

# GRÁFICA DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL BASADO EN EL DE ÍNDICE DE PRESIÓN DEL YACIMIENTO E ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD

## SELECTION CHART OF THE ARTIFICIAL LIFT SYSTEM BASED ON THE RESERVOIR PRESSURE INDEX AND PRODUCTIVITY INDEX

BYRON APOLO<sup>1</sup>, MARCEL ESPARZA<sup>2</sup>, RUBÉN MANRIQUE<sup>3</sup>, IVÁN MARTÍNEZ<sup>4</sup>, MARLON RODRÍGUEZ<sup>5</sup>

1 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. [bapolo@espol.edu.ec](mailto:bapolo@espol.edu.ec)

2 Instructor interno Sertecpet S.A, Ecuador. [marcel.esparza@sertecpet.net](mailto:marcel.esparza@sertecpet.net)

3 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. [rubbeman@espol.edu.ec](mailto:rubbeman@espol.edu.ec)

4 Instructor interno Sertecpet S.A, Ecuador. [ivan.martinez@sertecpet.net](mailto:ivan.martinez@sertecpet.net)

5 Instructor interno Sertecpet S.A, Ecuador. [marlon.rodriguez@sertecpet.net](mailto:marlon.rodriguez@sertecpet.net)

### RESUMEN

El presente artículo propone una metodología que consiste en la preselección y selección del sistema de levantamiento artificial (SLA) utilizando la gráfica del índice de presión del yacimiento vs índice de productividad la cual permitirá realizar una selección adecuada que mejorará la rentabilidad económica de cualquier campo petrolero. Esta nueva gráfica índice de presión del yacimiento vs. índice de productividad necesita los parámetros de la presión del yacimiento, la profundidad vertical verdadera (TVD) y el índice de productividad, que se la utiliza en la preselección del levantamiento artificial. Para la selección del sistema se necesita la información de cada pozo, como datos del yacimiento, datos mecánicos del pozo, entre otros, que se los ha clasificado como parámetros limitantes, determinantes y complementarios para seleccionar el levantamiento más óptimo eficiente y eficaz para el pozo en estudio. Con los datos requeridos se realiza una comparación para determinar el área donde se ubica el pozo analizado de acuerdo con la gráfica establecida en este proyecto y con el compendio de información de los sistemas de levantamiento artificiales se puede seleccionar el sistema óptimo del pozo en estudio. Uno de los objetivos principales de este trabajo es proporcionar una guía para seleccionar el sistema de levantamiento artificial utilizando la gráfica que relaciona el índice de presión del yacimiento, el índice de productividad y con la ayuda del compendio de los sistemas de levantamiento artificial, permiten realizar una preselección y selección de levantamiento artificial óptima, eficiente y eficaz.

**PALABRAS CLAVE:** sistema de levantamiento artificial; índice de presión del yacimiento; índice de productividad; compendio.

### ABSTRACT

This article proposes a methodology that consists of the preselection and selection of the artificial lifting system (ALS) using the graph of the reservoir pressure index vs. productivity index which will allow an adequate selection that will improve the economic profitability of any oil field. This new graph of reservoir pressure index vs. Productivity index requires the parameters of reservoir pressure, true vertical depth (TVD) and the productivity index, which is used in the preselection of the artificial survey. For the selection of the system the information of each well is needed, such as reservoir data, mechanical data of the well, among others, which have been classified as limiting, determining and complementary parameters to select the most optimal efficient and effective survey for the well in study. With the required data, a comparison is made to determine the area where the analyzed well is located in accordance with the graph established in this project and with the information compendium of the artificial lifting systems, the optimal system of the well under study can be selected. One of the main objectives of this work is to provide a guide to select the artificial lift system using the graph that relates the reservoir pressure index, the productivity index and with the help of the artificial lift systems compendium, allow to perform a pre-selection and selection of optimal, efficient and effective artificial lifting.

**KEYWORDS:** artificial lift system; reservoir pressure index; productivity index; information compendium.

DOI: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v18i3.165>

RECIBIDO: 12/6/2017

ACEPTADO: 6/11/2017

## INTRODUCCIÓN

Un factor importante dentro de la industria petrolera es tener conocimiento y monitorear de forma constante los parámetros petrofísicos, análisis de presión, volumen y temperatura (PVT), pruebas de pozos, estratigrafía, entre otros factores correspondientes al campo petrolero (Muñoz & Torres, 2007).

A medida que pasa el tiempo, por acción natural del yacimiento, los pozos exploratorios y en desarrollo de un campo tienden a comportarse de una forma diferente, si no se tiene información correspondiente a los cambios ocurridos disminuirá la eficiencia operativa y rentabilidad económica por pozo (Bin, Lyngholm, & Vasper, 2007).

Los diferentes tipos de levantamiento artificial dependen de algunos parámetros como características del pozo las cuales van cambiando con el transcurso del tiempo, otros parámetros son los operacionales y económicos. Es por esta razón que se debe realizar un análisis constante a lo largo de la vida productiva del pozo para determinar qué tipo de sistema de levantamiento artificial es más efectivo o si se debe realizar un cambio de este sistema en algún pozo que ya cuente con alguno para optimizar la producción. Para esto, se necesita realizar un well testing (pruebas de presión y producción), pudiendo determinar su verdadero potencial y demás parámetros en un corto plazo, información que permite rediseñar y seleccionar de forma apropiada el tipo de levantamiento artificial (Apolo & Manrique, 2018).

El presente artículo propone una metodología de preselección y selección de SLA utilizando la gráfica de índice de presión del yacimiento vs. Índice de productividad. Para esto, es necesario que se realicen evaluaciones con unidades de prueba móvil (MTU), análisis de índice de presión del yacimiento e índice de productividad, y determinar si se necesita modificar parte del sistema actual o cambiarlo por otro. Por tal motivo, es necesario que los proyectos del sector petrolero sean estratégicos, sustentables, viables y rentables para que ayuden a que exista solvencia económica en la industria local cuando el precio del petróleo se encuentre en un nivel bajo.

## METODOLOGÍA PARA LA PRESELECCIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

La metodología para la preselección y selección de un sistema de levantamiento artificial usada en este proyecto será la siguiente:

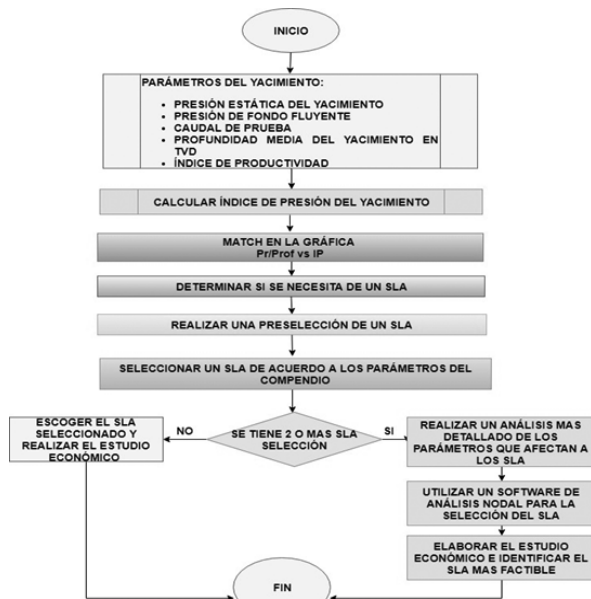
- Realizar una preselección del sistema de levantamiento artificial mediante la gráfica de índice de presión del yacimiento vs índice de productividad.
- Realizar una selección de los sistemas candidatos de levantamiento artificial mediante los parámetros expuestos en el compendio, para ello se necesitará de información de cada pozo como datos de yacimiento, mecánicos del pozo, entre otros.

Si en la selección quedaran dos o más SLA se debe realizar un análisis detallado de estos parámetros que afectan a los sistemas de levantamiento artificial, como también las ventajas y desventajas de estos. La conveniencia o experiencia del ingeniero de levantamiento artificial también es un factor importante que influye la selección, también la cantidad de recursos disponibles que permiten que el sistema sea factible operativamente y viable por los insumos (Hirschfeldt & Bertomeu, 2016).

Además, se debe complementar la selección realizando un análisis nodal y un análisis económico que no son parte de esta investigación, criterios económicos que se deben tener en cuenta.

- Análisis nodal: se lo realiza mediante softwares de ingeniería utilizado en el área de producción. Si en la selección quedaron dos o más SLA este criterio nos permitirá conocer cuál será su caudal óptimo para luego utilizarlo en el análisis económico.
- Análisis económico: se lo realiza una vez que se obtenga los caudales que se producirán mediante el SLA, si se tiene en la selección dos o más sistemas, mediante este análisis económico se escogerá el que más convenga de acuerdo con el tiempo que se tenga para recuperar en menor tiempo la inversión.

La Figura.1 muestra el diagrama de flujo para utilizar la metodología general para la selección de un levantamiento artificial.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología general  
**Fuente:** Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

### PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL COMPENDIO DE LA SELECCIÓN DE UN SLA

Para la preselección y la selección del sistema se tomó en cuenta un compendio de información de los SLA más utilizados. El compendio es el conjunto de parámetros que permiten seleccionar el sistema artificial. Este compendio toma en cuenta los siguientes parámetros típicos para la selección del SLA:

- **Parámetros determinantes:** estos parámetros son aquellos que tienen una mayor influencia sobre los otros parámetros y sobre la selección del tipo de sistema de levantamiento. A estos no se los pueden adaptar o cambiar a una condición en particular por razones físicas y económicas (Reyes & Sámano, 2011). Entre estos parámetros se tienen los siguientes:

1. Caudal de producción.
2. Manejo de la relación gas líquido (RGL).
3. Profundidad promedio de disparos dado en profundidad vertical verdadera (TVD).

- **Parámetros limitantes:** estos parámetros son aquellos que delimitan la eficiencia y el funcionamiento del levantamiento artificial, nos permite conocer de mejor manera las fortalezas y debilidades de un sistema de levantamiento con respecto a otro, estos parámetros varían de un sistema a otro (Reyes & Sámano, 2011). Dentro de estos parámetros se tienen los siguientes:

1. Gravedad °API (American Petroleum Institute)

2. Temperatura de yacimiento

3. Dog leg

4. Grado de inclinación del pozo

5. Ubicación

6. Disponibilidad de energía eléctrica

7. Disponibilidad de gas comprimido

8. Disponibilidad de fluido motriz

- **Parámetros complementarios:** estos parámetros son aquellos que, si bien no son muy influyentes en la selección, nos permiten tener un mayor grado de confiabilidad para tomar una decisión en la selección (Reyes & Sámano, 2011). Dentro de estos parámetros se tienen:

1. Manejo de sólidos o arena
2. Manejo de corrosión

### GRÁFICA DE ÍNDICE DE PRESIÓN DEL YACIMIENTO VS ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD

La gráfica de índice de presión del yacimiento e índice de productividad es obtenida a partir de los datos teóricos tanto de gradientes de presión como del índice de productividad, relacionando estos dos parámetros permite realizar una preselección del levantamiento artificial y en conjunto con el compendio expuesto anteriormente proporcionará una selección óptima del levantamiento artificial a utilizar.

El gradiente de presión se obtiene utilizando la siguiente ecuación (Maggiolo, 2008):

$$InPy = \frac{Pr}{Prof(TVD)yacimiento}$$

Donde:

InPy: índice de presión del yacimiento

Pr: Presión de reservorio

Prof. (TVD): profundidad del yacimiento (punto medio de los punzados)

La Tabla 1 muestra los valores teóricos de los gradientes de presión:

**TABLA 1: RANGOS DEL ÍNDICE DE PRESIÓN DEL YACIMIENTO PARA INSTALAR UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL**

	Pr/Prof. (TVD)	
0.35-0.45	ESTRANGULAR	SISTEMA A FLUJO NATURAL SE NECESITA ESTRANGULADOR EN SUPERFICIE PARA CONTROLAR LA PRODUCCIÓN ENERGÍA VIRGEN DEL YACIMIENTO
0.25-0.45	FLUJO NATURAL	NO ES NECESARIO, PERO SE PUEDE UTILIZAR DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ENERGÍA ALTA DEL YACIMIENTO
0.15-0.35	SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	SE DEBE UTILIZAR UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ENERGÍA MEDIA DEL YACIMIENTO
0-0.15	BOMBAS MECÁNICAS	NECESARIAMENTE SE REQUIERE DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ENERGÍA BAJA DEL YACIMIENTO

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

El índice de productividad se lo define como la relación que existe entre la tasa de producción de fluido y el draw-down que es la diferencia de la presión de yacimiento y la presión de fondo fluyente del pozo (Brown & Beggs, 1977).

$$IP = \frac{bpd}{lpc} = \frac{q_o}{(Pws - Pwf/s)} \quad (2)$$

Los valores teóricos que se tiene del índice de productividad son los siguientes:

- IP > 2.0: EXCELENTE PRODUCTIVIDAD
- IP entre 1.0-2.0: ALTA PRODUCTIVIDAD
- IP entre 0.5-1.0: MEDIA PRODUCTIVIDAD
- IP entre 0-0.5: BAJA PRODUCTIVIDAD

Con los datos que tenemos podemos agruparlos por área y tenemos la siguiente información que se muestra en la Tabla 2:

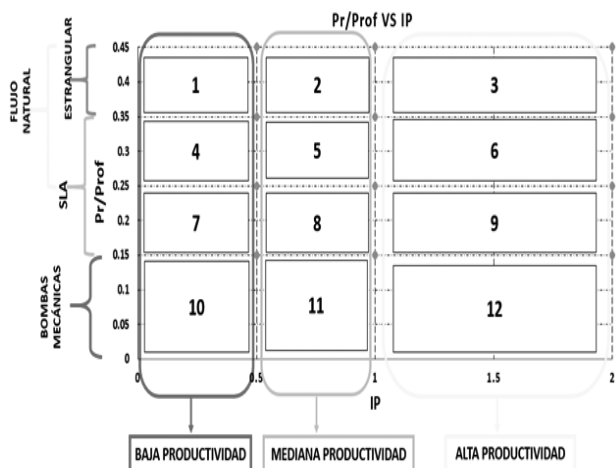
**TABLA 2: CRITERIOS PARA LA PRESELECCIÓN DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL**

GRUPO	ÁREAS	CRITERIO PARA PRE-SELECCIÓN DE UN SLA
BAJA PRODUCTIVIDAD	1-4-7-10	SE DEBE UTILIZAR UN SLA, AUNQUE SE ESTEN EN EL ÁREA 1 Y 4. Y EN EL ÁREA 7-10 NECESARIAMENTE SE DEBE UTILIZAR UN SLA
MEDIANA PRODUCTIVIDAD	2-5	PUEDE PRODUCIR A FLUJO NATURAL, TAMBIÉN SE PUEDE UTILIZAR UN SLA
	8-11	NECESARIAMENTE SE DEBE UTILIZAR UN LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL
ALTA PRODUCTIVIDAD	3-6	POZOS PRODUCEN A FLUJO NATURAL, SE PUEDE UTILIZAR UN SLA
	9-12	NECESARIAMENTE SE DEBE UTILIZAR UN SLA

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

### PRESELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL UTILIZANDO LA GRÁFICA DE ÍNDICE DE PRESIÓN DEL YACIMIENTO VS ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD

Para la utilización de la gráfica se necesita de la presión de reservorio, la profundidad de la formación de donde se encuentra el hidrocarburo en TVD, y el Índice de productividad. Este último se lo puede calcular mediante software con los datos de la evaluación del pozo que nos facilita tener un caudal a una presión de fondo fluyente denominado punto de prueba, a más



**Figura 2.** Gráfica de índice de presión del yacimiento vs índice de productividad  
Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

nos proporciona parámetros del yacimientos y fluido.

Una vez que se tenga los datos requeridos hacemos un match o buscamos el área donde se encuentra el pozo de estudio. Se ha procedido a colocar un color un número a la gráfica para tener un mejor entendimiento como se muestra en la Figura 1.

En la preselección del tipo de levantamiento se ha basado de acuerdo con índice de productividad del SLA como se encuentra en la Tabla 3.

**TABLA 3: PRESELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE ACUERDO CON EL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD.**

IP	CONSIDERACIONES PARA APLICAR LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	BOMBEO MECÁNICO	BOMBEO GAS LIFT	BOMBEO HIDRÁULICO	BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE	BOMBEO DE CAVIDADES PROGRESIVAS
>2.0	EXCELENTE PRODUCTIVIDAD	3	1	2	1	1
1.0-2.0	ALTA PRODUCTIVIDAD	3	1	2	1	1
0.5-1.0	MEDIA PRODUCTIVIDAD	2	1	1	2	1
0-0.5	BAJA PRODUCTIVIDAD	1	2	1	3	3

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

Los valores encontrados en la Tabla 3 significan:

- 1 el levantamiento más apropiado.
- 2 es la siguiente opción para tomarse en cuenta.
- 3 no es el levantamiento artificial más apropiado.

La preselección termina cuando se escogen los sistemas de levantamiento artificial que estén entre 1 y 2 puesto que serían los más idóneos para el pozo en estudio.

**SELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL UTILIZANDO LOS DATOS DEL COMPENDIO DE LOS LEVANTAMIENTOS ARTIFICIALES**

Una vez con la fase de la preselección terminada se inicia la fase de selección mediante el compendio tomado de Weatherford. Es la recopilación de datos operativos de cada levantamiento artificial, y mediante los parámetros determinantes, limitantes y complementarias se tiene un criterio para seleccionar el tipo de levantamiento artificial. En el caso de que se encuentre con dos o más tipos de levantamiento que podrían ser implementados en el pozo se procederá a la tercer fase o etapa que es el análisis mediante un software de ingeniería de

análisis nodal para saber qué tipo de levantamiento podrá aportarme una mejor producción, y hacer un análisis de sensibilidades para tener un mejor criterio de selección complementado con un análisis económico detallado (Figueroa & Tibaduisa, 2016).

Se necesitará de la información de los parámetros determinantes, limitantes y complementarios mencionados.

Con respecto al manejo de corrosión, de gas y de sólidos los cuales son parámetros cualitativos se la dividido en severa, media y leve y se le ha dado valores, en el compendio expuesto anterior a los levantamientos se los ha calificado cualitativamente a estos parámetros. Con respecto a lo primero se tendría lo siguiente:

- Severa =3
- Media =2
- Leve =1

Con lo referente a los sistemas de levantamiento se presenta Tabla 4 que indica la calificación otorgada que varía entre excelente, bueno y malo.

**TABLA 4: CALIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS CUALITATIVOS SEGÚN LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL.**

CALIFICACIÓN SEGÚN LOS SLA	VALOR	MANEJO SEGÚN LA SEVERIDAD
EXCELENTE	3	SEVERA, MEDIA, LEVE
BUENO	2	MEDIA, LEVE
MALO	1	LEVE

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

La clasificación de estos parámetros se lo realiza de manera cualitativa debido a la carencia de estudios cuantitativos que permitan conocer los valores a los cuales trabajen los sistemas de levantamiento. El compendio del levantamiento artificial se muestra en la Tabla 5.

La tabla de valoración permite seleccionar el sistema de levantamiento que obtenga la mayor ponderación en la valoración, tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada SLA, la conveniencia o experiencia del ingeniero de levantamiento artificial y que cuente con la mayor cantidad de recursos disponibles permitiendo que el sistema sea factible operativamente y viable por los insumos. La Tabla 6 es la tabla de valoración.

La tabla de valoración permite seleccionar el sistema de levantamiento que obtenga la mayor ponderación en la valoración, tomando en

cuenta las ventajas y desventajas de cada SLA, la conveniencia o experiencia del ingeniero de levantamiento artificial y que cuente con la mayor cantidad de recursos disponibles permitiendo que el sistema sea factible operativamente y viable por los insumos.

**TABLA 5: PARÁMETROS TÍPICOS DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL.**

	BOMBEO MECÁNICO	BOMBEO GAS LIFT	BOMBEO HIDRÁULICO	BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	BOMBEO DE CAVIDADES PROGRESIVAS
PARÁMETROS TÍPICOS	MÍNIMO PROMEDIO MÁXIMO	MÍNIMO PROMEDIO MÁXIMO	MÍNIMO PROMEDIO MÁXIMO	MÍNIMO PROMEDIO MÁXIMO	MÍNIMO PROMEDIO MÁXIMO
TASA DE PRODUCCIÓN DESEADA bpd=	5 752.5 1500	100 5050 10000	50 2025 4000	100 15050 30000	5 1102.5 2200
PROFUNDIDAD DE LEVANTAMIENTO TVD, pies =	100 8050 16000	5000 10000 15000	5000 10000 15000	5000 10000 15000	2000 6000 10000
GRAVEDAD API =	>8	>15	>8	>10	<35
TEMPERATURA DE YACIMIENTO °F =	100 225 350	100 250 400	100 300 500	100 250 400	75 162.5 250
DOGLEG LIMITA LA PROF. DE LEVANTAMIENTO	0 10 20	0 40 80	0 30 60	0 40 80	0 5 10
GRADO DE INCLINACIÓN DEL POZO	0 10 20	0 35 70	0 45 90	0 40 80	0 45 90
MANEJO DE CORROSIÓN	BUENO -EXCELENTE	BUENO-EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO-EXCELENTE	POCO
MANEJO DE GAS	POCO-BUENO	EXCELENTE	BUENO	POCO-BUENO	BUENO
MANEJO DE SÓLIDOS	POCO-BUENO	BUENO	BUENO	POCO-BUENO	EXCELENTE
SERVICIO-MANTENIMIENTO	WORKOVER-PULLING	WIRE-LINE O WORKOVER	HIDRÁULICA- WIRELINE	WORKOVER-PULLING	WORKOVER-PULLING
TIPO DE UBICACIÓN	On-shore	On-shore	On-shore	On-shore	On-shore
¿DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA?	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
¿DISPONIBILIDAD DE GAS COMPRIMIDO?	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
¿DISPONIBILIDAD DE FLUIDO MOTRIZ?	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

**TABLA 6: TABLA DE VALORACIÓN DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL.**

VALORACIÓN	BM	BGL	BH	BES	PCP
TASA DE PRODUCCIÓN DESEADA, bpd	1	1	1	1	1
PROFUNDIDAD DE LEVANTAMIENTO TVD, pies	1	1	1	1	1
DOGLEG LIMITA LA PROF. DE LEVANTAMIENTO	1	1	1	1	1
GRADO DE INCLINACIÓN DEL POZO	1	1	1	1	1
GRAVEDAD API	1	1	1	1	1
TEMPERATURA DE YACIMIENTO °F	1	1	1	1	1
MANEJO DE CORROSIÓN	3	3	3	3	1
MANEJO DE GAS	2	2	2	2	2
MANEJO DE SÓLIDOS	2	3	3	2	3
SERVICIO-MANTENIMIENTO	WORKOVER-PULLING	WIRE-LINE O WORKOVER	HIDRÁULICA- WIRE-LINE	WORKOVER-PULLING	WORKOVER-PULLING
TIPO DE UBICACIÓN	On-shore	On-shore	On-shore	On-shore	On-shore
¿DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA?	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
¿DISPONIBILIDAD DE GAS COMPRIMIDO?	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
¿DISPONIBILIDAD DE FLUIDO MOTRIZ?	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
EFICIENCIA (%)	45-60	10-30	10-35	35-60	40-70
VALORACIÓN	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

**EJEMPLOS DE APLICACIÓN:  
SELECCIÓN DE SLA A DOS POZOS DEL ORIENTE  
ECUATORIANO:  
POZO BJA24 Y BJA30:**

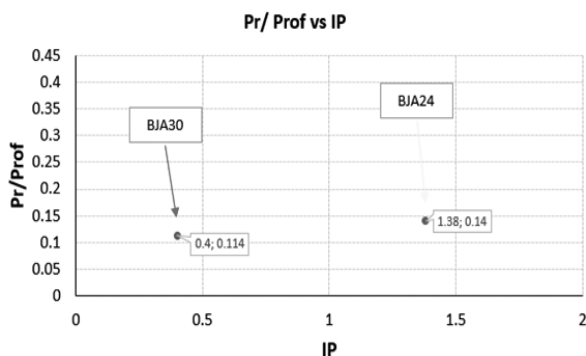
Se utiliza los datos de registros de presión y temperatura más actuales proporcionados por Petroamazonas y Sertecpet. Estos dos pozos ya cuentan con un sistema de levantamiento artificial el cual es el bombeo hidráulico jet. Los datos se muestran en la Tabla 7.

**TABLA 7.  
PARÁMETROS DEL POZO BJA 24 Y BJA 30.**

POZO	BJA 24	POZO	BJA 30
ARENA	T	ARENA	U INFERIOR
PRESIÓN DE RESERVOIRIO (psi)	1346.226	PRESIÓN DE RESERVOIRIO (psi)	1051.223
PROFUNDIDAD DE LA ARENA (TVD) (ft)	9612.000	PROFUNDIDAD DE LA ARENA (TVD) (ft)	9219.000
ÍNDICE DE PRESIÓN DEL YACIMIENTO (psi/ft)	0.140	ÍNDICE DE PRESIÓN DEL YACIMIENTO (psi/ft)	0.114
IP (bbl/d/psi)	1.380	IP (bbl/d/psi)	0.4
ÁREA DE LA GRÁFICA	12	ÁREA DE LA GRÁFICA	10

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

En la Figura 3 se puede observar que el pozo BJA24 se encuentra en el área 12 y el pozo BJA30 se encuentra en el área 10. Tomando en cuenta la Tabla 2 el área del primer pozo es de alta productividad y del segundo pozo es de baja productividad las cuales necesitan del uso de un SLA.



**Figura 3.** Índice de presión del yacimiento vs índice de productividad

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

Por medio de la tabla de preselección del Sistema de Levantamiento artificial de acuerdo con el índice de productividad (Tabla 3), se podrá de-

terminar el sistema que optimice la producción para estos pozos.

- Para el pozo BJA24 el índice de productividad es 1.380 bbl/d/psi, por lo tanto, los sistemas de levantamiento artificial preseleccionados son: bombeo eléctrico-sumergible, gas lift, e hidráulico jet.
- Para el pozo BJA30 el índice de productividad es 0.4 bbl/d/psi, por lo tanto, los sistemas preseleccionados son: bombeo mecánico, gas lift, e hidráulico jet.

Una vez terminada la preselección del SLA se analiza los datos de perforación, producción, insumos y recursos energéticos disponibles, tratamiento de corrosión y sólidos actuales que se encuentran en la Tabla 9 y Tabla 10 para cada pozo, y compararlos con el compendio de SLA (Tabla 5). La selección del sistema estará dada por el mayor puntaje que se obtenga en la tabla de valoración Tabla 6 como se muestra los resultados en la Tabla 8..

**TABLA 8: VALORACIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO PARA EL POZO BJA 24 Y BJA 30.**

SLA	BM	BGL	BH	BES
VALORACIÓN DEL POZO BJA 24	12	12	13	13
VALORACIÓN DEL POZO BJA30	12	12	13	12

Por lo tanto, se concluye:

- En el caso del pozo BJA24 si se incorpora un sistema de generación eléctrica en sitio, el cambio a bombeo electro-sumergible será el más eficiente por el alto índice de productividad del pozo en el cual se podrá generar una mayor producción.
- El bombeo hidráulico jet es eficaz porque se cumple con los objetivos de producción.
- En el caso del pozo BJA30 el bombeo hidráulico jet será más eficiente porque el pozo está produciendo a una tasa considerable de producción, a más que el índice de productividad es bajo.
- El bombeo hidráulico jet es eficiente y eficaz porque se está utilizando la menor cantidad de recursos para tener una producción considerable.

**TABLA 9: DATOS DE PRODUCCIÓN, YACIMIENTO, INSUMOS, RECURSOS Y TRATAMIENTOS DEL POZO BJA 24.**

BJA 24			
VARIABLES	VALORES ACTUALES	VARIABLES	VALORES ACTUALES
TASA DE PRODUCCIÓN DESEADA (bpd)	411.40	¿DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA?	NO
TEMPERATURA DE YACIMIENTO °F	222.00	¿DISPONIBILIDAD DE GAS COMPRIMIDO?	NO
GRAVEDAD API	30.80	¿DISPONIBILIDAD DE FLUIDO MOTRIZ?	SÍ
DOGLEG LIMITA LA PROF. DE LEVANTAMIENTO	0	MANEJO DE CORROSIÓN	LEVE
GRADO DE INCLINACIÓN DEL POZO	0	MANEJO DE GAS	MEDIA
PROFUNDIDAD PROMEDIA DE DISPAROS TVD, (pies)	9612.00	MANEJO DE SÓLIDOS	LEVE
TIPO DE UBICACIÓN	¿CUENTA CON VÍAS DE ACCESO, SE DISPONE DE FACILIDADES DE SUPERFICIE?		

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

**TABLA 10: DATOS DE PRODUCCIÓN, YACIMIENTO, INSUMOS, RECURSOS Y TRATAMIENTOS DEL POZO BJA 30.**

BJA 30			
VARIABLES	VALORES ACTUALES	VARIABLES	VALORES ACTUALES
TASA DE PRODUCCIÓN DESEADA (bpd)	206,700	¿DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA?	NO
TEMPERATURA DE YACIMIENTO °F	214,00	¿DISPONIBILIDAD DE GAS COMPRIMIDO?	NO
GRAVEDAD API	30.60	¿DISPONIBILIDAD DE FLUIDO MOTRIZ?	SÍ
DOGLEG LIMITA LA PROF. DE LEVANTAMIENTO	0	MANEJO DE CORROSIÓN	LEVE
GRADO DE INCLINACIÓN DEL POZO	0	MANEJO DE GAS	LEVE
PROFUNDIDAD PROMEDIA DE DISPAROS TVD, (pies)	9219,00	MANEJO DE SÓLIDOS	LEVE
TIPO DE UBICACIÓN	¿CUENTA CON VÍAS DE ACCESO, SE DISPONE DE FACILIDADES DE SUPERFICIE?		

Fuente: Apolo, Manrique, Rodríguez, Martínez, & Esparza, 2019.

## CONCLUSIONES

- Se puede visualizar el sistema de levantamiento artificial apropiado para un pozo o campo petrolero.
- La gráfica de índice de presión del yacimiento vs índice de productividad permite realizar una nueva metodología de preselección y selección del tipo de sistema de levantamiento artificial de un pozo o campo.
- De acuerdo con las variables dinámicas de índice de presión del yacimiento e índice de productividad se permite visualizar la optimización del sistema de levantamiento artificial a utilizar.
- El compendio de información de los sistemas de levantamiento artificial permite seleccionar el tipo de levantamiento artificial óptimo del pozo o grupo de pozos de un campo.
- La metodología propuesta permite la preselección y selección óptima del sistema de levantamiento artificial analizando parámetros técnicos de los diferentes tipos de sistemas de producción.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar la gráfica de índice de presión del yacimiento vs índice de productividad para la preselección del sistema de levantamiento óptimo para futuros proyectos de producción de un campo petrolero.
- Se puede utilizar la gráfica de índice de presión del yacimiento vs índice de productividad en campos petroleros cuyas propiedades y geología para conocer la preselección y selección del tipo de sistema de levantamiento artificial.
- Realizar un análisis económico y utilizar un software de ingeniería de producción para efectuar un análisis nodal y poder seleccionar un sistema de levantamiento artificial en caso de que dos o más tipos de levantamiento artificial sean aplicables al pozo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apolo, B., & Manrique, R. (agosto de 2018). Análisis y Evaluación Del Sistema De Levantamiento Artificial Utilizado En El Campo Pucuna Mediante La Gráfica De Índice De Presión Del Yacimiento VS Índice De Productividad. Obtenido de Repositorio Espol: <https://www.ds-pace.espol.edu.ec/retrieve/131488/D-CD70321.pdf>
- Bin, M., Lyngholm, A., & Vasper, A. (2007). La presión aumenta: Innovaciones en sistemas de levantamiento artificial por gas. Obtenido de Schlumberger: [https://www.slb.com/-/media/Files/resources/oilfield\\_review/spanish07/spr07/p50\\_59.pdf](https://www.slb.com/-/media/Files/resources/oilfield_review/spanish07/spr07/p50_59.pdf)
- Brown, K., & Beggs, D. (1977). *The Technology Of Artificial Lift Methods (Vol. I)*. Tulsa, United States of America: PennWell Books.
- Figuroa, O., & Tibaduisa, D. (mayo de 2016). Selección Del Método De Levantamiento Artificial Y La Concentración De Un Reductor De Viscosidad En Fondo De Pozo Para La Extracción De Crudo Pesado En El Pozo Torcaz 3. Obtenido de Fundación Universidad de América: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/632/1/5112807-2016-2-IP.pdf>
- Hirschfeldt, M., & Bertomeu, F. (Junio de 2016). Gestión de Sistemas de Levantamiento Artificial (SLA), como estrategia para el desarrollo de campos maduros. Obtenido de Instituto Argentino de Petróleo y Gas: <http://www.iapg.org.ar/seccionalsur/presentacionestecnologia/8.%20Gestion%20de%20Sistemas....pdf>
- Maggiolo, R. (Julio de 2008). Optimización de Producción mediante Análisis Nodal. Obtenido de <https://es.slideshare.net/PedroMarquez14/22425400-maggiolor1optimizaciondelaproduccionmedianteanalisisnodal>
- Muñoz, A., & Torres, E. (Agosto de 2007). Evaluación técnica de las estrategias de levantamiento artificial implementadas en campos maduros. Diseño de una herramienta software de selección. Obtenido de Repositorio de la Universidad Industrial de Santander: <https://es.scribd.com/doc/34746650/Tesis-Sistema-de-Levantamiento>
- Reyes, J., & Sámano, C. (mayo de 2011). Nuevos Desarrollos En El Bombeo De Cavidades Progresivas Para La Optimización De La Producción De Pozos De Aceite. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2318/Tesis%20Ingenier%C3%ADa%20Petrolera.pdf?sequence=1>
- Weatherford. (2010). *Introduction to Artificial Lift*. Obtenido de Weatherford: <https://es.scribd.com/document/113737276/1-Artificial-Lift-Methods>