

Universidad Autónoma De Bucaramanga
Facultad de Ingeniería Mecatrónica

Práctica empresarial en Ecopetrol SA

Nombre de estudiante:

Jhon Cesar Oswaldo Rodríguez Reinemer

Director:

M.Sc. Hernando González Acevedo

Bucaramanga – Santander
Enero 2017

Nota de aceptación:

M.Sc. Hernando González Acevedo

Director de práctica

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	7
2	OBJETIVOS.....	8
2.1	Objetivo general.....	8
2.2	Actividades principales de la práctica	8
3	MARCO CONCEPTUAL	9
3.1	Ecopetrol.....	9
3.1.1	Misión.....	9
3.1.2	Visión.....	10
3.2	Características del campo.....	11
3.3	Unidades de bombeo:.....	19
3.3.1	Bombeo mecánico:.....	19
3.3.2	Bombeo por cavidades progresivas (PCP):.....	21
3.3.3	Bombeo electrosumergible:.....	23
4	ACTIVIDADES	26
4.1	Inducción.....	26
4.2	Mantenimiento	27
4.3	Diagrama de zona industrial	28
4.4	Base de datos de S/E eléctricas y pozos PCP.....	29
4.5	Protección de red eléctrica del campo	30
4.6	Programa WSOS e instalación de antenas en reconectores	32
4.7	Imágenes de Termografía.....	37
4.8	Actividades complementarias	40

5	CONCLUSIONES	48
6	BIBLIOGRAFIA	50

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Cadena del petróleo. [6].	10
Figura 2. Organigrama de Ecopetrol. [5].	12
Figura 3. Inyección de agua. [7]. Y pozo inyector. [Autor].	13
Figura 4. S/E eléctrica 412. 34,5KV / 480-277V / 500KVA. [Autor].	14
Figura 5. Reconectador S/E 214. [Autor].	15
Figura 6. Seccionador eléctrico. [Autor].	16
Figura 7. Caja de paso y caja de corte. [Autor].	17
Figura 8. Variador de velocidad marca UNICO®. [Autor].	18
Figura 9. Funcionamiento Unidad de bombeo mecánico. [9]. Y Unidad de bombeo mecánico en Casabe sur. [Autor].	19
Figura 10. Partes principales de una PCP. [9].	21
Figura 11. Elementos de superficie PCP. [9]. Y pozo PCP en Casabe. [Autor].	22
Figura 12. Unidad de bombeo electrosumergible. [Autor].	24
Figura 13. Caseta de control para bombeo electrosumergible. [Autor].	25
Figura 14. Prueba de motor eléctrico de 75HP en taller. [Autor].	28
Figura 15. Reconectador N38 Nulec®. [11].	31
Figura 16. Panel de operador. [11].	32
Figura 17. Creación de nuevo reconectador. [Autor].	33
Figura 18. Variables leídas por el reconectador. [11].	34
Figura 19. Conexión de radio y adaptador PoE. [12].	35
Figura 20. Conexión de adaptador PoE y computador. [12].	35
Figura 21. Alimentación de radio a través del PoE. [12].	36
Figura 22. Interfaz de inicio de sesión. [12].	36
Figura 23. Reconectador con radio para monitoreo. [Autor].	37
Figura 24. Cámara de termografía taller eléctrico. [Autor].	38
Figura 25. Termografía en borneras de transformador. [Autor].	39
Figura 26. Termografía en cabezal de unidad de bombeo PCP. [Autor].	39

Figura 27. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 1. [Autor].	42
Figura 28. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 2. [Autor].	43
Figura 29. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 3. [Autor].	44
Figura 30. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 4. [Autor].	45
Figura 31. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 5. [Autor].	46

1 INTRODUCCION

Las prácticas se desarrollaron del 13 de julio de 2016 al 12 de Enero del 2017 en el municipio de Yondó – Antioquia (Campo Casabe) perteneciente a la vicepresidencia de desarrollo y producción (gerencia de operaciones de desarrollo del rio).

La situación actual en la industria del petróleo genera un enfoque netamente de producción, generando así poca innovación y desarrollo en los diferentes equipos a menos que sea una necesidad inmediata, de esta forma, la práctica profesional se centralizo en resolver los inconvenientes que se presentan, en cumplir los planes de mantenimiento de manera oportuna para así afectar la producción lo menos posible. De igual manera, la función del practicante es colaborar y resolver sus dudas con el personal que está realizando las tareas y poco a poco aportando con un poco más de conocimiento.

Mi ubicación para el desarrollo de la práctica fue específicamente el taller eléctrico dentro del Campo Casabe, el taller básicamente se encarga de las facilidades eléctricas en pozo (motores, variadores, cajas de corte, cajas de paso líneas de alimentación, subestaciones eléctricas. Etc.).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Aplicar los conocimientos obtenidos durante mi carrera universitaria con el fin de brindar un aporte a la empresa.

2.2 Actividades principales de la práctica

- Recorrer los pozos que se encuentran en el área y generar una base de datos con las características de cada uno de ellos con el fin de tener un seguimiento del estado y evitar posibles fallas.
- Realizar diagrama unifilar de zona industrial Campo Casabe.
- Documentar características principales de las subestaciones eléctricas del campo para tener una base de datos actualizada de los equipos.
- Brindar acompañamiento a los ejecutores de las actividades con el fin de obtener experiencia y brindar ayuda.

3 MARCO CONCEPTUAL

3.1 Ecopetrol

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos. [1].

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá. [1].

Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía. [2].

Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, Ecopetrol S.A. pertenece al grupo de las 39 petroleras más grandes del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica. [3].

3.1.1 Misión

Trabajamos todos los días para construir un mejor futuro:

- Rentable y sostenible. [4].
- Con una operación sana, limpia y segura. [4].
- Asegurando la excelencia operacional y la transparencia en cada una de nuestras acciones. [4].

- Construyendo relaciones de mutuo beneficio con los grupos de interés. [4].

3.1.2 Visión

Ecopetrol será una compañía integrada de clase mundial de petróleo y gas, orientada a la generación de valor y sostenibilidad, con foco en Exploración y Producción, comprometida con su entorno y soportada en su talento humano y la excelencia operacional. [4].

Ecopetrol dentro de sus actividades principales, maneja los 3 sectores en la industria del petróleo, Upstream, midstream y downstream como se ilustra en la Figura 1.

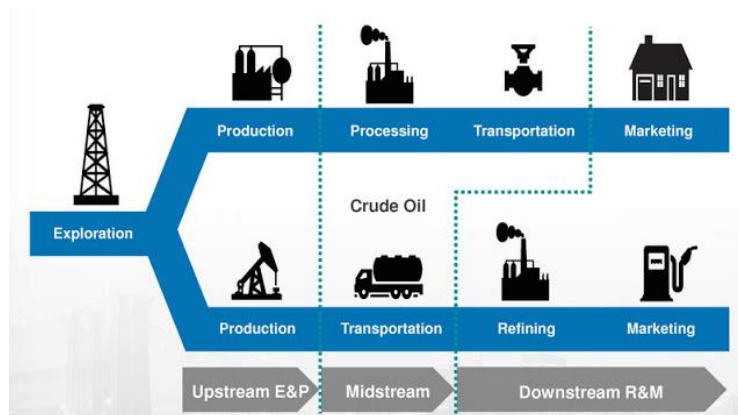


Figura 1. Cadena del petróleo. [6].

3.2 Características del campo

El campo se divide en tres zonas, Casabe, Casabe sur y Peñas blancas. Consiste en un número de pozos productores ubicados en las tres zonas antes mencionadas, cada pozo tiene ciertos requerimientos eléctricos para entrar en funcionamiento, el departamento de ingeniería se encarga de entregar al taller eléctrico las características de potencia para que los ingenieros eléctricos realicen la instalación de las facilidades. Las condiciones de operación son entregadas por el departamento de producción según las características de subsuelo (Frecuencia de operación, Strokes por minuto, RPM).

Los conocimientos necesarios para la realización de la práctica fueron principalmente de electrónica / eléctrica y conocer los diferentes equipos que se manejan en el campo a nivel eléctrico. Fue necesario conocer el proceso del crudo antes de ser enviado a refinería.

El taller eléctrico se divide en dos secciones como se ilustra en la tabla 1:

Sección	Función	Equipos
Baja tensión	Todo lo referente a tensiones < 1000V	Cajas de corte, Cajas de paso, Variadores de frecuencia, Cámara de termografía y motores.
Media tensión	Todo lo referente a 6900V y 34500V, las cuales son las tensiones que maneja la red eléctrica del campo.	Reconectores, Cámara de termografía, seccionadores, Interruptores, Transformadores, Subestaciones eléctricas.

Tabla 1. Descripción de funciones y equipos manejados por cada sección del taller. [Autor].

Campo casabe se encuentra ubicado en la vicepresidencia de producción (ver Figura 2), es decir se encarga de la extracción del crudo, de tratarlo para cumplir ciertas características para finalmente enviarlo a refinería por medio de la estación Córdor.

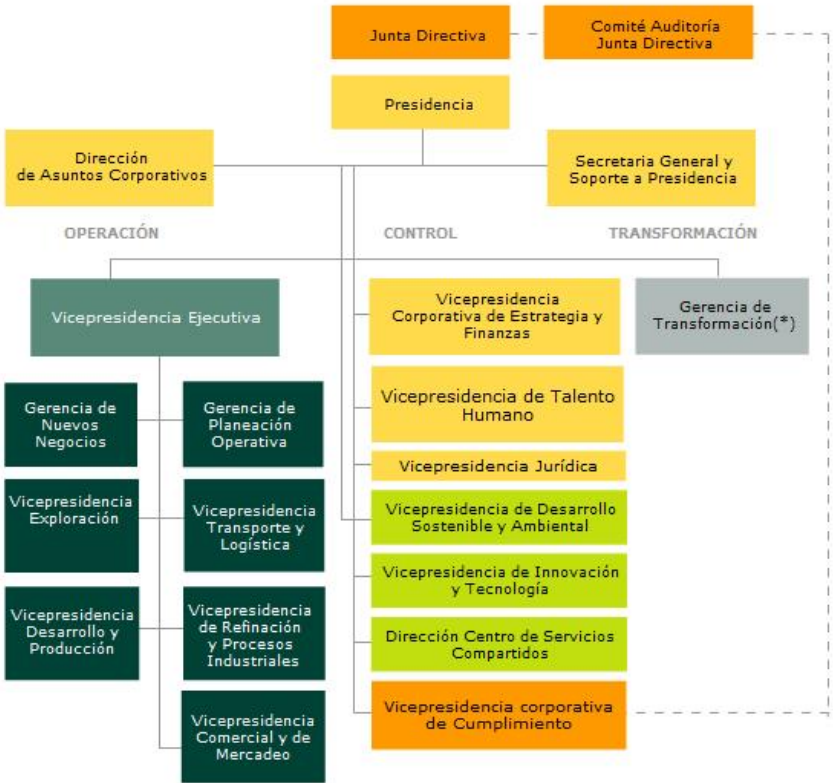


Figura 2. Organigrama de Ecopetrol. [5].

Actualmente Casabe tiene en operación más de 200 pozos productores, el crudo que se extrae en esta zona posee mucha arena, para eso y por otros motivos químicos el campo tiene cuatro estaciones que recolectan el crudo y se encargan de reducir considerablemente la cantidad de arena y la cantidad de agua que tenga el crudo, mediante tratadores termoelectroestáticos y separadores.

Después de ser tratado, el crudo es enviado a la estación Cóndor para ser bombeado a la refinería de Barrancabermeja, La estación cóndor tiene cinco bombas de 150HP para esta tarea y una bomba auxiliar. Cada bomba tiene un medidor para determinar la cantidad de crudo enviado para el cobro.

En cuanto a la producción, se realiza mediante recuperación secundaria, es decir, el yacimiento ha perdido las condiciones de presión inicial por lo que necesita un proceso adicional para recuperar estas condiciones, para ello se inyecta agua al yacimiento en puntos estratégicos, en el campo se tienen pozos captadores de agua los cuales recolectan el agua de subsuelo y es enviada a la planta de inyección la cual eleva su presión a 2450 y 2000psi para ser inyectada nuevamente mediante pozos inyectoros, en la figura 3 se observa la estrategia de recuperación secundaria.

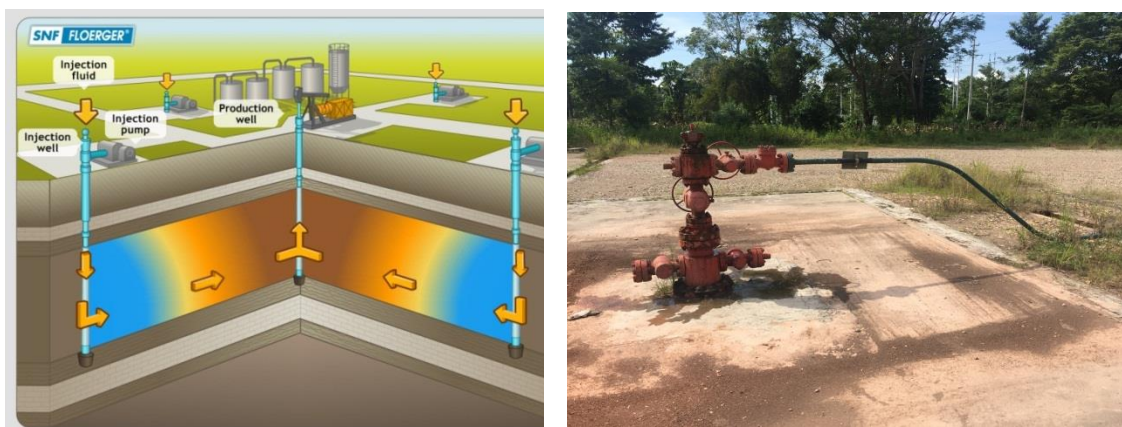


Figura 3. Inyección de agua. [7]. Y pozo inyector. [Autor].

Para el funcionamiento de los pozos productores, pozos captadores, pozos inyectoros, plantas, estaciones se tienen dos líneas principales de 34500V, la línea 1 alimenta producción, la estación Cóndor y Casabe sur mientras que la línea 2 alimenta la planta de inyección de agua, pozos de captación y peñas blancas. La estación cóndor, además de bombear el crudo hacia la refinería de

Barrancabermeja, tiene una subestación eléctrica donde llega la línea 1. Cuando esta línea llega al pórtico ubicado en la cóndor, se divide en varios circuitos que se dirigen a las diferentes partes del campo. El campo maneja tensiones de 34,5Kv y 6,9Kv, de esta forma la línea 1 al llegar a la estación, se ramifica directamente en circuitos de 34,5Kv (Cto1, Cto2, Línea 5, H16) y también entra a un transformador de 12MVA que se encarga de reducir la tensión a 6,9Kv y dirigirla a otras partes del campo que trabajan a esta tensión mediante (Cto3, Cto4 y Cto7). Cada circuito tiene su interruptor en la estación cóndor para ser energizado o desenergizado por completo. Además de las líneas principales, El campo casabe tiene dos centros de generación para aportar a la red eléctrica, uno ubicado en la estación cóndor y otro ubicado en casabe sur los cuales aportan 5MW aproximadamente.

Para la alimentación de los pozos productores ubicados en todo el campo, se tienen Subestaciones eléctricas (S/E) en diferentes puntos, las cuales reciben la tensión de 34,5Kv o 6,9Kv y se reduce a 480v mediante transformadores de 500KVA para 34,5KV y de 300KVA para 6,9KV. En la figura 4, se observa la S/E eléctrica 412 con sus respectivos componentes.



Figura 4. S/E eléctrica 412. 34,5KV / 480-277V / 500KVA. [Autor].

Cada S/E tiene un reconectador como protección antes de recibir la tensión (Ver Figura 5). Este dispositivo se encarga de abrir la línea al percibir una sobrecorriente en cualquier fase. Se pueden parametrizar los valores tanto de corriente instantánea como corriente temporizada entre otros. Además este dispositivo tiene la capacidad de abrir y cerrar el circuito hasta 3 veces, es decir, al momento de detectar una falla se abre y cierra automáticamente para detectar si la falla continua, si esta persiste el abrirá y cerrara el máximo número de veces que tenga programado y luego se bloquea dejando el circuito abierto para poder corregir la falla que persiste. La ventaja de estos dispositivos es que pueden ser operados con carga.



Figura 5. Reconectador S/E 214. [Autor].

Cada reconectador tiene una caja de control ubicada al alcance del operador, en la caja de control se puede observar mediante un *display* las variables del sistema tales como frecuencia, tensión, corriente y potencia. Además posee puertos de comunicación Ethernet, RS232 y RS485 para poder descargar los eventos de

fallas, los parámetros de protección configurados y para poder realizar un monitoreo de forma remota. De igual forma se puede abrir y cerrar el reconectador mediante el panel de operador.

En serie a los reconectadores, existe un seccionador (ver Figura 6), el cual se encarga de dar corte visible de la línea para poder ejecutar maniobras eléctricas, los seccionadores no pueden ser accionados con carga ya que se pueden generar arcos eléctricos, de esta forma para poner fuera de servicio una S/E se debe abrir el reconectador para eliminar la carga y luego proceder a abrir el seccionador para tener un corte a la vista del operador. El seccionador se opera manualmente.

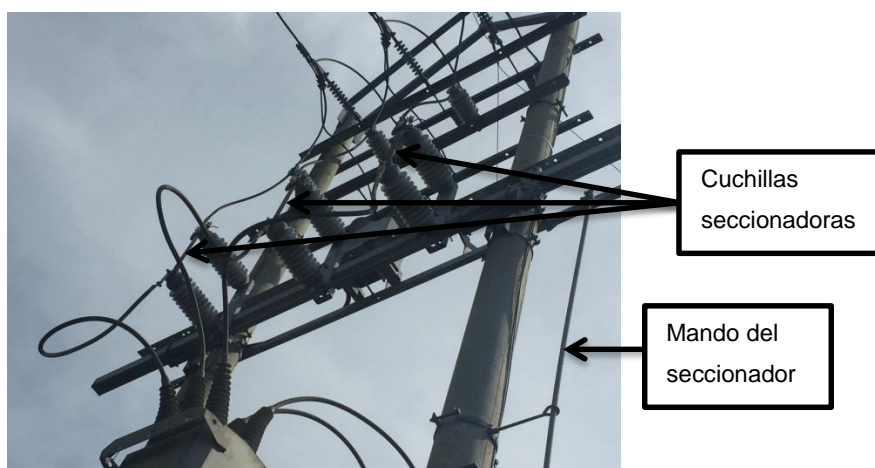


Figura 6. Seccionador eléctrico. [Autor].

Los seccionadores y reconectadores no solo se encuentran en las llegadas de las S/E, estos también se encuentran en puntos estratégicos, tales como la unión entre dos circuitos, o en puntos para desenergizar determinados tramos.

La tensión de 480V (salida del transformador) se envía a tres barras (1 barra para cada fase) en el tablero de baja tensión ubicado en la misma S/E, de estas barras se derivan los tres cables de alimentación de cada pozo. Cada

pozo tiene un interruptor para su apagado independiente. Finalmente cada grupo de cables se envía por red aérea trenzada para alimentar la carga.

Al llegar los cables a cada pozo, se conectan a un interruptor manual que se encuentra en una caja de corte, después se dirige a una caja de paso en serie la cual tiene un *breaker* principal y dos o más secundarios para la alimentación del pozo y de servicios auxiliares si los hay, en la figura 7 se ilustra una caja de paso y una caja de corte.



Figura 7. Caja de paso y caja de corte. [Autor].

La salida de la caja de paso da alimentación al variador de frecuencia instalado en el pozo (ver Figura 8), cada variador tiene su propio *breaker* totalizador, sin embargo estos se operan de manera manual. Estos variadores de frecuencia se utilizan para poder regular la velocidad de operación de cada pozo y para la protección del motor frente a picos de tensión, alto torque, alta temperatura, etc. Estos variadores tienen un *firmware* adecuado para cada unidad de bombeo.

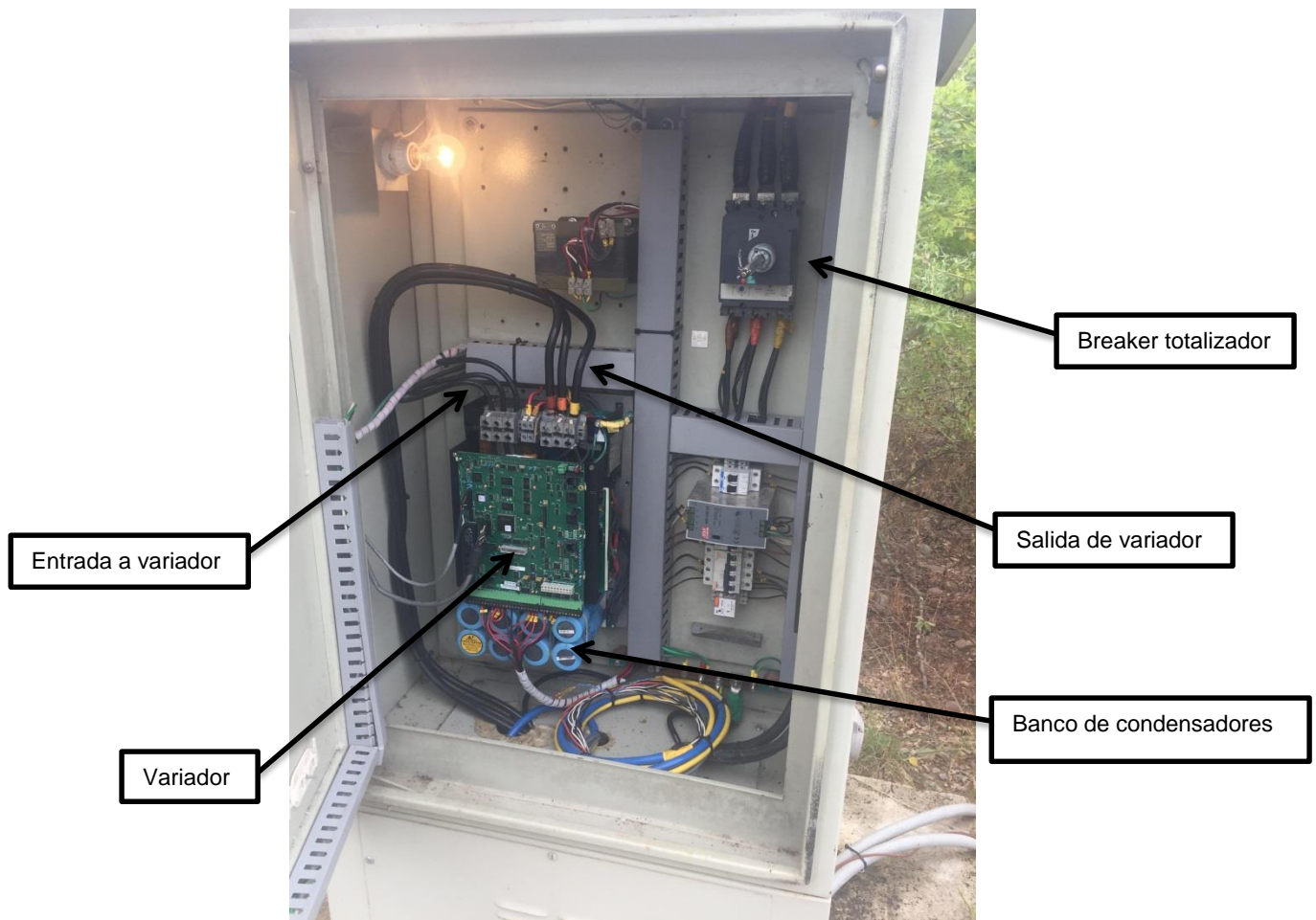


Figura 8. Variador de velocidad marca UNICO®. [Autor].

La salida del variador de frecuencia se conecta directamente al motor que está instalado en el pozo. En el campo Casabe los motores que se implementan en superficie son motores de inducción y operan a una tensión de 480/277V y las potencias son (30, 40, 75 y 100HP) para los motores en pozo, 150HP para los motores en la estación de bombeo cóndor, 200HP para los pozos de captación y de 900HP para la planta de inyección de agua.

3.3 Unidades de bombeo:

Para extraer el crudo del yacimiento es necesario un sistema de levantamiento artificial, más conocido como unidad de bombeo.

3.3.1 Bombeo mecánico:

El fluido es levantado por medio de un pistón y una válvula viajera como se ilustra en la Figura 9, las cuales tienen un movimiento ascendente y descendente dentro de un cilindro pulido denominado barril que presenta en su parte inferior una válvula fija. El pistón es conectado a la sarta de varillas, la cual se extiende hasta la superficie donde se conecta a una barra lisa y una caja de estopas que se encargan de dar sello neumático. [8].

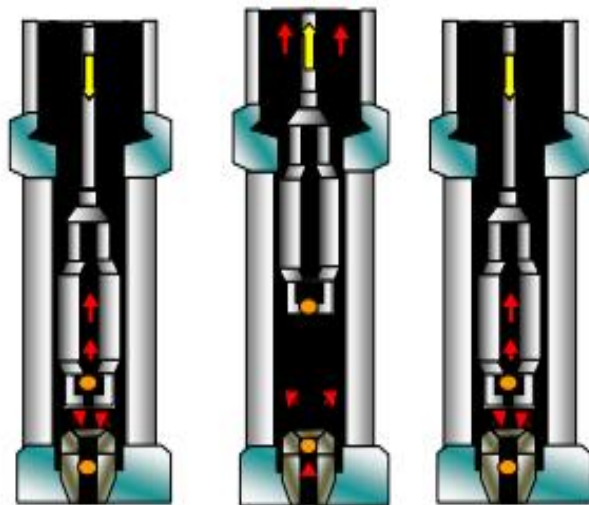


Figura 9. Funcionamiento Unidad de bombeo mecánico. [9]. Y Unidad de bombeo mecánico en Casabe sur. [Autor].

3.3.1.1 Ventajas

- Es un método de levantamiento muy conocido para el personal de campo. [9].
- Las partes del sistema están disponibles rápidamente. [9].
- El diseño de instalación es bastante sencillo y se puede realizar en campo, es simple de operar. [9].
- Bajo condiciones operacionales se puede utilizar hasta el ciclo final del pozo. [9].
- Posee una capacidad de extracción variable. [9].

3.3.1.2 Desventajas

- La profundidad de bombeo es limitada, especialmente por el material de la sarta de varillas. [9].
- El gas libre presenta problemas por la disminución de la eficiencia de la bomba. [9].
- No es recomendado en pozos desviados debido a que la fricción de las piezas metálicas puede originar fallas mecánicas. [9].
- La unidad requiere gran espacio en superficie y es muy pesada. [9].

3.3.2 Bombeo por cavidades progresivas (PCP):

Consiste en una bomba conformada por dos partes, un rotor de acero de forma helicoidal y un estator que consta de un tubo de acero recubierto internamente por un elastómero sintético. En la Figura 10 se observa el estator y rotor de la bomba [9].

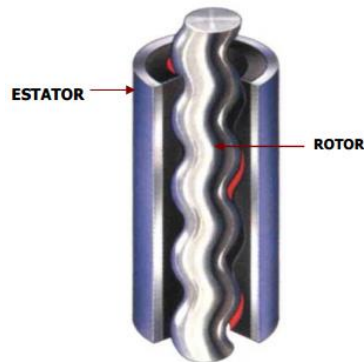


Figura 10. Partes principales de una PCP. [9].

En estas bombas se realiza un movimiento giratorio de rotor dentro del estator que es accionado desde superficie por una fuente de energía externa y permite que el fluido se desplace verticalmente hasta la superficie del pozo. [9].

La geometría de estas bombas permite que se creen cavidades, es decir, volúmenes, espirales y cerrados creados en los espacios vacíos entre el rotor y el estator. [9].

En la Figura 11 se ilustra una unidad PCP del campo Casabe.



Figura 11. Elementos de superficie PCP. [9]. Y pozo PCP en Casabe. [Autor].

3.3.2.1 Ventajas

- Es muy bueno en pozos con alta producción de arena debido a la ausencia de válvulas que se puedan ver obstruidas. [9].
- A nivel económico, resulta ventajoso sobre otros sistemas debido a su bajo costo de inversión inicial, bajo costo por consumo de energía y bajo costo de mantenimiento. [9].
- Los equipos de superficie son pequeños, fáciles de manejar y manejan bajo nivel de ruido. [9].

3.3.2.2 Desventajas

- Manejan bajas capacidades de desplazamiento, con un máximo de 4,000 bls/día, por esta razón no es factible encontrar este tipo de levantamiento en pozos de alto índice de productividad. [9].
- La profundidad de operación se puede ver limitada por la temperatura, esto debido al elastómero que se encuentra en el estator. [9].
- Necesita tener buen nivel de fluido debido a que este refrigera la bomba, si se queda sin fluido la temperatura se eleva por fricción entre el estator y el rotor y el elastómero se puede dañar. [9].

3.3.3 Bombeo electrosumergible:

El bombeo electrosumergible es un sistema de levantamiento artificial de fluidos donde una bomba centrífuga de múltiples etapas convierte la energía entregada por un motor eléctrico en energía de presión permitiendo que el fluido salga a superficie. [10]. Como se observa en la Figura 12, el motor no se encuentra en superficie sino en el fondo del yacimiento.



Figura 12. Unidad de bombeo electrosumergible. [Autor].

3.3.3.1 Ventajas:

- Permite el levantamiento de volúmenes extremadamente altos (hasta 20,000 bls/día) sin dificultad. [10].
- Elevado aporte de energía al fluido. [10].
- Alta eficiencia. [10].
- No se ve afectado por la desviación. [10].
- No ocupa grandes espacios en superficie. [10].

3.3.3.2 Desventajas

- Tolerancia limitada a la arena. [10].
- Se requiere taladro en caso de falla. [10].
- Posibles fallas eléctricas, principalmente asociadas al cable. [10].
- Presenta cierto grado de limitación por profundidad, debido a costos de cable y capacidad de la bomba. [10].

Para el bombeo electrosumergible además de un variador de velocidad, se requiere instalar un transformador elevador como se evidencia en la Figura 13, para poder alimentar el motor de la bomba el cual trabaja a una tensión de 4100V.



Figura 13. Caseta de control para bombeo electrosumergible. [Autor].

4 ACTIVIDADES

4.1 Inducción

La primera actividad realizada en Ecopetrol S.A fue una inducción general del campo. Recorrer las estaciones, plantas, pozos y conocer los diferentes equipos de bombeo que maneja la empresa en Campo Casabe. Durante esta semana Se conoció de forma resumida el proceso que se lleva a cabo con el crudo antes de ser enviado a refinería.

- Recolección de agua de subsuelo mediante pozos de captación y enviar a planta de inyección de agua.
- Elevar presión de agua para introducir mediante pozos inyectoros al subsuelo y aumentar la presión para facilitar la extracción del crudo.
- Extracción del crudo de subsuelo por medio de pozos productores.
- Envío a estaciones para procesar y cumplir criterio exigido por refinería.
- Bombeo a refinería mediante estación de bombeo cóndor.

Entre las funciones del taller eléctrico a nivel de baja tensión se encuentran todas las actividades referentes a tensiones < 1000V, los mantenimientos a variadores de frecuencia y a motores, instalaciones de 110V, cableado eléctrico para alimentación de equipos, cambio de motores y variadores, mantenimiento de aires acondicionados. Etc.

4.2 Mantenimiento

Por parte del taller eléctrico, se realizan mantenimiento a cada uno de los variadores y motores instalados en los pozos productores

Durante un mantenimiento de un variador y motor, los pasos a seguir:

Para motor:

- Revisar bornes de conexión para descartar la existencia de puntos calientes.
- Realizar prueba de aislamiento para descartar daños en el devanado del motor.
- Verificar estado de rodamientos (se determina por el sonido generado por el motor).
- Lubricación de rodamientos.

Para variador:

Para el mantenimiento de un variador se llena un formato donde se encuentran diferentes variables como tensión de entrada, salida. Etc. Los pasos a seguir son:

- Análisis de calidad de energía en la entrada y salida del variador (Determina los armónicos, corrientes, tensiones, potencia).
- Medición de diodos rectificadores y de IGBT's en el lado inversor para comprobar su estado.
- Limpieza de componentes (Ventiladores para refrigeración, tarjetas. Etc.).
- Actualización de *firmware* de variador a la última versión.

Cada unidad de bombeo (Mecánico, PCP o electrosumergible) tiene un firmware distinto en el variador.

Durante el mantenimiento de un variador se detectó una falla en los rodamientos del motor, fue necesario realizar el cambio, para esto, se requería tener un motor de la misma potencia. Después de desmontado el motor en falla, Se le realizaron una serie de pruebas al nuevo motor como aislamiento y se energizó taller por medio de un variador de frecuencia que se utiliza para pruebas como se observa en la Figura 14, y así se comprobó que el motor estaba en buenas condiciones.



Figura 14. Prueba de motor eléctrico de 75HP en taller. [Autor].

4.3 Diagrama de zona industrial

Se conoce como zona industrial el sector donde se encuentran todas las instalaciones de Ecopetrol (Talleres de mantenimiento mecánico, eléctrico, control de producción, monitoreo, campamentos, etc.), esta zona se encuentra alimentada por uno de los circuitos de 6,9Kv (Cto3) el cual es reducido a 4160V, se realizó el diagrama unifilar de toda la zona industrial, teniendo en cuenta las subestaciones y los elementos como transformadores, cuchillas monopolares y seccionadores. El objetivo principal era tener una idea de los puntos en donde las líneas se pueden

interrumpir para realizar algún tipo de maniobra sin afectar el servicio eléctrico. Por ejemplo si se desea trabajar por un tramo determinado de la línea, este pueda ser desenergizado sin afectar ciertos lugares de la zona. Además de esto el diagrama que se tenía de la zona estaba desactualizado. El diagrama se hizo mediante AutoCAD.

4.4 Base de datos de S/E eléctricas y pozos PCP

Se hizo un recorrido por las subestaciones (S/E) que conforman el campo y los pozos alimentados a través de estas, para crear una base de datos de Excel actualizada de la potencia del transformador de cada S/E, que circuito alimenta la S/E, componentes y características de cada pozo, teniendo en cuenta la unidad de bombeo, el variador de frecuencia, calibres de cable y el estado (en servicio o no).

Para esta actividad se planteó recorrer las S/E en orden de circuitos, es decir, hacer un barrido de todas las S/E del circuito 1 luego del Cto2 Etc. Hay que tener en cuenta que esta actividad no es prioridad por lo que el trabajo puede ser detenido para realizar actividades de atención inmediata por lo que se completó únicamente el circuito 1.

Para complementar la actividad de la S/E eléctricas se realizó un levantamiento de información acerca de las características eléctricas de cada uno de los pozos PCP en servicio y se documentó en un archivo de Excel, entre las características se tuvieron en cuenta:

- Tipo de control.
- Corriente lado motor.
- Potencia lado motor.

- Calibre de cable.
- Material de cable y temperatura máxima.
- Longitud del cable (Variador - pozo).
- Potencia motor / Velocidad nominal / Resistencia del estator.

4.5 Protección de red eléctrica del campo

El Reconectador o recloser es un equipo eléctrico que se encarga de proteger una red eléctrica principalmente por sobrecorrientes de fase, falla a tierra, secuencia de fase negativa, baja/sobre frecuencia, baja/sobre tensión, pérdida de fase. Etc. Se recibió una capacitación sobre los reconectores Nulec® N38 (ver Figura 15), los cuales pertenecen a la empresa Schneider Electric. En la capacitación se trataron todo tipo de características técnicas del equipo, como configurarse y como establecer una comunicación para descargar los datos de eventos y parámetro configurados mediante el software WSOS. De esta forma este dispositivo se encarga de la automatización de la red. El equipo tiene la capacidad de entregar las variables del sistema, eventos de fallas ya sea de manera local o remota. Mediante los puertos de comunicación y tiene la posibilidad de configurar alarmas.



Figura 15. Reconectador N38 Nulec®. [11].

En la tabla 2 se observan las principales características eléctricas del modelo de reconectador instalado en campo.

Descripción característica	Valor Características
Voltaje del sistema	38KV
Capacidad de falla	16KA
Nivel de aislamiento	170KV
Corriente nominal	800A
Rango de temperatura	-40 a 50°C
Medición de corriente	3 CT's (2000:1)
Medición de voltaje	6 CVT's

Tabla 2. Características técnicas reconectador N38. [11].

En la figura 16. Se observa el panel del operador al abrir la caja de control en campo, los botones verde y rojo se encargan de abrir y cerrar el reconectador respectivamente, este panel tiene distintos leds para indicar el estado de las tres fases entre otras características, además tiene botones al lado derecho para la navegación y para activar o desactivar funciones. Durante la práctica, no se trataron aspectos complejos del reconectador, simplemente su apertura, cierre módulos de comunicación y las distintas funciones básicas como las protecciones que tiene, alarmas, historial de eventos y monitoreo de variables.

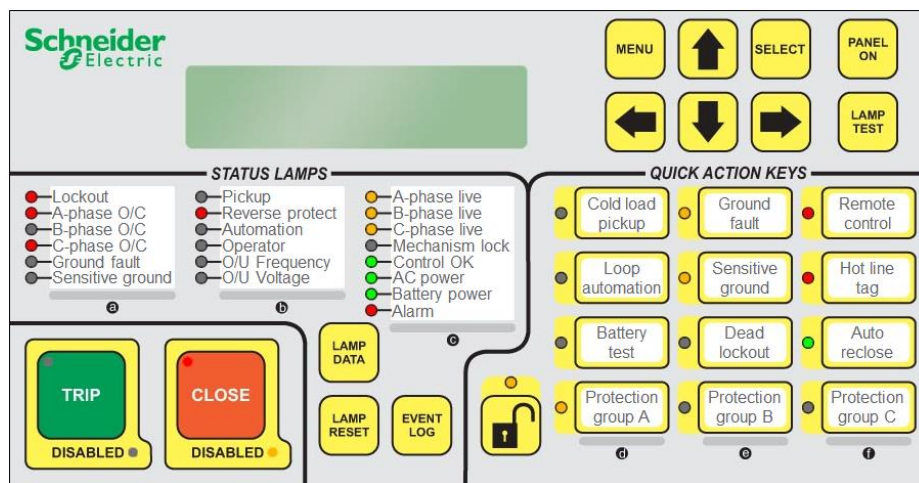


Figura 16. Panel de operador. [11].

4.6 Programa WSOS e instalación de antenas en reconectores

Para establecer comunicación y extraer datos del reconectador es necesario configurar un nuevo dispositivo en el software WSOS, este programa nos da la posibilidad de nombrar el dispositivo y de seleccionar el tipo de comunicación que deseamos establecer (Ver figura 17).

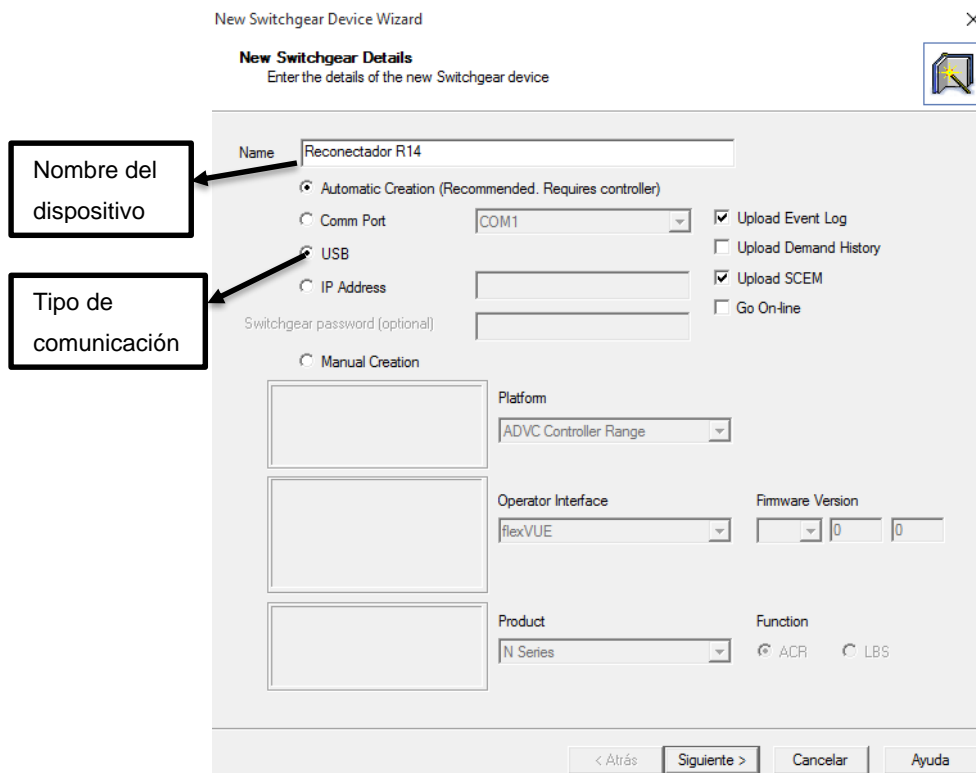


Figura 17. Creación de nuevo reconector. [Autor].

Al estar conectados con el equipo, se tiene la posibilidad de extraer los eventos y fallas que se ha presentado, además, se puede operar (abrir y cerrar) desde el programa, monitorear las variables en tiempo real y cargar nuevas funciones y parámetros.

En la imagen 18. se observa una simulación de un reconector, donde se muestran las variables que lee el reconector en ese momento, se utilizó una simulación debido a que solo el personal de Ecopetrol tiene acceso al archivo del reconector, su dirección IP y la contraseña asociada a cada reconector, sin embargo durante la práctica se obtuvieron datos de los conectores del campo.

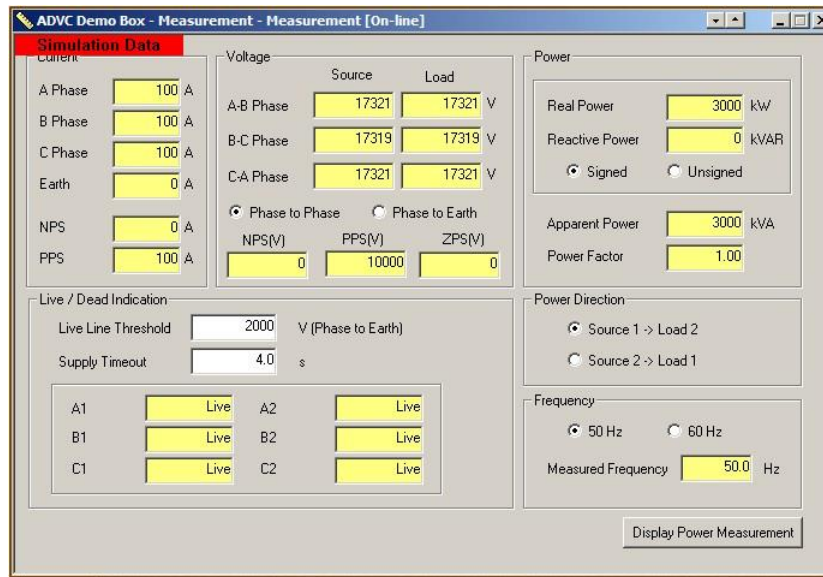


Figura 18. Variables leídas por el reconectador. [11].

Para poder monitorear la red eléctrica por medio de los reconectores, se instalaron radios para comunicación inalámbrica marca Ubiquiti® bullet M2 los cuales trabajan bajo el protocolo de comunicaciones TCP/IP. Para la puesta en marcha, se procede a configurar el radio ingresándole una dirección IP perteneciente a la red del CIO (Centro integrado de operaciones), de igual manera se configuraron los reconectores con una dirección IP perteneciente a la misma red y finalmente se conecta el radio al puerto Ethernet del reconector. De esta forma con el programa WSOS se puede monitorear de manera inalámbrica y para obtener datos de apertura características.

1. Se conecta un extremo de un cable Ethernet al radio y el otro extremo al puerto nombrado PoE en el adaptador PoE. Ver Figura 19.



Figura 19. Conexión de radio y adaptador PoE. [12]

El adaptador PoE (Power over the Ethernet), es un adaptador que se encarga de alimentar el radio Bullet por medio del cable Ethernet.

2. Conectar un cable Ethernet desde el puerto LAN del computador al puerto nombrado LAN en el adaptador PoE. Ver Figura 20.



Figura 20. Conexión de adaptador PoE y computador. [12].

3. Conectar el adaptador PoE a red eléctrica para alimentar el radio bullet para poder establecer comunicación y configurar. Ver Figura 21.

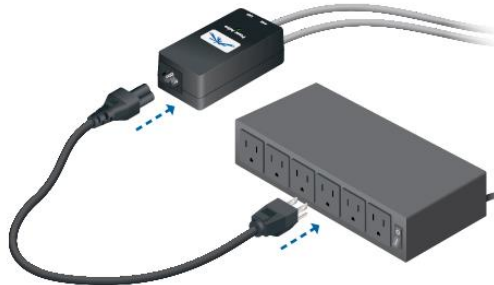


Figura 21. Alimentación de radio a través del PoE. [12].

4. Acceder a la interfaz de configuración del radio. para realizar este proceso se debe configurar el adaptador de red del computador a una dirección de red estática perteneciente a la subred 192.168.1.x, después de configurado, el computador va a estar conectado a la red del radio. Finalmente para acceder al radio y configurarlo se debe ingresar en el navegador la dirección IP 192.168.1.20 (Dirección por defecto de todos los radios). Por ultimo aparecerá una pantalla de inicio de sesión (Ver Figura 22) donde el usuario y contraseña por defecto son **ubnt**.



Figura 22. Interfaz de inicio de sesión. [12].

Al iniciar sesión se pueden configurar parámetros como la dirección IP, el tipo de antena, la ganancia, entre otras cosas. En este caso se configura la dirección IP perteneciente a la red del CIO y finalmente se ingresa la dirección correspondiente al reconectador mediante software WSOS.

Al instalar y configurar todos los equipos, el reconectador podrá comunicarse de forma inalámbrica. Las conexiones y el radio se observan en la Figura 23.

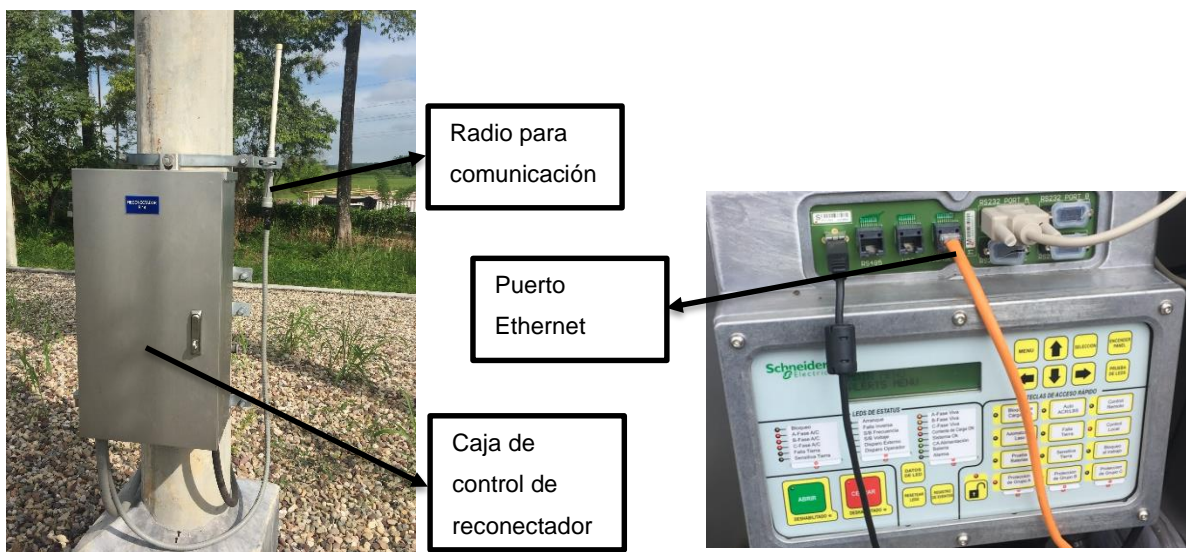


Figura 23. Reconectador con radio para monitoreo. [Autor].

4.7 Imágenes de Termografía

Una de las actividades principales en el Campo Casabe es la toma de imágenes de termografía para prevenir o corregir puntos calientes, los cuales se generan por un mal contacto o por un desgaste en los materiales conectados y pueden provocar aumento de la temperatura llegando a generar cortocircuitos.

Semanalmente se programan los puntos a visitar para realizar la termografía, al detectar un punto caliente, se informa de su presencia mediante un informe,

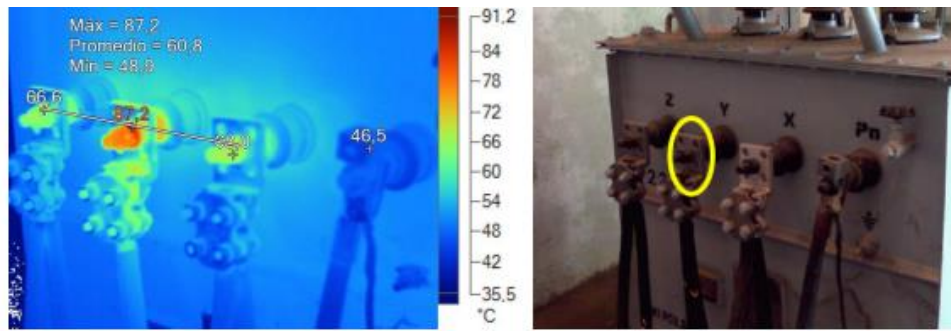
indicando la acción que se debe tomar para corregirlo, la urgencia que requiere y la temperatura a la cual se encuentra.

El equipo utilizado para esta actividad es una cámara térmica marca FLUKE® modelo Ti55FT (Ver Figura 24).



Figura 24. Cámara de termografía taller eléctrico. [Autor].

La figura 25. Muestra la condición de un punto caliente en el borne de la fase Y en un transformador ubicado en el taller eléctrico entregando un $\Delta T=19^{\circ}\text{C}$ Aprox. Su condición es moderada y puede ser programada su solución en un tiempo considerable.

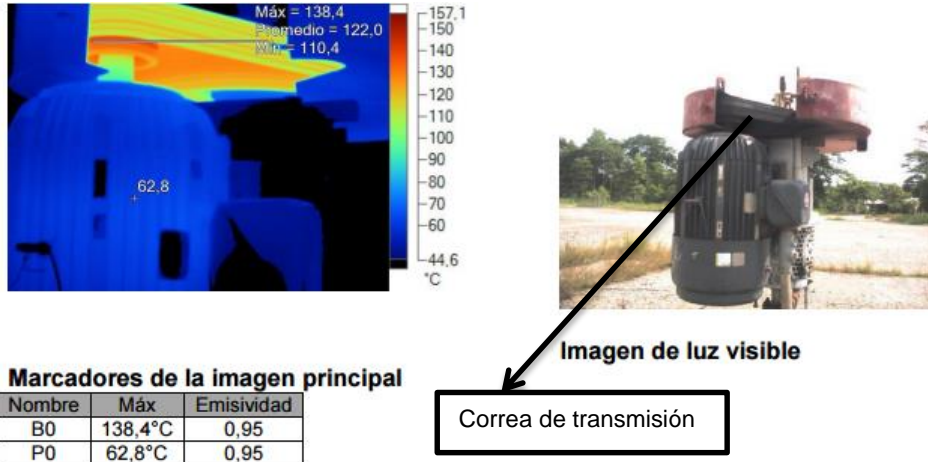


Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad
Caliente	87,2°C	0,94
P0	68,0°C	0,94
P1	66,1°C	0,94

Figura 25. Termografía en borneras de transformador. [Autor].

La figura 26. Muestra un punto caliente en la correa de una unidad de bombeo PCP y se encuentra ubicada en el pozo CBE 1140.



Marcadores de la imagen principal

Nombre	Máx	Emisividad
B0	138,4°C	0,95
P0	62,8°C	0,95

Figura 26. Termografía en cabezal de unidad de bombeo PCP. [Autor].

Las actividades mencionadas anteriormente fueron las actividades más importantes a nivel de aprendizaje y ejecución durante la práctica académica, además de estas actividades, se realizaban constantemente las conexiones o desconexiones de motores, conexión eléctrica de instrumentos o cualquier tipo de actividad eléctrica de atención inmediata que se presentaban diariamente.

Las bases de datos tanto de pozos como de S/E, el diagrama unifilar de la zona industrial, las imágenes de termografía, los mantenimientos a variadores de velocidad, la extracción de características de los reconectores y la instalación de radios son actividades que ocuparon gran parte del tiempo durante mi práctica académica.

4.8 Actividades complementarias

En la estación cóndor se encuentra un transformador de 12MVA el cual reduce la tensión de 34,5KV a 6,9KV para dirigir a las zonas que trabajan con estas tensiones, además hay un transformador de respaldo de 10MVA, sin embargo, este transformador se encontraba apagado por problemas de hurto y era necesario hacer pruebas con el fin de encenderlo más adelante. La primera prueba fue el aislamiento de las bobinas seguida de una prueba de relación de transformación inyectando una tensión en el devanado primario y midiendo la obtenida en el secundario. Finalmente se obtiene una muestra de aceite para enviar a laboratorio y poder determinar más características.


Entre otras actividades se encontraban las maniobras eléctricas para la instalación de antifauna. El antifauna son pequeños recubrimientos a las zonas de mayor incidencia de cortos generados por animales.

Para la instalación de antifauna, era necesaria la desenergización del punto donde se iba a trabajar. Para lograr esto, se deben maniobrar los reconectores y seccionadores del campo con el fin de afectar lo menos posible la producción.

Para realizar una maniobra era necesario documentar los pasos de la actividad, el alcance, la diferida (Barriles perdidos por paradas) y la firma de los jefes de departamento aprobando la maniobra. El personal de Ecopetrol es el encargado de las maniobras y el personal de Concrelec (Contratista), era el encargado de subirse a la red y realizar las actividades.

En las Figuras 27 a la Figura 31 se ilustra un protocolo el cual consiste en desenergizar la línea principal número 2 para que la refinería pueda realizar trabajos de mantenimiento. Para realizar esta maniobra es necesario trasladar la carga de la línea 2 hacia la línea 1.

En la Figura 27 se observa la primera parte del protocolo en la cual se especifican el objetivo de la actividad, el alcance, el tiempo de parada y la diferida en barriles.

	GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO
	PROTOCOLO PARA MANIOBRAS ELECTRICAS

PROTOCOLO PARA DESENERGIZAR LA LINEA 2 DE 34.5KV DEL CAMPO CASABE

- **FECHA DE LOS TRABAJOS:** VIERNES 09 DE DICIEMBRE DE 2016
- **HORARIO ESTIMADO DE TRABAJO:** 5:00 A.M. A 4:00 P.M

PROTOCOLO REVALIDADO

DÍA	MES	AÑO	DESDE (HORA)	HASTA (HORA)	FIRMA

1. OBJETIVO

PROTOCOLO PARA DESENERGIZAR LA LINEA 2 A 34.5KV PARA DESENERGIZAR LINEA 2 PARA REALIZAR TRABAJOS PROGRAMADOS POR PERSONAL DE MANTENIMIENTO GRB.

2. ALCANCE DEL PROCEDIMIENTO

EL ALCANCE DE LAS ACTIVIDADES A EJECUTAR PARA LA DESENERGIZACION DE LA LINEA 2 INYECCION DEL CAMPO CASABE, ES EL SIGUIENTE:

- ANILLADO DE LA PIA A TRAVES DE LA SUBESTACION DE PRODUCCION-CONDOR PARA ALIMENTACION DE LA PIA Y POZOS DE CAPTACION DE AGUA A TRAVES DE LINEA 1 PRODUCCION.
- APERTURA DE INTERRUPTOR I13A DE GRB
- MANIOBRAS PARA NORMALIZACION DE LA LINEA 2 INYECCION CASABE

3. TIEMPO DE PARADA REQUERIDO


- 8 HORAS

DIFERIDA: 0 BBLS con herramienta en mano.



Figura 27. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 1. [Autor].

En la Figura 28 se encuentran los aspectos de seguridad y el responsable de la actividad.

	GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO
	PROTOCOLO PARA MANIOBRAS ELECTRICAS

4. ASPECTOS DE SEGURIDAD

- La coordinación general de las maniobras para desenergizar, aislar y asegurar el sitio de trabajo estarán a cargo del ingeniero **JOSE RICARDO ROJAS SARMIENTO** encargado de la Logística y la Coordinación de los trabajos por parte del grupo de mantenimiento eléctrico de Ecopetrol.
- La apertura de los permisos de trabajo se realizara conforme se evidencie que todas las actividades y riesgos asociados están registrados en los AR y que están garantizadas las medidas de control.
- Estricto cumplimiento con las cinco reglas de oro de la seguridad del RETIE, Resolución N° 90708 del 30 de agosto de 2013, Artículo 18 numeral 18.1 pagina 128.
- Aplicar S.A.E.S (Candado de seguridad por cada líder de frente de trabajo de cualquier disciplina que dependa de la desenergización del (o los) circuito(s) y Tarjeta de bloqueo).

4.1. RESPONSABILIDAD.

- La persona responsable y que estará presente durante la ejecución de las maniobras por parte de Ecopetrol S.A.; es el funcionario **JOSE RICARDO ROJAS SARMIENTO**, Supervisor de mantenimiento eléctrico Campo Casabe.

NOTA: Las personas que ejecutan los trabajos deben tener en cuenta: para los trabajos que involucren electricidad se prohíbe el porte del celular, deberán dejarlo en lugar segura en campamento. Tampoco podrán portar ningún tipo de accesorio metálico tal como pulseras, anillos, relojes, cadenas, etc.

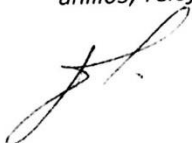



Figura 28. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 2. [Autor].

En la figura 29 se ilustran las condiciones actuales del campo y el proceso de desenergización.

5 CONDICIONES INICIALES DEL SISTEMA

- LINEA 1 ALIMENTADA POR EL INTERRUPTOR I01 EN LA ECP01 EN TERMOBARRANCA.
- LINEA 2 ALIMENTADA POR EL INTERRUPTOR I13A DE LA ET005 EN REFINERIA.

	GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO
	PROTOCOLO PARA MANIOBRAS ELECTRICAS


6. PROTOCOLO DE MANIOBRAS

6.1. DESENERGIZACION

	Maniobra o actividad	Coordinador	Ejecutor
1.	Informar a los coordinadores de producción y mantenimiento el inicio de las actividades	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
2.	Coordinar con el CCP la sincronización de las cargas, y la confirmación de esta.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
3.	Cerrar reconector RPC ubicado en el pórtico de enlace PIA-Producción.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	NELKY VASQUEZ
4.	Cerrar seccionador K3 ubicado en el pórtico 1 de Casabe.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE DELGADO
5.	Cerrar reconector R6 enlace entre pórtico 1 y pórtico 2, ubicado en el pórtico 2 de Casabe.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE DELGADO
6.	Confirmación de Gestion de desenergización de la planta GALAN conectada a la Línea 2 de Casabe.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	YOBANI BUITRAGO
7.	Confirmar con autogeneración Casabe Y casabe Sur el funcionamiento estable de las máquinas.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
8.	Solicitar la apertura del interruptor I13A ubicado en la GRB.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
9.	Abrir y aplicar SAES en el seccionador K4 ubicado en el pórtico 2 de Casabe.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	NESTOR DIAZ
10.	Solicitar un aumento en el tap del transformador GRB1 ubicado en la subestación magdalena medio, el tap actual está en la posición 12.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
11.	Entregar Línea 2 a 34.5 kV a Mantenimiento eléctrico de GRB	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS

Figura 29. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 3. [Autor].

En la Figura 30 se encuentra la normalización

	GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO
	PROTOCOLO PARA MANIOBRAS ELECTRICAS

11.2. ENERGIZACION Y NORMALIZACION


Una vez se haya terminado los trabajos programados, se ejecutaran las siguientes actividades:

	Maniobra o actividad	Coordinador	Ejecutor
1.	Confirmar con el personal de Mantenimiento eléctrico de GRB la finalización de los trabajos.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS Y JAVIER SANTAMARIA.
2.	Confirmar que el interruptor I13A se encuentre abierto.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS Y CCP
3.	Retirar SAES y cerrar el seccionador K4 ubicado en el pórtico 2 de Casabe.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	NESTOR DIAZ
4.	Informar a la planta GALAN energización de la Línea 2 de Casabe.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
5.	Coordinar con el CCP la sincronización de las cargas, y la confirmación de esta.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
6.	Solicitar al CCP el cierre del interruptor I13A ubicado en la GRB.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
7.	Abrir el reconectador R6 enlace entre pórtico 1 y pórtico 2, ubicado en el pórtico 2 de Casabe.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE DELGADO
8.	Apertura de Seccionador K3 ubicado en el pórtico 1 de Casabe.	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE DELGADO
9.	Abrir el reconectador RPC ubicado en el pórtico de enlace PIA-Producción	Técnicos ECP de Operación y Mantenimiento	NELKY VASQUEZ
10.	Solicitar el cambio del tap a 12 nuevamente, del transformador GRB1 ubicado en la subestación magdalena medio.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS S.
11.	Informar a los coordinadores de producción y mantenimiento la finalización de la maniobra.	Ingenieros ECP de Operación y Mantenimiento	JOSE RICARDO ROJAS



Figura 30. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 4. [Autor].

En la última página del protocolo (Ver Figura 31), se evidencian las firmas de los jefes y de los encargados del protocolo.

	GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO
	PROTOCOLO PARA MANIOBRAS ELECTRICAS

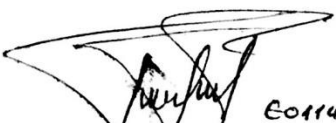
7. RESPONSABLES DE LOS TRABAJOS:



JOSE RICARDO ROJAS SARMIENTO
Mantenimiento Eléctrico ECP



NELKY VASQUEZ PACHECO
Mantenimiento Eléctrico ECP



JOSE ANGEL DELGADO
Mantenimiento Eléctrico ECP



NESTOR JULIO DIAZ
Mantenimiento Eléctrico ECP



FRANCISCO RUIZ BERGAÑO
Jefe de departamento de Mantenimiento ECP
09/09/2016.



7-7092

Figura 31. Protocolo de maniobras eléctricas en Campo parte 5. [Autor].

Entre las actividades importantes en el campo y que en su mayoría no es ejecutada por el personal de Ecopetrol pero tiene un aporte significativo es la revisión del estado de todos los equipos eléctricos como Aisladores, análisis de calidad de energía en S/E y el monitoreo de la puesta a tierra de todas las S/E del campo las cuales deben cumplir con el criterio exigido por el RETIE (Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas). Que en este caso sería 10Ω para S/E de media tensión (34,5KV y 6,9KV) como se evidencia en la Tabla 3.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

Tabla 3. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra. Fuente [Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas].]

5 CONCLUSIONES

- Documentar la información de los equipos eléctricos en campo es importante al momento de realizar algún tipo de actividad que los involucre, tales como agregar una carga nueva a una S/E en media tensión y en el caso de baja tensión un cambio de motor, variador, cableado Etc.
- La actualización constante del diagrama unifilar en campo y zona industrial es vital para realizar algún tipo de maniobra eléctrica sin cometer errores.
- La instalación de los radios y antenas en los reconectores del campo ayudan en la automatización de la red eléctrica tanto en la operación de los mismos ya que pueden despejar fallas sin la intervención del operador como en el monitoreo de las variables del sistema de forma remota.
- Brindar apoyo al personal de Ecopetrol fue importante para el proceso de aprendizaje debido a las constantes dudas que se fueron presentando e inmediatamente se aclararon.
- Inicialmente el apoyo al personal era enfocado en observar y resolver dudas, al adquirir conocimientos sobre las actividades realizadas en campo el apoyo se enfocaba en ejecutar las actividades junto con el personal, tales como aperturas de reconectores durante maniobras eléctricas, arranque de pozos a través de los variadores de velocidad. Etc.
- Los conocimientos adquiridos durante mi carrera profesional fueron de gran importancia al momento de comprender la topología de la red eléctrica, las maniobras realizadas en media tensión, los variadores de velocidad entre otros equipos.

- Como aspecto a tener en cuenta, basado en mi experiencia, a nivel de industria es muy importante el conocimiento en el área de instrumentos, y teniendo en cuenta que uno de los fuertes de la Ingeniería Mecatrónica es el control de procesos, los instrumentos son elementos importantes para lograr controlar variables, de esta forma, mi recomendación es reforzar la carrera en esta temática.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1]. Ecopetrol.com.co. (2016). *Nuestra Historia*. [En línea] Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/?urile=wcm%3Apath%3A/Ecopetrol_ES/Ecopetrol/nuestra-empresa/Quienes-Somos/acerca-de-nosotros/Nuestra+Historia.
- [2]. Ecopetrol.com.co. (2016). Marco Legal. [En línea] Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/?urile=wcm%3Apath%3A/Ecopetrol_ES/Ecopetrol/nuestra-empresa/Quienes-Somos/acerca-de-nosotros/Marco-Legal.
- [3]. Ecopetrol.com.co. (2016). Lo que Hacemos Información. [En línea] Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/lo-que-hacemos-informacion>.
- [4]. Ecopetrol.com.co. (2016). Misión y visión. [En línea] Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/marco-estrategico/mision-vision>.
- [5]. Ecopetrol.com.co. (2016). *Organigrama*. [En línea] Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional/organigrama>.
- [6]. koo, k. (2016). Upstream, Midstream, Downstream. [En línea] Petrolmalaysia.com. Disponible en: <http://www.petrolmalaysia.com/2016/09/upstream-midstream-downstream.html>
- [7]. Petrotecnologias.wordpress.com. (2016). Recuperación Mejorada de Petróleo. [En línea] Disponible en: <https://petrotecnologias.wordpress.com/tag/recuperacion-mejorada-de-petroleo/>.

[8]. Análisis de falla en los sistemas de bombeo mecánico del campo Cantagallo. Francisco Antonio Álvarez Lacayo, José Manuel vega castro, Escuela de ingeniería de petróleos. Universidad Industrial de Santander. 2008.

[9]. Evaluación del sistema de levantamiento por cavidades progresivas para crudos pesados en los campos TECA y NARE, Laura Juliana Ramírez Amado, Escuela de ingeniería de petróleos. Universidad Industrial de Santander. 2008.

[10]. Camilo Andrés Flórez Caicedo, Cándido Moisés Sierra moreno. Evaluación del cambio de bombeo mecánico y bombeo electrosumergible en 6 pozos de campo cantagallo. Escuela de ingeniería de petróleos. Universidad Industrial de Santander. 2008.

[11]. Schneider Electric. Recloser Solutions – Descripción técnica general. [Diapositivas].

[12]. UBIQUITI NETWORKS. Bullet titanium Quick Start Guide. [PDF].