** Numero de fallas y Tiempo entre fallas  
**Fuente:** Elaboración Propia

En la Ilustración 33, se ilustra el comportamiento del tiempo de falla acumulado mes a mes en el año 2014. En síntesis en el año 2014 y hasta el mes de marzo del 2015 en promedio cada 4,7 días ocurría un evento en la red de distribución a 34,5 kV.

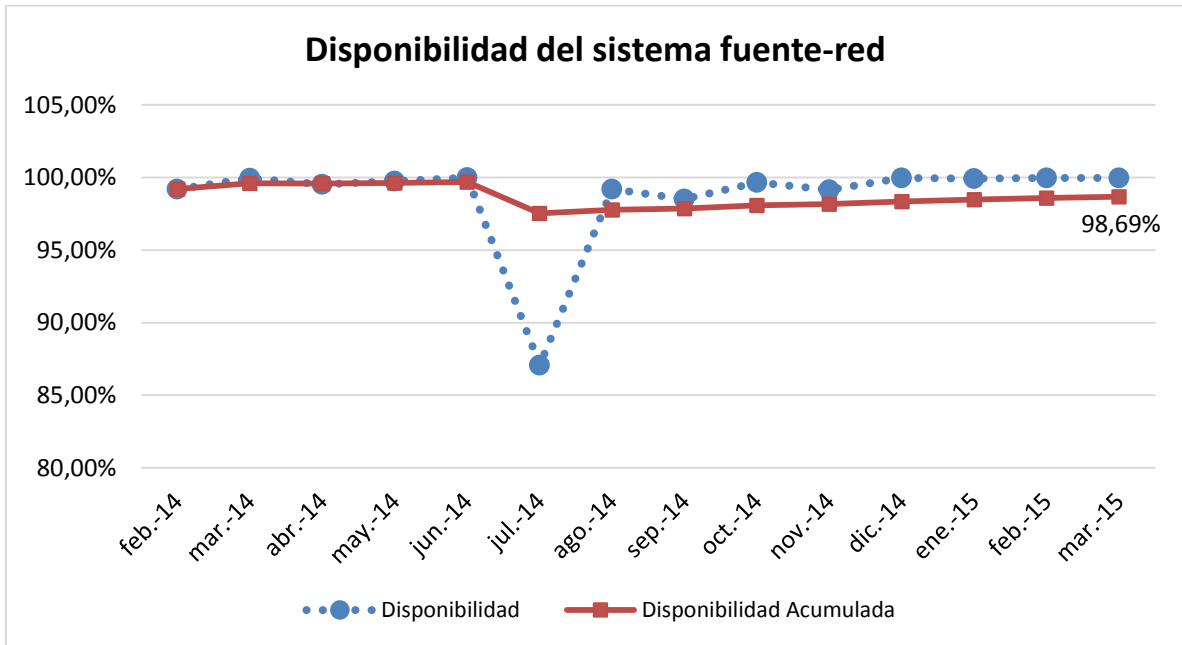


**Ilustración 34:** Tiempo medio de reparación MTTR [h]

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Ilustración 34 se evidencia el comportamiento del tiempo medio de reparación hasta Marzo del 2015. En síntesis cada vez que ocurre un evento en la red de distribución el tiempo que el área de mantenimiento tarda en restaurar el sistema es de 1,5 horas.

**Disponibilidad:**

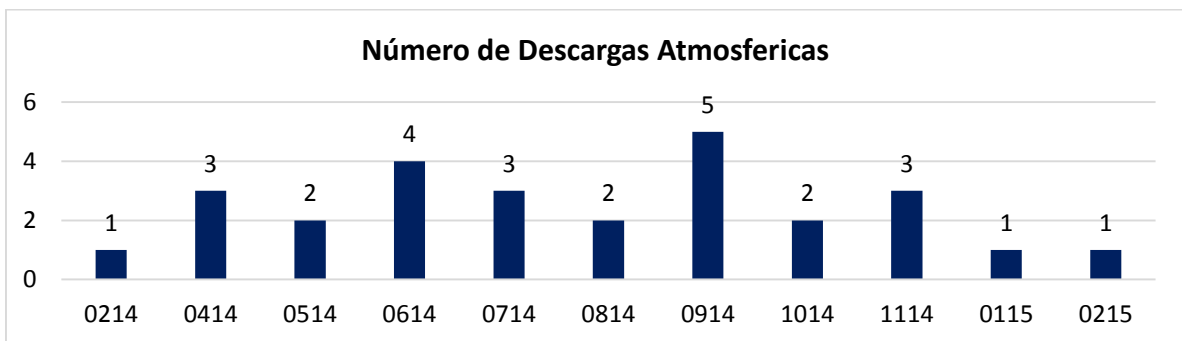


**Ilustración 35:** Disponibilidad Mensual y Acumulada

**Fuente:** Elaboración Propia

En Ilustración 35, se muestra el gráfico de disponibilidad del sistema de distribución a 34,5 kV. Para Febrero del año 2015 la disponibilidad del sistema se encontraba en un valor de 98,69%, este valor se ve influenciado claramente por el suceso ocurrido en el mes de Julio en donde la red estuvo fuera de operación aproximadamente 4 días.

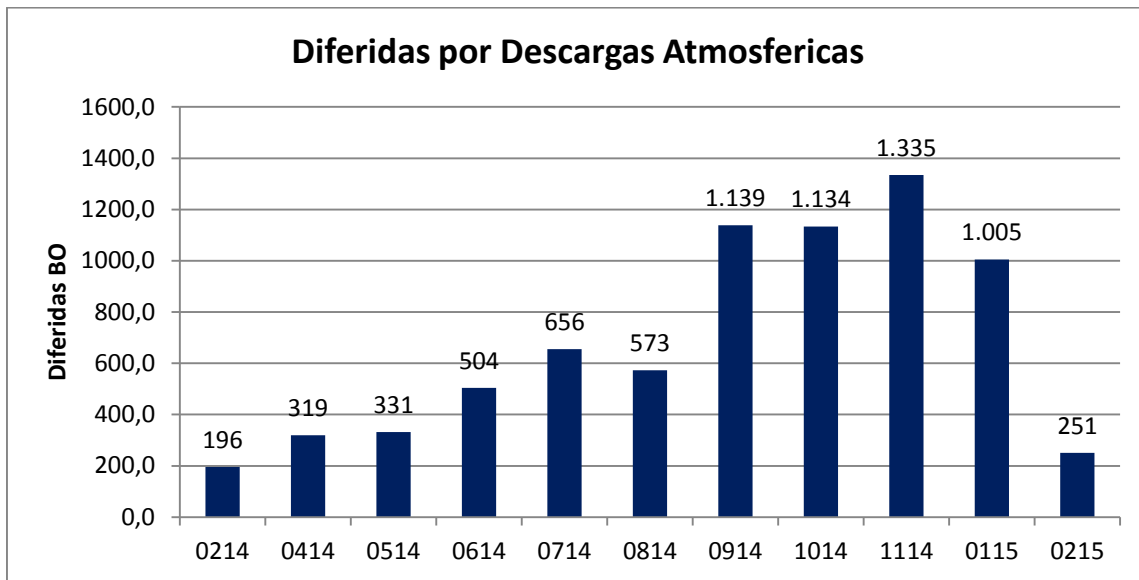
En este orden de ideas siendo las descargas atmosféricas el modo de falla más frecuente y el que mayor afectación genera al sistema de potencia de Campo Quifa, se muestra en la Ilustración 36 e Ilustración 37 la distribución de las descargas atmosféricas y consecuencias generadas en el año 2014.



**Ilustración 36:** Número de eventos por descargas atmosféricas

**Fuente:** Elaboración Propia

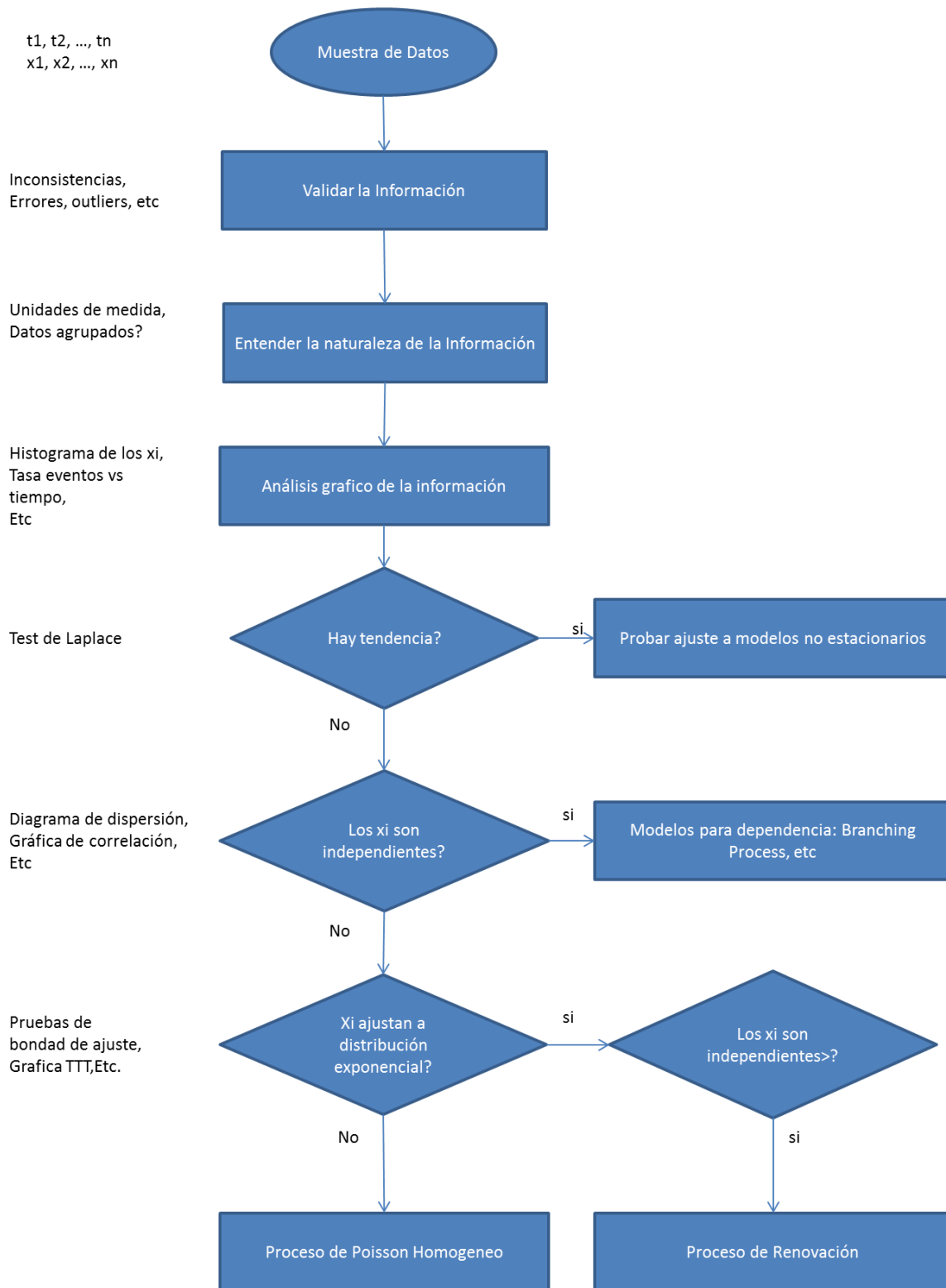
En la Ilustración 36, se evidencia la cantidad de eventos por descarga atmosférica en el año 2014 siendo el mes de junio y septiembre los mayor impactados, esto concuerda con la temporada de lluvias que por estos meses es común presenciar.



**Ilustración 37:** Diferidas producidas por descargas atmosféricas

En la Ilustración 37, se evidencia las diferidas generadas por descargas atmosféricas en el año 2014. Los meses en los que se produjo la mayor cantidad de pérdidas corresponden a los meses de noviembre y septiembre del año 2014.

Una vez realizado el análisis gráfico y obtención de los anteriores indicadores de confiabilidad, se deja planteado para un futuro trabajo la aplicación del algoritmo que se muestra en Diagrama 1 con el fin de determinar si el caso de estudio (Fallas en la red eléctrica de Campo Quifa) es posible modelarse y determinar el modelo que más se ajuste a los datos obtenidos.



**Diagrama 1:** Algoritmo para ajuste de datos a un modelo puntual (Zapata, 2010)

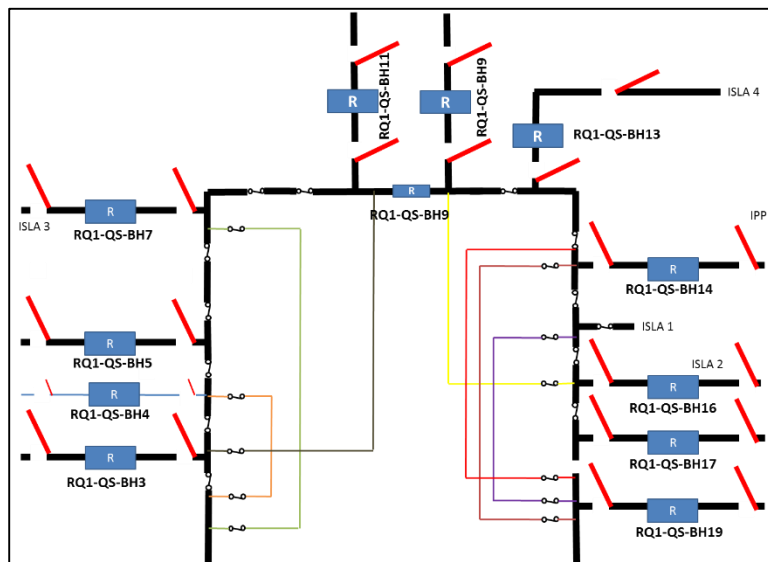
## 4.5 Otros Proyectos:

### 4.5.1 Justificación económica de pavimentación de vía cercana a Pórtico QSW:

Teniendo en cuenta la problemática relacionada con la contaminación por material particulado (Polvo) de la subestación Quifa SW debido a la cercanía que tiene con la vía al Oasis, se desea realizar el ejercicio que contempla plantear la justificación económica de pavimentar medio kilómetro de vía, teniendo en cuenta que de no realizarlo podría incurrirse en la disminución de la vida útil de los equipos (Seccionadores, Reconectores, Aisladores, etc.) y esto a su vez aumentaría la probabilidad de fallas.

#### Subestación Quifa SW:

- La subestación Quifa SW no cuenta con transformación de tensión, es un pórtico donde se tiene la facilidad de alinear las dos fuentes de suministro de energía a Quifa (IPP, PEL) y alimentar las diferentes islas. En total posee 19 bahías equipadas con los equipos de protección y maniobra correspondiente como seccionadores de línea, seccionador de tierra, seccionadores de barra, seccionadores a cable, reconectores de línea, cortacircuitos y descargadores de sobretensión.



**Ilustración 38:** Configuración pórtico Quifa Suroeste

El pórtico Quifa Suroeste es una subestación de maniobra a la cual llegan dos líneas desde la fuente, S/E Quifa Despacho, y salen 4 líneas, una a cada Islas de distribución. Adicionalmente, a la S/E Quifa Suroeste llega un alimentador desde IPP en Rubiales, que corresponde a la Planta Termopetróleo.

La Subestación tiene capacidad para manejar 96MW. Todas las bahías pueden ser independizadas por medio de los seccionamientos de barra para fines de mantenimiento y para independizar las fuentes. La subestación se divide en dos barras principales separadas por un reconector de 1200 A.

Teniendo en cuenta que el p3rtico Quifa Sur Oeste representa el epicentro de distribuci3n de energ3a el3ctrica debido a que alimenta las Islas de distribuci3n que a su vez conectan los cl3ster de extracci3n de crudo, es fundamental garantizar su correcta operaci3n, condici3n que est3 siendo alterada por la contaminaci3n de sus equipos por material particulado.

**Premisas:**

- El sistema de potencia es radial y sin *transferencias de carga cerrada*.
- Los Ingresos del proyecto est3n concebidos como los ahorros generados por pavimentar la v3a.
- La Salida de circuitos (Desconexi3n de cl3sters) es causada por la incorrecta operaci3n de equipos de maniobra debido a contaminaci3n por material particulado.



*Ilustraci3n 39: Presentaci3n proyecto de Pavimentaci3n*

En la Ilustraci3n 39 se muestra la presentaci3n del proyecto de justificaci3n econ3mica de la pavimentaci3n de medio kil3metro de v3a, el documento cuenta con tres pesta3as las cuales permiten el acceso a los datos de producci3n y diferidas generadas (Ahorros), datos de entrada para el modelo y flujo de caja. En la Tabla 12 se observan los datos de ubicaci3n de pozos, potencia consumida, subestaci3n tipo p3rtico asociada, respaldo de generaci3n, diferidas y aproximado de p3rdidas. Por cuestiones de confidencialidad los nombres de los cl3sters se denotar3n con letras del alfabeto y los datos de producci3n no se detallar3n.

UBICACI3N	Potencia [kW]	ISLA	BOPD	Respaldo G	Diferidas	Perdidas
QF:A	1374	ISLA 4		60%	<b>84</b>	\$5.129.461,03
QF:B	1056	ISLA 3		70%	<b>69</b>	\$4.254.774,81
QF:C	1024	ISLA 3		100%	<b>82</b>	\$5.024.350,68
QF:D	996	ISLA 3		70%	<b>69</b>	\$4.247.045,04
QF:E	527	ISLA 3		0%	-	\$0,00
QF:F	389	ISLA 1		100%	<b>20</b>	\$1.223.776,95
QF:G	309	ISLA 4		0%	-	\$0,00
QF:H	849	ISLA 4		30%	<b>30</b>	\$1.827.656,68



UBICACIÓN	Potencia [kW]	ISLA	BOPD	Respaldo G	Diferidas	Perdidas
QF:I	692	ISLA 3		0%	-	\$0,00
QF:J	-	ISLA 3		100%	<b>93</b>	\$5.710.312,31
QF:K	934	ISLA 3		100%	<b>85</b>	\$5.193.043,56
QF:L	502	ISLA 1		0%	-	\$0,00
QF:M	-	ISLA 3		100%	<b>53</b>	\$3.277.599,73
<b>Total</b>						\$35.888.020,79

\*Tiempo de normalización de falla [h]: 1.5

\*Precio de extracción de petróleo (50% Precio crudo): 25 USD

\*1USD=2455.5 COP

*Fuente* Elaboración propia

**Tabla 12:** Datos de producción y diferida

En la Tabla 13 contiene los datos de entrada del modelo financiero, en donde se muestran:

- La inversión del proyecto (Pavimentación de medio Kilómetro de vía)
- Los ingresos del proyecto vistos como los ahorros generados por evitar salidas de circuitos que finalmente se traducen en diferidas.
- Los costos asociados al proyecto.
- 

<b>Datos de Entrada</b>			
<b><i>Flujo de Caja Neto anual</i></b>			
Ingresos Brutos Totales			\$179.440.104
Costos y Egresos Totales			\$16.250.000
Valor Inversión			\$ 650.000.000
<b>Ahorros</b>			
<b>ITEM</b>	<b>Fallas en el Año</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Total</b>
Dinero Ahorrado por Salida de Circuitos	5	\$35.888.021	\$179.440.104
<b>Total</b>			<b>\$179.440.103</b>
<b>Inversión</b>			
<b>Pavimentación vía QFSW</b>			<b>COP</b>
1 Km de vía			\$ 1.300.000.000
0,5 Km de vía			\$ 650.000.000
<b>Total</b>			<b>\$ 650.000.000</b>
<b>Costos</b>			
<b>Mantenimiento Pórtico</b>			<b>COP</b>
Mantenimiento Carretera			\$ 13.000.000
Acciones para Mitigación Ambiental			\$ 3.250.000
<b>Total</b>			<b>\$16.250.000</b>

*Fuente:* Elaboración propia

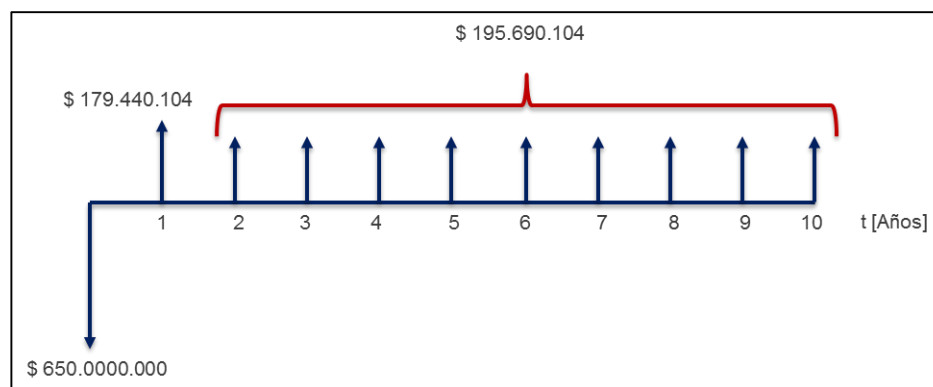
**Tabla 13:** Datos de entrada

Una vez identificados los datos de entrada, es posible determinar los indicadores de viabilidad de proyecto VPN, TIR y Payback con el fin de determinar la viabilidad financiera

del proyecto. En la Tabla 14 se muestra el flujo de caja del proyecto con un horizonte de 10 años.

<b>RUBRO / AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Valor Ingresos		179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104	179.440.104
Costos y Egresos Totales			16.250.000	16.250.000	16.250.000	16.250.000	16.250.000	16.250.000	16.250.000	16.250.000	16.250.000
Inversión	650.000.000										
Flujo de caja neto	<b>-650.000.000</b>	<b>-470.559.896</b>	<b>-307.369.792</b>	<b>-144.179.688</b>	<b>19.010.416</b>	<b>182.200.520</b>	<b>345.390.624</b>	<b>508.580.728</b>	<b>671.770.832</b>	<b>834.960.936</b>	<b>998.151.039</b>

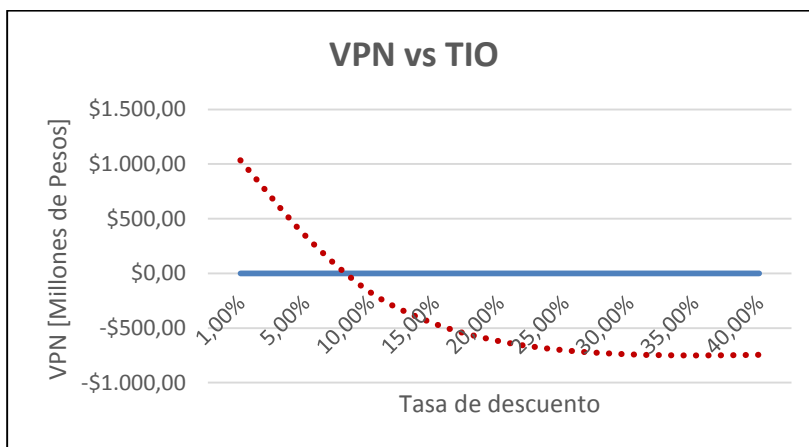
**Tabla 14:** Flujo de caja



<b>TIR</b>	<b>12%</b>
Payback (Año)	4
TIO	7%
VPN	\$ 530.736.415,26

**Tabla 15:** Indicadores de viabilidad financiera

Al traer cada uno de los rubros de los años posteriores a valor presente (año cero) y realizar la suma algebraica de los montos con una tasa de descuento del 7%<sup>6</sup> es posible determinar si el resultado es positivo, lo cual es un indicio de que el proyecto es viable financieramente. En la Ilustración 40 se muestra como varia el VPN en función de la tasa de descuento desde el 1% hasta el 40%, siendo aproximadamente el 7% la tasa de descuento ideal para que el proyecto sea viable financieramente.



**Ilustración 40:** variaciones del VPN en función de la tasa de descuento

El proyecto presenta un valor presente neto positivo de \$ 530.736.415,26 y una TIR positiva, lo cual indica que el proyecto es viable desde el punto de vista financiero con un Payback o tiempo de recuperación de la inversión de cuatro años.

#### 4.5.2 Modelo de Fallas:

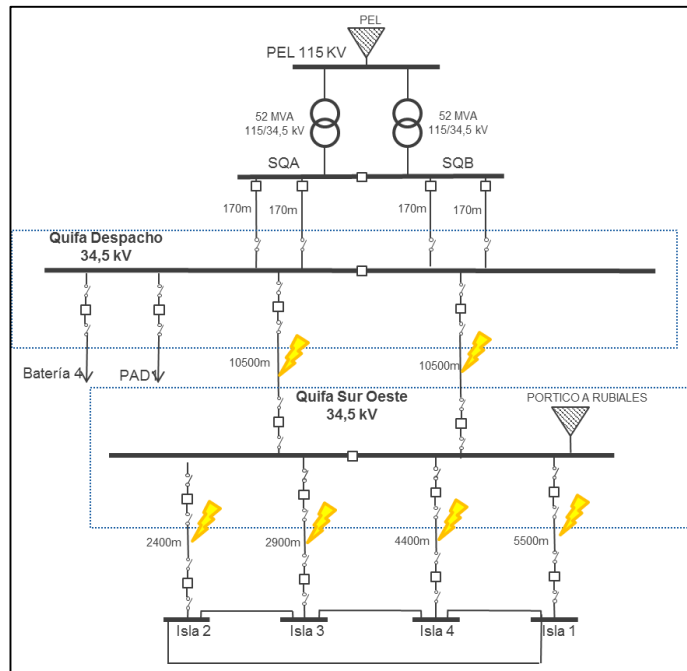
Con el fin de evaluar el impacto que se genera por las diferentes contingencias en las principales troncales que llegan y se desprenden del pórtico Quifa Sur Oeste, se creó un modelo básico en Excel que permite simular y determinar las consecuencias que se generan (Diferidas) por la aparición de una falla en:

- Línea QFDP-QFSW 1
- Línea QFDP-QFSW 2
- Línea QFSW 1-Isla i

En la Ilustración 41 se muestran las contingencias contempladas en el modelo de fallas, mientras que en la Tabla 16 se ilustra las líneas de respaldo y los tiempos de respuesta.

---

<sup>6</sup> Valor promedio de Tasa de descuento usado por los Bancos



**Ilustración 41: Posibles fallas contempladas**

Falla	Respaldo <sup>7</sup> [Asume su carga]	Tiempo de respuesta [h] <sup>8</sup>
Línea QFDP-QFSW 1	Línea QFDP-QFSW 2	0.5
Línea QFDP-QFSW 2	Línea QFDP-QFSW 1	0.5
Línea QFSW – Isla 1	Línea Isla 2 - Isla 1	0.5
Línea QFSW – Isla 2	Línea Isla 1 - Isla 2	0.5
Línea QFSW – Isla 3	Línea Isla 4 - Isla 3	0.5
Línea QFSW – Isla 4	Línea Isla 1 – Isla 4	0.5

**Tabla 16: Respaldos y tiempo de restablecimiento**

En la Ilustración 42 se muestra la presentación del modelo en Excel en donde se encuentran cuatro pestañas las cuales permiten el acceso a cada uno de los escenarios de simulación (corto, mediano y largo plazo).

<sup>7</sup> Respaldo: La línea que está contemplada para ser el respaldo de la troncal que falla, fue determinada en el documento filosofía de operación de redes Quifa.

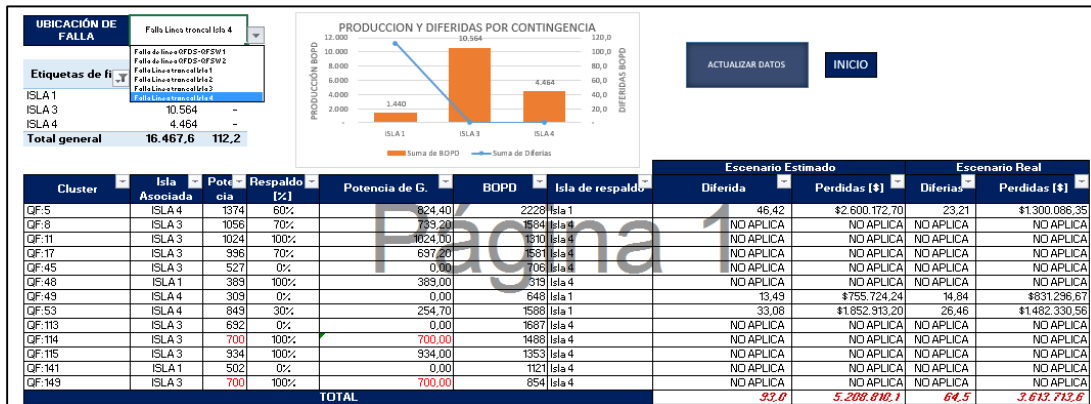
<sup>8</sup> Los tiempos de respuestas pueden ser cambiados según el criterio del usuario y el modelo realiza los cálculos con los valores ingresados.



**Ilustración 42:** Presentación Modelo de fallas en el p $\acute{o}$ rtico Quifa SW

En la Ilustraci3n 43 se muestra el modelo de falla a corto plazo. Cada modelo est $\acute{a}$  compuesto por:

- Bot3n de Inicio
- Bot3n de selecci3n ubicaci3n de falla (Entrada)
- Bot3n de actualizaci3n de grafica
- Tabla General de resultados (Salida)
- Tabla din $\acute{a}$ mica resumen de datos (Producci3n y Diferidas asociadas a cada Isla). (Salida)
- Tiempo de restablecimiento de servicio (Entrada)



**Ilustraci3n 43:** Resultados Modelo Corto plazo simulando falla en una troncal.

## 5. CONCLUSIONES

La pr $\acute{a}$ ctica profesional constituye para el estudiante universitario la mejor manera de romper el paradigma que existe hoy en d $\acute{a}$  en cuanto a la contrataci3n del profesional reci $\acute{e}$ n graduado, en el sentido en el que se le contrata bajo condiciones inequitativas o no se le contrata por falta de experiencia. A partir de la pr $\acute{a}$ ctica profesional, el estudiante fortalece las competencias en la medida en la que se complementa la formaci3n acad $\acute{e}$ mica que

ofrece la universidad para preparar al estudiante para la vida laboral.

Teniendo en cuenta las actividades desarrolladas a lo largo de la práctica profesional, se logró aplicar los conceptos y principios adquiridos en el periodo académico de universidad, son ejemplo de ello la cuantificación, análisis y planteamiento de soluciones ante bajo factor de potencia y presencia de armónicos en la red. Se evidenció que en cuanto al factor de potencia la instalación a pesar de tener un factor de potencia relativamente alto (0.85-0.9) se realiza el cálculo de la energía reactiva necesaria y el banco de condensador necesario para llevar el factor de potencia a 0,98 y de esta manera reducir las pérdidas por calentamiento en conductores y transformadores en la medida en la que se disminuye la energía reactiva y aparente a transportar desde la fuente. Posteriormente, en cuanto a la cuantificación de armónicos en la instalación se realizó un primer acercamiento a la cuantificación de los mismos, evidenciando la presencia e incumplimiento de los rangos permitidos por la regulación (*Norma IEC 61000, IEC 61000-4-27 y ANSI C84*). Por tal razón, se realizan los términos de referencia para ejecutar un estudio que permita justificar técnica y económicamente la instalación de filtros. Sin embargo, se calculan los parámetros de los filtros pasivos necesarios para que este representen una impedancia de bajo valor para que las corrientes armónicas generadas sean absorbidas por el filtro.

El área de confiabilidad eléctrica constituye una parte esencial del grupo de mantenimiento, en el sentido en el que se encarga de consolidar y analizar los resultados de los estudios o acciones como: Reportes de fallas eléctricas, mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos, curva de demanda de energía eléctrica, entre otros. Dentro de la práctica profesional se realizó la consolidación de reportes de falla a manera de cuadro y se crearon indicadores relacionando variables como número de fallas, modos de falla, diferidas, duración acumulada de fallas, Tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación, etc. A partir de la consolidación de esta información fue posible evidenciar que en orden descendente los modos de falla que mayor recurrencia son la descarga atmosférica, falla a tierra y falla de fuente (IPP Termopetroleo) con valores de 27, 16 y 12 fallas respectivamente. En cuanto a la mayor afectación (Diferidas) el modo de falla que más cobra relevancia es la falla de fuente en IPP-Termopetroleo (ver Ilustración 32), debido a que por unidad de tiempo calculado representa el modo de falla que genera mayor afectación en el sistema eléctrico (Fuente-Red), de ahí la importancia para que se lleven a cabo planes de mejora para evitar salidas de planta. Las descargas atmosféricas también representan un modo de falla que produce una elevada afectación por tanto se plantea la opción del software LINNET y adquisición del detector de tormentas, los cuales permite detectar la proximidad de tormentas eléctricas con el fin de anticiparse a fallas eléctricas en la red de distribución de campo Quifa.

Se calcula que el sistema eléctrico tiene un tiempo medio entre fallas de 6 días, es decir que en promedio cada 6 días ocurre un evento en la red de distribución, una vez ocurrida la falla se estima que el tiempo medio de reparación es de 1.77 horas

A partir del acompañamiento a personal técnico, elaboración de reportes y análisis de resultados de estudios de mantenimientos predictivos como Termografía y Ultrasonido se

logró adquirir la idoneidad de utilizar una cámara termográfica y un analizador de ultrasonido, para así determinar puntos calientes o desgaste eléctrico en redes de distribución y en Centros de control de motores. En cuanto al estudio termográfico realizado en la red de distribución fue satisfactorio en la medida en la que se encontraron al 93% de los equipos (seccionadores, reconectadores, puentes y terminales) con ningún delta considerable lo cual se categoriza como un equipo bueno según la norma ANSI/NETA MTS -2011. De manera similar el estudio realizado en los centros de control de motores de batería 4 y clúster por red arrojó que el 85% de los equipos (Arrancadores suaves, Contactores e Interruptores) no presentan deltas de temperaturas entre puntos homólogos superiores a los 10° C.

Se realizó también la justificación financiera de un proyecto de inversión que tenía como fin proteger las instalaciones contra la contaminación por material particulado. El ejercicio consistió en justificar la pavimentación de una vía cercana a la subestación tipo pórtico Quifa Sur Oeste, la cual estaba siendo perjudicada (Disminución del BIL por polvo) por el material particulado que se desprendía de una vía nacional. La idea principal era comparar y evaluar las consecuencias que resultaría si el problema pasa a un estado crítico lo cual se ve reflejado en salidas de circuitos, esto a su vez se traduce en diferidas (BO dejados de producir). Estas Diferidas en el modelo están concebidas como los ahorros generados por realizar la inversión del proyecto, como indicadores de viabilidad financiera se tiene que el valor presente Neto es positivo (\$ 186.575.045,87), LA Tasa Interna de retorno también es positiva (9%) y el tiempo de recuperación de la inversión se realiza al quinto año.

A través de la participación en maniobras eléctricas se obtuvo el primer acercamiento a los procedimientos necesarios para energizar cargas a través del cierre y apertura de elementos de maniobra en subestaciones tales como reconectadores, seccionadores de línea, seccionadores de barra, seccionadores de puesta a tierra y cortacircuitos Cumplimiento con lineamientos de Ingeniería y HSEQ.

A manera de resumen, es importante resaltar la trascendencia de esta práctica profesional en el sentido en el que brinda al estudiante la capacidad de adquirir su primera experiencia profesional aplicando conceptos de Ingeniería adquiridos en el periodo académico Universitario.

## **6. RECOMENDACIONES**

Es de vital importancia continuar con el proceso de relación entre la Universidad de La Salle y la empresa Pacific Rubiales Energy, en el sentido en el que el estudiante del programa de Ingeniería Eléctrica lleve a cabo su práctica profesional en campo, ya que este tipo de experiencia fortalece la formación de Ingenieros Electricistas en la medida en que complementa los fundamentos teóricos y metodológicos adquiridos en el periodo de estudio.

Siendo el área de mantenimiento y confiabilidad eléctrica uno de las ramas que hoy en día están siendo elegidas por los profesionales, se sugiere la profundización o revisión más



afondo de temas relacionados con confiabilidad eléctrica a través de una nueva electiva o a la apertura del tema en una asignatura ya establecida.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Cushing, M. (1996). *Army reliability Standardization Improvement Policy and its Impacts*. IEEE.

Pacific Rubiales Energy . (2014). *Informe Inspección por Ultrasonido a las redes y equipos eléctricos de 34,5 kV Campo Quifa de Pacific Rubiales Energy*.

Pacific Rubiales Energy. (2012). *Reportes de Inspección Termográfica Análisis predictivo Batería 4*.

Pacific Rubiales Energy. (2013). *Procedimiento para Análisis de modos de falla, efectos y criticidad FMECA*.

Pacific Rubiales Energy. (2014). *Análisis termográfico a Equipo Eléctrico*.

Pacific Rubiales Energy. (2014). *Filosofía de Redes Eléctricas de Campo Quifa*. COL-MPC-QFA-CMP-SEL-ELE-FIL-8071.

Pacific Rubiales Energy. (2015). *Seguimiento Fallas Red Quifa*.

Speaks., S. (2010). *VicorPower*. Recuperado el 2015, de Realibility and MTBF Overview.

Vance Persons, J. D. (2012). *Mean Time Between Failure MTBF*. LA MARCHE.

Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault tree handbook*. Recuperado el 2015

Wikins, D. (2002). *The bathtub Curve and product Failure Behavior*. *Reliability Hotwire Issue*.