

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La distorsión armónica que se genera en el punto de acoplamiento del sistema electrosumergible con la red de alimentación general en todos los pozos donde se encuentran instalados VSDs de las marcas: REDA-SCHLUMBERGER (12 pozos), BAKER-CENTRILIFT (15 pozos) y WOOD GROUP (3 pozos), tienen porcentajes elevados de  $THD_i$ , elevados, característicos para los VSDs de 6 pulsos.
- En el pozo PIC-08 (PICHINCHA-08) del campo Libertador, se encuentra instalado un VSD de 12 pulsos con su respectivo transformador reductor desfasador que genera un porcentaje de  $THD_i = 6\%$  y  $THD_v = 4\%$  en el punto de acoplamiento del respectivo VSD con la red de alimentación general (13.800 V), valores que se encuentran dentro de los límites que se recomienda en las normas IEEE 519 -1992, tomadas como referencia para el presente proyecto.
- En el campo Libertador, se encuentran instalados 15 VSDs de 12 pulsos que funcionan como VSDs de 6 pulsos, es necesario el cambio de los respectivos transformadores reductores por transformadores reductores desfasadores de  $30^\circ$ , para que los VSDs de 12 pulsos funcionen correctamente y se mejore la distorsión armónica de corriente en el punto de acoplamiento PCC1.
- La distorsión armónica de voltaje generada por una inversión del tipo PWM ASINCRÓNICO empleada en los VSDs de la marca REDA-SCHLUMBERGER en el punto de acoplamiento PCC2, tiene una mayor incidencia sobre el equipo de fondo ya que se puede encontrar en resonancia con la frecuencia del equipo de fondo.

- Las mediciones de  $THD_i$  que se realizan en el punto de acoplamiento PCC1, en los pozos donde se tienen instalados VSDs de 6 pulsos y VSDs de 12 pulsos (que funcionan como VSDs de 6 pulsos), encontrándose sobre el límite máximo que se recomienda en las normas IEEE 519 -1992 ( $THD_i < 15\%$ ).
- La distorsión armónica total de corriente que se genera en el punto de acoplamiento PCC1 del pozo PIC-02 (PICHINCHA-02) es del 65,5%, el mismo que se disminuye mediante el uso de un VSD de 12 pulsos con su respectivo transformador reductor desfasador alcanzando el valor de  $THD_i = 18,02\%$ , mismo que se encuentra fuera del límite que se recomienda en las normas IEEE-519 1992, a causa del elevado valor de la quinta y séptima componente armónica presente en el VSD de 6 pulsos que se encuentra instalado.
- El porcentaje de carga calculada que tienen los equipos de superficie y de fondo, en los pozos de bombeo electrosumergible del campo Libertador se encuentra con un valor máximo de 70% y el 85% para los motores electrosumergibles, valores que se mantienen para controlar la producción de agua de formación en los yacimientos.
- El consumo de corriente en el punto de acoplamiento PCC1, se reduce cuando se tienen sistemas de VSDs de 12 pulsos con transformadores reductores desfasadores de 30° hasta valores cercanos a las respectivas corrientes fundamentales.
- Con la reducción del consumo de corriente, la potencia total (incluida potencia de distorsión armónica) para sistemas de VSDs de 12 pulsos con transformadores reductores desfasadores de 30°, proyecta una disminución de potencia de todo el sistema electrosumergible mediante VSDs de: **420,55 kVA, 136,4 kW y una reducción de 1.101,47 kVAR** de potencia que consumen las componentes armónicas que se encuentran presentes y que son generadas por los VSDs en los pozos del campo Libertador.

- La potencia armónica que se calcula para los equipos de superficie y de fondo que se deben a la presencia del contenido armónico de corriente en los puntos de acoplamiento PCC1 y PCC2, no superan los valores máximos que permiten los respectivos equipos, por lo que este contenido armónico no tiene mucha incidencia sobre los mismos.
- El menor contenido armónico en el punto de acoplamiento PCC2, es generado por los VSDs de las marcas **WOOD GROUP** y **REDA-SCHLUMBERGER**, que utilizan igual tecnología en la etapa de inversión de voltaje pero diferentes métodos de disminución del contenido armónico en el respectivo punto.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se deberá realizar la medición de la distorsión armónica en otros sistemas que se encuentran implementados en el campo Libertador como son: sistema de bombeo horizontal por medio de reinyección del agua de formación, estaciones de producción y campamentos, que se encuentran eléctricamente conectados al Sistema Eléctrico Interconectado del Libertador (SEIL) y que pueden verse afectados por la distorsión armónica generada por toda la carga no lineal formada por los VSDs del sistema de bombeo electrosumergible.
- Monitorear y controlar la temperatura en los transformadores reductores y transformadores elevadores multi-taps, debido a que estos se encuentran con niveles bajos de refrigerante y pueden afectar a su normal funcionamiento.
- Exigir a las compañías que ofrecen el servicio de bombeo electrosumergible para que se suministre la suficiente información técnica acerca de todos sus equipos que se encuentran instalados en los respectivos pozos, debido a que no se cuenta con la suficiente información.
- Levantar un plano eléctrico de protecciones que se encuentran implementadas a lo largo de todo el sistema de bombeo electrosumergible, para verificar si la coordinación de protecciones que se tienen en los diferentes tramos se encuentra correctamente dimensionada y coordinada.

- El costo que se representa tener un sistema de VSDs de 12 pulsos con sus respectivos transformadores reductores desfasadores es de: **1.346.719,46 USD**, de los cuales **418.867,73 USD** se invertirán en el cambio de los transformadores reductores por transformadores reductores desfasadores en los pozos donde se tienen instalados VSDs de 12 pulsos que funcionan como VSDs de 6 pulsos y **927.851,73 USD** en el cambio de los VSDs de 12 pulsos con sus respectivos transformadores reductores desfasadores en los pozos donde se tienen instalados VSDs de 6 pulsos.
- En los pozos: **SEC-01, SEC-03, SEC-08, SEC-16, SEC-21, SEC-22, SEC-24, SEC-27, SEC-31, SEC-36, PIC-05, PIC-07, PCY-02 y PCY-04** ubicados en el campo Libertador, se deben cambiar los transformadores reductores por transformadores reductores desfasadores de 30<sup>º</sup> debido a que se encuentran instalados VSDs de 12 pulsos que funcionan como VSDs de 6 pulsos.
- En los pozos: **SEC-2, SEC-5, SEC-11, SEC-14, SEC-15, SEC-18, SEC-28, SEC-32, SEC-34, SHU-17, SHU-20, SHU-25, PIC-2 y PIC-03** ubicados en el campo Libertador, se debe realizar el cambio a un sistema de VSDs de 12 pulsos con sus respectivos transformadores reductores desfasadores, para que la distorsión armónica de corriente generada en el punto de acoplamiento PCC1 se encuentre dentro del límite que se recomienda en las normas IEEE-519 1992.
- El transformador reductor desfasador del pozo **SSQ-18 (SHUSHUQUI-18)** debe tener una relación de transformación unitaria con una potencia nominal de **550 kVA**, mismo que sirve para acoplar las dos entradas conversoras del VSD de 12 pulsos con el generador individual que se encuentra instalado en la respectiva locación.
- En los pozos: **SEC-18, SEC-28 y SEC-34**, donde se encuentran instalados VSDs de la marca **REDA SCHLUMBERGER** tienen un elevado valor de  $THD_v$  en el punto de acoplamiento PCC2, razón por la cual se debe modificar el valor de la frecuencia carry del control PWM ASINCRÓNICO en el respectivo VSD del pozo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **SHUGULÍ AMAGUA**, Jorge Patricio, “Diseño y Optimización del Bombeo Electrosumergible en la Producción de Petróleo en el Área Libertador”, Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica E.P.N., Quito- Ecuador, 2005.
- **HERRERA HEREDIA**, Juan Carlos, “Determinación de la Potencia de Transformadores para Alimentar Cargas No Lineales”, Facultad de Ingeniería Eléctrica E.P.N., Quito-Ecuador, Junio 1997.
- Departamento de Ingeniería del Área Libertador.
- **TEJADA**, A; **LLAMAS**, Armando, “Efectos de las Armónicas en los Sistemas Eléctricos”, ITESM.
- **DE LA ROSA**, Francisco, “Armónicas en los Sistemas Eléctricos en Instalaciones Petroleras Causas, Efectos y Soluciones”, ENGINEERING CONSULTANS OF VENEZUELA C.A., Septiembre 1999.
- **PELTON**, Bill, “VARIABLE SPEED DRIVERS APLICACIONES”, SCHLUMBERGER, Agosto 2000.
- **SCHLUMBERGER**, TRAINING COURSE.
- **BAKER HUGHES-CENTRILIFT**, “Conversión de 6 a 12 pulsos en Variadores de Frecuencia–Ventajas sobre el Manejo de Armónicos”, 2005.
- **BAKER HUGES-CENTRILIFT**, “CALIDAD DE ENERGÍA”, 2005.
- **DE LOS REYES** Jorge; **LLAMAS**, Armando; **BAEZ**, Jesús, “Factor de Potencia en Presencia de Armónicos”, Departamento de Ingeniería eléctrica ITESM.
- **LLAMAS**, Armando, “Índices Armónicos”, Departamento de Ingeniería Eléctrica ITESM.
- **IEEE STD 519 -1992**, “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems”.
- **COOPER POWER SYSTEMS**, “Transformer Derating Requeriments Due to the Efects of Harmonics in the Load Current”, Octubre, 1993
- **LOZANO**, Segundo, “Traducción de las Normas API sobre los Equipos de Bombeo Electrosumergible en Instalaciones Petroleras”, Septiembre del 2003.
- **CHANG**, G; **RIBEIRO**, P, ”Harmonics Theory”