

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**Facultad de Ingeniería de Petróleo,
Gas Natural y Petroquímica**



**“OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN UN EQUIPO DE
PERFORACIÓN ELÉCTRICO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE PETRÓLEO**

ELABORADO POR:

RICARDO NERUDA BRAVO MEZA

PROMOCIÓN 2007 - 2

LIMA – PERÚ

2011

DEDICATORIA

**A mis padres cuyo esfuerzo, dedicación y ejemplo
son la mejor inspiración en mi vida.**

A mi hermana por su apoyo incondicional

**A mis abuelas y abuelos por los valiosos consejos
que siempre me brindaron**

A mi familia por siempre estar pendiente de mi persona

**A mis ex compañeros de trabajo por haberme brindado
su incondicional y sincera amistad.**

**A Silvana del Carpio por ser la incondicional amiga que me apoyó
e impulsó a ir siempre hacia adelante.**

**A Koril Villavicencio por su ayuda y apoyo
brindado para este trabajo**

**A la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica
por ser mi segundo hogar y por los conocimientos adquiridos en ella**

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN UN EQUIPO DE PERFORACIÓN ELÉCTRICO

SUMARIO.....	PAG. 8
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	PAG. 10
• Antecedentes	
• Problemática	
• Formulación del problema	
• Justificación	
• Objetivos	
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	PAG. 13
• Fundamento teórico:	
○ Teoría de Motores	
○ Teoría de Generadores	
○ Teoría de Electricidad y Magnetismo.	
○ Teoría de SCR´s.	
○ Teoría de Eficiencia Energética.	
○ Teoría de Factor de Potencia.	
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	PAG. 38
• Hipótesis General	
• Variables identificadas	
• Metodología de la Investigación	
• Población y Muestra	
• Técnica de Recolección de Datos	
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE CARGA ENERGÉTICA DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN EN BASE A LA OPERACIÓN REQUERIDA.....	PAG. 41
CAPITULO V. OPORTUNIDADES DE MEJORA EN OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN.	PAG. 72

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....PAG. 77

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....PAG. 79

CAPÍTULO VIII. ANEXOS Y MATRIZ DE CONSISTENCIA.....PAG. 80

LISTA DE ILUSTRACIONES:

FIG.1 – MOTOR DIESEL A 4 TIEMPOS.

FIG.2 – MOTOR DIESEL A 2 TIEMPOS.

FIG.3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR.

FIG.4 – VOLTAJE DE LAS FASES DE UN SISTEMA TRIFÁSICO.

FIG.5 – EXPRESIONES MATEMÁTICAS DE LA LEY DE OHM.

FIG.6 – MÉTODO DE LA MANO IZQUIERDA.

FIG.7 – REGLA DE MANO DERECHA.

FIG.8 – ESQUEMA DE UN MOTOR DC.

FIG.9 – PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DC.

FIG.10 – ESQUEMA DE UN MOTOR AC.

FIG.11 – ESQUEMA DE UN TIRISTOR.

FIG.12 – DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SCR.

FIG.13 – ESQUEMA DEL FACTOR DE POTENCIA.

FIG.14 – GRÁFICA UNIFILAR DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN ELÉCTRICO.

FIG.15 – GRÁFICA UNIFILAR PARA EL SCR.

FIG.16 – FACTOR DE POTENCIA VS RPM DE BOMBAS DE LODO.

FIG. 17 – RENDIMIENTO DE ACCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y RENDIMIENTOS.

FIG. 18 – FACTOR DE POTENCIA VS. RPM DE BOMBAS DE LODO.

FIG. 19 – RENDIMIENTO DE ACCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y RENDIMIENTOS.

FIG 20. - POTENCIA EFECTIVA DEL EQUIPO Y POTENCIAS MECÁNICAS DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES.

FIG. 21- POTENCIA EFECTIVA DEL EQUIPO Y POTENCIAS MECÁNICAS DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES – DEPURADO.

FIG. 22 - POTENCIA EFECTIVA DEL EQUIPO Y POTENCIAS MECÁNICAS DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES - OPTIMIZADOS

FIG. 23 - COMPARACIÓN ENTRE EFICIENCIAS DE BOMBAS DE LODO

FIG. 24 – COMPARACIÓN ENTRE POTENCIAS DEL EQUIPO

FIG. 25 - COMPARACIÓN ENTRE FACTORES DE POTENCIA DEL EQUIPO NORMAL Y OPTIMIZADO.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 – DATOS PARA LA BOMBA DE LODO.

TABLA 2 – DATOS PARA EL DRAWWORK O MALACATE.

TABLA 3 – DATOS PARA EL TOP DRIVE.

TABLA 4 – TABLA DE PARES DE POLO PARA VELOCIDAD DE ROTACIÓN.

TABLA 5 – INFORMACIÓN DEL FABRICANTE SOBRE EL VARIADOR DE VELOCIDAD.

TABLA 6 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V.

TABLA 7 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 220 V.

TABLA 8 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR EXTERNO.

TABLA 9 – POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL DEL EQUIPO.

TABLA 10 – POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA TOTAL DEL EQUIPO.

TABLA 11 – CORRIENTE Y POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA DE LOS GENERADORES

TABLA 12 – RESULTADOS TOTALES DEL EQUIPO Y LOS GENERADORES.

TABLA 13 – DATOS PARA LA BOMBA DE LODO

TABLA 14 – RESULTADOS PARA LA BOMBA DE LODO.

TABLA 15 – DATOS PARA EL DRAWWORK O MALACATE.

TABLA 16 – RESULTADOS PARA EL DRAWWORK O MALACATE.

TABLA 17 – DATOS PARA EL TOP DRIVE.

TABLA 18 – INFORMACIÓN DEL FABRICANTE SOBRE EL VARIADOR DE VELOCIDAD.

TABLA 19 – RESULTADOS PARA EL TOP DRIVE.

TABLA 20 - DATOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V.

TABLA 21 - RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V.

TABLA 22 - DATOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 220 V.

TABLA 23 - RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 220 V.

TABLA 24 - DATOS PARA EL TRANSFORMADOR EXTERNO DE 440 V.

TABLA 25 - RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR EXTERNO DE 440 V.

TABLA 26 – POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL DEL EQUIPO.

TABLA 27 – POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA TOTAL DEL EQUIPO.

TABLA 28 - RESULTADOS FINALES PARA EL EQUIPO.

TABLA 29 – CORRIENTE Y POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA DE LOS GENERADORES

TABLA 30 - RESULTADOS PARA EL EQUIPO Y GENERADORES OPTIMIZADOS.

TABLA 31 - RESULTADOS PARA EL EQUIPO Y GENERADORES SIN OPTIMIZAR.

SUMARIO

El presente estudio consta de 8 capítulos dentro de los cuales se demuestra de qué manera se puede optimizar el uso de la energía en un equipo de perforación eléctrico. Esto mediante el uso de herramientas de precisión que nos permitirán realizar cálculos de carga energética, factor de potencia y eficiencias. Dichas herramientas serán de mucha utilidad en la simulación para pozos futuros, ya con ellas se podrá predecir y realizar apropiadas optimizaciones energéticas cuando estas sean requeridas. Por otro lado se debe tener en cuenta que dichas herramientas tienen a su favor la fácil adaptabilidad para los distintos diseños de pozo y equipos de perforación eléctricos.

El CAPÍTULO I contiene el planteamiento del problema. Describiendo los antecedentes, la problemática actual, la formulación y justificación del problema, así como la descripción de los objetivos del presente estudio.

El CAPÍTULO II explica el fundamento teórico usado para el presente estudio. El cual describe los principios de funcionamiento de motores diesel, generadores y SCR's, así como también describe las teorías de electricidad, magnetismo y eficiencia energética.

El CAPÍTULO III describe el marco metodológico empleado para desarrollar el estudio. En este capítulo se describe la hipótesis general, las variables identificadas, qué tipo de metodología de la investigación se usó, la población y muestras identificadas, así como el tipo de recolección de datos para los cálculos posteriores.

El CAPÍTULO IV muestra el cálculo de carga energética de un equipo de perforación eléctrico para un momento dado, en el cual éste se encontraba operativo y en operación. Aparte también muestra otro cálculo de carga energética para el mismo equipo pero con un cambio en algunas variables independientes, todo esto bajo la misma fase de pozo y tipo de operación. Dichos cálculos nos serán útiles para entender y explicar si es posible lograr la optimización energética que buscamos.

El CAPÍTULO V nos muestra la simulación de carga energética para la operación de un pozo completo. Dicha simulación puede servir como estimación para pozos futuros, y con ello poder predecir o tener en cuenta los momentos adecuados para efectuar optimizaciones energéticas en un equipo de perforación, siendo esta una oportunidad de mejora y aporte para la industria.

El CAPÍTULO VI detalla las conclusiones obtenidas en el estudio luego de los análisis y cálculos respectivos. Así como también muestra las recomendaciones con las que puede mejorar aún más las optimizaciones energéticas en un equipo de perforación eléctrico.

El CAPÍTULO VII describe la bibliografía revisada para el presente estudio.

El CAPÍTULO VIII muestra las especificaciones técnicas usadas para hallar algunos cálculos utilizados en el estudio. Así como también los datos utilizados en la simulación del CAPÍTULO V.

CAPÍTULO I.

ANTECEDENTES

Inicialmente los equipos de perforación eran totalmente mecánicos y controlados mayormente por cadenas de transmisión. Debido a sus serias ineficiencias se optó por modernizar los equipos de perforación y emplear motores de corriente continua (en su mayoría) y motores de corriente alterna (en minoría). Es por ello que la potencia consumida en los equipos de perforación dejó de analizarse netamente como mecánica y pasó a evaluarse básicamente como eléctrica, más específicamente como potencia aparente, la que puede ser deducida a partir de la potencia mecánica, el voltaje y la corriente eléctrica.

PROBLEMÁTICA

Actualmente existen una gran cantidad de problemas debido al uso ineficiente de la energía, esto se debe más que todo a una gestión inadecuada en la administración de recursos o variables y no generalmente a la capacidad o actualización de la tecnología existente. En los últimos tiempos el crecimiento de los costos energéticos ha pasado a ser parte preocupante y creciente dentro de los costos de operación y los métodos tradicionales de administración de los recursos energéticos; los cuales no se logran disminuir sin realizar grandes inversiones en cambios de tecnología, las que deben ser justificadas.

En un equipo de perforación la energía es generada a partir de motores diesel que impulsan generadores eléctricos generando una corriente alterna, la cual es distribuida por centros de control de motores eléctricos y controlada por rectificadores tipo SCR y variadores de velocidad. Teniendo en cuenta que la carga necesaria es requerida enteramente por el tipo de operación que se realiza con el equipo, se tiene que seleccionar las asignaciones correspondientes a la maniobra en la consola de mando del SCR, es en este ciclo en donde se debe analizar la mejor manera de planear como será esta distribución según el pozo planeado o propuesto y según las mediciones y datos obtenidos en pozos anteriores.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Durante la perforación siempre se encuentran distintas cantidades de problemas, los cuales varían desde aquellos vinculados a la ingeniería hasta problemas logísticos. Muchas veces estos inconvenientes se manejan en un primer plano de importancia, dejando de lado un problema fundamental en el funcionamiento de un equipo durante la perforación; dicho problema se rige estrictamente a la cantidad de carga energética que necesita un equipo de perforación, para lograr cumplir ciertas exigencias operativas tales como: los parámetros de diseño según la clasificación de equipo, las exigencias y requerimientos mínimos de un plan de pozo o las exigencias máximas de un contrato escrito y firmado. Como se sabe existen ciertas maniobras durante la perforación de un pozo que usan una mayor cantidad de carga energética que otras. Todo ello nos presenta las siguientes interrogantes: ¿Se puede realizar una adecuada y eficiente optimización energética en el equipo de perforación? ¿Estará nuestro equipo de perforación preparado para entregar el requerimiento solicitado de carga energética?, ¿Será posible estimar en base a ciertos parámetros el posible desempeño de nuestro equipo?, ¿Estamos siendo eficientes en el uso de la energía del equipo de perforación? y ¿Cómo podremos mejorar su uso?

JUSTIFICACIÓN

Una adecuada optimización energética en un equipo de perforación nos permitirá entre otras cosas poder predecir e identificar la mejor manera de afrontar los requerimientos energéticos o parámetros requeridos que se necesitan para perforar los diferentes diseños de pozos proporcionados por las empresas operadoras. Aparte esto nos puede ayudar a tener monitoreada en tiempo real la carga del equipo, teniendo para ello un monitoreo en global como de los componentes principales de este (drawwork, top drive y bombas de lodo).

Aparte de esto dicho análisis nos permitirá observar si es que dicho uso de carga se está llevando a cabo eficientemente, esto quiere decir que luego del análisis global de cargas del equipo posteriormente se puede describir e identificar donde están las pérdidas energéticas del sistema, relacionar estas pérdidas o a los procedimientos de trabajo o a la tecnología actual usada, establecer y monitorear en tiempo real indicadores de eficiencia que nos permitan evaluar técnica y económicamente como mejorar la reducción de las pérdidas relacionadas a la tecnología usada actualmente.

OBJETIVOS

Tener un equipo de perforación en funcionamiento óptimo nos permitirá:

- Incrementar la capacidad de carga para el requerimiento del equipo.
- Proponer mejoras o alternativas en planes de pozo o en el mismo equipo de perforación, obviamente teniendo en cuenta los requisitos de la operación.
- Minimizar costos incrementando la eficiencia de funcionamiento, tanto con una buena administración de cargas o con mejoras tecnológicas significativas.
- Analizar las cargas de energía de partes principales del equipo, así como en global.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

FUNDAMENTO TEÓRICO

❖ TEORÍA DE MOTORES DIESEL:

Fueron inventados y patentados por Rudolf Diesel en 1892. Fueron diseñados inicialmente y presentados como el primer motor para biocombustibles, como el aceite puro de palma o de coco.

El motor diesel tal y como lo conocemos existe tanto en el ciclo de 4 tiempos como de 2 tiempos. El ciclo de 4 tiempos es usado para aplicaciones de vehículos terrestres por carretera como automóviles, camiones y autobuses, mientras que los de ciclo de 2 tiempos son usados para aplicaciones de vehículos terrestres por carretera como automóviles, camiones y autobuses.

FUNCIONAMIENTO

Un motor diesel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de autocombustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Ésta es la llamada autoinflamación.

La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños que presenta el inyector de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión (entre 700 y 900 °C). Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo.

Esta expansión, al revés de lo que ocurre con el motor de gasolina, se hace a presión constante ya que continúa durante la carrera de trabajo o de expansión. La biela transmite

este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

Para que se produzca la autoinflamación es necesario alcanzar la temperatura de inflamación espontánea del diesel. En frío es necesario pre-calentar el diesel o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo fluctuando entre los 220 °C y 350 °C, que recibe la denominación de gasóleo o gasoil en inglés.

Existen motores diesel tanto de 4 tiempos (como en los vehículos terrestres por carretera) como de 2 tiempos (grandes motores marinos y de tracción ferroviaria).

CICLO DE LOS MOTORES DE CUATRO TIEMPOS

En estos tipos de motores ocurren las siguientes fases:

1. Durante la primera fase el pistón se desplaza hasta el PMI (Punto Muerto Inferior) y la válvula de admisión permanece abierta, permitiendo que se aspire la mezcla de combustible y aire hacia dentro del cilindro (esto no significa que entre de forma gaseosa).
2. Durante la segunda fase las válvulas permanecen cerradas y el pistón se mueve hacia el PMS (Punto Muerto Superior), comprimiendo la mezcla de aire y combustible. Cuando el pistón llega al final de esta fase, la bujía se activa y enciende la mezcla.
3. Durante la tercera fase se produce la combustión de la mezcla, liberando energía que provoca la expansión de los gases y el movimiento del pistón hacia el PMI (Punto Muerto Inferior). Se produce la transformación de la energía química contenida en el combustible en energía mecánica transmitida al pistón. Él la trasmite a la biela, y la biela la trasmite al cigüeñal.
4. En la cuarta fase se abre la válvula de escape y el pistón se mueve hacia el PMS (Punto Muerto Superior), expulsando los gases producidos durante la combustión y quedando preparado para empezar un nuevo ciclo (renovación de la carga).

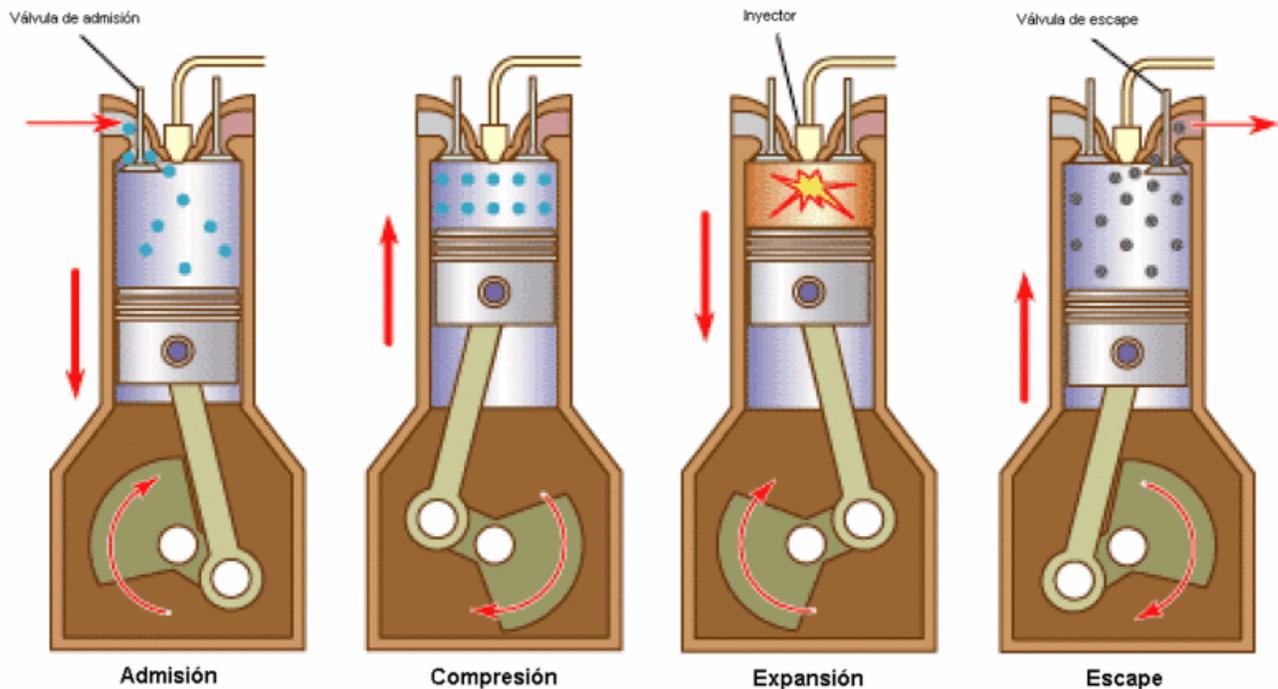


FIG. 1. MOTOR DIESEL A 4 TIEMPOS

Para mejorar el llenado del cilindro, también se utilizan sistemas de sobrealimentación, ya sea mediante empleo del turbocompresor o mediante compresores volumétricos o también llamados compresores de desplazamiento positivo.

CICLO DE LOS MOTORES DOS TIEMPOS (2T)

En los motores de 2 tiempos, el ciclo operativo es realizado en dos carreras, por lo que la admisión del fluido activo debe efectuarse durante una fracción de la carrera de compresión, y el escape, durante una fracción de la carrera de trabajo. Para ello se verifique, es necesario que el fluido activo sea previamente comprimido para poder entrar en el cilindro y que el escape de los gases de combustión se realice por su propia presión.

1. (Admisión – Compresión). Cuando el pistón alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior) empieza a desplazarse hasta el PMS (Punto Muerto Superior), creando una diferencia de presión que aspira la mezcla de aire y combustible por el punto de admisión hacia el cárter de pre-compresión, no necesariamente de forma Gaseosa). Cuando el pistón cubre el punto de admisión deja de entrar mezcla, y durante el resto del recorrido descendente el pistón la comprime en el cárter inferior, hasta que se descubre el

punto de transferencia que lo comunica con la cámara de compresión, con lo que la mezcla fresca pre-comprimida ayuda a expulsar los gases quemados del escape (renovación de la carga)

2. (Expansión – Escape de Gases). Una vez que el pistón ha alcanzado el PMS y la mezcla está comprimida, se la enciende por una chispa entre los dos electrodos de la bujía, liberando energía y alcanzando altas presiones y temperaturas en el cilindro. El pistón se desplaza hacia abajo, realizando trabajo hasta que se descubre la válvula de escape. Al estar a altas presiones, los gases quemados salen por ese orificio.

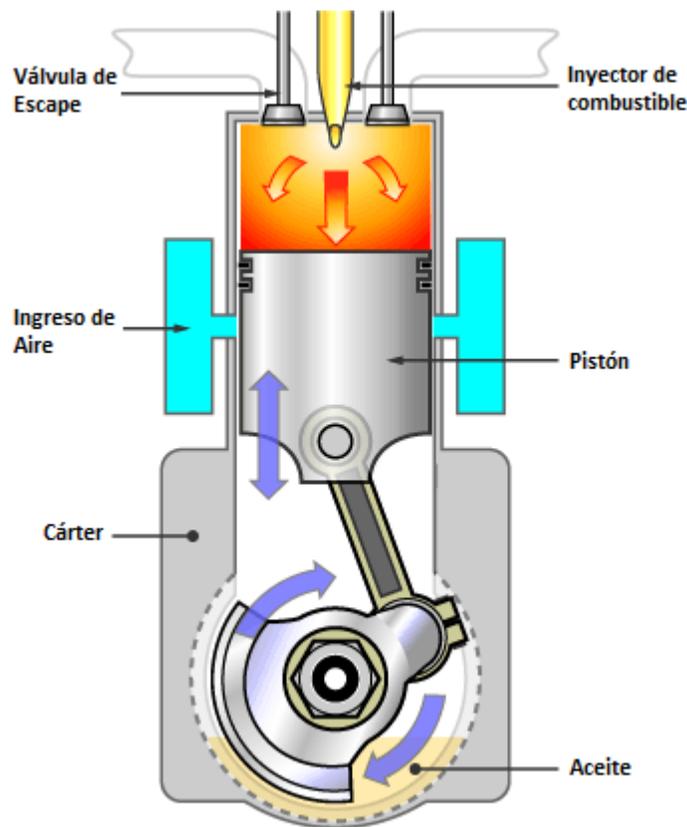


FIG 2. MOTOR DIESEL A 2 TIEMPOS

El rendimiento de este motor es inferior respecto al motor de 4 tiempos, ya que tiene un rendimiento volumétrico menor y el escape de gases es menos eficaz. También son más contaminantes. Por otro lado, suelen dar más par motor en unidad de tiempo (potencia) para la misma cilindrada, ya que este hace una explosión en cada revolución, mientras el motor de 4 tiempos hace una explosión por cada 2 revoluciones, y cuenta con más partes móviles. En

el pasado fueron sumamente populares por sus elevadas prestaciones en las motocicletas hasta una cierta cilindrada, ya que al aumentar ésta su consumo era excesivo.

❖ TEORÍA DE GENERADORES

Los generadores usados en perforación son por definición sincrónicos, lo cual significa que la frecuencia eléctrica producida esta entrelazada o sincronizada con la tasa mecánica de rotación del generador.

En un generador sincrónico se aplica una corriente continua al bobinado del rotor, la cual produce un campo magnético. De esta manera cuando al rotor del generador se lo hace girar mediante un motor primario, produce un campo magnético rotacional dentro de la maquina. Este campo magnético rotacional induce un grupo trifásico de voltajes en los bobinados del estator del generador. En esencia, el rotor de un generador sincrónico es un gran electro imán. En generadores grandes, como el de la FIG. 3, para suministrar la corriente continua al campo del rotor se utilizan excitatrices. Una excitatriz es un generador de corriente alterna pequeño cuyo circuito de campo está montado en el estator y su circuito de armadura está montado sobre el eje del rotor. La salida trifásica del generador excitador es rectificada a corriente continua a través de un puente rectificador trifásico montado en el eje del generador. De esta manera controlando la corriente de campo de la excitatriz, es posible ajustar la corriente de campo de la maquina principal.

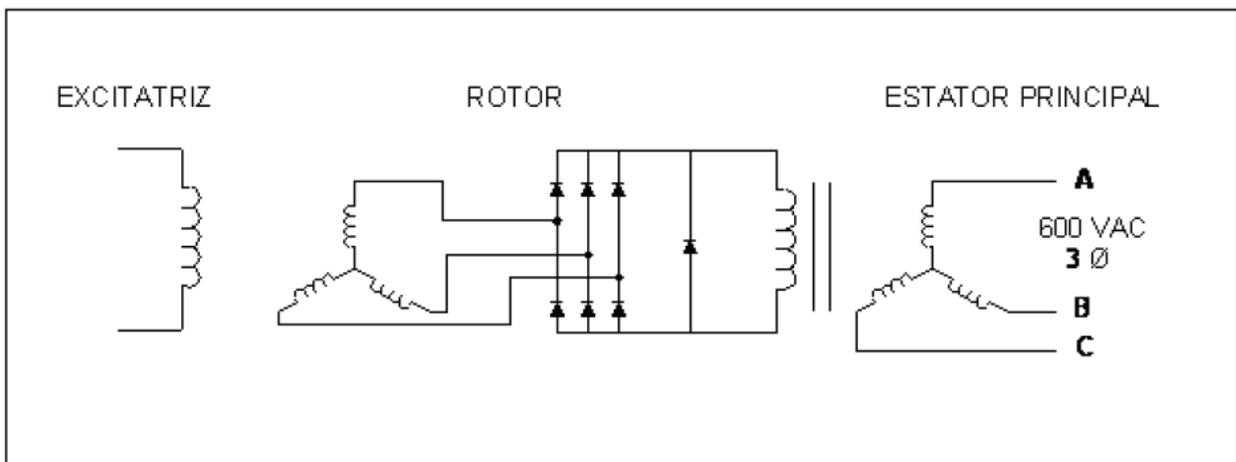


FIG. 3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR

❖ TEORÍA DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

CORRIENTE CONTINUA

La corriente continua o directa (DC) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Aunque comúnmente se identifica la corriente continúa con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería), es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad.

CORRIENTE ALTERNA

Se denomina corriente trifásica o alterna (AC) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía.

La generación trifásica de energía eléctrica es la forma más común y la que provee un uso más eficiente de los conductores. La utilización de electricidad en forma trifásica es común mayoritariamente para uso en industrias donde muchas de las máquinas funcionan con motores para esta tensión.

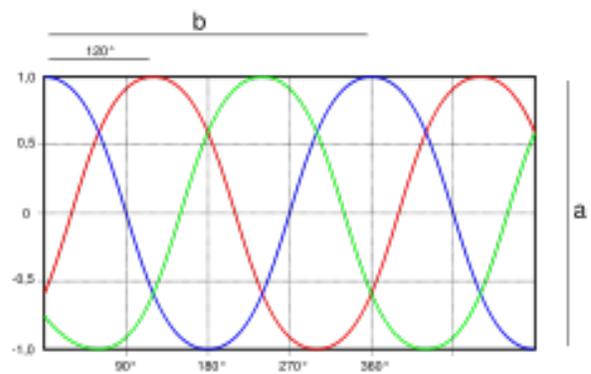


FIG 4. Voltaje de las fases de un sistema trifásico. Entre cada una de las fases hay un desfase de 120°.

La corriente trifásica está formada por un conjunto de tres formas de onda, desfasadas una respecto a la otra 120° grados, según el diagrama que se muestra en la FIG. 4.

DEFINICIÓN DE RESISTENCIA

Es la propiedad que tienen los cuerpos de oponerse al paso de la corriente eléctrica. Constituye una condición propia de cada material. Se simboliza con la letra “R” y su unidad de medida es el “ohm”, simbolizado con la letra griega “omega” (Ω).

La resistencia es mínima en los materiales llamados conductores, que se caracterizan por la relativa facilidad con que permiten el paso de la corriente eléctrica; es relativamente grande en los llamados semiconductores y es muy grande en los materiales llamados aislantes.

LEY DE OHM

Es aquella que dice que la intensidad de la corriente es directamente proporcional a la tensión eléctrica (voltaje) e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. Las expresiones matemáticas de la Ley de Ohm se aprecian en la FIG. 5

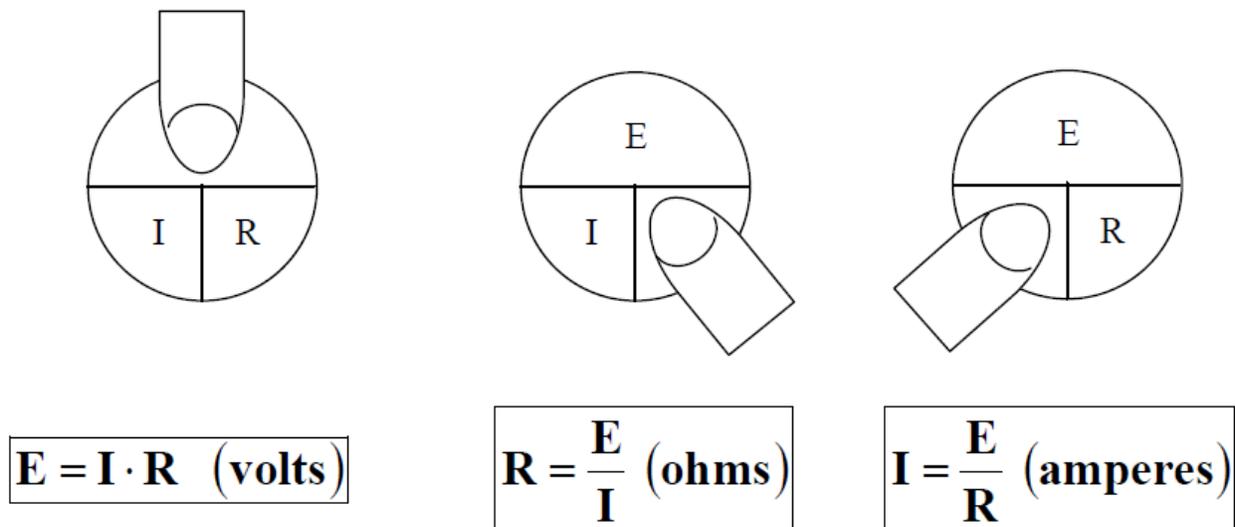


FIG. 5 – EXPRESIONES MATEMÁTICAS PARA LA LEY DE OHM

POTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA

La potencia es la velocidad con la que se realiza el trabajo y se mide por la cantidad de energía que se convierte de una forma a otra forma en la unidad de tiempo. Se denomina con la letra P y se mide en Watts.

$$P = V \times I$$

Donde:

V	=	Voltaje en Voltios
I	=	Corriente en Amperes
P	=	Potencia en Watts

De las expresiones matemáticas de la Ley de Ohm sabemos que:

$$V = I \times R$$

$$I = \frac{V}{R}$$

Reemplazando las expresiones anteriores en la expresión 1, nos queda en un primer momento:

$$P = R \cdot I^2$$

Y luego:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA

Cuando se trata de corriente alterna (AC) sinusoidal, el promedio de potencia eléctrica desarrollada por un dispositivo de dos terminales es una función de los valores eficaces o valores cuadráticos medios, de la diferencia de potencial entre los terminales y de la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo.

La representación matemática de la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado está dada por la ecuación:

$$P = \sqrt{3} \times I \times V \times \cos \phi$$

POTENCIA APARENTE

La potencia compleja (cuya magnitud se conoce como potencia aparente) de un circuito eléctrico de corriente alterna, es la suma (vectorial) de la potencia que disipa dicho circuito y se transforma en calor o trabajo (conocida como potencia activa o real) y la potencia utilizada para la formación de los campos eléctrico y magnético de sus componentes que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía (conocida como potencia reactiva).

Esta potencia no es la realmente “útil”, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \phi = 1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a “almacenar” las bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S y se mide en volt-amperios (VA) (la potencia activa se mide en vatios (W), y la reactiva se mide en volt-amperios reactivos (VAR))

La fórmula de la potencia aparente es:

$$S = I \times V$$

POTENCIA REAL

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos.

Se designa con la letra P y se mide en WATTS (W). De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

$$P = V \times I$$

Resultado que indica que la potencia activa es debida a los elementos resistivos.

POTENCIA REACTIVA

Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo necesario. Por ello que se dice que es una potencia desvatada (no produce vatios), se mide en volt-amperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

A partir de su expresión:

$$Q = S \times \text{SEN}\phi$$

Lo que reafirma en que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos.

VOLTAJE INDUCIDO POR UN CAMPO MAGNÉTICO VARIABLE

Vamos a analizar como un campo magnético puede afectar sus alrededores. La Ley de Faraday establece que si un flujo atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en ésta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio de flujo con respecto al tiempo, lo cual se expresa con la siguiente ecuación:

$$e_{ind} = \frac{d\phi}{dt}$$

Donde: e_{ind} = voltaje inducido en la bobina

N = numero de vueltas de alambre en la bobina

ϕ = flujo que circula en la bobina

La ley de Faraday es la propiedad fundamental de los campos magnéticos que intervienen en la operación de los transformadores.

Un flujo variable en el tiempo induce voltaje dentro de un núcleo ferromagnético, causando flujos de corriente que circulan por este, calentándolo. Este el caso de los electroimanes los cuales se implementan con un núcleo ferromagnético, un arrollamiento de hilo conductor y el paso de una corriente continua. La finalidad de usar el núcleo ferromagnético es conseguir mayor sur intensidad de campo magnético. Para determinar la posición de los polos norte y sur. Se usa el siguiente método, los dedos de la mano izquierda apuntan en sentido del flujo de la corriente y el pulgar apuntará al polo norte.

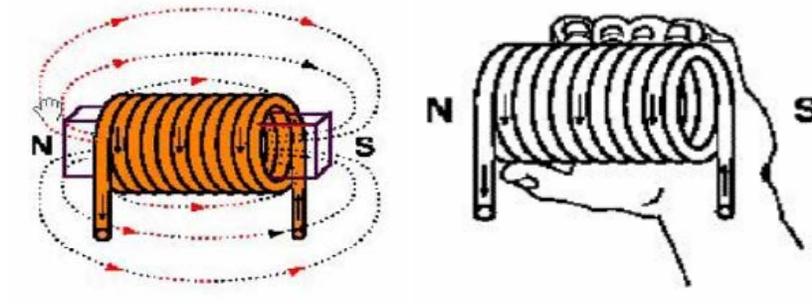


FIG 6. MÉTODO MANO IZQUIERDA

FUERZA INDUCIDA EN UN CONDUCTOR (INDUCCIÓN AL MOVIMIENTO)

Un segundo efecto importante de un campo magnético sobre sus alrededores es que induce una fuerza sobre un alambre conductor que porta corriente y se encuentra dentro de un campo. El concepto se ilustra en la FIG. 7, que muestra ejemplos de conductores dentro de campos magnético uniformes de densidad de flujo B , y que apunta hacia el interior de la hoja. El conductor del lado izquierdo mide L metros y porta una corriente de i amperes. La Fuerza inducida sobre el conductor de la izquierda estará dada por:

$$F = i \cdot (L \times B)$$

Donde i = corriente que circula por el alambre
 L = longitud del alambre
 B = vector de densidad de flujo magnético

La dirección de la fuerza se determina por la regla de la mano derecha: si el dedo pulgar de la mano derecha apunta en la dirección del vector L y el dedo mayor apunta en dirección del vector B , entonces el dedo índice apuntará en dirección de la fuerza resultante sobre el alambre.

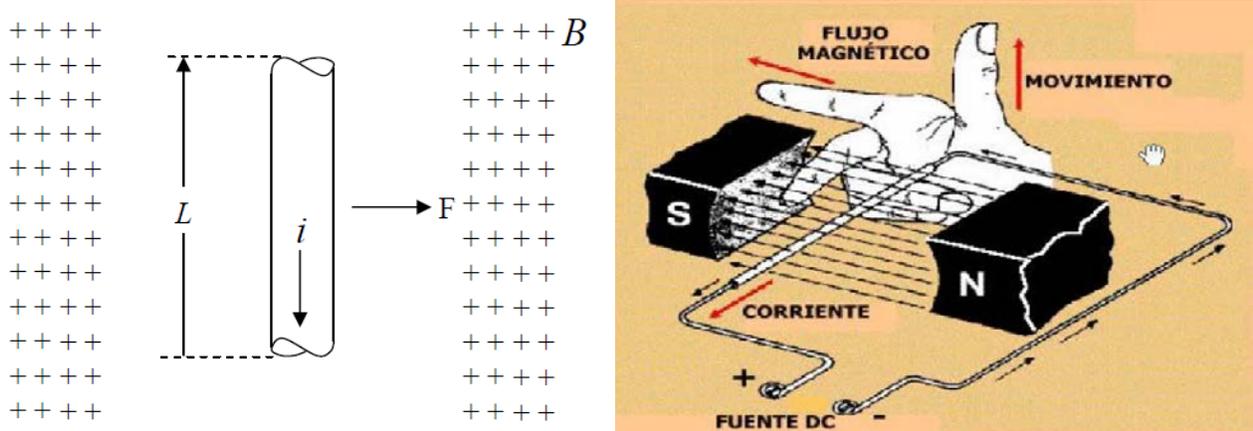


FIG. 7 – REGLA DE LA MANO DERECHA.

INTRODUCCIÓN A MOTORES ELÉCTRICOS DC Y AC

Los motores eléctricos son las máquinas que mueven la industria pues sirven como medio de transformación de energía eléctrica a energía mecánica.

MOTORES DC

Los motores de corriente continua de excitación separada siguen son motores ampliamente utilizados para accionar máquinas a velocidad variable. Muy fáciles de miniaturizar, se imponen en las potencias muy bajas. Se adaptan igualmente bien a la variación de velocidad con tecnologías electrónicas simples y económicas, a las aplicaciones en las que se requiere un alto rendimiento e incluso a las potencias elevadas (varios megavatios).

Sus características también permiten regular con precisión el par, tanto en modo motor como en modo generador. Su velocidad de rotación nominal puede adaptarse fácilmente mediante fabricación a todo tipo de aplicaciones, ya que no depende de la frecuencia de la red. En cambio, son menos robustos que los motores asíncronos y requieren un mantenimiento regular del colector y de las escobillas.

Sus partes son:

- El inductor o estator: Es un elemento de circuito magnético inmóvil sobre el que se bobina un devanado para producir un campo magnético. El electroimán resultante consta de una cavidad cilíndrica entre sus polos.
- El inducido o rotor: Es un cilindro de chapas magnéticas aisladas entre sí y perpendiculares al eje del cilindro. El inducido es móvil en torno a su eje y queda separado del inductor por un entrehierro. A su alrededor, varios conductores se reparten de manera regular.
- El colector y las escobillas: El colector es solidario del inducido, las escobillas son fijas. Los conductores del inducido se alimentan por medio de este dispositivo.

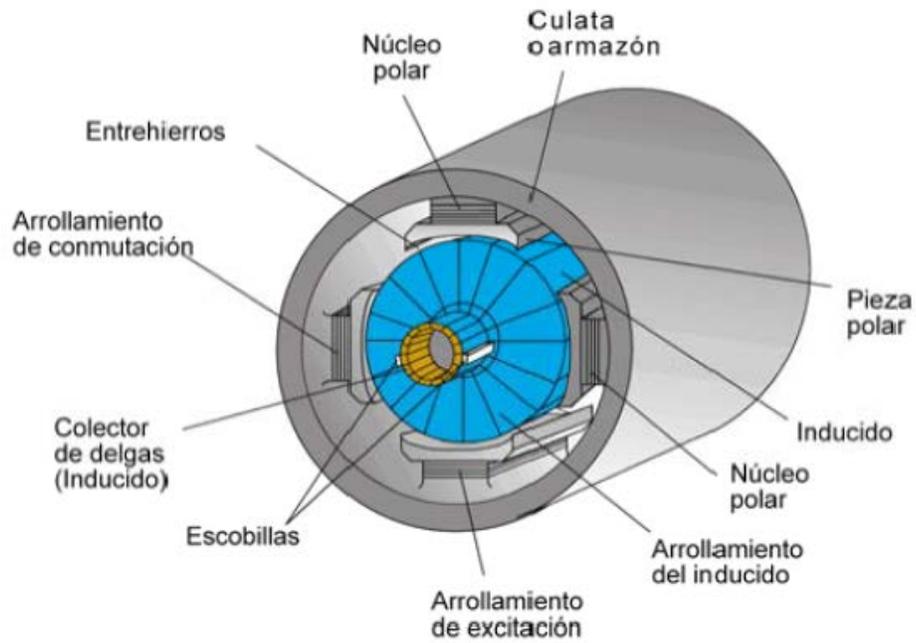


FIG. 9 – PARTES DE UN MOTOR DC

Como se ve en la Fig. 9, para estos motores la energía eléctrica continua de entrada es aplicada al conmutador por medio de las escobillas nombradas como + (positivo) y – (negativo). El flujo de corriente pasa a la espira (denominada “armadura”), la cual experimenta fuerzas en los segmentos AB y CD, causando el giro en la dirección indicada en la FIG. 9

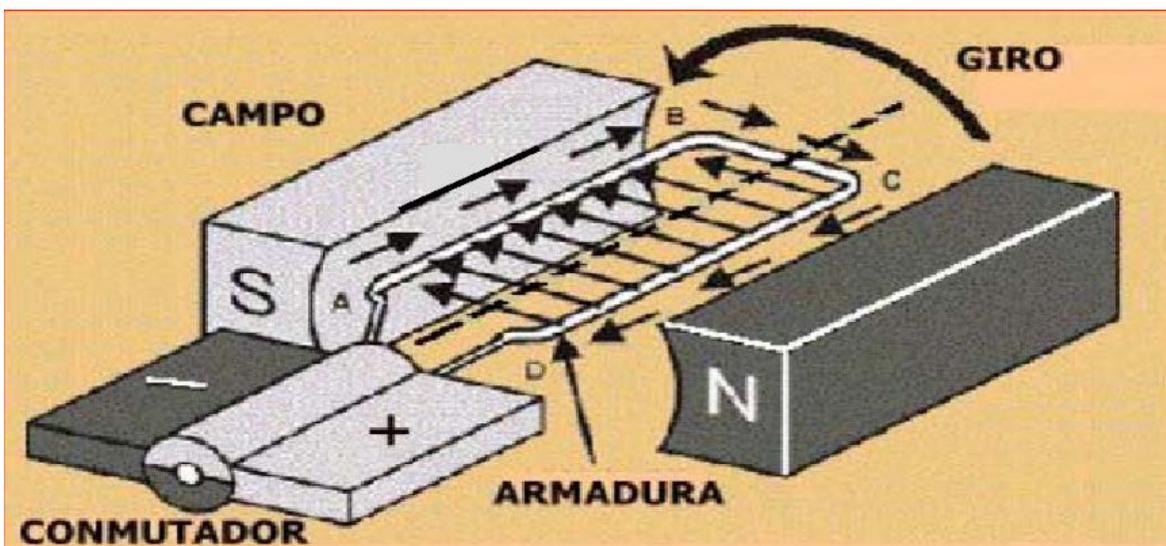


FIG. 9 – PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DC

MOTORES AC

Como ocurre en los motores DC, la corriente circula por la espira, genera un par en el bobinado. Dado que la corriente es alterna, el motor girará suavemente a la frecuencia de la forma senoidal, denominándose MOTOR ASÍNCRONO.

El más común motor AC es el motor de inducción, donde la corriente eléctrica es inducida en los bobinados del rotor, más que alimentada directamente.

El campo magnético es producido por un electroimán accionado por el mismo voltaje de C.A. como en el rotor. Los bobinados que producen el campo magnético se llaman tradicionalmente los “bobinados de campo” mientras los bobinados y el rotor que gira se llaman la “armadura”. En un motor de C.A. el campo magnético varía sinusoidalmente, tal y como la corriente varíe en el bobinado.

El estator está constituido por un núcleo en cuyo interior hay pares de arrollamientos colocados simétricamente en un ángulo de 120° . Son sometidos a una C.A. y los polos del estator se trasladan continuamente creando un campo giratorio. Como se muestra en la FIG. 10.

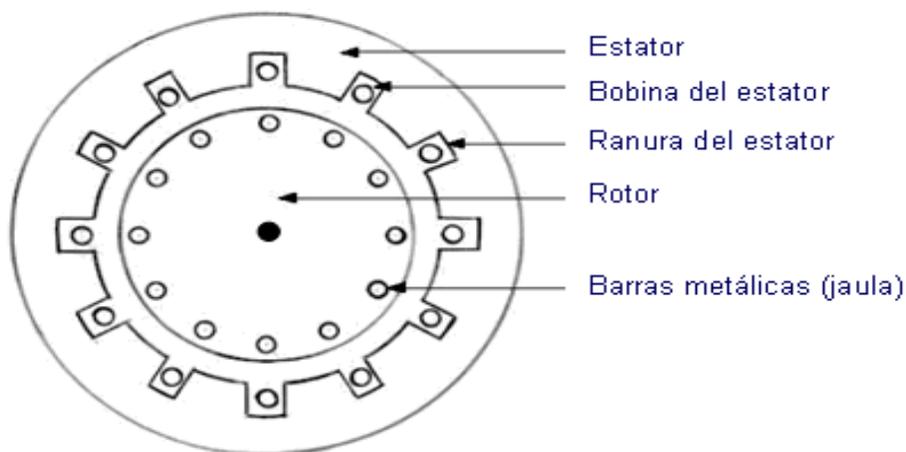


FIG. 10 – ESQUEMA DE UN MOTOR AC

CONCEPTOS DE TIRISTORES (SCR)

Un Tiristor es un dispositivo electrónico semiconductor, cuya acción biestable depende de una realimentación regenerativa entre tres junturas tipo P (ver FIG. 11). Es un dispositivo unidireccional porque tiene la capacidad de conducir corriente en un solo sentido.

La característica de biestable del tiristor implica que el elemento tiene un estado de conducción caracterizado por una muy baja impedancia y un estado de apagado caracterizado por una alta impedancia.

El momento en el cual puede hacerse entrar en estado de conducción a un tiristor es gobernado por una señal que se aplica a la compuerta y es de un valor de potencia muy pequeño comparado con la potencia que se maneja entre ánodo y cátodo.

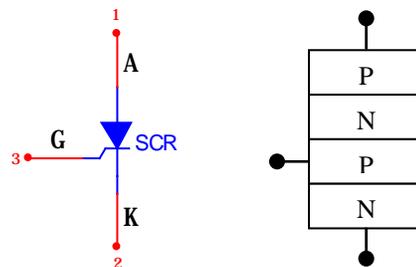


FIG.11 ESQUEMA DE UN TIRISTOR

Formas de Disparo de un SCR

- Por Inyección de Corriente en el Gate (compuerta): Al inyectar corriente en la Compuerta o Gate del dispositivo, se genera internamente un proceso regenerativo en las uniones PN produciendo el encendido del tiristor.

- Por Incremento de la Tensión Ánodo-Cátodo: Cuando la corriente de Gate es nula, el dispositivo está apagado. Pero si la tensión entre ánodo y cátodo se eleva por encima del valor de la tensión directa de ruptura, el dispositivo se dispara. Esta forma de disparo es indeseable.

- Disparo por Incremento de Temperatura: En el tiristor circulan ciertas corrientes de pérdida entre ánodo y cátodo. El dispositivo está preparado para que a la temperatura de trabajo no se dispare por estas corrientes, pero si la temperatura se eleva demasiado por encima de la de trabajo el tiristor se dispara. Este disparo es un disparo no deseado.

- Disparo por Luz: Hay un tipo de tiristor (LASCR), que posee una ventana por la cual inciden rayos de luz que provocan el disparo del dispositivo. Se utilizan en control de encendido por detección o no de luz.

SCR DRIVE SYSTEM

El SCR DRIVE SYSTEM es un sistema de mando que se encarga de la conversión y control de la energía de los motores DC en un equipo de perforación. Este sistema regula la potencia AC que entregan los motogeneradores y entrega en potencia CC variable continuamente a los distintos motores de tracción que son usados en distintas partes del equipo de perforación como el drawwork, bombas de lodo.

Un típico SRC DRIVE SYSTEM está compuesto de la siguiente manera:

- Unidades Generadoras para el control del conjunto de motogeneradores.
- Unidades SCR rectificadoras de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC).
- Unidad Alimentadora de Transformadores: Cortacircuitos alimentados de corriente AC para alimentar los transformadores reductores que entregan potencia en baja tensión a las unidades auxiliares AC tales como los blowers, bombas de agua, luminarias y campamentos para personal.
- Freno Dinámico: freno regenerativo o de resistencia eléctrica o para el motor de los Drawworks.
- Unidad de Suministro de Campo para la alimentación de Campo de los motores DC de tracción de excitación DC separada con bobinado en derivación.
- Consola de perforador para el control de todas las funciones de perforación desde la mesa de trabajo.

- Consola de Bombas de Lodo para el control local de estas durante el mantenimiento.
- Centro de Control de Motores: el cual contiene arrancadores para los motores auxiliares y brakers alimentadores AC para los tableros de luminarias y transformadores de distribución más pequeños

ESPECIFICACIONES

El SCR DRIVE SYSTEM cumple con las especificaciones del estándar IEEE-45 para conmutadores eléctricos.

Entrada AC	Trifásico, 60 Hz, 600 VAC.
Potencia	KW o HP – dependen de la potencia en caballos de fuerza del motor principal.
Gobernador de Motor	0.5 Hz – regulación de estado permanente de 0.5 Hz con un tiempo de respuesta de un segundo a un 5% de desbalance de carga con respecto a la carga nominal.
Regulador de Voltaje de Generador	$\pm 3\%$ - regulación – un segundo de tiempo de respuesta con un $\pm 10\%$ de desbalance carga con respecto a los KVAR nominales.
Salida DC	De 0 a 750 VDC con una corriente de 0 a máxima.
Rango de Corriente	La salida del puente SCR es de 0 hasta 1800 ADC (dependiendo del modelo).

Como ejemplo mostramos en la FIG.12 la representación de un sistema que tiene 3 grupos motogeneradores, 3 convertidores SCR y 3 motores DC para impulsar cargas. Existen sistemas más grandes o más chicos pero la configuración básica permanece igual.

En la figura se observa una división marcada por la barra de distribución principal de potencia AC. Todo el equipamiento por encima de esta barra, pertenece a la parte de generación y control de potencia eléctrica AC, la cual es usualmente trifásica de 600VAC y 60Hz.

La barra actúa como una tubería donde varias bombas se alimentan de ella. Uno o más generadores pueden ser colocados en el bus para reunir la demanda de potencia total que requieran las distintas cargas. Un conjunto moto-generador requiere de ciertos controles, medidores y dispositivos de protección junto con un interruptor general (circuit breaker) para conectarlo al bus principal.

El equipamiento de un grupo moto-generador está agrupado en un cubículo denominado "Control del Generador". Este cubículo provee el control automático de la velocidad de rotación del motor y la tensión de salida del generador, e incluye un panel con medidores y medios para ajustes y comandos manuales del grupo.

Cada parte del equipo mostrado debajo del bus principal utiliza potencia eléctrica y representa una carga eléctrica para el sistema. El total de todas las cargas es la demanda del sistema y debe ser igualada con la capacidad generada. Cualquiera sea la corriente tomada del bus principal, ésta debe ser entregada por los generadores.

Una ventaja importante de esta configuración es que sólo se utilizan los generadores necesarios para satisfacer la demanda de potencia en un determinado momento, ahorrando combustible y costos de mantenimiento. Si algún grupo moto-generador está fuera de servicio por alguna razón, no hay interrupción de potencia de los otros generadores hacia todas las cargas del sistema. Esta es una consideración importante donde una pérdida total de potencia puede tener serias y costosas consecuencias.

Algunos tipos de equipos (ejemplo una bomba centrífuga), pueden ser operados a velocidad constante y por lo tanto pueden ser impulsados por motores de corriente alterna. Tales motores están clasificados como motores auxiliares y están alimentados generalmente con corriente trifásica de 480Vac. Como el bus principal tiene 600Vac, se necesita un transformador reductor a 480Vac, como el que se indica en T2.

Cada motor debe ser controlado por un dispositivo de interrupción de alimentación. Estos arrancadores, etc., están alojados en un gabinete central conocido como Centro de Control de Motores (MCC).

También hay una demanda de baja potencia de AC para iluminación y para motores chicos. Un pequeño transformador reductor (T1) provee en su secundario 120/208Vac trifásica a un panel de distribución para alimentar estas cargas. Este panel de control se llama Panel de Iluminación (Lt. Panel en la FIG. 12). T1 puede estar alimentado con 600Vac ó con 480Vac vía el MCC.

Los motores auxiliares del MCC y la iluminación pueden requerir una cantidad significativa de potencia pero esta es sólo una pequeña parte de la demanda de potencia total. Los convertidores SCR suministran potencia a los motores de corriente continua (DC) los cuales impulsan cargas realmente muy pesadas.

Cualquier carga que necesite un amplio rango de ajuste de velocidad debe ser manejada por un motor DC. Cada convertidor SCR recibe una entrada de AC de tensión constante (600Vac RMS) y provee una salida DC entre cero y 750Vdc.

En general, habrá un convertidor SCR para cada carga. Una carga puede ser manejada por uno ó más motores para reunir los requisitos de potencia, pero todos los motores de una misma carga deben ser alimentados desde un mismo SCR en la mayoría de los casos. Si se manejase más de una carga con un único SCR, se perdería el control de velocidad individual de cada una de las cargas. Para tener más variantes y protección contra falla del convertidor SCR, es común tener circuitos alternativos en la parte DC que permitan manejar cada carga desde al menos 2 convertidores SCR. Esta conmutación de un SCR a otro, se realiza a través de contactores de potencia y ocurre sólo cuando la corriente DC de salida es cero. La elección del camino de potencia DC lo realiza el operador vía la consola de control.

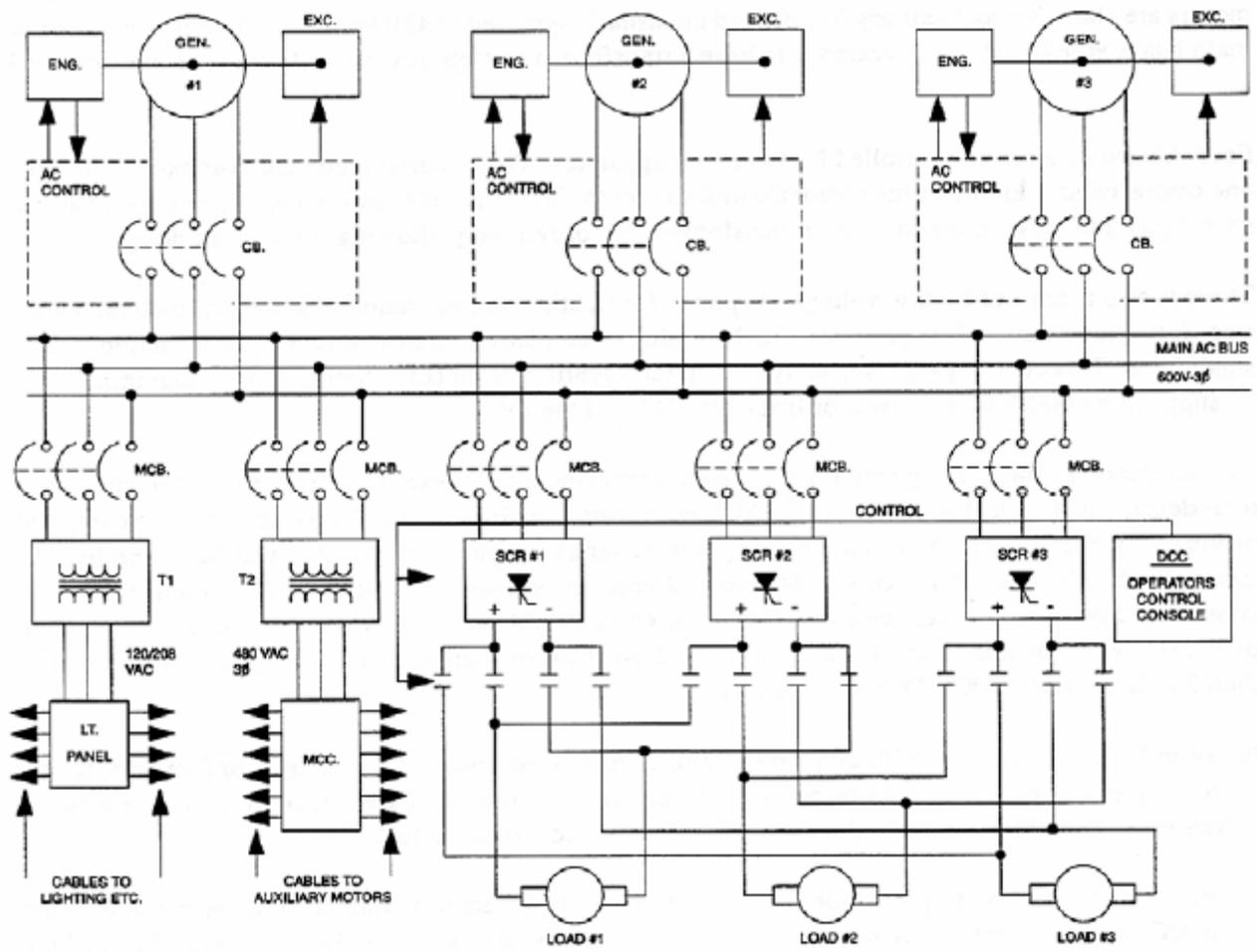


FIG.12 – DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SCR

TEORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética y la conservación de la energía son dos conceptos muy relacionados entre sí pero diferentes. La conservación de la energía es obtenida cuando se reduce el consumo de la energía, medido en sus términos físicos. Es el resultado, por ejemplo, del incremento de la productividad o el desarrollo de tecnologías de menores consumos de energía. La eficiencia energética es obtenida, sin embargo, cuando se reduce la intensidad energética de un consumo dado, o cuando el consumo de energía es reducido sin afectar la productividad de la actividad. La eficiencia energética contribuye a la conservación de la energía. Lo que se persigue en ambas es mitigar el ineficiente consumo de recursos y ser más eficiente en el uso de estos, maximizando productividad y minimizando costos.

Es práctica común actuar sobre los consumos energéticos y no sobre la eficiencia energética. Es por ello que estamos actuando sobre el efecto y no sobre la causa del problema: reducir los costos de energéticos.

Optimizar la eficiencia energética significa identificar donde están las pérdidas energéticas del sistema que impactan los costos, clasificar estas pérdidas en relativas a los procedimientos y relativas a la tecnología, establecer y monitorear en tiempo real, indicadores de eficiencia (como el factor de potencia) que permitan controlar y reducir las pérdidas relativas a los procedimientos, evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de dichas pérdidas relativas a la tecnología y contar con un plan estratégico energético adecuado.

La gerencia de la eficiencia energética tiene un objetivo final: lograr la máxima reducción de los consumos energéticos, con la tecnología productiva actual de la empresa y realizar los cambios a tecnologías eficientes en la medida que estos sean rentables de acuerdo a las expectativas financieras de cada empresa.

La Eficiencia Energética se puede medir en una parte de una máquina, en la máquina completa, en el proceso que tiene esa máquina o en el conjunto de procesos integrados. La medición de la eficiencia energética empieza a dificultarse en el caso de presentarse

procesos o máquinas con más de dos insumos o productos, al igual que en el caso de presentarse agregaciones de procesos. La medición de la eficiencia energética de un proceso se convierte por lo tanto en una actividad compleja dependiendo de los insumos y de los procesos asociados.

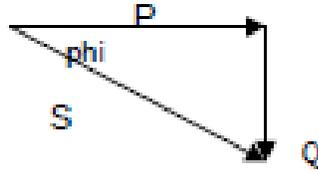
TEORÍA DE FACTOR DE POTENCIA

Factor de Potencia es el nombre dado a la relación entre la potencia activa (KW) usada en un sistema y la potencia aparente (KVA) que se obtiene de las líneas de alimentación, o dicho de otro modo, el coseno del ángulo formado por el desfase de la corriente con respecto al voltaje aplicado. Todos los aparatos que contienen inductancia, tales como motores, transformadores y demás equipos con bobinas necesitan corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación. Esto genera factores de potencia bajos en la instalación.

El factor de potencia bajo se compensa con el uso de condensadores, lo que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz y, por lo tanto, requiera menos corriente en la línea. Las potencias activa, reactiva y aparente forman lo que se llama el triángulo de potencias. La potencia que se usa realmente es la Potencia Activa (P). La potencia reactiva (Q) representa la ineficiencia eléctrica.

La potencia efectiva o real es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo. Su unidad de medida son los Watts y esta simbolizado por P.

La potencia reactiva es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores. Su unidad de medida son los Var y esta simbolizado por Q.



$$\text{Cos } \Phi = P/S$$

FIG. 13 – ESQUEMA DE FACTOR DE POTENCIA

La potencia aparente es la suma geométrica de las potencias efectiva y reactiva; es decir:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Se mide en VA y esta simbolizado por la letra S.

El ángulo formado en el triángulo de potencias por P y S equivale al desfase entre la corriente y la tensión y es el mismo ángulo de la impedancia; por lo tanto el Cos(Phi) depende directamente del desfase.

El ángulo nos indica si las señales de voltaje y corriente se encuentran en fase. Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia puede ser adelantado, retrasado o igual a 1.

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, el voltaje y la corriente están en fase. Por lo tanto en este caso se tiene un factor de potencia unitario.

En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto al voltaje. Por lo tanto en este caso se tiene un factor de potencia retrasado.

En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje. Por lo tanto en este caso se tiene un factor de potencia adelantado.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

Para describir el marco metodológico necesitamos saber cuál es el sentido de esta investigación. Por ello podemos empezar afirmando que este es un estudio exploratorio o piloto debido a que este puede ser un estudio pionero para este tipo de análisis.

HIPÓTESIS

En la presente tesis se explican los pasos a seguir para hallar el cálculo de la carga, factor de potencia y eficiencias con la que opera un equipo de perforación eléctrico. Todos estos cálculos se resumen en dos hojas de cálculo en Excel. La primera hoja de Excel calcula la carga del equipo de perforación a partir de datos tomados para un solo momento dado y entrega la carga calculada para ese preciso momento. La segunda hoja de Excel calcula la carga del equipo a partir de varios datos tomados en diferentes momentos y calcula la carga para todas esas diferentes muestras incluso graficando la tendencia de la carga a través del tiempo.

Un aporte de la presente tesis es que brindará una herramienta de bastante precisión para realizar cálculos de carga, factor de potencia y eficiencias con las que opera un equipo de perforación, la cual será de mucha utilidad para analizar el funcionamiento del equipo en cualquier momento y para cualquier tipo de operación; así como también permitirá realizar simulaciones de cómo podrá funcionar el equipo en base a datos tomados de diferentes pozos y en base a los planes de pozo propuestos por las empresas operadoras. Incluso dichas hojas de cálculo pueden ser adaptadas para otros equipos de perforación eléctricos.

El principal aporte será que en base a los resultados obtenidos con estas hojas de Excel se pudo realizar una optimización energética en un equipo de perforación eléctrico a través de un estudio piloto de los parámetros operativos durante la perforación de pozos.

VARIABLES IDENTIFICADAS

Las variables identificadas para el presente estudio exploratorio son:

- **Variables Independientes:** Son las variables de índole explicativa que son manipuladas como objeto de estudio. Para el presente estudio son: número de bombas en uso, cantidad de strokes por minuto (SPM) en bombas de lodo, diámetros de camisa de bombas, las revoluciones por minuto de la sarta en el top drive.
- **Varibles Dependientes:** Son las variable que son observadas y medidas para determinar el efecto de las variables independientes. Para nuestro caso estas son: corriente eléctrica, voltaje, potencia mecánica de salida, potencia eléctrica efectiva, potencia eléctrica aparente, $\cos \Phi$, factor de potencia.
- **Variables de Control:** Son aquellas variables que son controladas por el investigador para eliminar cualquier efecto que pudieran tener en el fenómeno observado. Para este caso estas sería ciertas eficiencias asumidas como reglas prácticas tales como: eficiencia de la bomba de lodos, eficiencia del variador de velocidad del Top Drive, eficiencia del motor del Top Drive, eficiencia de transmisión de engranajes del Top Drive.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo es un estudio exploratorio o piloto debido a que puede ser un estudio pionero para este tipo de análisis.

Se utilizará un método hipotético – deductivo debido a que en base a las observaciones realizadas en campo se puede identificar un problema. Es en base a este problema que mediante el método de inducción y experimentación científica se procede a formular una hipótesis, que intentaremos validar empíricamente. Para este caso el impacto de la variación de carga en el equipo de perforación eléctrico y su impacto en el funcionamiento de éste.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Para éste estudio exploratorio la población será el conjunto de todos los componentes del equipo de perforación. Las muestras específicas a evaluar son las bombas de lodo y el Top Drive. Cabe mencionarse que estas muestras no son aleatorias e independientes entre sí, debido a que representan mejor las características que se analizarán.

TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de recolección usada es la experimental, es debido a que esta técnica representa una manera directa, precisa y confiable para recolectar datos. En adición porque en base a la manipulación de las variables independientes se puede analizar las consecuencias de dicha manipulación en las variables dependientes, siempre teniendo en cuenta nuestras variables de control.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LA CARGA ENERGÉTICA DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN EN BASE A LA OPERACIÓN REQUERIDA.

Antes de hacer el análisis de carga energética debemos conocer cuál es el flujo energético de trabajo en un equipo de perforación eléctrico. En el gráfico mostrado debajo apreciamos el diagrama unifilar de un equipo de perforación con 4 generadores, este indica cómo está distribuida la energía eléctrica del equipo de perforación.

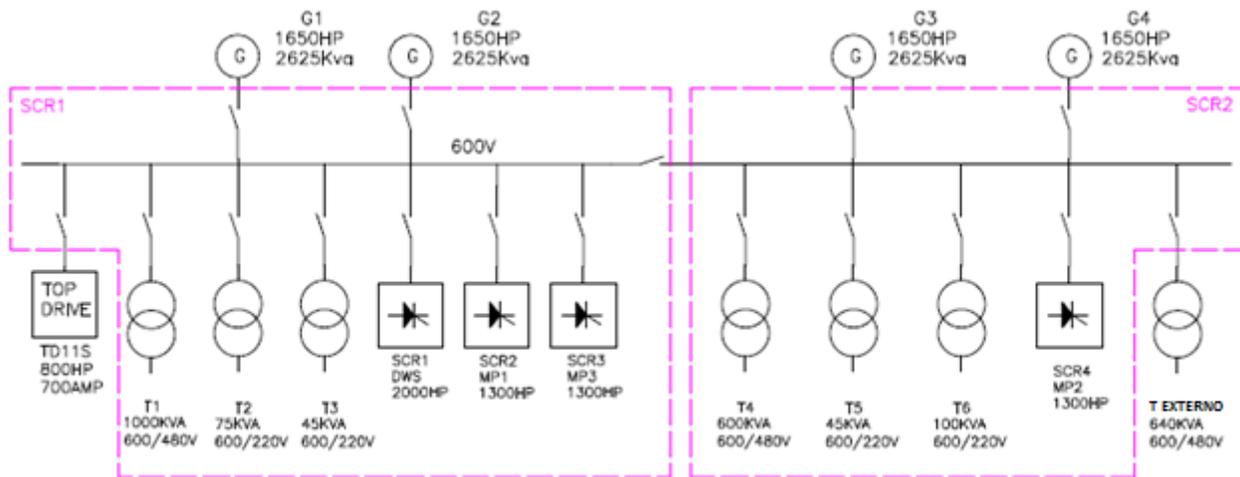


FIG. 14 – GRÁFICA UNIFILAR EJEMPLO DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN ELÉCTRICO.

La energía es generada en la sala de motores o generadores. Los cuales entregan una corriente alterna al sistema. Estos se deben encontrar sincronizados para entregar la misma carga a la barra de 600 voltios. Este modelo de entrega de energía tiene similitud a la transmisión de flujo en tuberías ya que para que la corriente pase a los módulos SCR estos deberán estar conectados a la barra de tensión.

Luego de la zona de generadores, viene la zona de los SCR los cuales tienen la función de rectificar la corriente alterna y distribuir corriente continúa.

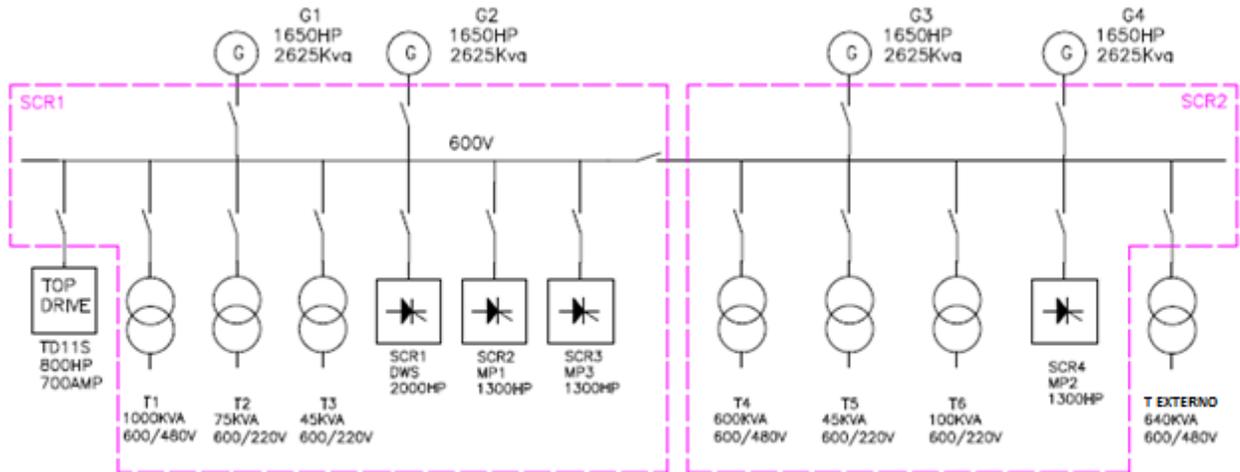


FIG.15 – GRÁFICA UNIFILAR PARA EL SCR

Se aprecia que dentro de las zonas interlineadas existen cubículos SCR conectados a la barra cada uno de estos cubículos SCR se encarga de rectificar la corriente de alterna a continúa para cada componente al cual fue asignado. Se puede apreciar que un cubículo SCR rectifica corriente hacia los dos motores eléctricos de corriente continua del Drawwork (malacate), lo mismo para cada par de motores de las tres bombas de lodo que posee este equipo de perforación.

También se puede apreciar que hay conexiones directas entre la barra de 600 voltios y los transformadores. Estos transformadores entregan corriente alterna a diferente voltaje (440 y 220 voltios) los cuales son usados para hacer funcionar las bombas de precarga, los agitadores en los tanques de lodo, las luminarias y las instalaciones en el campamento de trabajadores, así para dar energías a las otras compañías que operan también en la locación.

Pero estos no son las únicas partes del equipo que necesitan energía. Actualmente una parte del equipo de suma importancia es el Top Drive. El top drive usa corriente alterna debido a que usa un variador de velocidad para controlar su motor AC. El top drive recibe energía desde la barra hacia su Control Room en el cual se distribuye la energía para las distintas funciones de este.

Ahora que ya se tiene una idea de cómo es el flujo energético en el equipo de perforación procederemos a calcular las cargas energéticas del equipo de perforación tanto para distintas actividades específicas, como para un pozo completo. Datos con los cuales haremos el análisis.

- **CÁLCULO DE CARGA DE UN EQUIPO MIENTRAS SE PERFORA:**

Ahora tomaremos como ejemplo el cálculo de carga en operación con datos puntuales tomados de la perforación de un pozo de una fase inicial de 17 ½". Para ello se necesitan los siguientes requerimientos:

Se necesitan caudales de 900 GPM, presión no superior a 3200 PSI y camisas de 6" en bombas de lodo. Con estos datos procederemos a hallar la carga en el equipo parte por parte y luego en global, cabe mencionar que la muestra fue tomada en un mismo día y misma hora para todas las partes.

- ❖ **BOMBAS DE LODO:**

Los datos recogidos para la bomba de lodo se ven en la tabla 1:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
NUMERO DE BOMBAS	3	#
CAUDAL	909	GPM
PRESIÓN	2139	PSI
STROKES	87 X 3	SPM
VOLTAJE	400	V
CORRIENTE	833.33	A

TABLA 1 – DATOS PARA LA BOMBA DE LODOS

Con estos datos calculamos la potencia hidráulica de salida de las bombas con la siguiente fórmula que relaciona el caudal, la presión y factores de conversión.

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ TOTAL = \frac{PRESIÓN \times CAUDAL}{1714}$$

Donde la presión esta en PSI, el caudal en GPM y la potencia hidráulica en HP.

Calculando:

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ TOTAL = \frac{2139\ PSI \times 909\ GPM}{1714}$$

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ TOTAL = 1134.39\ HP$$

La potencia hallada es la potencia en total para el conjunto de bombas de lodo en uso. Por lo que hallaremos la potencia hidráulica de cada una.

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ UNITARIA = \frac{POTENCIA\ HIDRÁULICA\ BOMBAS}{\# BOMBAS}$$

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ UNITARIA = \frac{1134.39\ HP}{3}$$

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ UNITARIA = 378.13\ HP$$

Una vez hallada esta potencia unitaria en HP la transformamos a KW para que nos sea útil en los cálculos de eficiencia y factor de potencia.

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ UNITARIA = \frac{378.13\ HP}{1.34}$$

$$POTENCIA\ HIDRÁULICA\ UNITARIA = 282.19\ KW$$

Ahora procedemos a hallar la potencia eléctrica consumida para una bomba en base a los datos tomados a la salida del SCR y en base a la siguiente relación para motores DC:

$$POTENCIA\ ELÉCTRICA\ UNITARIA = \frac{VOLTAJE \times CORRIENTE}{1000}$$

$$POTENCIA\ ELÉCTRICA\ UNITARIA = \frac{400\ V \times 833.33\ A}{1000}$$

$$POTENCIA\ ELÉCTRICA\ UNITARIA = 333.33\ KW$$

La potencia eléctrica unitaria es la potencia que se le entrega a los dos motores DC y la potencia hidráulica unitaria es la que potencia que se transforma en trabajo. Por lo tanto la división entre ellos nos da la eficiencia con la que funciona la bomba, esencialmente la eficiencia de la transmisión mecánica entre la parte eléctrica y la parte hidráulica.

$$EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN = \frac{POTENCIA HIDRÁULICA UNITEARIA}{POTENCIA ELÉCTRICA UNITARIA}$$

$$EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN = \frac{282.19 KW}{333.33 KW}$$

$$EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN = 84.66\%$$

Por lo que deducimos que las bombas de lodo están siendo mecánicamente eficientes. Ahora procederemos a analizar el factor de potencia.

Para ello debemos calcular el $\cos \Phi$ (comúnmente denominado cosphi) para los motores DC de las bombas de lodo, en base a la siguiente relación basada en SPM y la relación de Sprockets de la bomba. Esta relación puede cambiar para cada bomba.

$$RPM MOTOR DC BOMBAS = 21.413 \times \frac{SPM}{3}$$

$$RPM MOTOR DC BOMBAS = 21.413 \times \frac{87 SPM}{3}$$

$$RPM MOTOR DC BOMBAS = 620.98 RPM$$

Luego ploteamos este resultado en la gráfica de la FIG. 16, dada por el fabricante de los motores DC para la cantidad de revoluciones y el $\cos\Phi$ (factor de potencia).

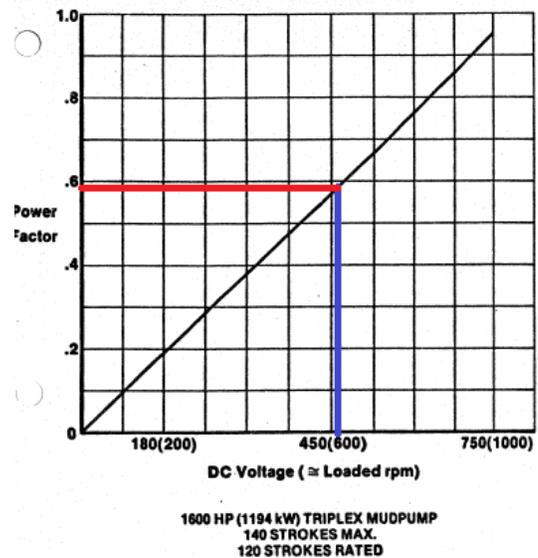


FIG.16 – FACTOR DE POTENCIA VS. RPM DE BOMBAS DE LODO

Entonces del gráfico tenemos la siguiente relación:

$$\cos \Phi = 0.95 \times \frac{RPM \text{ MOTOR DC BOMBAS}}{1000}$$

$$\cos \Phi = 0.95 \times \frac{RPM \text{ MOTOR DC BOMBAS}}{1000}$$

$$\cos \Phi = 0.5899$$

Ahora hallaremos la potencia eléctrica aparente en las bombas de lodo según la siguiente relación:

$$POTENCIA \text{ ELÉCTRICA APARENTE UNITARIA} = \frac{\left(\frac{POTENCIA \text{ ELÉCTRICA ACTIVA}}{UNITARIA} \right)}{\cos \Phi}$$

$$POTENCIA \text{ ELÉCTRICA APARENTE UNITARIA} = \frac{333.33 \text{ KW}}{0.5899}$$

$$POTENCIA \text{ ELÉCTRICA APARENTE UNITARIA} = 565.04 \text{ KVA}$$

Luego de ello hallaremos la potencia reactiva para los motores de las bombas de lodo de la siguiente relación:

$$\left(\frac{POTENCIA \text{ REACTIVA}}{BOMBAS \text{ UNITARIA}} \right) = \sqrt{\left(\frac{POTENCIA \text{ ELÉCTRICA}}{APARENTE \text{ UNITARIA}} \right)^2 - \left(\frac{POTENCIA \text{ ELÉCTRICA}}{EFECTIVA \text{ UNITARIA}} \right)^2}$$

$$\left(\frac{POTENCIA \text{ REACTIVA}}{BOMBAS \text{ UNITARIA}} \right) = \sqrt{(565.04 \text{ KVA})^2 - (333.33 \text{ KW})^2}$$

$$\left(\frac{POTENCIA \text{ REACTIVA}}{BOMBAS \text{ UNITARIA}} \right) = 456.24 \text{ KVAR}$$

Ahora hallaremos el factor de potencia:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA BOMBAS}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE BOMBAS}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{333.33 KW}{565.04 KVA}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.5899$$

Entonces finalmente podemos decir que tuvimos en las bombas de lodo un 84.66% de eficiencia en transmisión mecánica y un Factor de Potencia de 0.5899.

❖ DRAWWORK (MALACATE):

Los datos recogidos para el Drawwork se ven en la tabla 2:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
PESO EN EL GANCHO	107	KLBS
VELOCIDAD DE LÍNEA	0	PIES/MIN
VOLTAJE	0	V
CORRIENTE	0	A

TABLA 2 – DATOS PARA EL DRAWWORK O MALACATE

Cuando se está perforando un pozo se le da peso a la broca y la sarta de perforación. Acción para la cual no se usan los motores DC del Drawwork debido a que para conseguir este incremento de peso solo es necesario maniobrar el freno principal para que por efecto de la gravedad se consiga incrementar el peso.

Para el Drawwork calculamos la potencia mecánica en base a una relación entre la velocidad de la línea móvil hacia arriba y el peso que carga el gancho, de la siguiente manera:

$$POTENCIA MECÁNICA DRAWWORK = \frac{\left(\frac{PESO EN EL}{GANCHO}\right) \times \left(\frac{VELOCIDAD DE LA}{MÓVIL}\right)}{3300}$$

$$POTENCIA MECÁNICA = \frac{107 \text{ KLBS} \times 0}{3300}$$

$$POTENCIA MECÁNICA = 0 \text{ HP}$$

Por lo que se aprecia que no hay trabajo realizado por los motores DC del Drawwork. Razón por la cual no habrá tampoco potencia reactiva, potencia aparente, ni factor de potencia.

❖ **TOP DRIVE:**

Los datos recogidos para el Top Drive se ven en la tabla 3:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
TORQUE	6	KLBS-PIE
VELOCIDAD DE ROTACIÓN	42	RPM
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	168	A

TABLA 3 – DATOS PARA EL TOP DRIVE

El caso del Top Drive es muy particular ya que este usa dos motores AC de 400 HP de potencia para los cuales la velocidad de rotación es controlada por un variador de velocidad.

Para hallar la potencia mecánica del Top Drive será necesario hacer uso de las eficiencias en los motores del Top drive y en las potencias extras (blowers, bomba hidráulica y ventiladores en el control room). Para las eficiencias será necesario plotear la eficiencia en base a la siguiente relación:

$$n = 120 \times \frac{FRECUENCIA}{PARES DE POLOS}$$

Donde n es el número de revoluciones del motor que se obtiene de los RPM del Top Drive, el valor de este se obtiene de multiplicar los RPM de la sarta multiplicado por 10.5, que es la relación de engranajes para el Top Drive. El par de polos del motor AC esta dado según la relación para polos por fase de motor y RPM. Para los motores del Top Drive que por placa de fabricante tiene un máximo de 1800 RPM a 60 Hz de frecuencia en velocidad sincronizada tenemos que hay 4 polos de fase según la tabla 4.

Polos por fase	Torque/HP (lb-ft)	Veloc. Nom. (RPM) 60Hz	Veloc. Síncr. (RPM) 60Hz	Torque/kW (N-m)
2	1,5	3 460	3 600	3,3
4	3,0	1 750	1 800	6,6
6	4,5	1 175	1 200	9,9
8	6,0	875	900	13,2
10	7,5	708	720	16,5
12	9,0	580	600	19,8

TABLA 4 – TABLA DE PARES DE POLO PARA VELOCIDAD DE ROTACIÓN.

Entonces con dicho datos reemplazamos en la relación:

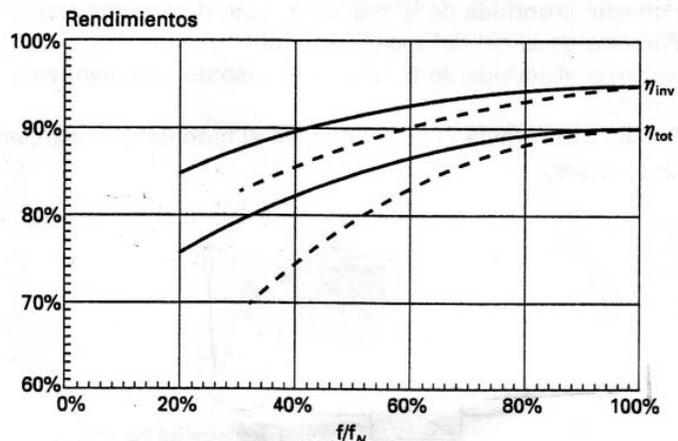
$$n = 120 \times \frac{FRECUENCIA}{PARES DE POLOS}$$

$$441 = 120 \times \frac{FRECUENCIA}{4}$$

$$FRECUENCIA = 441 \times \frac{4}{120}$$

$$FRECUENCIA = 14.7 \text{ Hz}$$

Con ello ahora dividimos la frecuencia obtenida entre la frecuencia nominal del motor del top drive. En la gráfica siguiente que relaciona los rendimientos de motores AC, el



cociente de frecuencias y las eficiencias totales:

FIG. 17 – RENDIMIENTO DE ACCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y RENDIMIENTOS

$$\frac{f}{f_n} = \frac{FRECUENCIA_{CALCULADA}}{FRECUENCIA_{MOTOR TOP DRIVE}}$$

$$\frac{f}{f_n} = \frac{14.7 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}} = 0.245$$

$$\frac{f}{f_n} = 0.245$$

Ploteamos el resultado obtenido y vemos que tenemos una eficiencia de 0.76, la cual usaremos en el cálculo siguiente

$$POTENCIA MECÁNICA_{TOP DRIVE} = \frac{1.8168 \times (TORQUE) \times \left(\frac{VELOCIDAD DE ROTACIÓN}{9550}\right)}{EFICIENCIA TOTAL MOTOTES TOP DRIVE} + \left(\frac{POT. EXTRAS}{EFIC. EXTRAS}\right)$$

$$POTENCIA MECÁNICA_{TOP DRIVE} = \frac{1.8168 \times 6 \text{ KLBS} - PIE \times 42 \text{ RPM}}{9550 \times 0.76} + \frac{23 \text{ HP}}{0.9}$$

$$POTENCIA MECÁNICA_{TOP DRIVE} = 63.08 \text{ HP} + 25.55 \text{ HP}$$

$$POTENCIA MECÁNICA_{TOP DRIVE} = 88.68 \text{ HP}$$

$$POTENCIA MECÁNICA_{TOP DRIVE} = 66.13 \text{ KW}$$

Cabe mencionar que las potencias extras se refieren a las potencias consumidas por los blowers de los motores del Top Drive, a la bomba del sistema hidráulico del top drive, y los ventiladores del control room, que en total suman 23 HP. Para ellos se asumió una eficiencia de 0.9 debido a que generalmente operan a carga completa.

Se le dividió entre la eficiencia debido a que el análisis se está haciendo desde la entrada del variador de velocidad hacia la salida del motor. El variador de velocidad mejora el $\cos\Phi$ llevándolo a un valor aproximado en 0.93 y 0.95 el cual está en función de la potencia

efectiva, por consiguiente también de la velocidad de rotación y torque en el Top Drive. Entonces asumimos estos valores de $\cos\Phi$ para todo el sistema del Top Drive debido a que las potencias extras son despreciables en comparación con los motores principales del Top Drive. Entonces una vez aclarado esto tomaremos el valor de la siguiente tabla proporcionada por ABB el cual es un fabricante de variadores de velocidad.

Mains connection									
Voltage and power range	3-phase, $U_{2IN} = 208$ to 240 V, $\pm 10\%$, except -U2,-U7,-07,-17,-37 3-phase, $U_{5IN} = 380$ to 500 V, $\pm 10\%$ 3-phase, $U_{7IN} = 525$ to 690 V, $\pm 10\%$ (600 V UL, CSA)								
Short Circuit Current Rating (SCCR)	ACS800-U1,-U11,-U31 = 65ka ACS800-PC,-U2,-U7/07,-17,-37 = 100ka								
Frequency	48 to 63 Hz								
Nominal Impedance	3% Nominal Impedance R2-R3, DC Bus Choke R4 and greater, AC Reactor								
Power factor	<table border="0"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">ACS800-U1,-PC,-U2,-U7/07</td> <td>$\cos\phi_1 = 0.98$ (fundamental)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\cos\phi = 0.93...0.95$ (total)</td> </tr> <tr> <td>ACS800-U11,-17,-U31,-37</td> <td>$\cos\phi_1 = 1$ (fundamental)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\cos\phi = 0.99$ (total)</td> </tr> </table>	ACS800-U1,-PC,-U2,-U7/07	$\cos\phi_1 = 0.98$ (fundamental)		$\cos\phi = 0.93...0.95$ (total)	ACS800-U11,-17,-U31,-37	$\cos\phi_1 = 1$ (fundamental)		$\cos\phi = 0.99$ (total)
ACS800-U1,-PC,-U2,-U7/07	$\cos\phi_1 = 0.98$ (fundamental)								
	$\cos\phi = 0.93...0.95$ (total)								
ACS800-U11,-17,-U31,-37	$\cos\phi_1 = 1$ (fundamental)								
	$\cos\phi = 0.99$ (total)								

TABLA 5 – INFORMACIÓN DE FABRICANTE SOBRE EL VARIADOR DE VELOCIDAD

De donde se puede apreciar que para un tipo similar al variador que tenemos en el Top Drive, tal y como es el modelo ACS800-U1, asumiremos un $\cos\Phi$ de 0.93 para un RPM bajo y 0.95 para un RPM alto.

Ahora hallaremos la potencia eléctrica aparente para el top drive.

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times VOLTAJE \times CORRIENTE}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times 600 V \times 135 A}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times 600 V \times 135 A}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = 140.3 KVA$$

Ahora hallaremos la potencia eléctrica efectiva del top drive en base a la corriente hacia el variador.

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = \left(\frac{POTENCIA ELÉCT. APARENTE}{} \right) \times \cos \phi$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 140.3 KVA \times 0.93$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 130.47 KW$$

La potencia eléctrica efectiva es la potencia en conjunto que consume el sistema completo del Top Drive y la potencia mecánica total es la que se registra en el funcionamiento del mismo. Por lo tanto la división entre ellos nos da la eficiencia total del sistema.

$$EFICIENCIA TOP DRIVE = \frac{POTENCIA MECÁNICA}{POTENCIA ELÉCTRICA}$$

$$EFICIENCIA TOP DRIVE = \frac{66.13 KW}{130.47 KW}$$

$$EFICIENCIA TOP DRIVE = 50.68\%$$

Cabe mencionarse que para el momento en que se tomó la muestra el requerimiento para el top drive era bajo.

Luego de esto procederemos a hallar la potencia eléctrica reactiva con la siguiente relación.

$$\left(\begin{matrix} POTENCIA REACTIVA \\ TOP DRIVE \end{matrix} \right) = \sqrt{\left(\begin{matrix} POTENCIA ELÉCTRICA \\ APARENTE \end{matrix} \right)^2 - \left(\begin{matrix} POTENCIA ELÉCTRICA \\ EFECTIVA \end{matrix} \right)^2}$$

$$\left(\begin{matrix} POTENCIA REACTIVA \\ TOP DRIVE \end{matrix} \right) = \sqrt{(140.30 \text{ KVA})^2 - (130.48 \text{ KW})^2}$$

$$\left(\begin{matrix} POTENCIA REACTIVA \\ TOP DRIVE \end{matrix} \right) = 51.57 \text{ KVAR}$$

Entonces finalmente podemos decir que tuvimos en el sistema completo del Top Drive 50.68% de eficiencia en funcionamiento a bajo RPM y un factor de potencia de 0.47 el cual fue obtenido con la siguiente relación:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA TOP DRIVE}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE TOP DRIVE}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{130.48 \text{ KW}}{140.30 \text{ KVA}}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.93$$

❖ TRANSFORMADOR DE 440 VOLTIOS

Los datos recogidos para el Transformador de 440 V se aprecian en la tabla 6:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	333	A
cos Φ	0.75	#

TABLA 6 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR 440 V

Para los transformadores de este tipo se halla la potencia eléctrica aparente en base a la siguiente relación y a un cos Φ de 0.75 práctico en este tipo de transformadores.

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times VOLTAJE \times CORRIENTE}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times 600 V \times 333 A}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = 347.09 KVA$$

Ahora procederemos a hallar la potencia efectiva con la siguiente relación:

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = \left(\frac{POTENCIA ELÉCT. APARENTE}{\cos \phi} \right) \times \cos \phi$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 347.09 KVA \times 0.75$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 260.32 KW$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 348.83 HP$$

Ahora como ya tenemos la potencia eléctrica efectiva procedemos a hallar la potencia eléctrica reactiva con la siguiente relación

$$\left(\frac{POTENCIA REACTIVA}{TRANSFORMADOR 440 V} \right) = \sqrt{\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE}{\cos \phi} \right)^2 - \left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA}{\cos \phi} \right)^2}$$

$$\left(\frac{POTENCIA REACTIVA}{TRANSFORMADOR 440 V} \right) = \sqrt{(347.09 KVA)^2 - (260.32 KW)^2}$$

$$\left(\frac{POTENCIA REACTIVA}{TRANSFORMADOR 440 V} \right) = 229.58 KVAR$$

Ahora calculamos el factor de potencia para el transformador con la siguiente relación:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA TOP DRIVE}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE TOP DRIVE}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{260.32 KW}{347.09 KVA}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.75$$

Por lo que tenemos que para el transformador de 440 V hay un factor de potencia de 0.75.

❖ TRANSFORMADOR DE 220 VOLTIOS

Los datos recogidos para el Transformador de 220 V se aprecian en la tabla 7:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	113	A
cos Φ	0.70	#

TABLA 7 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR 220 V

Para los transformadores de este tipo se halla la potencia eléctrica aparente en base a la siguiente relación y a un cos Φ de 0.70 práctico en este tipo de transformadores. Cabe mencionarse que dentro de este consumo está incluido el consumo del campamento para el personal

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times VOLTAJE \times CORRIENTE}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times 600 V \times 113 A}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = 117.78 KVA$$

Ahora procederemos a hallar la potencia efectiva con la siguiente relación:

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = \left(\frac{POTENCIA ELÉCT. APARENTE}{\cos \Phi} \right) \times \cos \Phi$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 117.78 KVA \times 0.70$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 82.45 KW$$

$$POTENCIA\ ELÉCT.\ EFECTIVA = 110.48\ KW$$

Ahora como ya tenemos la potencia eléctrica efectiva procedemos a hallar la potencia eléctrica reactiva con la siguiente relación

$$\left(\begin{array}{c} POTENCIA\ REACTIVA \\ TRANSFORMADOR\ 220\ V \end{array} \right) = \sqrt{\left(\begin{array}{c} POTENCIA\ ELÉCTRICA \\ APARENTE \end{array} \right)^2 - \left(\begin{array}{c} POTENCIA\ ELÉCTRICA \\ EFECTIVA \end{array} \right)^2}$$

$$\left(\begin{array}{c} POTENCIA\ REACTIVA \\ TRANSFORMADOR\ 220\ V \end{array} \right) = \sqrt{(117.78\ KVA)^2 - (82.45\ KW)^2}$$

$$\left(\begin{array}{c} POTENCIA\ REACTIVA \\ TRANSFORMADOR\ 220\ V \end{array} \right) = 84.11\ KVAR$$

Ahora calculamos el factor de potencia para el transformador con la siguiente relación:

$$FACTOR\ DE\ POTENCIA = \frac{POTENCIA\ ELÉCTRICA\ TOP\ DRIVE}{POTENCIA\ ELÉCTRICA\ APARENTE\ TOP\ DRIVE}$$

$$FACTOR\ DE\ POTENCIA = \frac{82.45\ KW}{117.78\ KVA}$$

$$FACTOR\ DE\ POTENCIA = 0.70$$

Por lo que tenemos que para el transformador de 440 V hay un factor de potencia de 0.70.

❖ TRANSFORMADOR EXTERNO (OTRAS CÍAS)

Los datos recogidos para el Transformador Externo de 440 V se aprecian en la tabla 8:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	91	A
cos Φ	0.75	#

TABLA 8 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR EXTERNO

Para los transformadores de este tipo se halla la potencia eléctrica aparente en base a la siguiente relación y a un $\cos \Phi$ de 0.75 práctico en este tipo de transformadores.

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times VOLTAJE \times CORRIENTE}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = \frac{\sqrt{3} \times 600 V \times 91 A}{1000}$$

$$POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE = 94.85 KVA$$

Ahora procederemos a hallar la potencia efectiva con la siguiente relación:

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = \left(\frac{POTENCIA ELÉCT. APARENTE}{\cos \Phi} \right) \times \cos \Phi$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 94.85 KVA \times 0.70$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 71.14 KW$$

$$POTENCIA ELÉCT. EFECTIVA = 95.33 HP$$

Ahora como ya tenemos la potencia eléctrica efectiva procedemos a hallar la potencia eléctrica reactiva con la siguiente relación:

$$\left(\frac{POTENCIA REACTIVA}{TRANSFORMADOR EXT.} \right) = \sqrt{\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE}{\cos \Phi} \right)^2 - \left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA}{\cos \Phi} \right)^2}$$

$$\left(\frac{POTENCIA REACTIVA}{TRANSFORMADOR EXT.} \right) = \sqrt{(94.85 KVA)^2 - (71.14 KW)^2}$$

$$\left(\frac{POTENCIA REACTIVA}{TRANSFORMADOR EXT.} \right) = 62.74 KVAR$$

Ahora calculamos el factor de potencia para el transformador con la siguiente relación:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA TOP DRIVE}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE TOP DRIVE}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{71.14 KW}{94.85 KVA}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.75$$

Por lo que tenemos que para el transformador de 440 V hay un factor de potencia de 0.75.

Ahora toca hallar la suma final de las distintas potencias halladas en los componentes de este equipo de perforación

Para potencia eléctrica efectiva en KW tenemos lo mostrado en la tabla 9:

PARTES DEL EQUIPO	MAGNITUD	UNIDAD
BOMBAS DE LODO	1000	KW
DRAWWORK	0	KW
TOP DRIVE	130.48	KW
TRANSFORMADOR 440 V	260.32	KW
TRANSFORMADOR 220 V	82.45	KW
TRANSFORMADOR EXTERNO	71.14	KW
TOTAL	1544.38	KW

TABLA 9 – POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL DEL EQUIPO

Para potencia eléctrica reactiva lo mostrado en la tabla 10:

PARTES DEL EQUIPO	MAGNITUD	UNIDAD
BOMBAS DE LODO	1368.72	KVAR
DRAWWORK	0	KVAR
TOP DRIVE	51.57	KVAR
TRANSFORMADOR 440 V	229.58	KVAR
TRANSFORMADOR 220 V	84.11	KVAR
TRANSFORMADOR EXTERNO	62.74	KVAR
TOTAL	1796.73	KVAR

TABLA 10 – POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA TOTAL DEL EQUIPO

Entonces con estos resultados hallamos la potencia aparente en el equipo

$$\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{APARENTE DEL EQUIPO} \end{array} \right) = \sqrt{\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{REACTIVA DEL EQUIPO} \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{EFECTIVA DEL EQUIPO} \end{array} \right)^2}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{APARENTE DEL EQUIPO} \end{array} \right) = \sqrt{(1796.73 \text{ KVAR})^2 + (1544.38 \text{ KW})^2}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{APARENTE DEL EQUIPO} \end{array} \right) = 2369.25 \text{ KVA}$$

Una vez obtenidas todas las potencias eléctricas procederemos a hallar el $\cos \Phi$ del equipo usando la siguiente relación:

$$\cos \Phi = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{\text{POTENCIA REACTIVA DEL EQUIPO}}{\text{POTENCIA EFECTIVA DEL EQUIPO}} \right) \right)$$

$$\cos \Phi = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{1796.73 \text{ KVAR}}{1544.38 \text{ KW}} \right) \right)$$

$$\cos \Phi = 0.65$$

Ahora hallaremos la corriente total del equipo con la siguiente relación:

$$\text{CORRIENTE TOTAL EQUIPO} = \frac{\text{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE} \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{VOLTAJE}}$$

$$\text{CORRIENTE TOTAL EQUIPO} = \frac{2369.25 \text{ KVA} \times 1000}{\sqrt{3} \times 600}$$

$$\text{CORRIENTE TOTAL EQUIPO} = 2279.81 \text{ A}$$

Ahora procederemos a hallar la potencia eléctrica aparente y la corriente para cada generador en base a las siguientes relaciones.

$$\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{APARENTE POR GENERADOR} \end{array} \right) = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{APARENTE DEL EQUIPO} \end{array} \right)}{\# \text{ GENERADORES}}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{POTENCIA ELÉCTRICA} \\ \text{APARENTE POR GENERADOR} \end{array} \right) = \frac{2369.25 \text{ KVA}}{3}$$

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE POR GENERADOR} \right) = 804.29 \text{ KVA}$$

$$CORRIENTE GENERADOR = \frac{CORRIENTE TOTAL EQUIPO}{\# GENERADORES}$$

$$CORRIENTE GENERADOR = \frac{2279.81 \text{ A}}{3}$$

$$CORRIENTE GENERADOR = 759.94 \text{ A}$$

Según lo calculado hallamos el factor de potencia del equipo en general:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA DEL EQUIPO}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE DEL EQUIPO}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{1496.00 \text{ KW}}{2369.25 \text{ KVA}}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.65$$

Ahora hallaremos el factor de potencia y las respectivas potencias eléctricas con las mediciones hechas en los mismos generadores, tal y como se muestra en la tabla 11:

DATOS	CORRIENTE	POTENCIA EFECTIVA
GENERADOR #1	1300 A	500 KW
GENERADOR #2	1300 A	550 KW
GENERADOR #3	850 A	700 KW
GENERADORES	3550 A	1750 KW

TABLA 11 – CORRIENTE Y POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA DE LOS GENERADORES

Con la corriente hallamos la potencia aparente:

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE GENERADORES} \right)_{MEDIDA} = \frac{\sqrt{3} \times VOLTAJE \times CORRIENTE \times \#GENERADORES}{1000}$$

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE GENERADORES} \right)_{MEDIDA} = \frac{\sqrt{3} \times 600 \text{ V} \times 3550 \text{ A} \times 3}{1000}$$

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE GENERADORES} \right)_{MEDIDA} = 3689.27 \text{ KVA}$$

Ahora hallamos el factor de potencia de los generadores:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA GENERADORES_{MEDIDA}}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE GENERADORES_{MEDIDA}}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{1750 KW}{3689.27 KVA}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.47$$

Lo que nos demuestra que los generadores están empleando más energía de la necesaria para transformarla y producir trabajo útil.

Ahora hallaremos la eficiencia de la potencia efectiva calculada del equipo y la de los generadores.

$$EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA CALCULADA}{POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDA}$$

$$EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO = \frac{1544.38 KW}{1750.00 KW}$$

$$EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO = 88.25\%$$

Entonces finalmente nos queda lo siguiente:

	EQUIPO	GENERADORES	UNIDAD
POTENCIA EFECTIVA	1544.38	1750	KW
POTENCIA REACTIVA	1796.73	3247.80	KVAR
POTENCIA APARENTE	2369.25	3689.27	KVA
COS PHI	0.65	0.47	#
FACTOR DE POTENCIA	0.65	0.47	
CORRIENTE	2279.81	3550	A
EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO	88.25%		

TABLA 12 – RESULTADOS TOTALES DEL EQUIPO Y LOS GENERADORES

Con lo que podemos apreciar que a pesar de tener una alta eficiencia mecánica nuestro equipo está consumiendo más energía que la que debe para transformar en trabajo. Los generadores están produciendo más potencia reactiva lo que disminuye el factor de potencia y crea más carga de trabajo sobre ellos mismos, así como mayor consumo de corriente y pérdidas en el sistema.

Ahora veamos que pasa para la misma fase de perforación y bajo las mismas condiciones que cuando se empezó el cálculo, pero usando solamente 2 bombas de lodo:

En resumen nos queda:

❖ **BOMBAS DE LODO:**

Los datos recogidos para la bomba de lodo se aprecian en la tabla 13:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
NUMERO DE BOMBAS	2	#
CAUDAL	909	GPM
PRESIÓN	2152	PSI
STROKES	130 X 2	SPM
VOLTAJE	555	V
CORRIENTE	820	A

TABLA 13 – DATOS PARA LA BOMBA DE LODO.

Teniendo en cuenta que se calculó un cos phi de 0.88 en base a la siguiente gráfica:

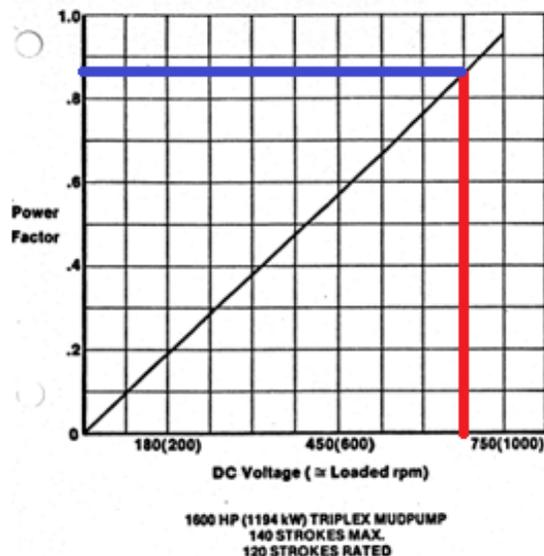


FIG.18 – FACTOR DE POTENCIA VS. RPM DE BOMBAS DE LODO

Tendremos finalmente los siguientes resultados:

RESULTADOS PARA LAS BOMBAS DE LODO	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA HIDRAULICA TOTAL	1136.27	HP
POTENCIA HIDRAULICA UNITARIA	568.13	HP
POTENCIA HIDRAULICA UNITARIA KW	423.98	KW
POTENCIA HIDRAULICA TOTAL KW	847.96	KW
POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA UNITARIA	451.00	KW
POTENCIA ELECTRICA APARENTE UNITARIA	511.63	KVA
POTENCIA ELECTRICA REACTIVA UNITARIA	241.58	KVAR
POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL	902	KW
POTENCIA ELECTRICA APARENTE TOTAL	1023.26	KVA
POTENCIA ELECTRICA REACTIVA TOTAL	483.16	KVAR
cos Φ	0.8815	#
RPM MOTOR DC	927.90	RPM
EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN MECÁNICA	94%	
FACTOR DE POTENCIA	0.8815	

TABLA 14 – RESULTADOS PARA LA BOMBA DE LODO

❖ **DRAWWORK (MALACATE):**

Los datos recogidos para el Drawwork se aprecian en la tabla 15:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
PESO EN EL GANCHO	132	KLBS
VELOCIDAD DE LÍNEA	0	PIES/MIN
VOLTAJE	0	V

CORRIENTE	0	A
------------------	---	---

TABLA 15 – DATOS PARA EL DRAWWORK

Siendo los resultados los mostrados en la tabla 16.

RESULTADOS PARA EL DRAWWORK	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
POTENCIA DRAWWORK KW	0.00	KW
POTENCIA DRAWWORK HP	0.00	HP

TABLA 16 – RESULTADOS PARA EL DRAWWORK

Esto debido a que solo se manobra dando peso a la broca y la sarta.

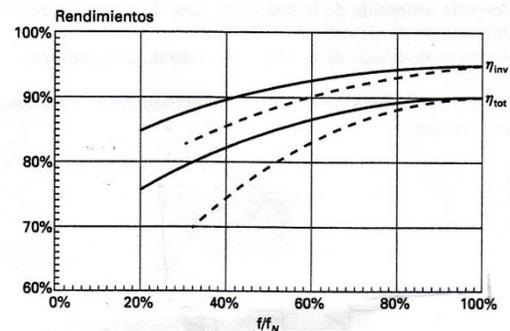
❖ **TOP DRIVE:**

Los datos recogidos para el Top Drive se aprecian en la tabla 17:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
TORQUE	9	KLBS-PIE
VELOCIDAD DE ROTACIÓN	103	RPM
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	262	A

TABLA 17 – DATOS PARA EL TOP DRIVE.

Tomando en cuenta una eficiencia total para el Top Drive de las relaciones entre frecuencias de la siguiente gráfica. Tendremos eficiencia total de 0.86.



una

FIG. 19 – RENDIMIENTO DE ACCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y RENDIMIENTOS

Mains connection

Voltage and power range	3-phase, $U_{2IN} = 208$ to 240 V, $\pm 10\%$, except -U2,-U7,-07,-17,-37 3-phase, $U_{5IN} = 380$ to 500 V, $\pm 10\%$ 3-phase, $U_{7IN} = 525$ to 690 V, $\pm 10\%$ (600 V UL, CSA)
Short Circuit Current Rating (SCCR)	ACS800-U1,-U11,-U31 = 65ka ACS800-PC,-U2,-U7/07,-17,-37 = 100ka
Frequency	48 to 63 Hz
Nominal Impedance	3% Nominal Impedance R2-R3, DC Bus Choke R4 and greater, AC Reactor
Power factor	
ACS800-U1,-PC,-U2,-U7/07	$\cos\phi_1 = 0.98$ (fundamental) $\cos\phi = 0.93...0.95$ (total)
ACS800-U11,-17,-U31,-37	$\cos\phi_1 = 1$ (fundamental) $\cos\phi = 0.99$ (total)

TABLA 18 – INFORMACIÓN DE FABRICANTE SOBRE EL VARIADOR DE VELOCIDAD

También hay que tener en cuenta que se asume un $\cos\Phi$ para todo el sistema del Top Drive debido a que las potencias extras son despreciables en comparación con los motores principales del Top Drive. Razón por la que tomaremos el valor de $\cos\Phi$ de 0.95 de la siguiente tabla proporcionada por ABB el cual es un fabricante de variadores de velocidad.

Con lo que nos quedará finalmente:

RESULTADOS PARA EL TOP DRIVE	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA CALCULADA TOP DRIVE KW	172.09	KW
POTENCIA CALCULADA TOP DRIVE HP	230.77	HP
CORRIENTE MOTOR TOP DRIVE	262.00	A
POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA KW	258.66	KW
POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE	272.28	KVA
POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA	85.02	KVAR
COS PHI TOP DRIVE	0.95	
EFICIENCIA MECÁNICA TOP DRIVE	0.86	-
EFICIENCIAS EXTRAS	0.9	
EFICIENCIA DEL SISTEMA TOP DRIVE	66.53	%
FACTOR DE POTENCIA	0.95	

TABLA 19 – RESULTADOS PARA EL TOP DRIVE.

Con lo que podremos apreciar que hay una mayor cantidad de potencia efectiva y por consiguiente una mayor cantidad de potencia aparente sobre el sistema, lo remarcable es que a mayor exigencia por parte del pozo mejor eficiencia de desempeño del top drive manifestado en es la eficiencia del sistema y el factor de potencia.

❖ TRANSFORMADOR DE 440 VOLTIOS

Los datos recogidos para el Transformador de 440 V se aprecian en la tabla 19:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	151	A
$\cos \Phi$	0.72	#

TABLA 20 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V.

Para un $\cos \Phi$ de 0.72 práctico en este tipo de transformadores obtendremos lo mostrado en la tabla 20:

RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA EFECTIVA EN KW	260.32	KW
POTENCIA EFECTIVA EN HP	348.83	HP
POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE	347.09	KVA
POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA	229.58	KVAR

TABLA 21 – RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V

❖ TRANSFORMADOR DE 220 VOLTIOS

Los datos recogidos para el Transformador de 220 V se aprecian en la tabla 21:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	113	A
cos Φ	0.70	#

TABLA 22 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 220 V.

Para un cos Φ de 0.70 práctico en este tipo de transformadores obtendremos lo mostrado en la tabla 23:

RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 440 V	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA EFECTIVA EN KW	82.45	KW
POTENCIA EFECTIVA EN HP	110.48	HP
POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE	117.78	KVA
POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA	84.11	KVAR

TABLA 23 – RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR DE 220 V.

❖ TRANSFORMADOR EXTERNO (OTRAS CÍAS)

Los datos recogidos para el Transformador Externo de 440 V se aprecian en la tabla 24:

DATOS	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	600	V
CORRIENTE	91	A
cos Φ	0.75	#

TABLA 24 – DATOS PARA EL TRANSFORMADOR EXTERNO DE 440 V.

Para un cos Φ de 0.75 práctico en este tipo de transformadores obtendremos lo mostrado en la tabla 25:

RESULTADOS PARA EL TRANSFORMADOR	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA EFECTIVA EN KW	71.14	KW
POTENCIA EFECTIVA EN HP	95.33	HP
POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE	94.85	KVA

POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA**62.74 KVAR****TABLA 25 – POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL DEL EQUIPO**

Ahora toca hallar la suma final de las distintas potencias halladas en los componentes de este equipo de perforación

Para la potencia eléctrica efectiva en KW se aprecia en la tabla 26:

PARTES DEL EQUIPO	MAGNITUD	UNIDAD
BOMBAS DE LODO	902.00	KW
DRAWWORK	0	KW
TOP DRIVE	258.66	KW
TRANSFORMADOR 440 V	260.32	KW
TRANSFORMADOR 220 V	82.45	KW
TRANSFORMADOR EXTERNO	71.14	KW
TOTAL	1574.57	KW

TABLA 26 – POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL DEL EQUIPO

Para mostrar la potencia eléctrica reactiva usamos la tabla 27:

PARTES DEL EQUIPO	MAGNITUD	UNIDAD
BOMBAS DE LODO	483.16	KVAR
DRAWWORK	0	KVAR
TOP DRIVE	85.02	KVAR
TRANSFORMADOR 440 V	229.58	KVAR
TRANSFORMADOR 220 V	84.11	KVAR
TRANSFORMADOR EXTERNO	62.74	KVAR
TOTAL	1004.09	KVAR

TABLA 27 – POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA TOTAL DEL EQUIPO

Con lo que tendremos finalmente lo mostrado en la tabla 28:

RESULTADOS PARA EL EQUIPO	MAGNITUD	UNIDAD
POTENCIA EFECTIVA	1574.57	KW
POTENCIA REACTIVA	944.61	KVAR
POTENCIA APARENTE	1836.18	KVA
CORRIENTE TOTAL	1766.87	A
COS PHI RESULT	0.86	-
FACTOR DE POTENCIA	0.86	

TABLA 28 – RESULTADOS FINALES PARA EL EQUIPO

Con lo que en comparación con el cálculo previo y específicamente a la variación de usar una bomba menos incrementando los SPM. Se demuestra que se tiene un menor uso de corriente, una mayor eficiencia en transmisión mecánica, un alto $\cos \Phi$, un mejor factor de potencia y una menor potencia aparente en los motores de las bombas de lodo. Se tiene en conjunto una mayor magnitud de potencia efectiva, reactiva y aparente en el equipo, lo cual hubiera sido de mayor magnitud si se hubiera seguido usando 3 bombas de lodo. Esto debido a que analizando netamente las bombas de lodo se aprecia que con dos bombas de lodo se obtiene una menor potencia aparente por bomba, mayor cantidad de potencia efectiva y un incremento significativo en el $\cos \Phi$ puntual para esta parte del equipo.

Ahora hallaremos el factor de potencia y las respectivas potencias eléctricas con las mediciones hechas en los mismos generadores, los cuales veremos en la tabla 29:

DATOS	CORRIENTE	POTENCIA EFECTIVA
GENERADOR #1	850 A	450 KW
GENERADOR #2	850 A	450 KW
GENERADOR #3	650 A	620 KW
GENERADORES	2350 A	1610 KW

TABLA 29 – CORRIENTE Y POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA DE LOS GENERADORES

Con la corriente hallamos la potencia aparente:

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE GENERADORES} \right)_{MEDIDA} = \frac{\sqrt{3} \times VOLTAJE \times CORRIENTE \times \#GENERADORES}{1000}$$

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE GENERADORES} \right)_{MEDIDA} = \frac{\sqrt{3} \times 600 V \times 2350 A \times 3}{1000}$$

$$\left(\frac{POTENCIA ELÉCTRICA}{APARENTE GENERADORES} \right)_{MEDIDA} = 2442.19 KVA$$

Ahora hallamos el factor de potencia de los generadores:

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA GENERADORES_{MEDIDA}}{POTENCIA ELÉCTRICA APARENTE GENERADORES_{MEDIDA}}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = \frac{1610 KW}{2442.19 KVA}$$

$$FACTOR DE POTENCIA = 0.6592$$

Lo que nos demuestra que los generadores están empleando energía eficientemente en transformación para producir trabajo útil.

Ahora hallaremos la eficiencia de la potencia efectiva calculada del equipo y la de los generadores.

$$EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO = \frac{POTENCIA ELÉCTRICA CALCULADA}{POTENCIA ELÉCTRICA MEDIDA}$$

$$EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO = \frac{1574.57 KW}{1610.00 KW}$$

$$EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO = 97.80\%$$

Entonces finalmente nos queda lo mostrado en la siguiente tabla:

DOS BOMBAS DE LODO, TORQUE REGULAR, ALTA	EQUIPO	GENERADORES	UNIDAD
---	--------	-------------	--------

ROTACIÓN			
POTENCIA EFECTIVA	1574.57	1610	KW
POTENCIA REACTIVA	944.61	2442.19	KVAR
POTENCIA APARENTE	1836.18	1836.36	KVA
COS PHI	0.86	0.66	#
FACTOR DE POTENCIA	0.86	0.66	
CORRIENTE	1766.87	2350	A
EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO	97.80%		

TABLA 30 – RESULTADOS PARA EQUIPO Y GENERADORES OPTIMIZADOS

Y comparando con los resultados anteriores mostrados a continuación:

	EQUIPO	GENERADORES	UNIDAD
POTENCIA EFECTIVA	1544.38	1750	KW
POTENCIA REACTIVA	1796.73	3247.80	KVAR
POTENCIA APARENTE	2369.25	3689.27	KVA
COS PHI	0.65	0.47	#
FACTOR DE POTENCIA	0.65	0.47	
CORRIENTE	2279.81	3550	A
EFICIENCIA MECÁNICA DEL EQUIPO	88.25%		

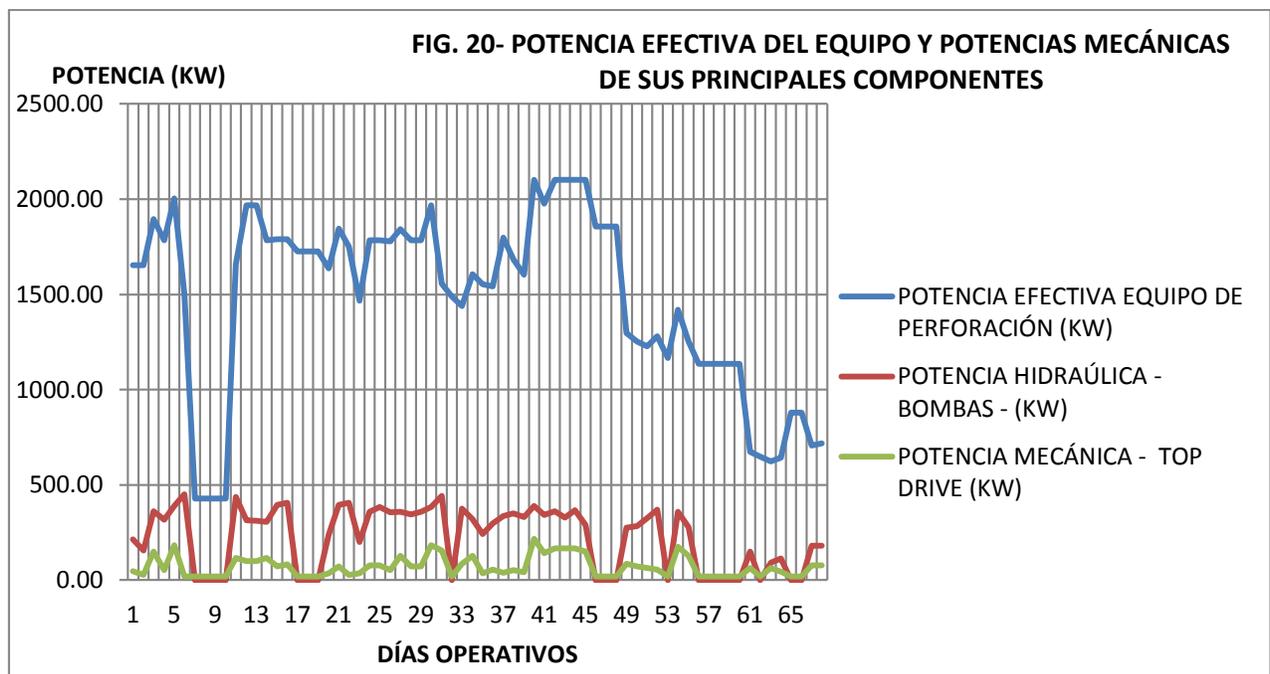
TABLA 31 – POTENCIA ELÉCTRICA EFECTIVA TOTAL DEL EQUIPO Y GENERADORES SIN OPTIMIZAR.

Podríamos decir que se optimizó el equipo de perforación con un incremento del $\cos \Phi$ y el factor de potencia. Lo que indica que hay una menor carga o potencia aparente sobre los generadores, un menor consumo de corriente, y una mejor transformación a potencia mecánica en uso para la operación. En cuanto a la eficiencia de trabajo del equipo en global se aprecia que hay un mejor uso de la energía entregada hacia los principales componentes del equipo.

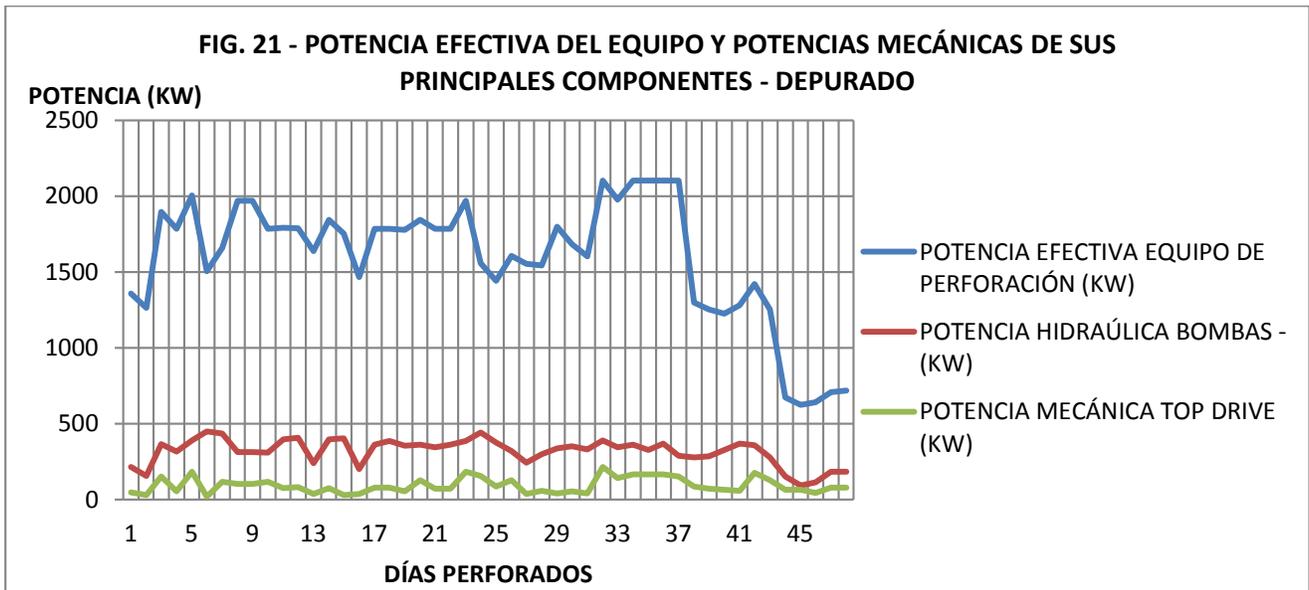
Cabe mencionarse que se puede realizar una optimización energética en un equipo de perforación eléctrico alterando variables independientes como los strokes por minuto de las bombas de lodo, el número de bombas de lodo en uso, o incrementando otras como las RPM en operación del Top Drive.

CAPÍTULO V. OPORTUNIDADES DE MEJORA EN OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN UN EQUIPO DE PERFORACIÓN ELÉCTRICO.

Ahora analizaremos lo calculado anteriormente pero ahora simulado para todo un pozo completo. En base a cálculos hechos sobre nuestras variables principales y estimaciones en medición para nuestras variables secundarias tendremos:

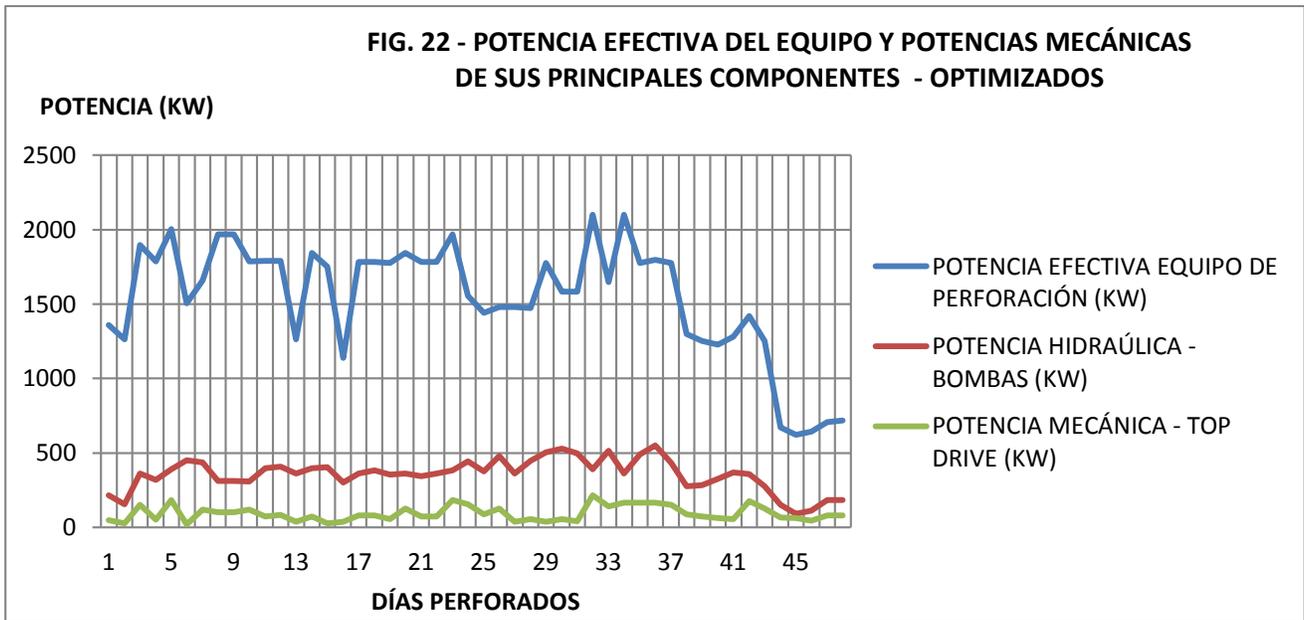


Ahora depuraremos aquellos días en que se realizaron viajes y bajada de casing debido a que en esos días la carga era relativamente baja, Entonces luego de la depuración tendremos los 48 días operativos de perforación rotando pudimos obtener la siguiente gráfica que refleja como fue el desempeño energético del equipo.



Ahora para optimizar observamos que solamente se podrá alterar los SPM y el número de bombas del lodo en uso respetando los valores de caudal y presión para las distintas fases de perforación y según el plan de pozo entregado por la compañía operadora.

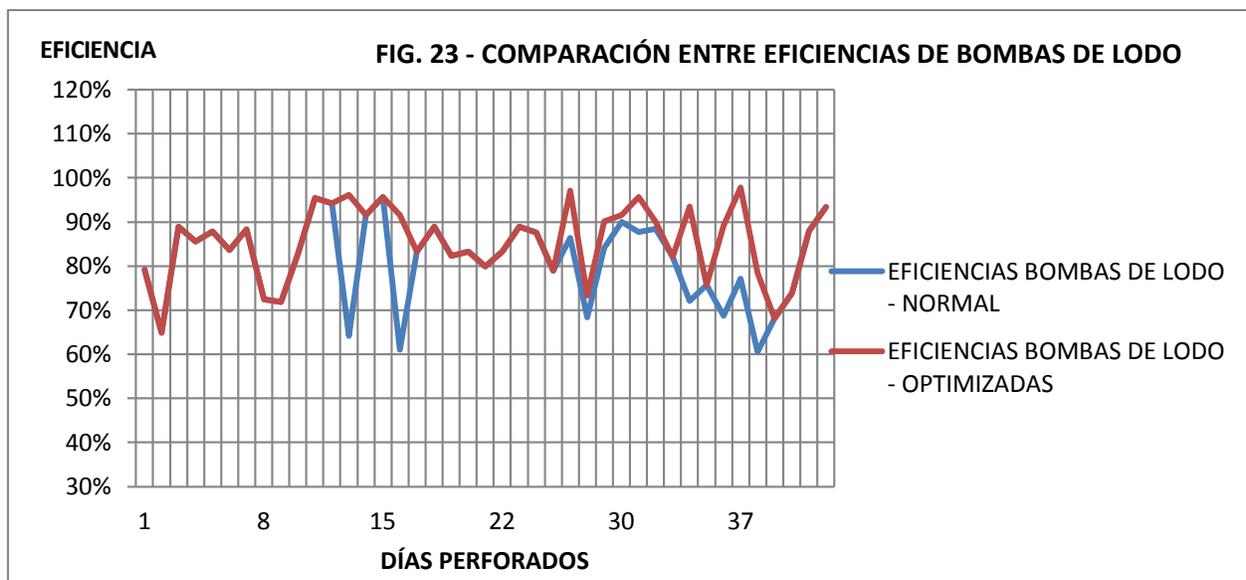
Al igual que se hizo en el capítulo anterior tratamos de usar dos bombas en vez de tres sin exceder los 130 SPM, Para el presente análisis usaremos la misma metodología, teniendo en cuenta que 130 SPM será nuestro máximo valor técnico operativo para este tipo de bombas de lodo. En base a todo lo ya mencionado obtendremos la siguiente gráfica:



En vista de que fue en las bombas de lodo donde se obtuvo esta optimización, será necesario analizar cómo se manifestó esto en las bombas de lodo. Para ellos analizaremos la eficiencia de transmisión final de la bomba. La cual se obtiene de la siguiente relación:

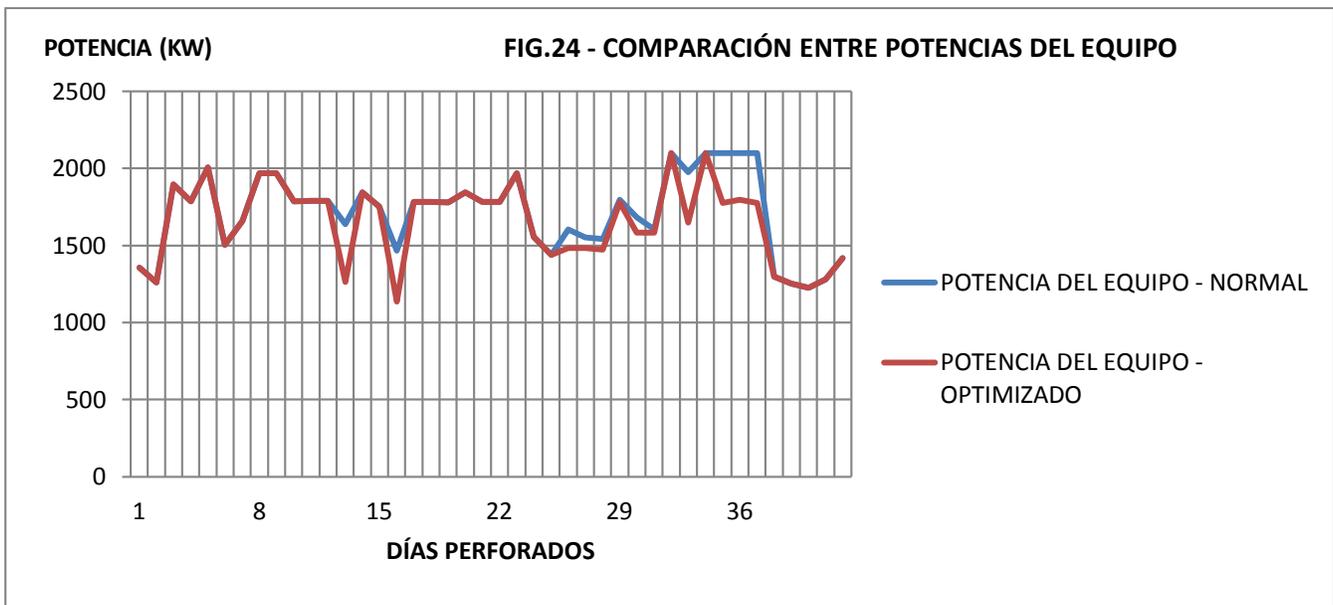
$$EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN = \frac{POTENCIA HIDRÁULICA UNITEARIA}{POTENCIA ELÉCTRICA UNITARIA}$$

Para la cual se obtuvo la siguiente gráfica:



Donde claramente se puede observar que la optimización se obtuvo en los días 13, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36 Y 37. Teniendo en cuenta esto veremos que a lo largo de los 48 días operativos perforando rotando se pudo optimizar 12 días. Lo que nos dice que del tiempo solo en perforación rotando pudimos optimizar el 25% de los días operativos. Lo cual ya es un gran avance en optimización teniendo en cuenta que aún falta analizar otras etapas como la bajada de casing o perforar deslizando.

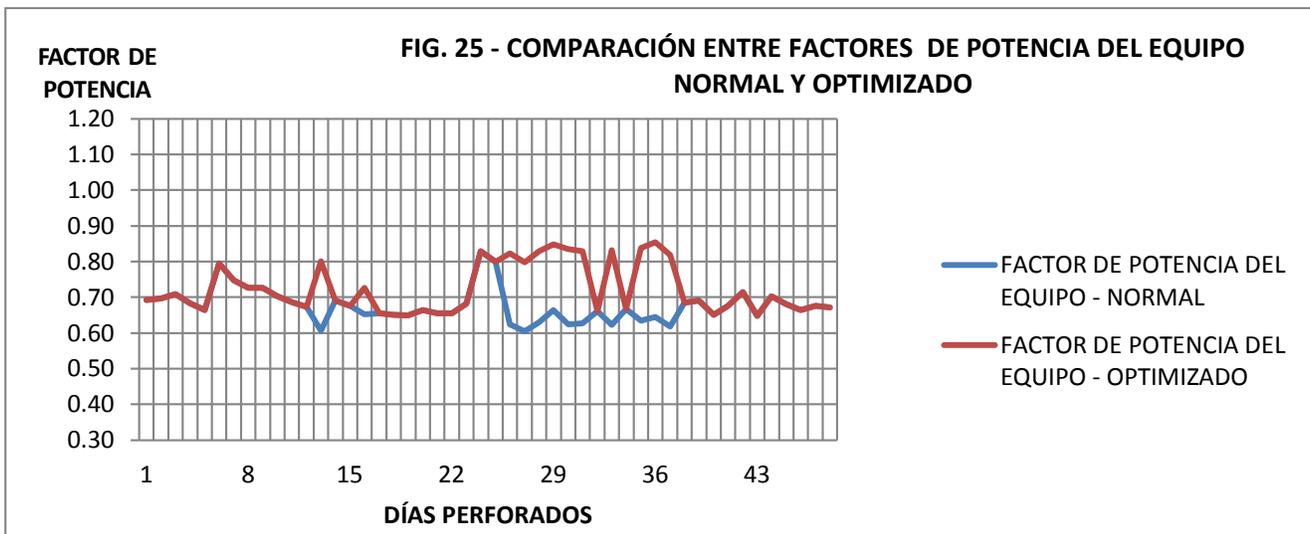
Ahora mostraremos como se optimizó la potencia del equipo. Teniendo en cuenta que se asumió algunas variables dependientes constantes, sobre todo para los transformadores. Se obtuvo la siguiente gráfica:



En donde se observa que cuando se optimizó el equipo este consumió menos potencia en KW, lo que nos representa un ahorro de energía.

Cabe mencionarse que el equipo de perforación en estudio puede proveer una potencia de 3691 KW, teniendo en cuenta que el máximo de potencia requerida fue menos de 2500 KW queda comprobado que nuestro equipo si podía cumplir con el requerimiento del pozo.

Ahora veamos la gráfica obtenida para el factor de potencia del equipo en funcionamiento normal y después de la optimización.



De donde podemos observar que los días de optimización el equipo nuestro factor de potencia alcanzó los valores más altos, esto quiere decir que a pesar que esos días hubo un ahorro de energía nuestro equipo fue más eficiente y transformó más energía eléctrica en trabajo, lo que nos representa una menor carga en el equipo, sobre todo en los generadores.

Con esto queda claro que si se puede optimizar el equipo. Entonces como oportunidad de mejora queda decir que se debe simular los pozos futuros en base a los planes de pozo de las compañías operadoras, esto se debe corroborar con datos similares de pozos pasados. Muy aparte de los datos de variables independientes como la presión y el caudal, se tiene que llevar un registro de las mediciones de corriente, voltaje, kilowatts, kilovars y $\cos\Phi$ del equipo. Tanto para corroborar que nuestro equipo responda a los momentos de mayor carga energética solicitada como para identificar las posibles optimizaciones ha hacer.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se señaló que la optimización energética en un equipo de perforación es posible, más aún pudiendo manipular variables independientes como lo son los SPM y el número de bombas de lodo en uso. Para este estudio se consiguió optimizar el 25% del tiempo perforado en rotación.
- Se demostró que es posible estimar y simular como será la carga energética para pozos en perforación rotaria, en base a los datos en operación de pozos pasados.
- Se apreció que las bombas de lodo a pesar de operar con eficiencias superiores al 65% pueden optimizar aún más su funcionamiento alcanzando valores de más 95%. Siendo esto beneficioso para aliviar la carga energética en el equipo y hacerlo más eficiente de lo que ya es.
- Se demostró que el equipo en estudio está operando a factores de potencia por encima de 0.6, alcanzando picos por encima de 0.8, Lo que nos indica que se necesita monitorear constantemente y rectificar dicho factor de potencia cuando sea necesario, y así evitar que alcance valores críticos.
- Se demostró que el equipo de perforación en estudio estuvo operativo y acorde con la carga demandada por la operación al momento del análisis comparativo y en la simulación posterior.
- Mantener un alto valor del factor de potencia para el equipo de perforación arroja una menor potencia aparente sobre los generadores y más energía para convertir a trabajo. Esto junto a una alta tasa eficiencia mecánica no brindará las optimizaciones buscadas. Disminuyendo la carga de trabajo en generadores.

RECOMENDACIONES

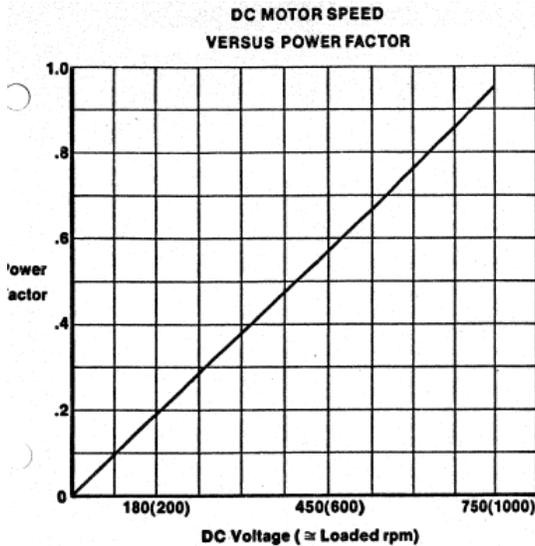
- Es necesario llevar un control de parámetros de las variables dependientes tales como: corriente de cada componente, voltaje (drawwork, bombas de lodo, etc.), potencia eléctrica efectiva (generadores) y $\cos \Phi$ (en todos los componentes). Así como de las variables independientes (presión, caudal, SPM, RPM, torque).
- Es necesario monitorear constantemente que carga energética tiene el equipo e identificar cuáles son los picos de consumo durante las distintas operaciones.
- Una posible recomendación para el futuro sería instalar motores AC y variadores de velocidad en las bombas de lodo, para así tener un mayor factor de potencia a una exigencia de media de carga. Ello debido a que actualmente la instalación de este tipo de motores ha disminuido sus costos.
- Otra buena práctica sería la instalación de condensadores al lado de los posibles motores AC de las bombas y en forma paralela a la barra de distribución del SCR. La función principal de ellos sería cambiar el factor de potencia corrigiéndolo y aumentándolo.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFIA

- ADVANCE SCR DRIVE MANUAL
- ADVANCE SCR DRIVE MANUAL INTENANCE COURSE. ROSS HILL CONTROLS.
- CURSO SCR IPS
- KENNET, J. (1998). BOMBAS – Selección, uso y mantenimiento. Editorial MacGraw Hill.
- QUISPE, E. – MANTILLA L. Motores eléctricos de alta eficiencia.
- SCR DRIVE SYSTEM TECHNICAL MANUAL. Technical Publication Department. Ross Hill Control.
- MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR EMD. EMD Service Department.
- NORTON, J. FORMULAS AND CALCULATION FOR DRILLING, PRODUCTION AND WORKOVER.
- SALINAS, J. JULIO DEL 2002, Factor de Potencia. <http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor%20potencia.pdf>. 31/03/2011.
- ELECTRIC DRIVE DRILLING EQUIPMENT FOR CONTINENTAL EMSCO CO. TRANSPORTATION SYSTEMS BUSINESS DIVISION – GEK-83704-7. GENERAL ELECTRIC.

CAPÍTULO VIII. ANEXOS Y MATRIZ DE CONSISTENCIA.

1. Escaneado de Manual de Servicio de motores GE 752RB

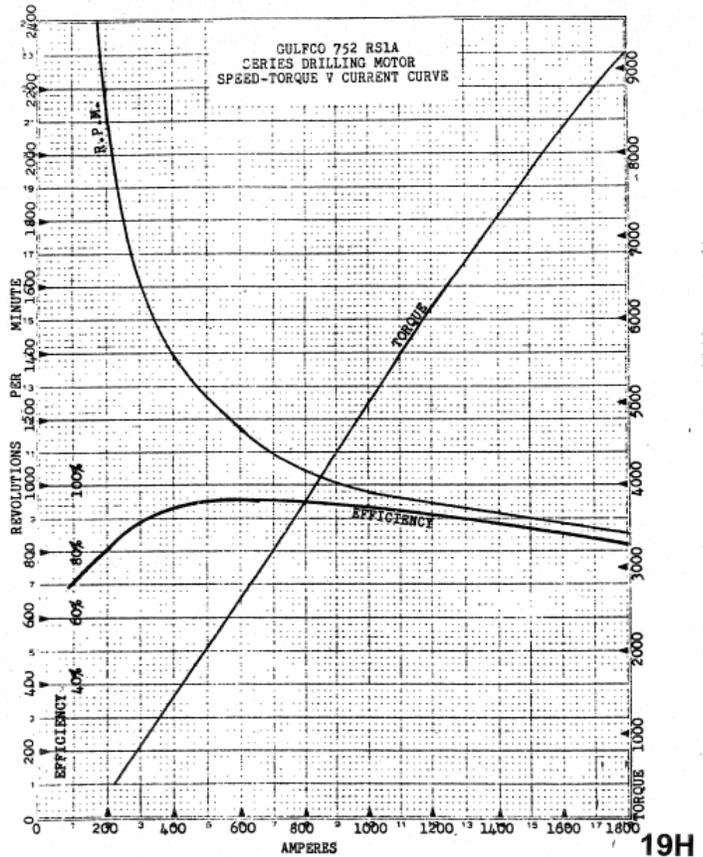


**1600 HP (1194 kW) TRIPLEX MUDPUMP
140 STROKES MAX.
120 STROKES RATED**

**CUSTOMER NEEDS 300 GPM @ 2500 PSI = 515 HHP
(18.9 L/S @ 17237 kPa = 384 HkW)**

DC MOTORS GEARED FOR 140 SPM DC MOTORS GEARED FOR 100 SPM

LINER SIZE	REQUIRED PUMP STROKES	MOTOR RPM	P.F.	kVa	MOTOR RPM	P.F.	kVa
5 (127)	97	690	.66	577	970	.92	419
5½ (140)	81	579	.58	690	810	.79	502
6 (152)	68	486	.45	822	680	.64	598
6½ (165)	58	414	.4	968	580	.55	701
8 (171)	54	385	.37	1035	540	.51	753
7 (178)	50	357	.34	1118	500	.47	813
7½ (184)	47	336	.32	1189	470	.44	864
7½ (181)	44	314	.30	1274	440	.35	1079



19H

2. Escaneado del Catálogo Técnico de Variadores de Velocidad de la compañía ABB.

Technical specification



Mains connection	
Voltage and power range	3-phase, U_{nom} = 208 to 240 V, \pm 10%, except -U2,-U7,-07,-17,-37 3-phase, U_{nom} = 380 to 500 V, \pm 10% 3-phase, U_{nom} = 525 to 690 V, \pm 10% (600 V UL, CSA)
Short Circuit Current Rating (SCCR)	ACS800-U1,-U11,-U31 = 65ka ACS800-PC,-U2,-U7/07,-17,-37 = 100ka
Frequency	48 to 63 Hz
Nominal impedance	3% Nominal impedance R2-R3, DC Bus Choke R4 and greater, AC Reactor
Power factor	ACS800-U1,-PC,-U2,-U7/07 $\cos\phi_f$ = 0.98 (fundamental) $\cos\phi_T$ = 0.93...0.95 (total) ACS800-U11,-17,-U31,-37 $\cos\phi_f$ = 1 (fundamental) $\cos\phi_T$ = 0.99 (total)
Efficiency (at nominal power)	ACS800-U1,-PC,-U2,-U7/07 98% ACS800-U11,-17,-U31,-37 97%
Motor connection	
Voltage for > 500 V units	3-phase output voltage 0... $U_{nom}/U_{max}/U_{min}$ please see "Filter selection table for ACS800" under the du/dt filters on page 33
Frequency du/dt	0... \pm 300 Hz (0... \pm 120 Hz for -U7/07 frames R6-R8 with du/dt filters and external du/dt filters)
Field weakening point	8...300 Hz
Motor control	ABB's exclusive Direct Torque Control (DTC)
Torque control	Torque step rise time
Open loop	<5 ms with nominal torque
Closed loop	<5 ms with nominal torque
Open loop	Non-linearity:
Closed loop	\pm 4% with nominal torque \pm 1% with nominal torque
Speed control	Static accuracy
Open loop	10% of motor slip
Closed loop	0.01% of nominal speed
Open loop	Dynamic accuracy
Closed loop	0.3...0.4% sec. with 100% torque step 0.1...0.2% sec. with 100% torque step
Environmental	
Ambient temperature	Transport -40...+70°C Storage -40...+70°C Operation -15...+50°C, no frost allowed 40...50°C at reduced output current (1% / 1°C)
Cooling method	Dry clean air
Altitude	0...1000 m without derating 1000...4000 m with derating - (1% / 100 m) (690 V units: 1000...2000 m with derating)
Relative humidity	5 to 95%, no condensation allowed
Protection class	UL Type 1 standard for -U1,-PC,-U2,-U7/07,-U11,-17,-U31,-37 UL Type 1 filtered option for -U7/07,-17,-37 UL Type 12 option for -U1,-PC,-U7/07,-17,-37
Paint color	-PC,-U7/07,-17,-37: RAL 7035 -U1,-U11,-U2,-U31: NCS 1502-Y (RAL 90021, PMS 420 C)
Contamination levels	No conductive dust allowed
Storage	IEC60721-3-1, Class 1C2 (chemical gases), Class 1S2 (solid particles)
Transportation	IEC60721-3-2, Class 2C2 (chemical gases), Class 2S2 (solid particles)
Operation	IEC60721-3-3, Class 3C1/3C2* (chemical gases), Class 3S2 (solid particles)
	C = chemically active substances S = mechanically active substances * coated circuit boards
Product compliance	
	UL & cUL (508A or 508C) and CSA C22.2 NO. 14-05, C-Tick, GOST R NEC 430.126(A)(2) Motor Overtemperature Protection Quality assurance system ISO 9001 and Environmental system ISO 14001 CE (Available) Low Voltage Directive 73/23/EEC with amendment 93/68/EEC Machinery Directive 98/37/EC EMC Directive 89/336/EEC with amendment 93/68/EEC
EMC (according to EN 61800-3)	
	2* environment, unrestricted distribution category C3 as standard in -07 (frame size \geq R8), -17 and -37 (frame sizes R7- \geq R8), option in the others 1* environment, restricted distribution category C2 as option up to 1000 A input current
	NOTE: Available options are shown in the Summary of features options table. Please see pages 48-49.

3. Tabla de datos depurados usados en la simulación.

DÍAS	PRESIÓN	CAUDAL REAL	CAUDAL CALC.	CAMISA	BOMBAS	STROKES	TORQUE	REV.
	PSI	GPM	GPM	PULG	#	SPM	KLBS-FT	RPM
1.00	1550.00	950.00	973.84	6.00	3.00	93.00	3.00	50.00
2.00	1120.00	950.00	973.84	6.00	3.00	93.00	1.00	50.00
3.00	2500.00	1000.00	1005.25	6.00	3.00	96.00	8.00	100.00
4.00	2350.00	930.00	942.42	6.00	3.00	90.00	2.00	100.00
5.00	2920.00	920.00	921.48	6.00	3.00	88.00	10.00	100.00
6.00	2480.00	833.00	837.71	6.00	2.00	120.00	0.00	20.00
7.00	2500.00	800.00	604.19	5.50	2.00	103.00	6.00	100.00
8.00	2450.00	880.00	879.88	5.50	3.00	100.00	5.00	100.00
9.00	2474.00	865.00	879.88	5.50	3.00	100.00	5.00	100.00
10.00	2550.00	830.00	827.09	5.50	3.00	94.00	6.00	100.00
11.00	3280.00	830.00	835.89	5.50	3.00	95.00	4.00	80.00
12.00	3378.00	830.00	827.09	5.50	3.00	94.00	7.00	50.00
13.00	2365.00	700.00	703.91	5.50	3.00	80.00	2.00	50.00
14.00	3250.00	840.00	844.69	5.50	3.00	96.00	4.00	80.00
15.00	3360.00	830.00	835.89	5.50	3.00	95.00	2.00	30.00
16.00	2300.00	600.00	783.10	5.50	3.00	89.00	4.00	30.00
17.00	3100.00	800.00	800.70	5.50	3.00	91.00	8.00	40.00
18.00	3350.00	790.00	791.90	5.50	3.00	90.00	8.00	40.00
19.00	3100.00	790.00	791.90	5.50	3.00	90.00	8.00	30.00
20.00	3100.00	800.00	800.70	5.50	3.00	91.00	8.00	80.00
21.00	2988.00	796.00	800.70	5.50	3.00	91.00	7.00	40.00
22.00	3100.00	800.00	800.70	5.50	3.00	91.00	7.00	40.00
23.00	3309.00	800.00	800.70	5.50	3.00	91.00	10.00	100.00
24.00	2780.00	730.00	733.24	5.50	2.00	125.00	10.00	80.00
25.00	2466.00	700.00	703.91	5.50	2.00	120.00	9.00	40.00
26.00	2990.00	738.00	739.10	5.50	3.00	84.00	12.00	50.00
27.00	2378.00	700.00	703.91	5.50	3.00	80.00	2.00	50.00
28.00	2739.00	747.00	747.90	5.50	3.00	85.00	5.00	40.00
29.00	3092.00	750.00	756.70	5.50	3.00	86.00	1.00	120.00
30.00	3208.00	755.00	747.90	5.50	3.00	85.00	8.00	30.00
31.00	3037.00	750.00	747.90	5.50	3.00	85.00	5.00	30.00
32.00	3450.00	780.00	774.30	5.50	3.00	88.00	12.00	100.00
33.00	3206.00	738.00	739.10	5.50	3.00	84.00	9.00	80.00
34.00	3185.00	780.00	783.10	5.50	3.00	89.00	9.00	100.00
35.00	3090.00	730.00	730.30	5.50	3.00	83.00	9.00	100.00
36.00	3358.00	753.00	747.90	5.50	3.00	85.00	9.00	100.00
37.00	2835.00	700.00	703.91	5.50	3.00	80.00	8.00	100.00
38.00	2305.00	550.00	551.39	5.50	2.00	94.00	9.00	40.00
39.00	2360.00	550.00	557.26	5.50	2.00	95.00	7.00	40.00

40.00	2960.00	504.00	504.47	5.50	2.00	86.00	6.00	40.00
41.00	3200.00	530.00	539.66	5.50	2.00	92.00	5.00	40.00
42.00	3104.00	530.00	539.66	5.50	2.00	92.00	7.00	140.00
43.00	2650.00	480.00	481.00	5.50	2.00	82.00	8.00	80.00
44.00	1495.00	231.00	234.64	5.50	1.00	80.00	5.00	50.00
45.00	1100.00	190.00	193.57	5.50	1.00	66.00	6.00	40.00
46.00	1370.00	190.00	193.57	5.50	1.00	66.00	6.00	30.00
47.00	1900.00	220.00	219.97	5.50	1.00	75.00	8.00	40.00
48.00	1900.00	220.00	219.97	5.50	1.00	75.00	8.00	40.00

MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE TESIS

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN UN EQUIPO DE PERFORACIÓN ELÉCTRICO

<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>Problema Principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso no eficiente de la energía. <p>Problema Secundario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El equipo de perforación eléctrico podrá cumplir con el requerimiento energético de la operación. 	<p>OBJETIVOS</p> <p>Objetivos Generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tener mayor capacidad de carga energética en el equipo. <p>Objetivos Secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proponer mejoras o alternativas en planes de pozo. • Minimizar costos incrementando la eficiencia de funcionamiento. • Analizar las cargas energéticas en partes principales del equipo, así como en global. 	<p>VARIABLES IDENTIFICADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variables Independientes: número de bombas, SPM, diámetros de camisa, RPM en el top drive. • Variables Dependientes: corriente eléctrica, voltaje, potencia mecánica de salida, potencia eléctrica efectiva, potencia eléctrica aparente, $\cos \Phi$, factor de potencia. • Variables de Control: eficiencia de la bomba de lodos, variador de velocidad del Top Drive, motor del Top Drive, de la transmisión de engranajes del Top Drive. 	<p>ANTECEDENTES</p> <p>Debido a las serias ineficiencias en los equipos de perforación estos se opto por modernizarlos y emplear motores de corriente continua y alterna. Es por ello que la potencia en los equipos se dejo de analizarse como mecánica y paso a analizarse como eléctrica.</p> <p>TEORÍA DE FACTOR DE POTENCIA</p> <p>Factor de Potencia es el nombre dado a la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación, o dicho de otro modo, el coseno del ángulo formado por el desfase de la corriente con respecto al voltaje aplicado.</p>	<p>BIBLIOGRAFIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • ADVANCE SCR DRIVE MANUAL • ADVANCE SCR DRIVE MANUAL INTENANCE COURSE. ROSS HILL CONTROLS. • CURSO SCR IPS • KENNET, J. (1998). BOMBAS – Selección, uso y mantenimiento. Editorial MacGraw Hill. • QUISPE, E. – MANTILLA L. Motores eléctricos de alta eficiencia. • SCR DRIVE SYSTEM TECHNICAL MANUAL. Technical Publication Department. Ross Hill Control. • MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR EMD. EMD Service Department. • NORTON, J. FORMULAS AND CALCULATION FOR DRILLING, PRODUCTION AND WORKOVER. • SALINAS, J. JULIO DEL 2002, Factor de Potencia. http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor%20potencia.pdf. 31/03/2011. • ELECTRIC DRIVE DRILLING EQUIPMENT FOR CONTINENTAL EMSCO CO. TRANSPORTATION SYSTEMS BUSINESS DIVISION – GEK-83704-7. GENERAL ELECTRIC
---	--	--	---	---