



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 23/01/2020

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

LUIS MIGUEL CABRERA CABRERA, con C.C. No. 80.931.495,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DIFERENTES EQUIPOS DE SUPERFICIE DEL LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO CON ACCIÓN RECÍPROCANTE (BM) Y SU MEJORA CON ACCIONADOR HIDRAÚLICO presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de INGENIERO DE PETRÓLEOS;

- Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:
- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Análisis comparativo entre los diferentes equipos de superficie del levantamiento artificial de desplazamiento positivo con acción recíprocante (bm) y su mejora con accionador hidráulico

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cabrera Cabrera	Luis Miguel

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Aranda Aranda	Ervin

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bonilla	Luis
Andres P	Javier Andres

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero de Petróleos

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería de Petróleos



CIUDAD: Neiva AÑO DE PRESENTACIÓN: 2019 NÚMERO DE PÁGINAS: 39

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas x Fotografías x Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general x Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadros x

SOFTWARE: Word y Power Point

MATERIAL ANEXO: Ninguno

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): Ninguno

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

- | <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1. <u>Levantamiento artificial</u> | <u>Artificial lifting</u> |
| 2. <u>bombeo mecánico</u> | <u>mechanics pumping</u> |
| 3. <u>ventaja comparativa</u> | <u>comparative advantage</u> |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente proyecto examina, analiza y evalúa cinco tipos de levantamiento artificial por bombeo mecánico con el objetivo de seleccionar el mejor de acuerdo a la situación, evaluando las ventajas de los aspectos técnicos y económicos para la industria petrolera usando una metodología de análisis comparativo que comprende los resultados de la búsqueda sistemática en diferentes bases de datos sobre el bombeo mecánico y sus diferentes variantes. Para llevar a cabo lo mencionado anteriormente se tomó como criterio de inclusión los documentos que abarcaran palabras, información técnica y económica referente a las características de los distintos tipos de bombeo mecánico. Una vez analizadas las diferentes fuentes de información se realizó una revisión documental entre las ventajas, desventajas y resultados de los diferentes artículos; dentro de los principales hallazgos se encontró que la unidad meca hidráulica representa un mejor valor presente neto en un escenario hipotético.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present project examine, analyze and evaluate the five different types of artificial lift methods by mechanical pumping with the objective of the best method according to the situation, evaluating the technical aspects and economical for the petroleum industry using the methodology of comparative analysis that understands the results of the search in different data bases about mechanical pumping and their variations. To make possible the said previously it was take in count documents that have keywords, technical information and economical information about the different types of mechanical pumping. Once it was analyzed the different sources of information it was realized a documental revision between the advantage, disadvantage and results of the different articles. Inside the different results made discovered that the mecha hydraulic pumping unit represents the best net present value in a hypothetic scenario.



Empty box for the description of the thesis or degree work.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre: Jurado: Javier Andrés Martínez P.

Firma:

Nombre Jurado: Luis Bonilla

Firma:

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DIFERENTES EQUIPOS DE SUPERFICIE
DEL LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO CON ACCIÓN
RECIPROCANTE (BM) Y SU MEJORA CON ACCIONADOR HIDRAÚLICO



AUTOR: LUIS MIGUEL CABRERA CABRERA

DIRECTOR: ERVIN ARANDA ARANDA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma de Presidente del Jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
LISTADO DE GRAFICOS	5
LISTADO DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA PETROLERA	11
3. TEORÍA BÁSICA SOBRE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL EN BOMBEO MECÁNICO	13
3.1 EQUIPOS DE SUPERFICIE.....	14
4.1.1 Motor:	14
4.1.2 Unidad de Bombeo:	14
4.1.3 Barra Lisa:.....	14
4.1.4 Cabezal del Pozo:	14
3.2 EQUIPOS DE SUBSUELO	15
4.2.1 Bomba de Subsuelo:.....	15
4.2.2 Sarta de Varillas:.....	15
4.2.3 Tubería de Producción	16
4.2.4 Otros componentes	16
3.3 Ventajas	16
3.4 Desventajas.....	17
4. GENERALIDADES DEL LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL BOMBEO MECÁNICO.....	19
4.1 MECÁNICO STANDARD.....	19
4.2 BALANCEADO POR AIRE (AEREO BALANCEADA)	20
4.3 MECAHIDRÁULICO (ACCIONADOR HIDRÁULICO).....	21
4.4 MARK II (UNITORQUE).....	22
4.5 ROTAFLEX.....	¡Error! Marcador no definido.
5. VENTAJAS COMPARATIVAS ENTRE LOS TIPOS DE BOMBEO DESDE EL ASPECTO TECNICO	24
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA COMPARATIVA	28
7. MATRIZ DE SELECCION	34
8. CONCLUSIONES	36

9.	RECOMENDACIONES	37
10.	BIBLIOGRAFÍA	38

LISTADO DE GRAFICOS

Grafico 1 Línea de Tiempo Unidad Superficie Standard.....	31
Grafico 2 Línea de Tiempo Unidad Superficie Mark II.....	31
Grafico 3 Línea de Tiempo Unidad Superficie Rotaflex.	32
Grafico 4 Línea de Tiempo Unidad Superficie Mecahidráulica.	32

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Sistema típico de Bombeo Mecánico	18
Figura 2 Sistema Rotaflex Weatherford Serie 900.	23
Figura 3 Unidad de bombeo mecanico estándar	26
Figura 4 Unidad de bombeo balanceado por aire mecánico	26
Figura 5 unidad de bombeo rotaflex	27
Figura 6 unidad de bombeo marck II	27
Figura 7 unidad de bombeo mecahidraulica.....	35

RESUMEN

El presente proyecto examina, analiza y evalúa cinco tipos de levantamiento artificial por bombeo mecánico con el objetivo de seleccionar el mejor de acuerdo a la situación, evaluando las ventajas de los aspectos técnicos y económicos para la industria petrolera usando una metodología de análisis comparativo que comprende los resultados de la búsqueda sistemática en diferentes bases de datos sobre el bombeo mecánico y sus diferentes variantes. Para llevar a cabo lo mencionado anteriormente se tomó como criterio de inclusión los documentos que abarcaran palabras, información técnica y económica referente a las características de los distintos tipos de bombeo mecánico. Una vez analizadas las diferentes fuentes de información se realizó una revisión documental entre las ventajas, desventajas y resultados de los diferentes artículos; dentro de los principales hallazgos se encontró que la unidad meca hidráulica representa un mejor valor presente neto en un escenario hipotético.

Palabras Clave: Levantamiento artificial, bombeo mecánico, ventaja comparativa.

ABSTRACT

The present project examine, analyze and evaluate the five different types of artificial lift methods by mechanical pumping with the objective of the best method according to the situation, evaluating the technical aspects and economical for the petroleum industry using the methodology of comparative analysis that understands the results of the search in different data bases about mechanical pumping and their variations. To make possible the said previously it was take in count documents that have keywords, technical information and economical information about the different types of mechanical pumping. Once it was analyzed the different sources of information it was realized a documental revision between the advantage, disadvantage and results of the different articles. Inside the different results made discovered that the mecha hydraulic pumping unit represents the best net present value in a hypothetic scenario.

Keywords: Artificial lifting, mechanics pumping, comparative advantage.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del petróleo como recurso energético, diferentes industrias como la Standard Oil & Trust Co.¹, fundada por John Davinson Rockefeller, han buscado la manera óptima de extraerlo, para luego transformarlo en diferentes productos como son asfaltos, fibras sintéticas, detergentes, vitaminas, plásticos, perfumes, fertilizantes, cosméticos entre otros. Teniendo en cuenta esto, la demanda de petróleo ha crecido con el transcurrir de los años, caso contrario a las reservas que se pueden extraer por mecanismos de empuje natural y artificial. Por ello, los sistemas de levantamiento artificial son una atractiva alternativa para las diferentes industrias productoras de hidrocarburos.

Existen diversos sistemas de levantamiento artificial como es el bombeo mecánico, bombeo neumático, bombeo electro sumergible, bombeo hidráulico y cavidades progresivas. Según Arditi en el 2009, el bombeo mecánico fue el más utilizado con al menos un 80 a 90% de uso a nivel global. Sin embargo, la información comparativa entre los distintos métodos de levantamiento artificial por bombeo mecánico no se encuentra sintetizada y es de difícil acceso. Es por ello que resulta importante reconocer, analizar y condensar las diferentes variaciones del mismo.

Ciertamente, para desarrollar el proceso de extracción por este tipo de método se deben tener en cuenta una serie de aspectos como son los económicos y sociales. El presente trabajo abarcará tanto los aspectos técnicos como los mencionados anteriormente haciendo énfasis en los

¹ Compañía fundada en 1870, después tuvo que ser disuelta en varias filiales por actuar como un monopolio en 1911, por la Corte Suprema de USA. Actualmente entre sus grandes sobresalen ExxonMobil y Chevron.

diferentes tipos de bombeo mecánico. Cabe aclarar que la información de campos petroleros actuales es confidencial para el público, por lo cual se utilizará solo información previamente documentada mediante el uso del método científico comparativo.

2. ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA PETROLERA

Para lograr tener una perspectiva más amplia de los diferentes contenidos del presente documento es indispensable exponer aspectos de carácter histórico, técnico y económico, que conduzcan a evaluar las ventajas entre los distintos tipos de bombeo mecánico, para la selección de uno de ellos en los diferentes escenarios posibles teniendo en cuenta la mejor relación de costo-beneficio.

El primer antecedente se relaciona con el nivel de desarrollo en Colombia, el cual puede verse reflejado en diferentes aspectos como lo es la inversión directa extranjera, la cual creció de manera considerable entre los años 2006-2007 de 6656 millones de dólares a 9049 millones de dólares. De las cifras anteriores, se destinó un rubro de 1870 millones de dólares en la industria petrolera en el 2006 y 3333 millones de dólares en el 2007(Vicente, 2010). De acuerdo a lo anterior, la mayor fuente de inversión extranjera fue la industria petrolera con aproximadamente un 37% de la inversión total, la cual se destinó principalmente a la adquisición de nuevas tecnologías para mejorar la producción.

Sin embargo, después de la fecha mencionada la inversión se ha destinado a una gran cantidad de áreas no involucradas con la industria petrolera, razón por la cual se recurrió a la optimización de los procesos de producción de crudo de la época teniendo en cuenta capitales limitados. Si a esto suma el hecho de que desde el 2004 la demanda global de petróleo presentó los mínimos incrementos de la década, se puede evidenciar la razón de que la mayor parte de los pozos en la fecha utilizaron procesos de levantamiento artificial como bombeo mecánico debido a su bajo costo. En 2007, la demanda creció en 1 millón de barriles por día (MMb/d), el aumento más lento desde 2002. En 2008, el aumento de la demanda fue de 0.7 MMb/d. Sin embargo, un estudio llevado a cabo por la IEA (International Energy Agency) registró un crecimiento de tan solo 1.5 MMb/d para el año 2007 y 2.2 MMb/d para el año 2008(Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2009)².

² La Organización de Países Exportadores de Petróleo, con sede en Suiza, está orientada a buscar el beneficio de los países con mayores volúmenes de producción, entre ellos están Rusia, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Irán, Irak, Venezuela, entre otros.

En el año 2007 también hubo desaceleración en el suministro mundial de petróleo, que fue de 85.5 Mb/d en 2006 a 85.4 Mb/d en 2007. Como resultado, la oferta global en 2007 estuvo por debajo de la demanda, con la necesidad de reservas de petróleo. Las previsiones para 2008 se basaron en una clara recuperación en el suministro de petróleo, ya que se preveía un aumento de 1.3 Mb/d (Naciones unidas, 2010)³.

Después de esto, hubo un aumento en el precio del petróleo crudo hasta mediados de 2008, que se debe principalmente a la persistencia de una tensión real entre la oferta y la demanda. Por un lado, la necesidad de energía, particularmente de hidrocarburos, ha seguido creciendo a un ritmo constante durante muchos años debido al dinamismo del crecimiento económico, que permite a las poblaciones de países emergentes, dotarse de bienes y energía que consumen al igual que los precios administrados (impuestos, subsidios), que amortizan los cambios en el precio del petróleo crudo (Toro, Garavito, López y Montes, 2015).

Para nadie es un secreto que el precio del crudo depende de muchas variables como la demanda del mismo, la producción global, los conflictos políticos entre los diferentes países por intereses particulares, entre otros. La suma de todos estos factores hace que, a la fecha actual del año 2019, el precio por barril WTI oscile entre los 60 y 70 dolares.

La situación sigue siendo muy incierta debido a la volatilidad del precio del petróleo, ya que éste está sujeto a las dinámicas que presente la economía global, por lo cual siempre se busca la mejor relación de costo-beneficio, es decir, tratar de producir la mayor cantidad de crudo posible con los recursos disponibles y buscando así el mayor beneficio posible.

³ Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL), es una entidad adscrita a la Organización de Naciones Unidas (ONU), con sede en Santiago de Chile (Chile), encargada de sugerir a los gobiernos de América Latina y el Caribe, las estrategias y planes que logren el óptimo desarrollo y crecimiento económico.

3. TEORÍA BÁSICA SOBRE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL EN BOMBEO MECÁNICO

Los sistemas de levantamiento artificial son equipos especializados de producción de hidrocarburos los cuales tienen como objetivo levantar la columna de aceite desde el fondo el pozo hasta la superficie cuando la energía del pozo es insuficiente para llevar el fluido desde el fondo del pozo hasta las facilidades en la superficie o de producción por medio de la presión natural del pozo cuando esta presión es insuficiente.

El sistema de Bombeo Mecánico (BM) es un método de levantamiento artificial, de los más empleados y eficientes para la producción de crudos livianos y pesados pero a su vez requiere una mayor supervisión, observación y control para que el sistema opere de manera adecuada y sea eficiente(Deere,2005).

El objetivo del equipo de superficie, como es el motor genera la energía necesaria para luego esta sea transmitirla hasta los equipos en el subsuelo para hacer ascender el crudo; este tipo de levantamiento por BM es uno de los más empleados siendo usado en alrededor del 50 % de los pozos productores (Banquero y Gómez,2016), porque se puede operar a un bajo costo y su montaje es sencillo, pero es uno de los que usa mayores esfuerzos y una óptima atención en la operación del mecanismo (Gil &Chamarro,2009).

La función de la unidad de bombeo es convertir el movimiento rotatorio del motor principal, en movimiento ascendente y descendente de la sarta de varillas. La longitud del desplazamiento en este tipo de movimiento es denominado recorrido. En el diseño apropiado de la unidad de bombeo se debe de tener en cuenta un tamaño apropiado de la caja reductora y de la estructura, también se debe de tener una longitud de recorrido acorde con la producción de fluido que se desee.

Las partes de un bombeo mecánico funcionan de tal manera que los equipos de superficie están diseñados para brindarle energía a la bomba en el subsuelo para así realizar el proceso de

empuje de la columna de aceite hasta las facilidades en superficie, se debe aclarar que los siguientes elementos se basan en lo propuesto por Begss(2003) :

3.1 EQUIPOS DE SUPERFICIE

Son los componentes del sistema que se hallan visibles a la vista humana, que están ubicados al nivel del suelo. Los elementos principales son:

4.1.1 Motor: Es el encargado de proporcionar la energía para el funcionamiento, de bajo torque, alta frecuencia y movimiento rotacional. El tipo de motor, si es eléctrico o de combustión depende del tipo de potencia que se necesite, y de las condiciones de trabajo que se necesiten, la ubicación del yacimiento también por acceso a la energía eléctrica.

4.1.2 Unidad de Bombeo: la función principal de este mecanismo es accionar la sarta de varillas y la bomba a fin de elevar el fluido desde el subsuelo a superficie. El ensamble mecánico transforma el movimiento de rotación del engranaje reductor en un movimiento reciprocante (asciende-desciende) para maniobrar la bomba de fondo. Además, sirve de soporte al balancín y por consiguiente resiste las cargas ejercidas por las varillas. Su elemento dinámico principal es el balancín, el cual trabaja sobre el principio de la palanca mecánica.

4.1.3 Barra Lisa: conecta el balancín a la sarta de varillas y asegura una superficie de sellamiento en el cabezal de pozo para evitar fugas al ambiente.

4.1.4 Cabezal del Pozo: es un ensamble que contiene empaques y la válvula que sella sobre la barra lisa para hacer que los fluidos del pozo lleguen hasta la línea de flujo y a la vez permite el paso de la varilla a través del cabezal de pozo.

3.2 EQUIPOS DE SUBSUELO

Son los componentes que se hallan bajo el suelo, y vitalmente importantes para la extracción, este sistema está limitado por el diámetro de la tubería del revestimiento, y es el que ayuda a transmitir la energía para levantar el fluido. Los elementos que lo componen son:

4.2.1 *Bomba de Subsuelo:*

La función de dicho mecanismo, es levantar el fluido desde lo profundo del pozo hacia la superficie terrestre, y a su vez impulsarlo por la línea de flujo hasta el sitio de recolección. Se clasifican en dos (2) tipos de bombas:

1. Bombas Insertables (Insert Pumps): son las que van introducidas en la tubería de producción y conectadas a la sarta de varillas, el barril, el pistón y las válvulas se montan en una sola ensambladura y la bomba se ancla en el niple de asiento.
2. Bombas de Tubería de Producción (Tubing Pumps): El barril se conecta al tubing y la sarta de varillas se conecta directamente al pistón. En la parte inferior del barril se ubica un niple de asiento, que alojará la válvula fija. Una de las posibilidades es bajar la válvula fija con un pescador acoplado a la parte inferior del pistón, hasta fijarla al niple. La bomba de tubing provee el máximo desplazamiento de fluido para una determinada producción, el diámetro del pistón es ligeramente menor que el diámetro interno del tubing, también las hay que el diámetro del pistón supera al de la tubería. Las ventajas de esta bomba la hacen una de las más utilizadas por los productores en pozos que no requieren frecuentes intervenciones, y de alto caudal de producción.

4.2.2 *Sarta de Varillas:*

Son empleadas para transmitir el movimiento y la potencia de la unidad de bombeo a la bomba de subsuelo, usualmente fabricadas de acero, algunas veces de fibra de vidrio, también combinadas con los dos materiales.

4.2.3 Tubería de Producción:

Es el conducto que permite transportar los fluidos a la superficie y para soportarlos mientras la bomba desciende a recoger otra carga.

4.2.4 Otros componentes

Hacen parte también los componentes eléctricos, cables, bandas y/o mecanismos que ayudan y complementan al funcionamiento del sistema.

3.3 Ventajas

Dentro de las ventajas se encuentran:

- Confiabilidad y bajo mantenimiento.
- Alto conocimiento en todas sus aplicaciones en diferentes tipos de crudos (pesados y livianos).
- Facilidad para ajustar la tasa en superficie.
- Varias alternativas para la fuente de poder (motor diésel o eléctrico).
- La operación, los análisis y la reparación son sencillos y fáciles de realizar.
- Tolera altas temperaturas.
- Facilidad para el intercambio de unidades entre pozos.
- Aplicable a huecos estrechos y completamiento múltiples.
- Permite el levantamiento de crudos con viscosidades relativamente altas.
- Fácil aplicación de tratamientos contra la corrosión y la formación de escamas.
- Disponibilidad de diferentes tamaños de unidades.

3.4 Desventajas

Dentro de las desventajas se encuentran:

- Los caudales de bombeo relativamente bajos.
- Requieren de gran espacio en superficie para su instalación
- Presenta mayor desgaste de las varillas en pozos desviados.
- Problemas de fricción en pozos tortuosos.
- Baja tolerancia a la producción de sólidos.
- Limitado por la profundidad.
- Baja eficiencia volumétrica en pozos con alta producción de gas.
- Susceptible a la formación de parafinas.
- El tubing no puede ser recubierto internamente para protegerlo contra la corrosión.
- Poca resistencia al contenido de H₂S.

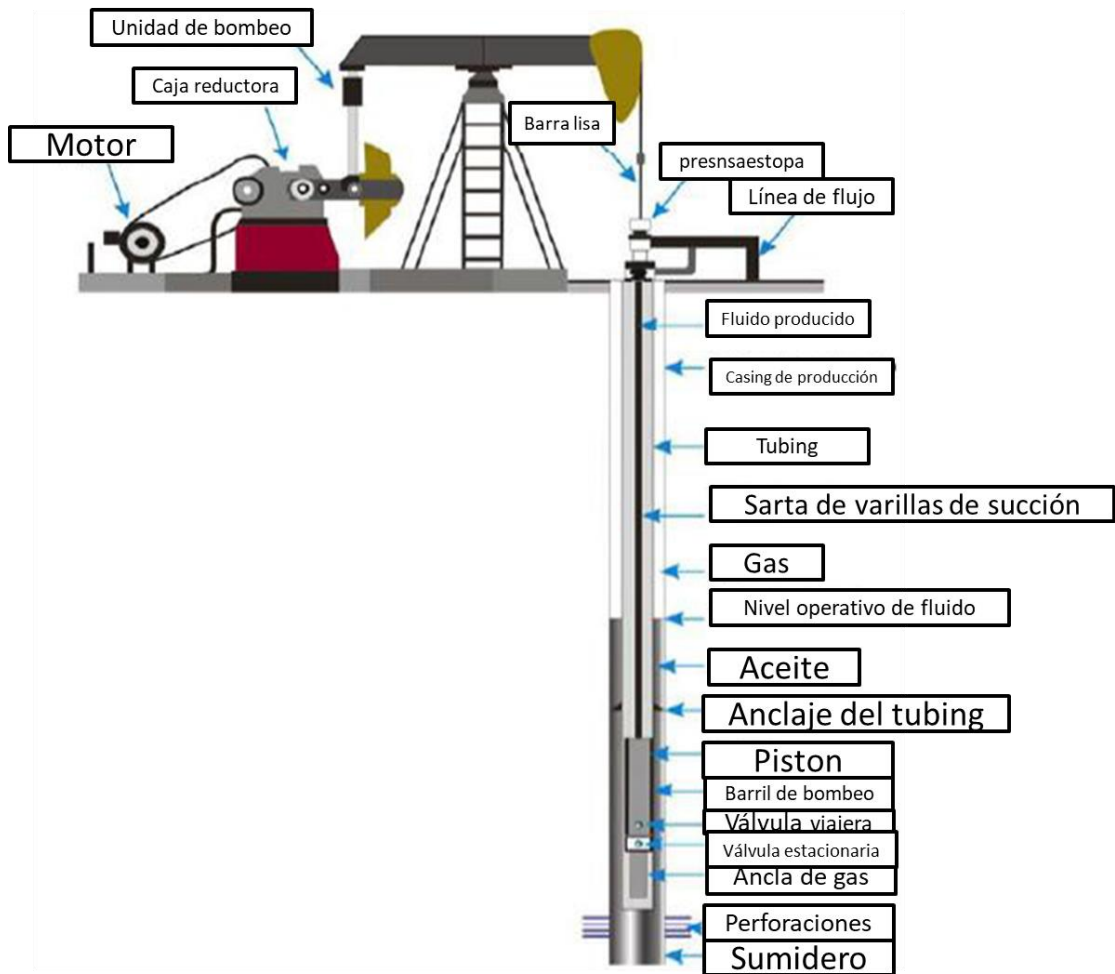


Figura 1 Sistema típico de Bombeo Mecánico

Fuente. MUÑOZ, Álvaro y Torres, Edgar. Evaluación técnica de las estrategias de Levantamiento artificial implementado en campos maduros. Diseño de una herramienta software de selección. Tesis de grado. UIS. 2007 25.

Pág. 50.

4. GENERALIDADES DEL LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL BOMBEO MECÁNICO

Las unidades de bombeo mecánico utilizan principios hidráulicos de la mecánica de fluidos. Estos sistemas de producción primaria, emplean una bomba de subsuelo de acción recíproca que su vez es alimentada con energía transmitida por una sarta de varillas, esta energía proviene de un motor, pudiendo ser este eléctrico o de combustión interna, que emplea un sistema de transmisión, llegando este a ser por correas o engranajes.

La capacidad de producción del bombeo mecánico cae rápidamente con la profundidad de asentamiento de la bomba. Sin embargo, en el rango en el que puede usarse el Bombeo Mecánico, es difícil superar su eficiencia, versatilidad y facilidad de servicio (Salgado, Peralta, Gomez,2012). Un sistema de levantamiento artificial de acción recíproca, con desplazamiento positivo, como se había mencionado anteriormente, contempla al menos cinco (5) variantes según los tipos:

4.1 MECÁNICO STANDARD

Consiste de una bomba de subsuelo de operación recíproca, que es abastecida con energía originada en un motor de combustión o eléctrico en la superficie y transmitida a través de una sarta de varillas. Este tipo es empleado en la producción de crudos pesados, extra pesados y livianos.

Es el más antiguo y usado en la industria petrolera desde sus inicios. Las unidades convencionales soportan su geometría en un sistema de palanca Clase I⁴, es decir, con un punto de apoyo en medio de la viga balancín⁵. La rotación de la manivela puede ser en ambas direcciones. Se fabrican con diversas especificaciones, los recorridos varían de 12 a 192 pulg, y las cajas reductoras varían de 25.000 a 912.000 pulg-lb.

Ventajas

⁴ Este tipo de palanca, se caracteriza en que la potencia puede ser menor que la resistencia, aunque a costa de reducir la velocidad transmitida y la distancia recorrida por la resistencia.

- a. Emplea un bajo costo de mantenimiento a los equipos.
- b. Logra girar en sentido de las manecillas del reloj y anti horaria.
- c. Mayor capacidad para bombear más rápido que la Mark II porque requiere menos contrapeso.

Desventajas

- a. No es tan eficiente como la Mark II, si se requiere para varias aplicaciones.
- b. Requiere en proporción una caja reductora más grande que otros tipos de unidades de bombeo, especialmente con varillas de acero.

4.2 BALANCEADO POR AIRE (AEREO BALANCEADA)

En estas unidades el punto de apoyo del balancín esta en uno de sus extremos (Sistema de palanca Clase III, geometría montada en el frente y contrabalanceo por aire). Son unidades más livianas y compactas.

El sistema de contrabalanceo neumático es capaz de suministrar altos efectos de contrabalanceo con un pequeño incremento en la presión del cilindro de la unidad. Las unidades de bombeo neumático tienen mayor aplicación para pozos profundos, el bombeo de altos volúmenes con carreras largas y el bombeo de crudos viscosos.

Hay unidades neumáticas disponibles en el mercado que tienen longitudes de carreras de 64 a 300 pulg, y cajas reductoras que varían de 114.000 a 3'648.000 pulg-lbs.

Ventajas

- a. Es más compacta y fácil de balancear que las otras unidades.
- b. Los costos de transporte son más bajos que otras unidades (debido a que pesa menos).
- c. Puede rotar tanto en sentido de las manecillas del reloj como anti horario.

Desventajas

- a. Son sistemas más complejos y requieren mayor mantenimiento (compresor de aire, cilindro de aire).
- b. La condensación del aire en el cilindro puede establecer un serio problema, ello principalmente en climas fríos o cuando desciendan las temperaturas.
- c. La caja de engranaje puede sufrir daños, si el cilindro pierde la presión del aire.

4.3 MECAHIDRÁULICO (ACCIONADOR HIDRÁULICO O DE BOMBEO HIDRAULICA)

El principio fundamental de estas unidades es el de levantar la sarta de bombeo por medio de un pistón hidráulico que va conectado al coupling de la barra lisa. Existen en el mercado muchos fabricantes y cada uno los construye según sus propios criterios.

Algunas de ellas pueden graduar su recorrido con el cambio de la ubicación de los sensores de final de carrera, otras traen los recorridos fijos. Por lo general trabajan con pocos ciclos y según su tamaño, así mismo es el recorrido. No poseen contrapeso, es decir, no hay caja reductora. Las longitudes de carrera no son fijas pero se conocen que pueden llegar hasta 300 pulg, su carga estructural puede soportar hasta 40.000 lb.

Ventajas

- a. Se pueden conseguir unidades de bajo costo para pozos de poca producción.
- b. Son fáciles de transportar y su instalación no requiere placa de concreto, por lo que economiza costos.
- c. Las variable mas importante a monitorear es solo su capacidad estructural

Desventajas

- a. Requiere mantenimiento especializado y constante debido a sus sistemas de control electrónico
- b. Al aumentar la carga del pozo los ciclos se reducen drásticamente.
- c. Algunas no permiten tomar registros de dinagramas con echometer por lo que traen su propio sistema de monitoreo
- d. Alto consumo energético

4.4 MARK II (UNITORQUE)

En estas unidades el punto de apoyo del balancín esta en uno de sus extremos (Sistema de palanca Clase III, geometría montada en el frente y contrabalanceo en el crank). Están diseñadas con el objeto de mantener un torque neto uniforme en la caja reductora y en el motor.

Gracias a esto se reduce el torque máximo en la caja reductora hasta un 35% y la carga máxima en la varilla pulida es hasta un 10% en condiciones ideales. Las unidades Mark II están equipadas con contrapesos en el Crank. Estas unidades tienen longitudes de carrera que van desde 64 a 216 pulg, y cajas reductoras que varían de 114.000 a 1'280.000 pulg-lb.

Ventajas

a. Tiene torques más bajos cuando se usan varillas de acero, comparado con la unidad convencional.

b. Cuesta entre 5 y 10% menos, comparadas con las unidades convencionales.

Desventajas

a. En muchas aplicaciones, no puede bombear tan rápido como la unidad convencional porque la rápida velocidad de la carrera descendente causa problemas de rompimiento de varillas.

b. Causa daño a las varillas y a la bomba en caso de golpe de fluido.

4.5 Unidad De Bombeo de Carrera Larga (Rotaflex)

Son unidades especiales que no funcionan bajo el principio de palanca como las anteriores sino que poseen una correa que levanta la barra lisa. Fueron creadas para recorridos largos en pozos profundos y con altas capacidades de desplazamiento

Su larga carrera (hasta 366 pulg, o 9,3 m) y la posibilidad de trabajar a muy bajos ciclos por minuto permiten un completo llenado de la bomba y una menor carga dinámica. La velocidad

constante y una menor cantidad de ciclos de bombeo alargan la vida útil de la unidad de bombeo, de la bomba de fondo de pozo y de la sarta de varillas.

Ventajas

- a. Trabaja con recorridos largos y menos ciclos, lo que es ideal en bombeo mecánico.
- b. La banda actúa como un amortiguador de choque que reduce la fatiga del sistema.

Desventajas

- a. Requiere mantenimiento especializado y constante debido a su sistema de inversión de giro
- b. No es sencillo el balancear la unidad, ya que requiere desarmarla para instalar las láminas.



Figura 2 Sistema Rotaflex Weatherford Serie 900.

Salvex.(2017). Sistema rotaflex weatherford. [imagen]. Recuperado de http://www.salvex.com/listings/listing_detail.cfm?aucID=182967344.

5. VENTAJAS COMPARATIVAS ENTRE LOS TIPOS DE BOMBEO DESDE EL ASPECTO TECNICO

Dado que el bombeo mecánico, es el más común, el más antiguo, y sobre todo el de menor costo, las diferentes variables de éste, son de vital importancia para evaluar desde el punto de vista técnico, económico y ambiental según las condiciones del sitio a explorar. Teniendo en cuenta que, por cuestiones de custodia de información, la mayoría de las empresas reservan su información, se mostrarán los resultados buscando la mayor cercanía con la realidad.

Su función es extraer fluidos mediante un movimiento reciprocante originado por una unidad de bombeo superficial, que transmite la energía por medio de la sarta de varillas a la bomba, colocada dentro de la tubería de producción en el fondo, cerca del yacimiento. La bomba, transporta el fluido que va desde la formación hasta el fondo del pozo, disminuyendo la presión en el fondo de este. Un diferencial de presión grande entre la formación y el fondo del pozo incrementa la tasa de producción (Villegas, 2014).

La ventaja comparativa entre las variantes que se harán a continuación, ayudarán a discernir la capacidad de una empresa para producir un sistema basado en una mejor eficiencia, empleando relativamente menos recursos que otros.

Tabla 1 Comparativas entre los tipos de bombeo desde el aspecto técnico

características /tipos de bombeo	Mecahidráulico	Estándar Convencional	o Balanceada por Aire	Rotaflex	Mark II
Balaceo	Porta-Pesas	Contrapesos	Tanque cilíndrico con pistón y cilindro de aire.	Caja de Contrapesos	Contrapesos, están colocadas en una manivela de dos brazos separados y opuestos
Estructura	La estructura porta-pesas está unida a la polea fija y tiene dos bujes de alineación, uno a cada lado.	Punto de apoyo está entre la carga y los brazos de la manivela	Brazos de manivela conectados entre punto de carga y punto de apoyo del balancín	Este tipo de unidad opera con contrapesos de hierro pero a diferencia de estas el contrabalanceo tiene una trayectoria vertical de ascenso y descenso.	En estas unidades el punto de apoyo del balancín esta en uno de sus extremos.
Dimensión, tamaño de Estructura	Es muy similar al convencional o Standard	Es directamente proporcional al nivel de extracción	Reducción en peso de hasta 40% y 35% menos en tamaño al convencional	Tamaño inferior a la convencional dependiendo si es horizontal o vertical	Similar a las unidades estándar sin embargo más eficientes en la reducción del torque
Longitud de carrera	Las longitudes de carrera no son fijas pero se conocen que pueden llegar hasta 300 pulg.	los recorridos varían de 12 a 192 pulg	Longitudes de carreras de 64 a 300 pulg.	Longitudes de carrera que van desde 288 a 366 pulg	64 a 216 pulg
Caja reductoras	No posee	25.000 a 912.000 pulg-lb	114.000 a 3'648.000 pulg-lbs	320.000 a 420.000 pulg-lb	114.000 a 1'280.000 pulg-lb

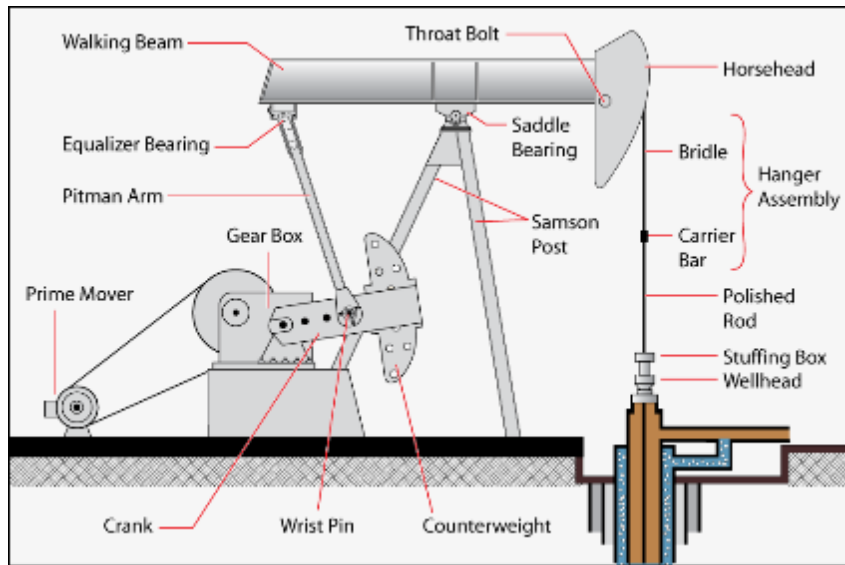


Figura 3 Unidad de bombeo mecánico estándar

Describe and Operate Beam Pum (2008). Unidad de bombeo mecánico estándar [imagen]. Recuperado de <https://docplayer.net/15000891-Describe-and-operate-beam-pump.html> Página 12 de 24



Figura 4 Unidad de bombeo balanceado por aire mecánico

Escalante,S.(2016). Unidad de bombeo balanceado por aire mecánico [imagen]. Recuperado de <https://docplayer.es/79827837-Modulo-iii-bombeo-mecanico.html> Pagina 7 de 22

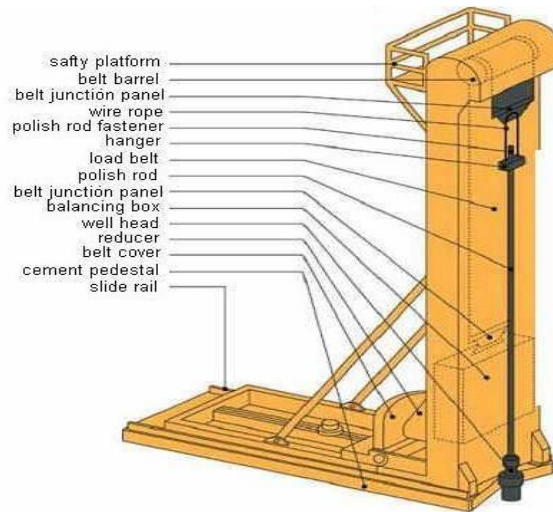


Figura 5 Unidad de bombeo rotaflex

Odin Petrotech Development Co., Ltd.(2011). unidad de bombeo rotaflex [imagen]. Recuperado de: https://odinpetrotech1.en.ec21.com/offer_detail/Odin_Petrotech_Development_Co.,_Ltd.180117.html

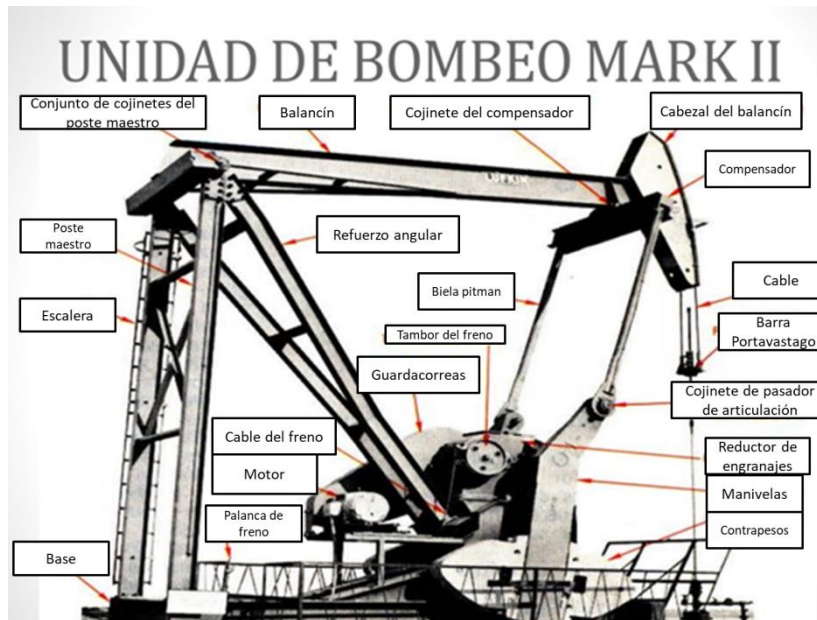


Figura 6 Unidad de bombeo marck II

Ferrer,E.(2017).unidad de bombeo mark II [imagen]. Recuperado de: <https://www.slideshare.net/23466960/eveicar-bm> Pagina 23 de 36

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA COMPARATIVA

Para realizar una evaluación acerca de cuál de las variantes de Levantamiento Artificial por BM, se deben tener en cuenta las siguientes variables:

- a. La unidad monetaria es el dólar americano (US\$).
- b. El tiempo de evaluación de operación de los equipos en 5 años, que es un periodo razonable, en el cual se deben dejar las demás variables constantes.
- c. Tasa de Interés de Oportunidad (TIO)⁶ estimada en un 15% para la mayoría de proyectos de inversión.
- d. Valor Presente Neto (VPN)⁷.

A continuación, se desarrollará lo que, según las cifras obtenidas de Occidental, en la comparación de las diferentes variables de BM, a seleccionar el mejor posible. Cabe mencionar que como no se tiene una cantidad estimada de pozos a perforar en un año, ni tampoco la cantidad de unidades instaladas, se tomaran valores aproximados para evaluar los costos más cercanos a la realidad.

Tabla 2 Costo Instalación Unidades Superficie.

	Unidad Monetaria (US\$)
Standard	\$ 110.000,00
Balanceado Aire	No se Obtuvo
Mark II	\$ 160.000,00
Rotaflex	\$ 170.000,00
Mecahidráulica	\$ 150.000,00

La información presentada en la tabla numero 2 fue tomada del informe OCCIDENTAL DE COLOMBIA LLC. (2016), donde se describe los costos empleados por cada uno de los elementos que la componen.

Si bien es cierto que los costos anteriores tienen asociados el tema de la instalación, de igual manera, el transporte también está incluido en ellos.

Dentro de las aproximaciones, atendiendo los resultados obtenidos de manera comparativa, las dos variantes, tanto Rotaflex y Mecahidráulica, son las que mejores ventajas tendrían, claro

⁶ Esta tasa muestra la rentabilidad mínima, que exige la empresa en todos los proyectos que desarrolla con relación al riesgo de la misma y de esta manera se espera que el retorno cubra la totalidad de la inversión realizada.

⁷ Es la diferencia entre el equivalente de valores actuales de todo el proyecto en el futuro; lo que facilita la decisión desde el punto de vista financiero, de realizar o no uno de estos.

está, de manera teórica, dado que tenemos la limitante de datos, ello por confidencialidad de información de la mayoría de las compañías.

Según Occidental, se estima un costo de operación anual por unidad de superficie de 100.000 US\$⁸, y como se mencionaba, sin tener en cuenta ciertas externalidades de tipo ambiental, económico y político. En el siguiente cuadro se estimará el número de intervenciones por año, se asume que tanto Rotaflex como Mecahidráulica al ser del mismo tipo de recorrido largo, se supondría que se tiene una vida útil similar.

Si bien es cierto, para el escenario hipotético, y según la fuente bibliográfica, la Compañía establece la campaña de perforación de los pozos nuevos dentro de los dos primeros años, para los demás años restantes no se tiene establecido debido a las variaciones que ha tenido el precio del crudo los últimos años y que su determinación depende de este factor (Occidental de Colombia, 2016).

Tabla 3 Cantidad de Intervenciones por Unidad en 5 Años

Unidad de Superficie	Vida Útil (Años)	No. De Intervenciones
Standard	1,1	4
Balanceado Aire	No se Obtuvo	No se Obtuvo
Mark II	0,83	5
Rotaflex	3,3	1
Mecahidráulica	3,3	1

De acuerdo a lo anterior, con la restricción de información referente al número de pozos que se van a perforar, y también sin tener datos del campo de explotación, esta es una estimación a la realidad, que como se mencionaba anteriormente, tanto Rotaflex como Mecahidráulica son los que ofrecen una mayor vida útil con un mínimo de intervenciones. Es de notar, que los valores financieros ayudarán a aproximar desde el espectro económico a seleccionar la unidad de superficie que tenga mejor relación costo – beneficio.

⁸ Cifra estimada por Occidental de Colombia LLC para el año 2016

La TIO, muestra la rentabilidad básica o mínima que requiere la empresa en los proyectos relacionados al riesgo, esperando que el retorno alcance a cubrir la totalidad de la inversión realizada (Baca, 2005). Para evaluar los costos asociados a las unidades de superficie, se tendrá en cuenta el VPN, como la suma de los flujos de caja a valores actuales. Con la siguiente ecuación se determinara el VPN:

Ecuación No.1. Valor Presente Neto (VPN).

$$VPN(i) = \sum F_n (1 + i)^{-n} = F_0 + F_1(1 + i)^{-1} + F_2(1 + i)^{-2} + \dots F_n(1 + i)^{-n}$$

Fuente: BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica: Valor presente neto. Editorial educativa. Octava edición. 2005. p. 197

Donde i es la tasa a la cual son descontados los flujos de caja, denominada tasa de interés de oportunidad (TIO), F son los flujos netos de efectivo en cada período y corresponde al período de tiempo (Baca,2005). Suponiendo que cada año se incrementa gradualmente una unidad de superficie en cada caso, hasta llegar al año cinco (5) para hallar el VPN .

Cabe tener en cuenta que tanto la unidad Convencional o Standard como Mark II, son las que presentan menor vida útil, ello aduce un mayor número de intervenciones para prolongar su funcionamiento sin embargo esto no daría garantía de su óptimo desempeño. Sin embargo si se realiza un mantenimiento preventivo periódicamente puede llegar a evitar que su eficiencia se vea reducida.

La línea de tiempo para cada unidad de superficie se realizó de la siguiente manera:

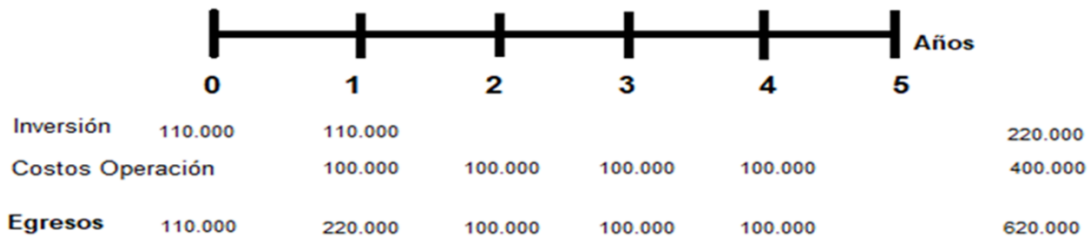


Grafico 1 Línea de Tiempo Unidad Superficie Standard.

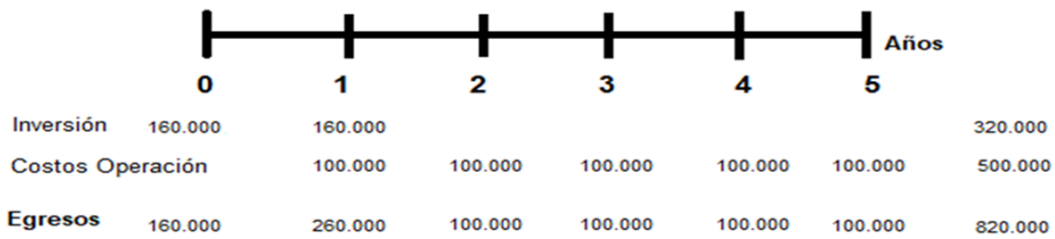


Grafico 2 Línea de Tiempo Unidad Superficie Mark II

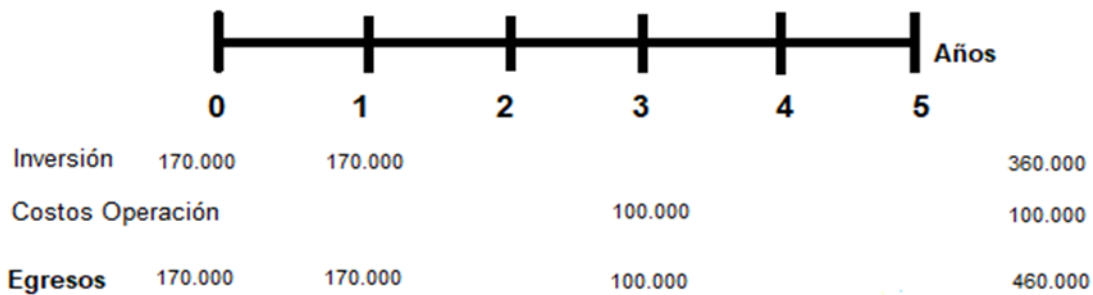


Grafico 3 Línea de Tiempo Unidad Superficie Rotaflex.

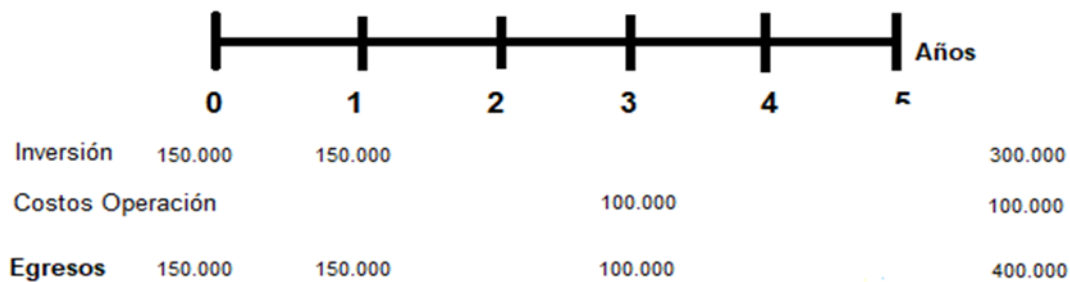


Grafico 4 Línea de Tiempo nea de Tiempo Unidad Superficie Mecahidráulica.

De acuerdo a lo anterior, desde el punto de vista de costos, una unidad de superficie Mecahidráulica presenta los menores costos, ello traduce que tanto la unidad Mark II y Standard, serían las menos recomendables, dado que son las más costosas desde la operación y la inversión de equipos. Seguidamente, como se mencionó anteriormente, se calculara el VPN para cada unidad de superficie.

Ecuación No. 2. Valor Presente Neto Unidad Standard.

$$\begin{aligned}
 VPN(0,15) = & (110.000) + \left(\frac{220.000}{(1 + 0,15)^1}\right) + \left(\frac{100.000}{(1 + 0,15)^2}\right) + \left(\frac{100.000}{(1 + 0,15)^3}\right) + \left(\frac{100.000}{(1 + 0,15)^4}\right) \\
 & + \left(\frac{0}{(1 + 0,15)^5}\right) = \mathbf{529.725,7385\ US\$}
 \end{aligned}$$

Ecuación No. 3. Valor Presente Neto Unidad Mark II.

$$VPN(0,15) = (160.000) + \left(\frac{260.000}{(1+0,15)^1}\right) + \left(\frac{100.000}{(1+0,15)^2}\right) + \left(\frac{100.000}{(1+0,15)^3}\right) + \left(\frac{100.000}{(1+0,15)^4}\right) + \left(\frac{100.000}{(1+0,15)^5}\right) = \mathbf{664.226,0207 US\$}$$

Ecuación No.4. Valor Presente Neto Unidad Rotaflex.

$$VPN(0,15) = (170.000) + \left(\frac{1700.000}{(1+0,15)^1}\right) + \left(\frac{0}{(1+0,15)^2}\right) + \left(\frac{100.000}{(1+0,15)^3}\right) + \left(\frac{0}{(1+0,15)^4}\right) + \left(\frac{0}{(1+0,15)^5}\right) = \mathbf{413.457,7863 US\$}$$

Ecuación No.5. Valor Presente Neto Unidad Mecahidráulica.

$$VPN(0,15) = (150.000) + \left(\frac{150.000}{(1+0,15)^1}\right) + \left(\frac{0}{(1+0,15)^2}\right) + \left(\frac{100.000}{(1+0,15)^3}\right) + \left(\frac{0}{(1+0,15)^4}\right) + \left(\frac{0}{(1+0,15)^5}\right) = \mathbf{376.066,482 US\$}$$

Se seleccionó la Mecahidráulica en un escenario de operación desde el periodo 0, teniendo en cuenta que se debe buscar la maximizar de la vida útil del sistema y teniendo en cuenta las intervenciones a las unidades donde se incurre en costos de operación. Como se observa en los resultados, la unidad Mecahidráulica es la que representa el mejor VPN de 376066,485 US\$ siendo desde un escenario hipotético y con los datos bibliográficos la mejor desde la óptica económica.

7. MATRIZ DE SELECCION

7.1 ¿Que es una matriz de selección?

Una matriz de selección, también conocida como una matriz de priorización, es una técnica de clasificación jerárquica para evaluar proyectos potenciales, problemas, alternativas o soluciones propuestas basadas en un criterio específico o dimensiones de calidad (McCain,2011).

7.2 Aplicación de la matriz de selección

Para poder llegar a un veredicto final de cuál es el mejor tipo de bombeo mecánico se realizó la selección de los diferentes parámetros que permiten un mejor análisis de los aspectos técnicos más importantes de los distintos tipos de bombeo mecánico además de su apartado económico siendo los siguientes parámetros como son mejor valor presente neto, mayor capacidad de recorrido, menor cantidad de fallas en su vida útil, mejor vida útil y menor espacio ocupado evaluándose un valor máximo de 5 a los valores más deseables y 0 a los valores de inferior calidad.

Tabla 4 Matriz de selección

	Estándar	Mark 2	Rotaflex	Balanceada por aire	Mecahidráulica
Vida útil	1.1	1.25	5	N.A	5
Valor presente neto	3.55	2.83	4	N.A	5
Mayor capacidad de recorrido	2.62	2.95	5	4.1	4.1
Menor cantidad de fallas	1.25	1	4	N.A	4
Espacio ocupado	2	2	4	3	5
Total	10.52/25	10.08/25	22/25	Datos insuficientes	23/25

Gracias al uso de esta matriz de selección la cual condensa toda la investigación realizada en este documento podemos concluir que la unidad Mecahidráulica es la que presenta los mejores valores tanto técnicos como económicos siendo únicamente casi igualada por la unidad Rotaflex en términos de calidad sin embargo siendo superada en el apartado económico según los datos usados en esta investigación. Sin embargo cabe de aclarar que al variar los precios según la

empresa y la mejora continua de la tecnología de los distintos tipos de bombeo mecánico esta matriz puede y debe verse modificada a medida que pase el tiempo.



Figura 7 Unidad de bombeo hidráulico

Serinpet.(2017).unidad de bombeo hidráulico [imagen]. Recuperado de: <http://www.serinpet.com/> Catalogo

8. CONCLUSIONES

Las unidades de superficie del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico de largo recorrido y baja velocidad, como por ejemplo la Mecahidraulica y Rotaflex, contribuyen a la preservación de la vida útil según las cifras estimadas por Occidental de Colombia LLC para el año 2016 de los equipos de fondo instalados en el pozo, debido a que presentan menos fallas a causa de su baja velocidad, en donde las varillas tienden a resistir alrededor de 3 años lo cual es 2 años más que en las otras unidades que manejan altas velocidades donde la vida útil de las varillas en las otras unidades no sobrepasa el año.

Desde el punto de vista financiero la unidad de superficie Mecahidráulica, es la que representa mejor relación costo-beneficio, dado que dentro del periodo de evaluación de cinco (5) años que se llevó a cabo para cada una de las unidades, refleja un VPN de **376.066,49 US\$**, aun cuando requería de una mayor inversión inicial junto con Mark II y Rotaflex, las cuales a largo plazo con las continuas mejoras podrían lograr una mejor utilidad a futuro. De las unidades balanceadas por aire no se obtuvieron datos económicos por lo cual no entra dentro de este análisis comparativo.

9. RECOMENDACIONES

La Unidad de Bombeo Mecahidráulico, al no emplear caballete, es un montaje más sencillo, por tanto, respecto a la limitante de información, en términos de volumen sería más fácil instalarlo. La variable, permite rápido llenado de la bomba y del barril de una manera moderada, pero se recomienda evaluarlo en zonas de exploración, donde existan temperaturas altas, para diagnosticar si el llenado es mayor y es conveniente para su instalación.

A la hora de recomendar el tipo de unidad de bombeo más conveniente para una compañía, se debe realizar un análisis detallado sobre el consumo de energía de dichas unidades, teniendo en cuenta el torque de la caja reductora y la distribución de cargas sobre esta. Es de notar que, como complemento a ello, la simulación en el software Rodstar, ayuda a evaluar los diferentes casos en modo lote simultáneo, para comparar los resultados obtenidos en todas las unidades.

Finalmente se recomienda para un próximo trabajo la búsqueda de información faltante respecto a las unidades de bombeo mecánico balanceado por aire para llevar a cabo un análisis más detallado.

10. BIBLIOGRAFÍA

Baca, G. (2005). *Ingeniería Económica* (Octava Edición ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Educativa.

Deere,C.,(2005). Human development report.International Training Group Technical Assitances. (pp.1-44)

Ferrer,E.(2017).unidad de bombeo marck II [imagen]. Recuperado de:
<https://www.slideshare.net/23466960/eveicar-bm>

Gil,E.,Chamorro,A.(2009).Técnicas Recomendadas para el Aumento de la Producción en Campos Maduros (pp. 1-7) recuperado de:
<http://oilproduction.net/files/Aumento%20de%20produccion%20en%20campos%20maduros.pdf>

Madrid, M (2009). Portal del petróleo, recuperado
de:<http://www.portaldelpetroleo.com/2009/06/bombeo-mecanico-diseno.html>

Monroy, M.,Gutierrez,J., Prada,J.,Martin,J.,Rubiano,E.,Labrador,S.,Celis,J.,Sales,P (2015). Failure Index Reduction Strategy for Artificial Lift Systems in Cira Infantas Field. Society of Petroleum Engineers, 8.

Occidental de Colombia. (2016). Bogotá, Colombia: Occidental de Colombia. Occidente. (s.f.).

Organization of the Petroleum Exporting Countries Public Relations and Information Department (2009). Annual Report 2009. Ulunma Angela Agoawike ISSN 0474-6317
recuperado de:
https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/AR2009.pdf

Salgado, J., Peralta, M. , & Gómez, L. C. (2012). Optimización de unidades de bombeo mecánico a partir del reconocimiento de características por medio de mapas

Autoorganizados. *Ingeniería Y Región*, 9, 101-114. <https://doi.org/10.25054/22161325.780>

Salvex.(2017). Sistema rotaflex weatherford. [imagen]. Recuperado de http://www.salvex.com/listings/listing_detail.cfm?aucID=182967344.

Theta Enreprise, Inc. (2005). Manual de Bombeo Mecánico: Optimización de Bombeo Mecánico. 2 Edition, (pp.19)

Toro,J.,Garavito,A.,Lopez,D.,C., Montes, E.(2015).El choque del petróleo y su impacto en la economía colombiana. Borradores de la economía, Num.906 2015.(pp. 3-65)

Vicente,R.C(2010).La inversión extranjera directa en Colombia. años 1990 – 2009. Saber, Ciencia y libertad, (pp.173-184)

Villegas, D. (2014). Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3276>

Weatherford International Ltd. (2005). Unidades Hidráulicas de Velocidad Variable 2. 5.

Baquero,G.,Gómez,J.(2016) Introducción AL BOMBEO MECÁNICO ASPECTOS GENERALES(pp.1-68)

Serinet.(2017).unidad de bombeo hidráulico [imagen]. Recuperado de: [http://www.serinet.com/ Catalogo](http://www.serinet.com/Catalogo)