



# Yura: Relaciones internacionales

Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Revista electrónica ISSN 1390-938x

Nº 6: Abril - junio 2016

Análisis estratégico de la extracción de petróleo con sistemas de ahorro de energía Novomet  
pp. 41 - 56

Aguirre, Erinson; Macías, Josafath; Tabango Edwin; Medina Pamela

Novomet Ecuador

Quito - Ecuador

Av. General Rumiñahui.

erinson\_e@hotmail.com

## Resumen

41

El objetivo del presente trabajo de investigación fue realizar un análisis estratégico sistemas de ahorro de energía Novomet en la extracción de petróleo, analizar las ventajas y desventajas en la operación de los equipos BES instalados con sistemas convencionales versus la operatividad de los equipos BES instalados con sistemas de ahorro de energía, realizar el levantamiento de información de los equipos BES y los sistemas artificiales de bombeo eléctrico convencional y bombeo eléctrico sumergible con bombas ahorradoras de energía y motores de imanes permanentes, de esta manera se estableció una evaluación técnica-económica de los sistemas BES de ahorro de energía que en la actualidad representan \$ 40 por barril de petróleo como promedio. La metodología utilizada fue la de comparación de costos que nos permite establecer ventajas y desventajas de uso del sistema BES el análisis se realizó a través de datos reales comparativos entre equipos BES de las mismas características y los resultados obtenidos fueron satisfactorios teniendo un ahorro de energía del 99.19%, el principal resultado se analizó desde diferentes aristas y trasladado al campo de las estimaciones, este sistema tiene la capacidad de incrementar su producción con menor consumo de energía eléctrica en superficie, reducción de dimensiones de su equipo de fondo tanto en su longitud como en su diámetro que permite instalar equipos de extracción de petróleo a profundidades y lugares inaccesibles por el sistema convencional, finalmente se explicaron las cantidades de equipos BES con ahorro de energía instalados en el mundo y el ahorro de energía eléctrica que se consiguió en KVA. Por lo tanto podemos descifrar que se puede aprovechar estas ventajas del sistema de bombeo eléctrico sumergible con ahorro de energía para llegar a producir petróleo de lugares difíciles que tienen los pozos desviados y que ha sido difícil pensar como extraer el fluido de manera eficiente y a bajo costo.

## Palabras clave

Extracción, ahorro, energía, costo.

### **Abstract**

The aim of this research was to analyze I STRA- logical systems energy saving Novomet in oil extraction, analyze the come-advantages and disadvantages in the operation of the BES equipment installed with convinced-tional systems versus BES operation of the equipment installed systems saving ener-gy, to survey teams BES information systems and artificial conventional electric pumps and submersible electric pump with energy saving pumps and motors with permanent magnets, so a technical-economic evaluation of the BES energy saving systems established which currently repre-so \$ 40 per barrel on average. The methodology used was that of company-ration costs allows us to establish advantages and disadvantages of using the BES system analysis was performed using comparative real data between computers BES with the same characteristics and the results were satisfactory considering savings Energy 99.19%, the main outcome was analyzed from different angles and transferred to field estimates, this system has the ability to increase production with less consumption of electrical energy in surface, reduced dimensions of your computer background in both its length and diameter that can install equipment at depths oil extraction and the conventional system inaccessible places, finally amounts BES-saving equipment installed worldwide energy and electricity savings was achieved in KVA were explained . Therefore we can decipher that can take advantage of these benefits of electrical submersible pumping energy savings to reach produce oil from difficult places that have deviated wells and has been hard to think how to extract fluid efficiently and inexpensively .

### **Keywords**

Extraction, saving energy, cost

La industria hidrocarburífera presenta en la actualidad un gran desafío debido al bajo precio del barril de petróleo internacional WTI y a los altos costos de producción que se negociaron por barril de petróleo producido con los nuevos contratos de servicios específicos con los diferentes Consorcios en los campos petroleros maduros del Ecuador, en estos campos que tienen muchos años de producción petrolera sus pozos ya no producen a flujo natural, es decir, sus yacimientos no cuentan con energía suficiente para levantar el hidrocarburo a superficie. Para contrarrestar esta pérdida de presión, se ha desarrollado equipos de bombeo eléctrico sumergible y nuevas tecnologías que nos van a permitir incrementar la producción de este recurso natural dando como resultado grandes beneficios económicos para el país.

Uno de los métodos más aplicados en los últimos años para la extracción de petróleo es el sistema de Bombeo Eléctrico Sumergible (BES, por sus siglas) por ser uno de los más eficientes pero también es de los más complejos y costosos. Por esta razón, se ha desarrollado un sistema de ahorro de energía el cual puede ser aplicado para poder incrementar la eficiencia en la producción de petróleo, especialmente en instalaciones donde el consumo de energía eléctrica es muy alto.

El sistema de ahorro de energía consiste en un nuevo desarrollo de una bomba “power save” y un motor de imán permanente que permite un ahorro mayor al 25% de consumo de energía eléctrica, la eficiencia de los motores de imanes permanentes es de 94% en relación al 86% del motor asincrónico convencional y el deslizamiento del rotor es cero (en un tradicional motor de inducción asincrónico o jaula de ardilla, el deslizamiento del rotor es de aproximadamente 6%). Los rotores están contruidos con imanes permanentes poseen dos polos donde el norte y el sur se entrelazan entre sí y los imanes están hechos de aleaciones de tierras raras, y, una bomba power save con un nuevo diseño en sus etapas que tiene un 6% de mayor eficiencia que las etapas de las bombas tradicionales, estas nuevas etapas son fabricadas con polvo de metalurgia instaladas en las bombas que son parte del equipo BES de fondo teniendo así una alta precisión geométrica y mayor capacidad para manejar gas y sólidos, además, las superficies son más compactas y menos porosa disminuyendo la vibración y asegurando superficies hidrodinámicas más seguras.

El sistema de ahorro de energía es una alternativa no sólo novedosa sino también innovadora que permite ser aplicada en lugares y a profundidades no recomendadas para el sistema de bombeo eléctrico sumergible convencional.

### Método

El costo de la energía consumida en la producción de petróleo es uno de los elementos clave de los gastos de operación del operador (OPEX). Por esta razón, los sistemas de producción deben combinar la energía eficiencia y fiabilidad en un diseño rentable para reducir al mínimo los costos de producción. El sistema de ahorro de energía BES de Novomet incorpora equipamiento exclusivo y un enfoque integral en estos días que el precio internacional del barril de petróleo está muy por debajo del presupuestado por algunos gobiernos que depende su economía de la producción de petróleo.

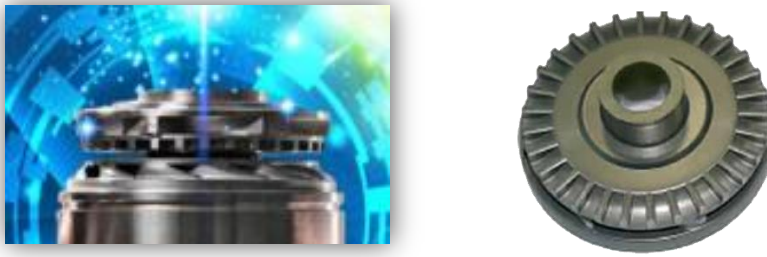
Las bombas de ahorro de energía, tienen una mejor geometría en sus impulsores (Ver figura 2.1) para una mayor eficiencia y confiabilidad, además, soportan velocidades de rotación de hasta 6000 rpm que le da el motor de imán permanente.

*“No tenemos miedo a las condiciones más severas de sus pozos, dejemos esos miedos a las soluciones tecnológicas” [Cursivas añadidas] de Novomet.*

Novomet, es la compañía pionera en el uso de técnicas de polvo de metalurgia para producir equipos para extracción de petróleo. La Tecnología de polvo de metalurgia comprende las operaciones de mezcla de los polvos, moldeo y sinterización (aglomeración).

El enfoque integral de ahorro de energía incluye el dimensionamiento óptimo y constante funcionamiento en el mejor punto de eficiencia de la bomba, con el apoyo de algoritmos inteligentes del variador de frecuencia (VSD).

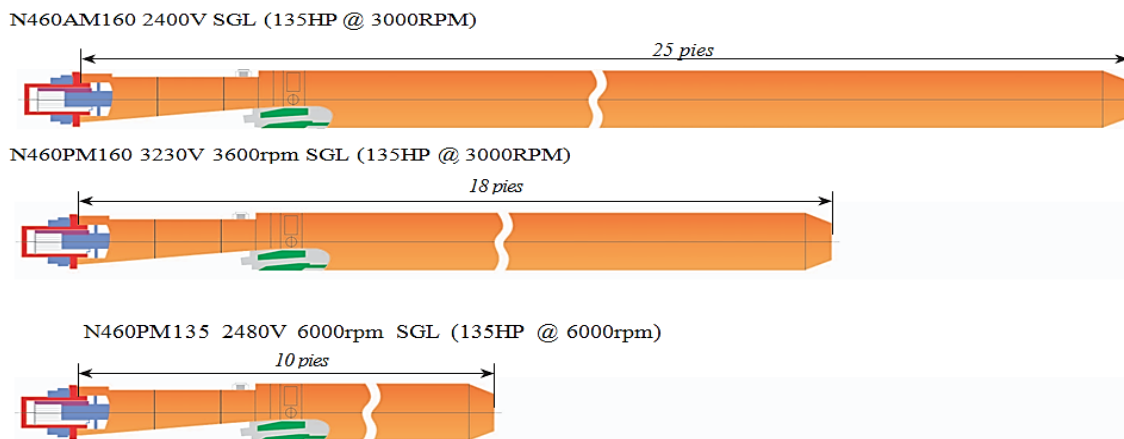
Figura 2.1. Impulsor vortex flujo mixto polvo de metalurgia con corona



Nota: Fotografía de impulsor

En la Figura 2.2 se observan tres motores que proporcionan 135 HP cada uno serie 460 OD 4,6” el primero es un motor convencional asincrónico de 3600 rpm con una longitud de 25ft, el segundo es un motor de imán permanente de 3600 rpm con una longitud de 18ft y el tercer motor es de imán permanente de 6000 rpm con una longitud de 10 ft.

Figura 2.2 Motor de imán permanente síncrono vs motor de inducción o jaula de ardilla.



Este sistema funciona con un sistema de sensor que recibe como mínimo la temperatura de entrada y la presión, la vibración y la temperatura del devanado del motor, así como los nuevos sensores permiten medir el caudal, corte de agua, y el posicionamiento de la bomba.

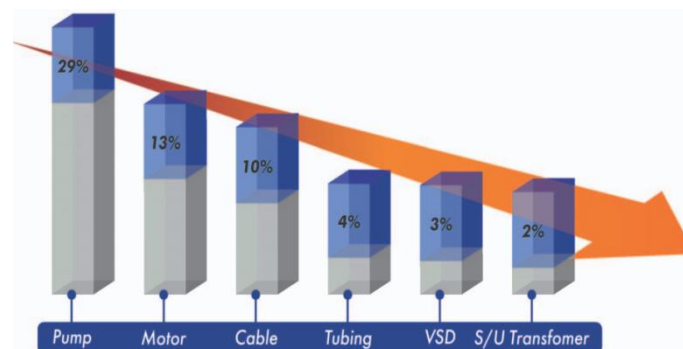
Realizar un análisis operacional del sistema BES de ahorro de energía y sus ventajas frente al sistema BES convencional, comparar las características de diseño del sistema BES tradicional frente al sistema BES con Ahorro de Energía, evaluar económicamente la aplicación y ahorro en costo de consumo de energía del sistema BES utilizando motores de imanes permanentes.

De acuerdo con la investigación llevada a cabo en componentes BES, las pérdidas de energía primarias son en la bomba y luego, en orden descendente, en el motor, el cable, la tubería, el variador de velocidad, y el transformador como se puede observar en la Figura 2.3. Por lo tanto, cuando empezó el desarrollo del ahorro de energía el esfuerzo principal se centró en la bomba y el motor como las fuentes más significativas de las pérdidas de energía.

La tecnología de ahorro de energía incorpora varios factores de diseño importantes que se diferencian del sistema de equipo convencional. Estos incluyen los siguientes:

- Motor de imanes permanentes (PMM o PM) con diámetros reducidos;
- Alta eficiencia de la bomba con una geometría única (corona vortex) para ingresar en tuberías de 4”;
- Controlador de velocidad variable con un sistema de sensores de fondo de pozo que analizan todos los parámetros de la BES para garantizar un funcionamiento óptimo.

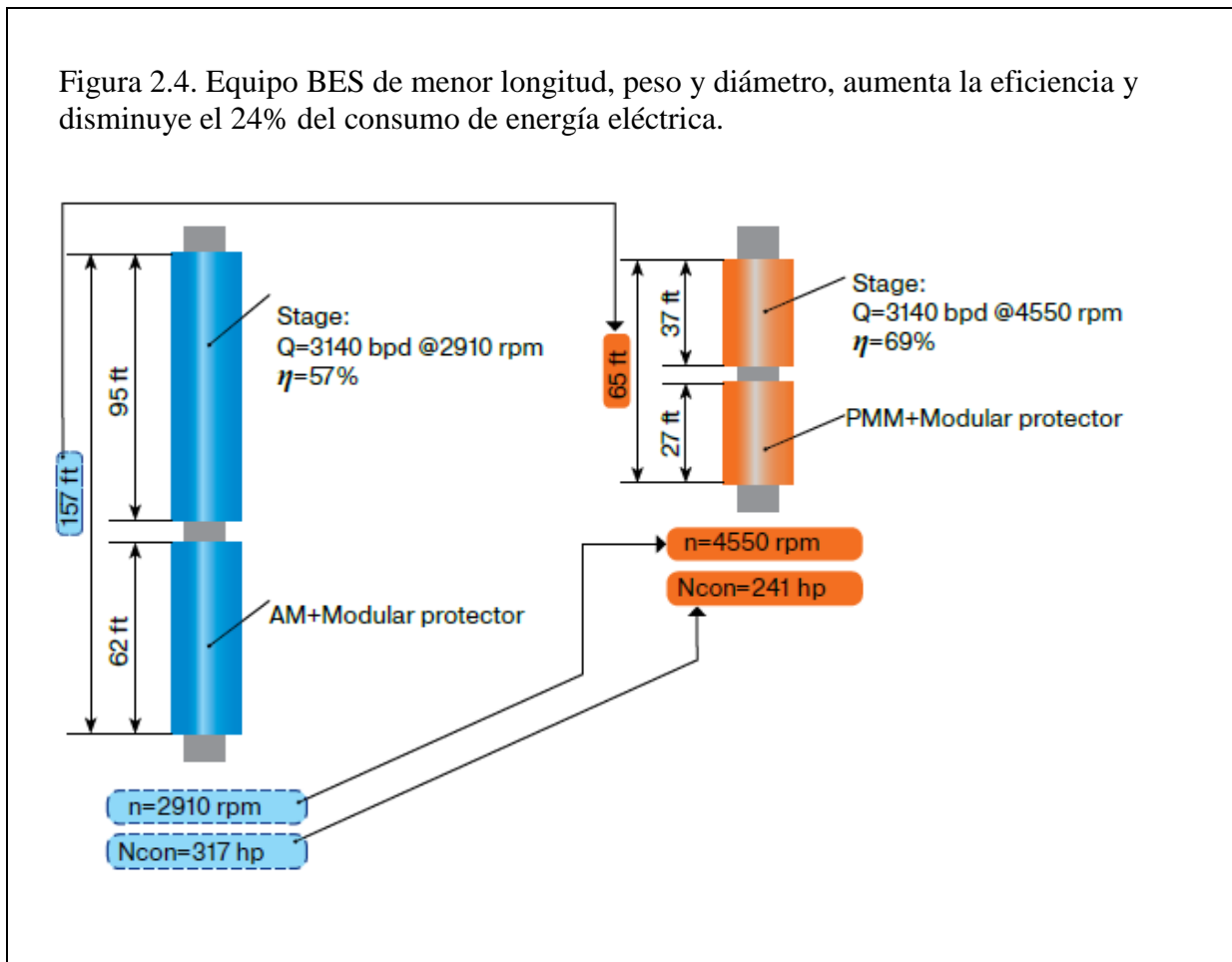
Figura 2.3. Distribución de las pérdidas de energía en el sistema de BES



Novomet tiene la más amplia gama de bombas (217-740 serie). Los modelos Power Save empiezan con la serie OD 2.72 " hasta la serie OD 6.77". Su rango de operación es desde 70 hasta 27170 BPD.

El componente clave del sistema de ahorro de energía es el motor de imán permanente, este es un motor sincrónico en el que la técnica de fabricación del estator es similar a la de un motor asíncrono (inducción), pero cuyo estator usa imanes permanentes (en lugar de devanados de alambre) hechos a partir de aleaciones de tierras raras, creando un alto nivel de imán de inducción, lo que permite tener motores de menor longitudes, pesos y diámetros para las mismas potencias comparados con otros motores asíncronos como se puede ver en la Figura 2.4. En la misma figura se puede verificar que sucede lo mismo con la bomba power save se tienen de menor longitudes, peso y diámetros para el mismo caudal de producción de un pozo en comparación con bombas convencionales.

Figura 2.4. Equipo BES de menor longitud, peso y diámetro, aumenta la eficiencia y disminuye el 24% del consumo de energía eléctrica.





## Resultados

Novomet ha suministrado 2600 sistemas Power Save a clientes en Rusia, Kazajstán, Azerbaiyán, Egipto, Rumanía, EEUU, México, Venezuela, Colombia, Ecuador y Argentina, más de 1200 sistemas han sido instalados, 300 BES de serie 272 y 900 también se instalaron de la serie 319. Uno de los principales usuarios de las unidades de ahorro de energía BES en Rusia es Gazpromneft. A partir de abril de 2011 hasta diciembre de 2014, se instalaron 1400 unidades de ahorro de energía BES con motores de imán permanente y VSD inteligentes para reducir el consumo de energía. El objetivo principal de la instalación de las unidades de ahorro de energía BES fue para ahorrar energía en los pozos existentes, con el fin de operar nuevos pozos con la misma planta de generación de energía.

Otro caso de estudio es de una instalación egipcia de la subsidiaria de ENI. La región del desierto occidental incluye cinco ubicaciones: Meleiha, Zarif, Aghar, Faras, y Raml. La mayoría de los pozos del desierto occidental se completan con sistemas de levantamiento artificial y con varios tipos de bombas, incluyendo BES, bombeo mecánico y bombas de cavidad progresiva.

Todos los pozos BES originalmente estaban equipados con motores de inducción convencionales. En junio de 2012, Novomet instaló bombas de prueba de ahorro de energía mediante la sustitución de un motor de inducción y bombas convencionales en un pozo del campo de Norte de Nada, en Egipto. El pozo había sido completado con una barilla de succión en diciembre del 2001, y luego se convierte en un pozo con BES en octubre del año 2003.

Se logró el resultado esperado de esta aplicación a prueba, reduciendo el consumo de energía en un 40 por ciento, de 81 kVA a 49 kVA, esta unidad de ahorro de energía BES continua trabajando, bajo continua evaluación y observación.

En la actualidad, 64 pozos en Egipto utilizan equipos Novomet, de los cuales 38 utilizan unidades de ahorro de energía BES.

En la provincia de Chubut, Enap Sipetrol Argentina es titular y operador del Yacimiento Pampa del Castillo (PC) La Guitarra. Ubicado en el flanco norte de la Cuenca del Golfo San Jorge, a una distancia de 42 Km. de Comodoro Rivadavia, el

primer pozo exploratorio de 1935, aunque el yacimiento recién comienza a ser operado por Enap Sipetrol Argentina en octubre de 2001.

Pese a que se trata de un campo eminentemente petrolero, Pampa del Castillo – La Guitarra también produce una pequeña cantidad de gas, que es utilizado para la generación de energía destinada a cubrir las necesidades de la operación en los pozos PC-1037 y PC-1040, el equipo de Novomet actualmente instalado consume un 40 % menos de energía para las mismas condiciones de producción que el equipo convencional instalado anteriormente.

En 2005, el yacimiento certificó su sistema de gestión ambiental con la norma ISO 14.001, certificación que ha sido renovada año tras año como evidencia del sostenido compromiso de la Compañía con el cuidado del medioambiente

Primera aplicación de Motor de Imán Permanente con bombas ahorradoras de energía también se dio en México pozo Santuario-132H, Comalcalco, Tabasco México (Petrofac).

Otros casos de estudios en diferentes proyectos muestran incluso mayores resultados para la reducción del consumo de energía, del 26 al 39 por ciento como se puede observar en la Tabla 3.1, basado en la estadística, podemos comparar los resultados de los equipos instalados previamente a resultados después de instalar equipo de ahorro de energía BES.

Tabla 3.1 Resultados de la implementación de equipo Power Save en compañías rusas

<b>Company</b>	<b>Average effect of reduction of power consumption</b>
Gazpromneft	30%
TNK – BP	26%
LUKOIL	28%
Rosneft	39%
Russneft	30%

Las aplicaciones tecnológicas que la Empresa Novomet posee y que han proporcionado altos beneficios para las empresas de incrementar los volúmenes de extracción de crudo y reducción de costos operativos en pozos bajo condiciones especiales.

Las principales ventajas que se tienen al utilizar un sistema de bombeo eléctrico sumergible con ahorro de energía son: Reducción del número de etapas de la bomba centrífuga, reducción de las dimensiones tanto en la longitud como en los diámetros del equipo de fondo, menos requerimiento de potencia del motor de fondo y de los equipos de superficie para obtener el caudal deseado y menos consumo de energía de todo el sistema. Una vez determinado el ahorro de energía del sistema BES con ahorro de energía, el análisis se ve complementado con el análisis económico donde se evidencia un ahorro económico considerable.

“Nosotros podemos ayudar con calidad y eficiencia en sus metas” Novomet

La Empresa Novomet, posee una amplia disponibilidad de sistemas de levantamiento artificial por bombeo eléctrico sumergible de alta tecnología y eficiencia, los cuales pueden ser aplicados en cualquier condición determinada de un pozo productor de hidrocarburos. El objetivo fundamental es hacer conocer la aplicación de Sistemas BES de alta eficiencia y adecuados a los requerimientos de las áreas operacionales, garantizando la volumetría de crudo en superficie.

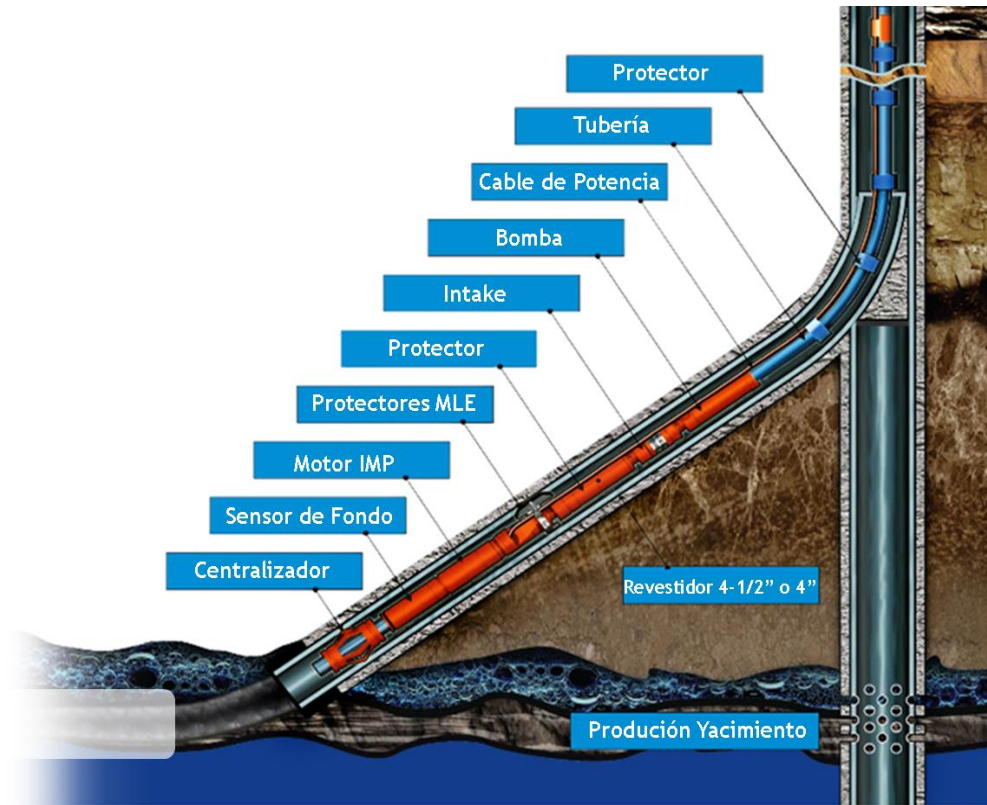
Sistemas de ventanas para pozos con tubería de diámetros reducidos: 4”- 4 ½” y tubería de 2 7/8” y 2 3/8”. Como se puede ilustrar en la figura 3.1. Pozos con limitaciones técnicas debido a revestidores con reparaciones, activación de pozos inactivos, pozos después de mantenimiento (intervención), pozos exploratorios, operación de pozos con inclinaciones severas, disminución de la presión del yacimiento, producción de petróleo más eficiente.

Los motores de imanes permanentes de cualquier diámetro tienen rangos de velocidades con un torque constante del eje 500-1500 rpm, 1500-4200 rpm y 4000-6000 rpm por consiguiente hacen girar a las bombas ahorradoras de energía a las mismas velocidades.

En lo posterior también se tiene previsto utilizar bombas multifásicas para evitar realizar paros innecesarios y reacondicionamientos en caso de incrementar la cantidad de gas en la entrada de la bomba.

Este sistema BES con ahorro de energía y diámetros reducidos aumenta la producción al estar más cerca de la zona productora.

Figura 3.1. Equipo BES de diámetro reducido en un pozo con ventana



El motor de imanes permanentes tiene un factor de potencia cercano a uno, alta confiabilidad de operación del sistema BES, baja producción de calor, menor refrigeración: 0,1 pie/seg, 10 veces menor que el enfriamiento que necesita un motor convencional, reduce el consumo de energía debido a que no existe fricción entre los rotores de imanes permanentes y el bobinado del estator, permite el control de velocidad variable (100 – 500, 500-1000, 2000– 6000 RPM). Baja producción de calor (15 – 20 %) debido a la utilización de estatores encapsulados con epoxi de alta conductividad térmica que le da al mismo tiempo mayor resistencia de aislación. Se utilizan motores de imanes permanentes para condiciones muy duras de los pozos, para producción de petróleo pesado, caudales intermitentes, bajo caudal, después de una fractura hidráulica y otros métodos para

incrementar la producción, arranque suave con bajo consumo de corriente y torque constante estable.

Equipos BES con ahorro de energía para tuberías con menores diámetros de lo normal. En Ecuador se instaló por primera vez en la historia petrolera del país en el pozo Secoya-20RE, el primer equipo BES con ahorro de energía y con diámetro reducido 3.19" en tubería de 5", nunca antes se había instalado un equipo BES en esas condiciones y lo que es más importante que no hay ningún tipo de sistema de levantamiento artificial que se pueda llegar a esa profundidad y con esas desviaciones tan severas como se muestra el recorrido del equipo BES en la Figura 3.2. Para una mayor ilustración ver el diagrama mecánico del pozo en la Figura 3.3.

Menor dimensión del equipo de fondo para el mismo caudal, resultando en menor peso la sarta, longitud, y tiempo de instalación. Las bombas Power Save de OD 2,72" y 3,19" re-ducen la deposición de escala debido a que se reduce a la mitad el diferencial de temperatura entre la entrada y descarga de la bomba.

Figura 3.2. Trayectoria del equipo BES instalado en el pozo Secoya-20RE, Ecuador.

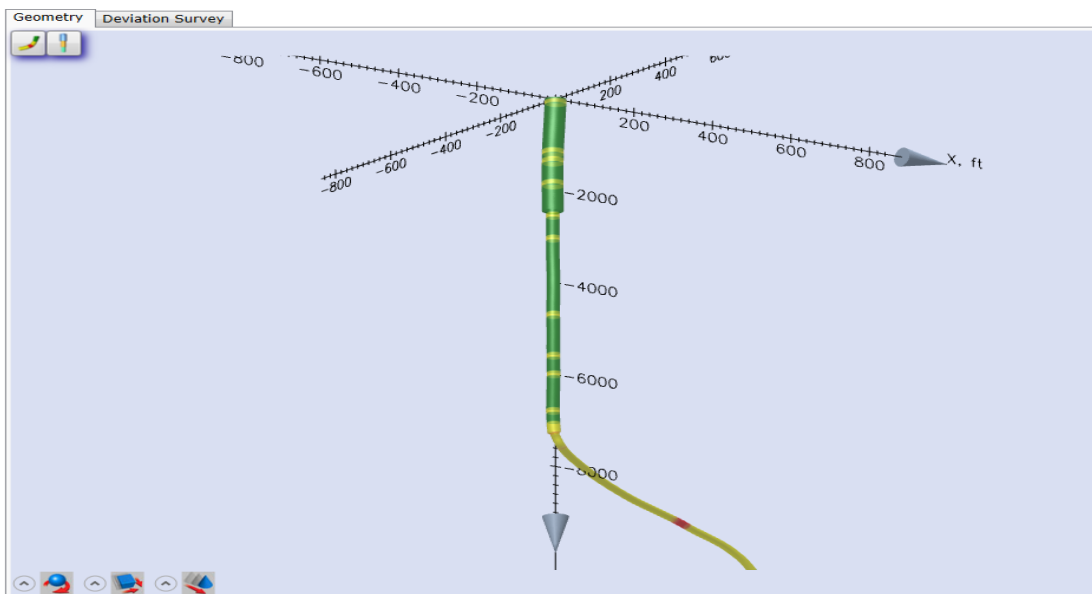
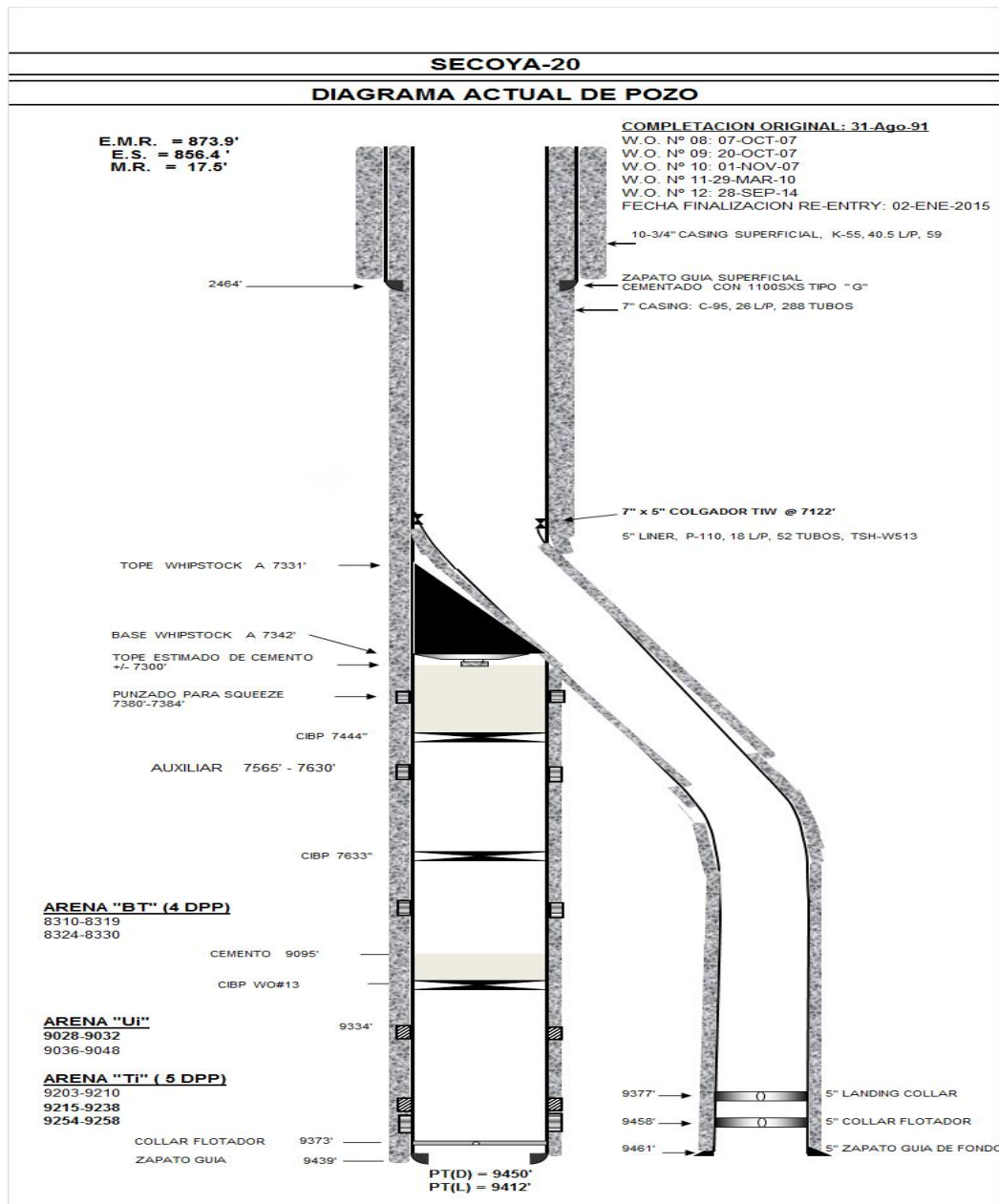


Figura 3.3. Diagrama mecánico final del pozo Secoya-20RE



## Discusión

Una de las estrategias del Gobierno Central para poder enlazar con el cambio de matriz productiva para que se aterrice el proyecto se debería permitir que las nuevas tecnologías ingresen al país y se las aplique para poder tener un ahorro en los diferentes presupuestos de las empresas públicas del Estado como Petroamazonas EP y Operaciones Río Napo CEM con la extracción de petróleo a menor costo el barril producido en superficie con el ahorro de energía a corto y largo plazo.

El éxito de la implementación en el mundo real de los equipos BES con la tecnología de ahorro de energía se está demostrando que traen muchos beneficios para el cliente como el minimizar los costos de producción, ahorro de energía consumida de hasta el 40% por barril comparado con los sistemas de bombeo electro-sumergibles convencionales.

Reduce los costos directos e indirectos como disminuir el consumo de combustible para generadores y turbinas, menor impacto ambiental al consumir menos energía eléctrica, menor tiempo de instalación, se reducen las horas de trabajo del taladro por consiguiente se disminuyen significativamente sus costos y el pozo empieza a producir en un tiempo más corto.

Los motores de imán permanente tienen menores rangos de amperaje por lo cual pueden usarse cables de potencia de menor diámetro y esto reduce el presupuesto de las empresas destinado para la compra de este rubro, además, otro rubro que se ahorraría es el de compra de equipos de superficie como los transformadores y variadores de frecuencia de menores potencias.

El menor consumo de energía permite incrementar el número de pozos con sistemas BES sin cambiar la fuente de suministro de energía y se reduce el stock de tener transformadores y variadores de frecuencia de alta potencia.

El sistema BES con ahorro de energía y motores de imanes permanentes es mucho más eficiente que el convencional en pozos con ambientes críticos de presión típicos, alta temperatura, buena cantidad de sólidos, presencia de gas y fluidos corrosivos y da como resultado un mayor tiempo de vida promedio.

El número de etapas calculadas del sistema de levantamiento artificial de BES con ahorro de energía se reduce a 174 etapas de las 291 del sistema BES convencional, debido al amplio rango de frecuencias de operación de la bomba de ahorro de energía

que puede llegar a duplicar su levantamiento de cabeza/etapa a diferencia de una bomba convencional, reduciendo así las dimensiones de longitud del equipo de fondo instalado.

El sistema de levantamiento artificial BES con ahorro de energía con motores de imanes permanentes se puede utilizar en el Oriente Ecuatoriano en especial en el campo Auca dónde existen muchos pozos con desviaciones severas (ventanas) completados con tubería de 5" y 5 ½" y en más de 300 pozos abandonados, cerrados por bajo aporte, sólidos y por alta producción de gas. De esta forma se puede incrementar la producción de petróleo que tanto necesita el país.

Las empresas que operan campos petroleros en el Ecuador deben aprovechar las nuevas tecnologías que existen en otros países para incrementar su producción de petróleo y puedan llegar a ser más eficientes porque existen un gran número de pozos que actualmente son operados con sistemas BES convencional que se pueden ir de a poco cambiando las unidades de extracción de petróleo para un mejor bienestar no sólo económico de la empresa sino también para proteger mejor el medio ambiente con el menor consumo de energía eléctrica.

Las unidades HPSP de Novomet con motor de imán permanente encamisado para sistema de bombeo horizontal de reinyección de agua y power oil para reducir los costos hasta un 100% en el ahorro de energía la única diferencia va a ser la longitud del equipo mucho mayor a los sistemas HPS o SPS tradicionales

Existen grandes productores de petróleo en el mundo como Rusia que producen con estos sistemas de ahorro de energía y motores de imanes permanentes con grandes resultados y por mucho tiempo, su tecnología está bastante comprobada y les ha permitido grandes ahorros a sus presupuestos, debemos estar más abiertos a la tecnología de punta y así dejar a un lado sistemas de levantamientos artificial que no son tan eficientes y que se los usaba hace cincuenta años atrás y que ahora se los piensa seguir utilizando cuando en otros países esos sistemas ya no existen o están por desaparecer.

Mantener la tasa de producción deseada con sistemas de bombeo eléctrico sumergible con un valor agregado para que perdure por muchos años y evitar la excesiva producción a corto plazo que pueda ocasionar el depletamiento prematuro o daños relacionados con el comportamiento del yacimiento.



### Lista de referencias

- Singh, D.K. (2014). Fundamentals of Manufacturing Engineering, Third Edition. USA: CRC Press.
- Korz, D. & Khoroshev, A. (2007). Fundamentals of systems approach to the machine design (in Russian) // The bases of design and machine parts — XXI century: Proc. of All Russia Conf. Oriol-town: Oriol STU, pp. 64—70. Disponible en: [http://mpei.ru/Science/AcademicWork/Documents/Science2007\\_2008\\_eng.pdf](http://mpei.ru/Science/AcademicWork/Documents/Science2007_2008_eng.pdf)
- Santalov, A., Perelman, O., Rabinovich, A., Poshvin, E., Koshelev, S., & Khotsyanov, I. . (2013). Submersible Permanent Magnet Motors Background, design characteristics, capabilities. Novomet Solutions Arsenal, #1 (03), pp. 22-27. Disponible en: <http://www.oilproduction.net/cms3/files/Arsenal%20light%20view%20version.pdf>
- Reda, W. & Letunov, D.. (2013). Permanent Magnet Motor application for ESP Artificial Lift in Egypt. Novomet Solutions Arsenal, # 1 (03), pp. 28-30. Disponible en: <http://www.oilproduction.net/cms3/files/Arsenal%20light%20view%20version.pdf>
- Yeshpal, G., Nofal, J. & Thomas, C..(2013). Energy Saving Opportunities in the Oil Production Sector. In ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Disponible en: [http://www.aceee.org/files/proceedings/2013/data/papers/2\\_024.pdf](http://www.aceee.org/files/proceedings/2013/data/papers/2_024.pdf)
- Mikhailovsky, S.(2012). Unconventional Artificial Lift Configurations and Deployment Methods. In SPE Applied Technology Workshop Amwaj Rotana Hotel, JBR Dubai, UAE.