

**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**



**IMPACTO SOBRE EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN SISTEMAS  
DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE  
PETRÓLEO**

Andrés Orlando Díaz Niño

Código: 1300902

Trabajo de grado

Tutor:

ANGELA BACCA

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS  
PROYECTO DE GRADO  
2014**

# Impacto sobre el uso eficiente de la energía en sistemas de levantamiento artificial para la producción de petróleo

## Impact on Energy Efficiency in Artificial Lift Systems for Oil Production

Andrés Orlando Díaz Niño

andresdiazn@hotmail.com

Ingeniero en Mecánica

Especialización en Gerencia Integral de Proyectos

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

### Resumen analítico

El petróleo y sus derivados son un recurso no renovable, por lo tanto se han invertido grandes esfuerzos para obtener la mayor producción en el menor tiempo con el uso eficiente de los recursos. Es así como mediante el desarrollo de este artículo se brindaran las herramientas para la evaluación del impacto que tiene el uso adecuado de la energía en los sistemas de levantamiento artificial, permitiendo de esta manera interpretar el conocimiento del personal involucrado en la operación de estos sistemas en esta industria y así enfocar el estudio a los departamentos en los que se tiene mayor impacto, sin duda alguna esta investigación generara una aproximación a lo que los usuarios actualmente tienen y a lo que podrían llegar a tener, teniendo en cuenta los avances tecnológicos en soluciones que permitan incrementar la producción o por lo menos obtener la misma producción pero haciendo uso eficiente de la capacidad instalada, es importante contemplar que este panorama le permitirá a los interesados poder contar con herramientas clave para la correcta toma de decisiones y por consiguiente generar un aporte significativo en sus compañías.

**Palabras clave:** Sistemas de levantamiento artificial en petróleo, calidad de energía, ahorro de energía, producción de petróleo, eficiencia energética, tecnología en sistemas de superficie para extracción de petróleo, variador de frecuencia, mitigación de armónicos.

## **Abstract**

Oil and its derivatives are a nonrenewable resource , therefore great efforts have been invested for higher production in the shortest time with the efficient use of resources. Thus, through the development of this article tools for evaluating the impact of the proper use of energy in the artificial lift systems be afforded, allowing to interpret the knowledge of personnel involved in the operation of these systems in industry and in this way approach the study departments in which most impact , this research certainly generate an approximation of what users currently have and what they could have, taking into account technological advances in solutions allow increasing or at least get the same output but making efficient use of the installed capacity , it is important to see that this scenario will allow stakeholders to have key tools for right decision -making and therefore make a significant contribution in their companies .

**Keywords:** Artificial lift systems in petroleum, power quality, energy savings, oil production, energy efficiency, surface system technology for oil extraction, inverter, harmonic mitigation.

## Introducción

En la actualidad se ha concebido la industria de los hidrocarburos como una de las más prosperas de la explotación minera, a lo largo de los años ha tenido un crecimiento considerable y se ha venido consolidando como una economía emergente, permitiéndole a países como Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela, entre otros estar en la lista de los mayores productores del petróleo y sus derivados. Organization of the Petroleum Exporting Countries (2014). Con base en esta información, podríamos detenernos a pensar en la importancia de poder extraer de los yacimientos la mayor cantidad de petróleo y hacer aprovechamiento total del recurso. Es importante acotar lo mencionado anteriormente para entender hacia dónde va dirigida esta investigación, ya que al reunir todas esas características, la importancia de poder lograr la mayor eficiencia en los sistemas de extracción que se tengan instalados en las locaciones o pozos se deben tener en cuenta factores climáticos, casos fortuitos, sindicatos y grupos al margen de la ley, que de una u otra manera pueden afectar la normal operación de un campo petrolífero.

Históricamente se ha revelado que en campos petroleros de Colombia en el Magdalena medio, Tolima, Meta, Putumayo y Huila, Publicaciones Semana S.A. (2012, 2 de Abril) debido a factores climáticos, tipo de crudo y tipo de pozos, los eventos de caída de fluido eléctrico han ocasionado millonarias pérdidas financieras para las diferentes operadores como lo son: Ecopetrol S.A., Petrobras Colombia Limited, Mansarovar Energy, Petrominerales y Pacific Rubiales Energy, entre otras. Publicaciones Semana S.A. (2011, 29 de Noviembre).

Es por esta razón que con base en la experiencia y recolección de información, he analizado la verdadera necesidad de que a partir de los sistemas de levantamiento artificial se pueda dar inicio a una correcta optimización, programación, operación y seguimiento en busca de reducir las “diferidas” y poder mantener o superar la producción de petróleo en los diferentes pozos.

Al consolidarse este artículo como un paso más en la búsqueda incansable a la solución de estos factores fortuitos que llegan a afectar notablemente los resultados esperados, podría considerarse como un acercamiento bastante fiable y un soporte más para esta industria que requiere día a día de la innovación y de procesos en los que se involucre el conocimiento, análisis causa raíz de los sucesos, retroalimentación, toma de decisiones, procedimientos y la correcta implementación de los temas que se trataran a lo largo de este documento.

Por tal motivo es importante indagar sobre este tipo de casos a compañías prestadoras de servicios petroleros, aquellas que suministren solución que involucren variadores de frecuencia y desde ese punto trabajar desde el enfoque eléctrico/electrónico, ya que en principio es el cerebro de la correcta operación del sistema.

Esta investigación está enfocada a las maneras para mitigar las pérdidas de producción o “diferidas” asociadas a las fluctuaciones de energía transitorias o permanentes en

sistemas de levantamiento artificial, tales como; bombeo de cavidades progresivas, bombeo electro sumergible y bombeo de varillas reciprocantes, entre otros.

## **Marco Teorico**

La literatura referenciada fue hallada para soportar los argumentos presentados en este documento. En este sentido, aportan elementos de gran importancia para alcanzar los objetivos presentados. Para cubrir este tema es importante abarcar sucesos históricos que enmarcados dentro del contexto de esta investigación sean de gran ayuda para reunir la información necesaria a través de los avances que han surgido a lo largo de diferentes investigaciones y presentaciones.

Para esto se ha decidido iniciar la investigación con un primer acercamiento en lo que refiere al conocimiento de los campos petroleros en Colombia, para de esta forma poner en contexto el estado actual en cuanto a metas de producción y análisis de las variables que influyen en busca de la optimización de los recursos que se tienen en las locaciones ubicadas en los diferentes lugares de explotación de petróleo de Colombia.

A su vez la información puede irse delimitando en diversos temas, de forma que se van abarcando uno a uno a lo largo del artículo y facilitan la lectura y entendimiento del documento. Para este fin cubriré la investigación en temas tales como: Colombia como productor de petróleo y sus campos, sistemas de levantamiento artificial y la calidad de energía evaluada desde la perspectiva de análisis de estos sistemas, de qué forma se está empleando, y a futuro qué viabilidad hay de obtener la mayor eficiencia en los sistemas ya instalados, operativos y futuras instalaciones.

Como parte de este propósito se van a tocar temas referentes a los sistemas de levantamiento artificial empleados actualmente en la industria de hidrocarburos, para poder hacer un estudio previo de lo que actualmente se ha venido instalando y como optimizarlo.

Es de suma importancia poder conocer la legislación y regulaciones en lo que refiere a límites máximos permisibles en distorsión que generen armónicos, confiabilidad de las redes eléctricas, soluciones para mitigar estos efectos y lo que ha venido aportando la ciencia para llegar al punto de obtención del mayor beneficio contra las inversiones realizadas.

El soporte que brindan estos documentos a la investigación se puede contrastar en el tiempo ya que las fuentes abarcan de tiempo atrás a lo más reciente, reuniendo allí la información necesaria para poder soportar el avance que se ha obtenido y llegar al día de hoy, en donde la tecnología a la vanguardia no tiene límites, poder explorar temas en los que se tratan desarrollos de sistemas inteligentes, posicionamiento, eficiencia y calidad de energía, esto sin duda alguna hace que la industria vaya migrando hacia nuevos objetivos y que así mismo las empresas empiecen a hablar un nuevo lenguaje, el de la innovación y desarrollo.

Dentro del marco de esta investigación se abarcan grandes desafíos, entre esos el de enfrentarse a sistemas de levantamiento artificial obsoletos, en donde sin duda alguna se requiriera contemplar la migración a nueva tecnología, otro factor será el lograr transmitir la información adecuada a las altas directivas de las compañías en donde la retribución de la inversión se verá plasmado en ahorro sustancial en el consumo de energía.

La importancia de emplear este artículo como fuente o herramientas como complemento a investigaciones hace que se puedan tomar junto con información complementaria decisiones adecuadas, no sólo con base en la producción única y exclusivamente de petróleo, sino también desde la perspectiva de superficie, en donde se involucran factores eléctricos, bastante importantes, que pueden determinar la generación de estrategias en busca de sacar el mayor provecho de los elementos que se tienen a disposición y en lo que el mercado día a día puede suplir como gran aliado en pro del desarrollo de esta industria.

De esta manera a continuación se detallan los temas a tratar a lo largo del documento y como se articulan con la investigación:

**Tema:** Campos de producción de petróleo en Colombia

L.G Hundley indica en su artículo el crecimiento de Colombia en materia de explotación de recursos no renovables como lo es el petróleo, tomando como su inicio el año de 1923, las concesiones que se tienen actualmente y de qué manera este importante sector económico le ha aportado a Colombia para su crecimiento y posicionamiento a nivel mundial en el sector de hidrocarburos, además de esto hace un recuento de lo que ha sido la explotación de este recurso en los diferentes departamentos de Colombia, su impacto y la producción esperada. Es por esto que este artículo le aportara sólidas bases al documento a presentar como trabajo final, ya que dando un panorama general el lector podrá ir asociando el desarrollo a lo largo de los años y la implementación de nuevas tecnologías.

**Tema:** Calidad de Energía en SLA

Los autores Richard, D.R Scanner, W.Xu, Robert F. Stile, B.T Wagg, James E. Stinson, entre otros. Con sus artículos dan la puntada a lo que se está enfocando el desarrollo e inmersión en nuevas tecnologías para la obtención de la mayor eficiencia en sistemas de levantamiento artificial, allí se tratan temas puntuales sobre avances en bombas electrosumergibles, bombas de cavidades progresivas, bombas de varillas reciprocantes y los métodos para que el aprovechamiento de la energía suministrada desde la superficie sea aprovechada al máximo en cada barril de petróleo que se extrae.

El fenómeno de calidad de energía ha venido tocando las puertas de las grandes operadoras de petróleo de Colombia, entre ellas, Pacific Rubiales Energy, Ecopetrol, Canacol, Parex y Perenco, entre otras. El primero ha avanzado a pasos gigante ya que en sus operaciones ha venido gestionando “workshops” en los que se le permite a los

proveedores expertos en materia de superficie y fondo respectivamente hacer aportes de lanzamientos que vayan en pro de esta migración.

Tanto así que en algunos campos del Meta se ha evidenciado la instalación en sistemas de levantamiento artificial tipo bombeo electro sumergible de Motores de imanes permanentes y variadores de frecuencia con la capacidad de manejar esta nueva tecnología.

La eficiencia de estos motores radica en que no requieren magnetización y pueden producir el 100% de torque a frecuencias muy bajas con menor demanda de potencia, esta comparación se hace con respecto a los motores de jaula de ardilla que son empleados actualmente. Analizando el tema con respecto al variador de frecuencia, se puede indicar que son pocas las compañías que ya tienen el control de motores de imanes permanentes implementado como algoritmo para esta industria, entre estas se destaca Yaskawa America Incorporated, de origen Japones, pionera en soluciones de control de movimiento.

Lo que se busca con la implementación de este tipo de soluciones es generar un patrón de comparación con respecto a los sistemas convencionales que se tienen instalados en los campos petroleros de Colombia, según fuentes de estas compañías indican que el ahorro puede ascender al 30% o 40%, esto en términos generales quiere decir que lo si en un modelo convencional se requieren 500 kVA para extraer un barril de crudo, ahora se puede hacer esta misma operación pero con un sistema de 220 KVA aproximadamente, la razón de comparación puede llegar a ser hasta por 600 o 700 pozos, en términos de dinero es una cifra a tener en cuenta. No solo por el ahorro del sistema sino porque dado el caso de que la generación sea local, con esto me refiero a Generador con motor diésel alimentado con ACPM, los gastos se pueden incrementar notablemente si la capacidad es de 260 kVA o 500 kVA, un factor importante a tener en cuenta. Si la generación es por medio de red nacional como lo es (PEL) Petro Electrica de los Llanos, el ahorro en termino de energía son notables, siempre evaluando esto como un todo.

Por otro parte y dejando de lado el tema de bombeo electro sumergible es importante abordar el ahorro que implica los avances en los otros sistemas de levantamiento artificial, para esto es importante anotar que el bombeo de cavidades progresivas por su principio de construcción es un sistema que puede llegar a generar energía, este caso se da cuando ocurren zags de tensión o microcortes de energía, ya que el peso de la varilla sumado al de la columna de crudo que se encuentra en proceso de extracción por gravedad tiende a viajar de vuelta al yacimiento, cuando se da este evento

**Tema:** Sistemas de levantamiento artificial

Los autores Saruwatari, J.L Barden, James F. Lea, J.N McCoy y Desheng Zhou llevan sus artículos a un análisis mas profundo en lo que respecta a sistemas de levantamiento artificial, esto sera de gran aporte, ya que se tratan temas desde diseño de pozos de extracción de petróleo, correcta selección del sistema a emplear de acuerdo a variables como caudales, presiones, densidad del petróleo, entre otras. Brindara bases mucho mas solidas para llevar el articulo hacia donde se quiere enfocar

que es el uso adecuado de la energía consumida o demandada por estos sistemas que a mediano plazo va a incurrir directamente en la producción.

Para abordar este tema, es pertinente tener en cuenta que los sistemas de levantamiento artificial aparecen en el proceso de producción de crudo cuando el petróleo no se puede extraer de manera natural o flujo natural como es comúnmente llamado, para tal fin Ingenieros de Petroleos expertos en la materia teniendo en cuenta diferentes características del yacimiento formulan la mejor alternativa para la extracción del crudo que se encuentra en el subsuelo. Dentro de las más comunes se encuentran el bombeo de cavidades progresivas para pozos que requieren manejo de solidos, el bombeo de varillas reciprocantes dentro de las que están un abanico de selecciones, como lo son bombeo mecánico tipo machin, tipo rotaflex y VSH-2 para manejo de pozos con altos índices de gas, entre otras. Para pozos que manejan mayor caudal de agua y mayor profundidad con respecto a las opciones anteriores normalmente se evidencia el uso de bombeo electro sumergible. Dentro las alternativas indicadas es de gran importancia destacar que el bombeo electro sumergible cuenta con una inversión capex mucho mas alta que las otras alternativas, esto se puede soportar debido a que esta aplicación requiere en algunos casos un transformador multipulsos desfasador a la entrada que actua como transformador reductor (SDT) de la línea de media tensión a baja tensión, de allí se debe contemplar el variador de frecuencia que sera el elemento que controlara el motor, las potencias de este componente se encuentran desde los 140 kVA hasta los 1500 kVA, continuando aguas abajo del variador es pertinente contemplar el transformador elevador (SUT) de baja tensión a media tensión, lo anterior debido a que por las distancias desde superficie a fondo y contemplando una caída de tensión a lo largo de esta distancia, los motores que se encuentran en subsuelo junto con la bomba deben ser en media tensión. Los sistemas indicados con respecto al último detallado, requieren en algunos casos únicamente el variador de frecuencia y motor que se encuentra en superficie.

Dentro de los sistemas de levantamiento artificial se puede considerar una etapa de recuperación o estimulación de pozos, que consta de estaciones comúnmente llamados PAD en los que se instalan un conjunto de Variadores y motores que conforman un tren de inyección de agua, este sistema es empleado para tomar agua e inyectarla en los pozos productores de petróleo, este fenómeno físico genera en fondo un efecto de presión al crudo y por consiguiente se obtiene la presión de succión adecuada en fondo para que se haga el mayor aprovechamiento al yacimiento.

Los sistemas de inyección se encuentran normalmente en media tensión, tanto el conjunto variador como el motor, es tal vez el sistema que requiere mayor inversión y cuidado. Son proyectos que toman un mayor tiempo de implementación y se deben considerar factores de automatización de proceso bastante delicados, ya que el agua que se inyecta en los pozos debe ser tratada, filtrada y sin impurezas.

He hecho especial mención al variador de frecuencia pues este sera el dispositivo en el que se apoyara la investigación ya que es el encargado de manejar la corriente y potencia demandada por el motor y de esta forma sobre este elemento recae de alguna forma el correcto uso de la energía con el fin de poder producir un barril con la menor cantidad de kilowatts.



## **Métodos y materiales**

Los métodos propuestos para recolectar la información de forma que se logren satisfacer los objetivos son: Encuestas, entrevistas, documentos impresos y apoyo internet.

Se empleara un método exploratorio en el cual se involucren las encuestas a diferentes gerentes de línea de producto, en los que se logre identificar el propósito principal en el que esta enfocado el presente artículo.

La razon por la cual se escogieron estos metodos es porque a través de ellos se pueden cumplir los objetivos propuestos en este documento, ya que se consideran fuentes válidas y confiables que permitirán ampliar el contenido de la investigación soportandola con cifras y hechos relevantes.

Todos los objetivos de este documento seran cubiertos con información de fuentes tanto primarias como secundarias ya que requiere involucrar los elementos de cada uno.

## **Metodología**

### **1. Perspectiva de Investigación**

#### **Cualitativa**

Un trabajo de investigación puede caracterizarse por tener diferentes tipos de perspectiva, ya sea cuantitativa que se caracteriza por “contrastar, comprobar, demostrar la existencia de una teoría previamente formulada [...]” (Ruiz de Olabuenaga 1996: 57) o por ser cualitativa, que se caracteriza por ser una “estrategia que va orientada a descubrir, captar y comprender una teoría, una explicación o un significado [...]” (Ruiz de Olabuenaga 1996: 57).

En este sentido, el presente artículo se caracteriza por tener una perspectiva de la investigación de origen cualitativo pues se construyó con base en la identificación de factores que permitan analizar algunas de las principales implicancias del impacto sobre el uso eficiente de la energía en sistemas de levantamiento artificial para la producción de petróleo.

De acuerdo a lo anterior, esta investigación tiene un enfoque cualitativo toda vez que adicional a lo anterior, esta se entiende como cualitativa teniendo en cuenta que esta se caracteriza por una serie de factores como, “tener un diseño de investigación flexible... realizar hallazgos que no se habían previsto inicialmente pero que ayudan a entender mejor el tema central analizado, asimismo comprender, más que establecer relaciones de causa - efecto entre los fenómenos y finalmente a partir del análisis de

resultados generar incluso una teoría para abrir una futura línea de investigación” (Instituto Cervantes de España).

En síntesis, este trabajo tiene los objetivos característicos de una perspectiva cualitativa, ya que de acuerdo a lo anterior, pretende describir y analizar las características de la problemática propuesta y sus implicaciones.

## **2. Tipo de Investigación, Exploratoria**

teniendo en cuenta que las investigaciones pueden ser “exploratorias, descriptivas, correlacionales o explicativas, estos tipos de investigación suelen ser las etapas cronológicas de todo estudio y cada una tiene una finalidad diferente: primero se 'explora' un tema para conocerlo mejor, luego se 'describen' las variables involucradas, después se 'correlacionan' las variables entre sí para obtener predicciones rudimentarias, y finalmente se intenta 'explicar' la influencia de unas variables sobre otras en términos de causalidad (Cazau, 2006).

De acuerdo a lo anterior, este trabajo se desarrolló con el propósito de identificar las características del impacto sobre el uso eficiente de la energía en sistemas de levantamiento artificial para la producción de petróleo, tema que carece hoy por hoy de amplias fuentes de información, más concretamente de información de base, la cual permite dar a conocer detalles básicos de un tópico específico como los antecedentes. Es por esto que esta investigación es exploratoria pues “no existen investigaciones previas sobre el objeto... y se requiere en primer término explorar e indagar, para lo que se utiliza la investigación exploratoria” (Universidad Abierta y a Distancia)

Asimismo, y teniendo en cuenta lo anterior, “para explorar un tema relativamente desconocido se debe disponer de un amplio espectro de medios y técnicas para recolectar datos en diferentes ciencias como son la revisión bibliográfica especializada, encuestas y cuestionarios, observación participante y no participante y seguimiento de casos” (Universidad Abierta y a Distancia). En este sentido, en el desarrollo de este trabajo se utilizan algunas de estas herramientas que permitirán dar al lector dar un primer acercamiento al tema, proporcionándole la información necesaria para identificar las características más importantes del mismo.

## **3. Métodos de Recolección de Datos**

Para la recolección de datos primarios en una investigación se procede básicamente por desarrollar tres técnicas como la observación, la entrevista o la encuesta a los sujetos de estudio y por experimentación (Torres Mariela, Universidad Rafael Landívar). En este sentido, y aludiendo a la autora anteriormente mencionada, la técnica de la encuesta constituye el término medio entre la observación y la experimentación y en ella se pueden registrar situaciones que pueden ser observadas y en ausencia de poder recrear un experimento se cuestiona a la persona participante

sobre ello; por ello, se dice que la encuesta es un método descriptivo con el que se pueden detectar ideas, necesidades, preferencias, hábitos de uso, etc.

Por lo anterior, este trabajo de investigación pretende por medio de la técnica de la encuesta, utilizar herramientas que permitan obtener información para poder analizar de una manera más amplia y precisa el tema objeto de este trabajo.

Las preguntas formuladas en la encuesta son enfocadas a personas que cuentan con criterio técnico y de decisión en el área de calidad de energía del sector industrial de hidrocarburos, con las que se pretende en primera instancia realizar un acercamiento en lo que respecta al conocimiento del encuestado con respecto al tema que se está tratando y en segunda instancia analizar la viabilidad de implementación y alcance de estas soluciones.

La muestra es de tipo probabilístico, ya que se pretende conocer la percepción de los encuestados en lo que respecta a calidad de energía y su intención de implementar las soluciones que existen actualmente. La encuesta se aplica a 20 personas, entre las que se encuentran líderes de proyecto, directores de líneas de producto, expertos en sistemas de levantamiento artificial, área de mantenimiento de locaciones petroleras, ingenieros de proyectos del área eléctrica.

El contacto primario se lleva a cabo con este grupo de profesionales debido a que se facilita interactuar con ellos y además poder contar con el tiempo para llevar a cabo el cuestionario de manera objetiva y que brinde un resultado útil para el enfoque de esta investigación.

## Resultados y análisis

Después de haber llevado a cabo el levantamiento la recolección de información por medio de encuestas a diferentes profesionales del sector de hidrocarburos involucrados con el uso adecuado de la energía para fines de ahorro y sensibilización, se pudo determinar que el 90% de las personas encuestadas conocen y saben que significa el término calidad de energía en sistemas de levantamiento artificial y su importancia para llevar a cabo planes que aporten a mitigar el impacto energético que actualmente se esta dando en Colombia, el 10% restante no conoce a fondo sobre el tema, ya que es tercerizado a sus departamentos de proyectos eléctricos o mantenimiento, por lo que indican saber que hay avances al respecto pero no ahondan en el tema por no ser prioritario para ellos.

Una de las preguntas tratadas en la encuesta y que hace referencia al conocimiento del termino calidad de energía y este como se encuentra asociado a la operación diaria, el 95% de la población encuestada indico que tienen conocimiento y además de eso complementan indicando que compañías Rusas se encuentran en la vanguardia con respecto a este tema, dentro de las que mencionaron soluciones de imanes de motores permanentes tanto en cabeza de pozo como en fondo (subsuelo).

Es de gran importancia también analizar la baja relevancia que la población encuestada le da a la interpretación de la norma IEEE-519, ya que únicamente el 40% expresa conocer la norma, haberla escuchado y en algunos casos haberla aplicado, por consiguiente el 60% restante de la población desconoce su uso, aplicación y directrices de esta importante norma en lo que respecta al aporte armonico que pueda generarse debido a las cargas no lineales de un sistema de levantamiento artificial.

Cabe anotar que de la población encuestada el 50% indica que en Colombia ya se están llevando a cabo avances en lo que respecta a esta materia, indican haber implementado soluciones de ahorro de energía con respecto a sistemas convencionales en los que se evidencia un ahorro del 30% al 40%, además de esto también involucra el correcto dimensionamiento de los equipos, por lo que estaría directamente asociado con las inversiones y proyectos Capex (Capital Expenses), brindando un mayor costo-beneficio, y generando conciencia en el uso adecuado de la energía por medio de la divulgación y avances de compañías que han venido penetrando este importante sector de la economía colombiana.

A la pregunta de si estarían dispuestas a tomar decisiones definitivas para llevar a cabo pilotos con estas soluciones, el 100% de la población dio una respuesta afirmativa, dejando ver que este es un tema álgido, de gran importancia y con consecuencias a tener en cuenta, expresaron su interés en investigar en este tema y de esta manera socializarlo en sus compañías en busca de generar un factor de diferenciación, un aporte a la compañía y por consiguiente a la sociedad.

Dentro de las limitaciones de este estudio se pudo determinar que el haber contado con una muestra de la población encuestada mayor, los datos recolectados hubiesen

brindado una aproximación mayor y a su vez poder evaluar la percepción con mayor probabilidad y aporte a este estudio.

A pesar de haber logrado encuestar a personal que se encuentra en Bogotá y que es de vital importancia para este trabajo, a futuro se recomienda contemplar dentro de la muestra el personal operativo, con esto me refiero al de campo, aquel que se encuentra en el día a día y trata con estos sistemas. Esto es importante porque la experiencia de ellos es de gran aporte y por consiguiente complementa y da mas peso a la información que se pueda recolectar en Bogotá.

## **Conclusiones**

Es de gran importancia analizar el impacto sobre el uso eficiente de la energía en sistemas de levantamiento artificial para la producción de petróleo.

Se debe estimular dentro de las compañías del sector de hidrocarburos la investigación acerca de tecnologías emergentes en lo que respecta a soluciones enfocadas en la calidad de energía y que cumplan con la normatividad internacional, lo que se resume en mayor producción a menor costo.

A partir de la información recolectada por medio de las encuestas se recomienda la implementación de estrategias para obtener la mayor eficiencia en los sistemas que están actualmente en operación.

## Referencias Bibliográficas

1. Organization of the Petroleum Exporting Countries (2014). Recuperado el 23 de Marzo de 2014 de [http://www.opec.org/opec\\_web/en/about\\_us/25.html](http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/25.html).
2. Semana S.A. (2012, 2 de Abril) Los diez departamentos más productores de petróleo en Colombia. Dinero.com. Recuperado el 23 de Marzo de 2014 <http://www.dinero.com/actualidad/nacion/articulo/los-diez-departamentos-mas-productores-petroleo-colombia/147927>
3. Publicaciones Semana S.A. (2011, 29 de Noviembre) Las diez petroleras con mayor producción en Colombia. Dinero.com. Recuperado el 23 de Marzo de 2014 <http://www.dinero.com/negocios/articulo/las-diez-petroleras-mayor-produccion-colombia/140828>.
4. José Ignacio Ruíz Olabuena Metodología de la Investigación Cualitativa. Editorial, Universidad de Deusto. 20
5. Metodología Cualitativa. Instituto Cervantes de España. disponible en: [http://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca\\_ele/diccio\\_ele/diccionario/metodologia\\_cualitativa.htm](http://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/metodologia_cualitativa.htm) revisado 11 noviembre 2014
6. Pablo Cazau. Introducción a las Ciencias Sociales. Tercera Edición. Buenos Aires, Marzo 2006 disponible en <http://alcazaba.unex.es/asg/400758/MATERIALES/INTRODUCCIÓN%20A%20LA%20INVESTIGACIÓN%20EN%20CC.SS..pdf> revisado el 11 de noviembre de 2014
7. Universidad Abierta y a Distancia. Lección 6: Investigación Exploratoria, Descriptiva, Correlacional y Explicativa. Disponible en
8. [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/100104/100104\\_EXE/leccin\\_6\\_investigacion\\_exploratoria\\_descriptiva\\_correlacional\\_y\\_explicativa.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/100104/100104_EXE/leccin_6_investigacion_exploratoria_descriptiva_correlacional_y_explicativa.html) revisado el 11 de noviembre de 2014
9. Torres Mariela. Métodos de recolección de datos para una investigación. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. Disponible en: [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_03\\_BAS01.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_03_BAS01.pdf) revisado el 11 de noviembre de 2014.

| Numero de Fuente | Autor   | Tema   | Fuente (Titulo, autor, año)  |
|------------------|---|--|--|
| 10               | L.G. Huntley   Shirley Mason  | Campos de producción de petróleo en Colombia | Colombian Oil Fields, 1923   |
| 11               | Richard E. Stewart (TRW Reda)   | Calidad de Energía en SLA                    | The Effects Of Power Supply Integrity On Electric Submergible Pumping Systems,1980   |
| 12               | D.R. Skinner (U. of Texas-Permian Basin)  | Calidad de Energía en SLA                    | Efficient Use of Electric Power in Production Operations,1984                        |
| 13               | Saruwatari, Minoru  | SLA  | Progressive cavity pump,1988   |
| 14               | J.F. Lea (Amoco Production Research)   M.R. Wells (Amoco Production Research)   J.L. Bearden (Centrilift)   L. Wilson (ODI)   R. Shepler (REDA) | SLA  | Electrical Submersible Pumps: On and Offshore Problems and Solutions, 1994           |
| 15               | James F. Lea (Amoco EPTG/RPM)   Henry V. Nickens (Amoco EPTG/RPM)   | SLA  | Selection of Artificial Lift,1999  |
| 16               | W. Xu (University of Alberta)   | Calidad de Energía en SLA                    | Mitigation of Harmonic Distortions in Oilfield Electrical Distribution Systems,2000  |
| 17               | J.N. McCoy (Echometer Company)   A.L. Podio (University of Texas at Austin)  Lynn Rowlan (Echometer Company)                                    | SLA  | Rotaflex Efficiency and Balancing, 2001  |
| 18               | Robert F. Stiles (Global Power Corporation)   M. Steven Slezak (Case Services, Inc.)  | Calidad de Energía en SLA                    | Strategies for Reducing Oil Field Electric Power Costs in a Deregulated Market, 2001 |
| 19               | B.T. Wagg (C-FER Technologies)  | Calidad de Energía en SLA                    | Development of a Standard for Progressing Cavity                                     |



|    |   |                           | Pumping Systems<br>Surface Drives, 2002   |
|----|---|---------------------------|---|
| 20 | James E. Stinson (New Horizon Exploration Inc.)   | Calidad de Energía en SLA | The Direct-Drive Variable-Speed Drive Head for PCPs Saves Big Bucks, 2005   |
| 21 | Bustamante, Frank   | Calidad de Energía en SLA | Methods to Improve the Reliability in 24kV Boscan Field Distribution Lines, 2006  |
| 22 | Ernst, Terry  | Calidad de Energía en SLA | Back Spin Control in Progressive Cavity Pump for Oil Well, 2006   |
| 23 | Khurmy, Mohammad  | Calidad de Energía en SLA | Reliability of electrical submersible pumps at oil fields,2008  |
| 24 | Schulz, Harry W   | Calidad de Energía en SLA | Method and system for improving pump efficiency and productivity under power disturbance conditions, 2008                                     |
| 25 | Desheng Zhou (IHS)   Hong Yuan (IHS Inc)  | SLA                       | Design of Progressive Cavity Pump Wells, 2008   |
| 26 | Pablo Javier Magnoni (Weatherford International Ltd.)   Pablo Jose Pich(Weatherford International Ltd.)   | Calidad de Energía en SLA | Backspin Analysis in Progressive Cavity Pumping Systems and its Impact on Safety, 2013  |
| 27 | Andrey Sagalovskiy (Borets International)   Cesar Alfredo Ayala (Borets International Colombia)   Luis Eduardo Seczon Osorio (Borets International) | Calidad de Energía en SLA | Field Experience With the Application and Operation of Permanent Magnet Motors in the ESP Industry: Success Stories and Lessons Learned, 2013 |

|    |   |                           |   |
|----|---|---------------------------|---|
| 28 | Todd Shudarek,<br>Principal Engineer<br>(MTE Corporation) | Calidad de Energía en SLA | Harmonic Mitigation in<br>Variable Frequency<br>Drives: 6-Pulse Drive<br>with Matrix AP<br>Harmonic Filter vs. AFE<br>Drive           |
| 29 | Karl M. Hink,<br>Executive Vice<br>President              | Calidad de Energía en SLA | Low cost motor<br>protection filters<br>for pwm drive<br>applications<br>stops motor damage   |
| 30 | Karl M. Hink MTE<br>Corporation                           | Calidad de Energía en SLA | Harmonic mitigation of<br>12-pulse drives<br>with unbalanced input<br>line voltages   |
| 31 | MTE Corporation   | Calidad de Energía en SLA | Performance of<br>Harmonic Mitigation<br>Alternatives   |
| 32 | Karl M. Hink MTE<br>Corporation                           | Calidad de Energía en SLA | 18-pulse drives and<br>voltage unbalance  |
| 33 | Todd Shudarek,<br>Principle Engineer<br>MTE Corporation   | Calidad de Energía en SLA | Harmonic Mitigation in<br>Variable Frequency<br>Drives: 6-Pulse Drive<br>with MTE Matrix AP<br>Harmonic Filter vs. 18-<br>Pulse Drive |

|    |  |                           |  |
|----|--|---------------------------|--|
| 34 | By: John Yoon, PE,<br>LEED AP, McGuire<br>Engineers Inc.,<br>Chicago | Calidad de Energía en SLA | VFD, motor strategies<br>for energy efficiency   |
| 35 | Jun Kang (Yaskawa<br>America Incorporated                            | Calidad de Energía en SLA | Regenerative power<br>units save energy  |
| 36 | Peter Cox  | Calidad de Energía en SLA | The right system<br>components are critical<br>to maximizing the<br>energy-saving potential<br>of VFDs |