

Revista arbitrada venezolana  
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago

ISSN: 1836-5042 ~ Depósito legal pp 200602ZU2811

Vol. 8 N° 2, 2013, pp. 373 - 389

## Método de diagnóstico de fallas en el sistema de levantamiento artificial por bombeo de cavidad progresiva

María Pérez y Jelvis Chirinos

Núcleo LUZ-COL  
Jachirinos2002@yahoo.com

### Resumen

La investigación tuvo como objeto fundamental analizar el método de diagnóstico de fallas en el sistema de levantamiento artificial por Bombeo de Cavidad Progresiva (BCP), la fundamentación teórica se sustentó con los autores Chacín (2004), Hirschfeldt (2008), Pérez (2008) y Padilla (2009), entre otros, como también de catálogos, e información electrónica. La metodología del estudio estuvo enmarcada en el tipo de investigación descriptiva y documental con un diseño no experimental transeccional de tipo descriptivo. La recolección de datos se llevó a cabo mediante la revisión bibliográfica y como instrumento se utilizó la entrevista semi estructurada focalizada a personas expertas con en el sistema BCP. El análisis de datos se hizo a través del Diagrama Causa-Efecto. Los resultados obtenidos determinaron que las causas probables que conllevan a fallas operacionales en las BCP son producto de deficiencias en la integridad de los equipos de superficie y subsuelo, además se establecieron alternativas con el objeto de optimizar el funcionamiento operacional de las mismas como método de levantamiento artificial de crudo.

**Palabras clave:** diagnóstico, fallas, BCP.

### *Diagnostic Method for Faults in the Artificial Lift System Using Progressive Cavity Pumping*

### Abstract

The fundamental objective of this research was to analyze the method for diagnosing faults in the artificial lift system using progressive cavity pumping (PCP). The theoretical foundation was supported by works of the authors Chacín (2004), Hirschfeldt (2008), Perez (2008) and Padilla (2009), among others, as well as catalogues and electronic information. The meth-

odology was framed in a descriptive, documentary type research with a non-experimental, cross-sectional design. Data was collected through bibliographical review; the instrument was a semi-structured interview focused on PCP system experts. Information was analyzed using the Cause-Effect Diagram. Results determined that the probable causes that lead to operational faults in PCP are a product of deficiencies in surface equipment and subsoil integrity. Furthermore, alternatives were established in order to optimize operational functioning of PCP as an artificial lift method for crude oil.

**Keywords:** diagnosis, faults, PCP.

## **Introducción**

Desde sus inicios, la industria petrolera venezolana, ha enfocado sus esfuerzos en explorar, producir, transportar y comercializar los hidrocarburos presentes en las riquezas del subsuelo del país. Sin embargo, durante el proceso productivo del pozo llega un momento en el cual la energía natural del yacimiento no es suficiente para levantar los fluidos desde el subsuelo hasta la superficie, y por consiguiente, una de las formas de suplir dicha energía es a través de la implantación de un método de un método de producción, estableciendo al mismo tiempo estrategias de análisis, control y seguimiento del proceso con el objeto de optimizar de la producción de hidrocarburos.

En virtud de ello, es de vital importancia que el estudiante de ingeniería de petróleo, futuro egresado de la carrera de Ingeniería de Petróleo, conozca las alternativas disponibles cuando le corresponda diseñar o seleccionar un sistema de levantamiento artificial, debido a que en un proceso de producción de hidrocarburos existen diferentes técnicas para llevar los fluidos contenidos en una formación desde el subsuelo hasta la superficie. De igual manera, es conveniente que maneje métodos que le permitan diagnosticar fallas en el sistema de levantamiento artificial, con el fin de garantizar mejoras que ataquen el proceso productivo del activo.

El sistema de levantamiento artificial por Bombeo de Cavidad Progresiva (BCP), en Venezuela ha incrementado su aplicación como método de producción de crudo, debido a sus dimensiones, amplia versatilidad, alta eficiencia y bajo costo de inversión inicial; sin embargo, por limitaciones en cuanto al rotor de la bomba está limitada a profundidades relativamente someras. Dichas bombas, han presentado fallas vinculadas generalmente al rotor y estator de la bomba, lo cual ha conllevado a la no disponibilidad del activo afectando la producción de los pozos sometidos a dicho sistema.

Desde esta perspectiva, el objeto del presente artículo, consiste en el hecho de analizar los criterios que permitan canalizar el diagnóstico de fallas en el sistema de levantamiento artificial por BCP, con el propósito de evitar interrupciones repentinas del proceso de producción.

## Contextualización

El avance tecnológico y científico experimentado en el mundo ha propiciado soluciones vanguardistas y más eficientes para la extracción de hidrocarburos en los diversos países exportadores. Es por ello, que dichos países destinan importantes recursos, creando convenios entre la industria nacional y las universidades para la mejora continua de sus procesos de producción.

En relación a lo anterior, la industria petrolera venezolana, no escapa de esta realidad y centra sus esfuerzos en la optimización de la producción de petróleo, ya que ésta actividad representa la base de sus operaciones, porque permite coordinar y controlar la producción de crudo y gas, mediante la definición de los métodos de producción, establecimiento de estrategias, análisis, control y seguimiento del proceso.

De igual manera, en el Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia, específicamente en el Programa de Ingeniería, Subprograma de Petróleo, para estar a la vanguardia del conocimiento científico y tecnológico, se han desarrollado importantes investigaciones con el objeto de solventar diversas problemáticas presentadas en materia de nuevas tecnologías empleadas en los procesos de la industria petrolera, y a su vez, consolidar las líneas de investigación científica, las cuales son pilares fundamentales para el desarrollo de conocimiento. En efecto, esto favorece la investigación en las áreas prioritarias o estratégicas del desarrollo nacional, y permite preparar con niveles de excelencia a los egresados de la universidad.

Cabe destacar, que los conocimientos y técnicas empleadas por los ingenieros de petróleo proceden de casi todos los campos de la ciencia, y se desarrollan constantemente debido a la incesante búsqueda de recursos y de la optimización de la producción. Es por ello, que están en la capacidad de desarrollar métodos óptimos para el desarrollo de los yacimientos cuya energía natural ha declinado a medida que se extraen los hidrocarburos.

Por tal razón, para conciliar la oferta con la demanda de energía en el pozo y proseguir con la extracción se utilizan métodos de levantamiento artificial, con el fin de desplazar la columna de fluidos desde el fondo del pozo hasta el separador; minimizando los requerimientos de energía en la cara de la formación productora, y por ende maximizando el diferencial de presión en el yacimiento.

En esta perspectiva, Chacín (2004) sostiene que el sistema de levantamiento artificial por BCP representa uno de los métodos utilizados para la producción de petróleo, debido a sus dimensiones, amplia versatilidad, alta eficiencia y bajo costo de inversión inicial; sin embargo, por limitaciones en cuanto al rotor de la bomba está limitada a profundidades relativamente someras, generalmente menores a 6000 pies. Este método fue presentado por primera vez por René Moineau, en Francia en el año 1932, y su geometría consta de un motor instalado en superficie que transmite movimiento

giratorio a una sarta de cabillas conectadas a un equipo de bombeo de subsuelo, constituidas principalmente por un rotor metálico y un estator elastomérico.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de este tipo de bombas, de acuerdo al Manual de Ingeniería de Producciones Nivel III del CIED (1997), en Venezuela comenzó a utilizarse a partir de 1983 por la empresa Maraven, S.A. iniciando su evaluación en campo. Sin embargo, no todas han resultado exitosas, puesto que han presentado fallas vinculadas generalmente al rotor y estator de la bomba, lo cual ha conllevado a la no disponibilidad del activo y por ende ha generado pérdidas por producción diferida y costos asociados.

Es importante resaltar, que cuando ocurre una falla, ésta puede afectar la eficiencia del proceso, y si no es localizada a una edad temprana, tiene potencial de desencadenar un escenario catastrófico, incluyendo daño al personal involucrado, contaminación ambiental, así como, la destrucción de propiedades y equipo.

Sobre la base de lo antes referido, el foco investigativo se centra en las deficiencias del sistema de levantamiento artificial por BCP, que afectan o restringen la producción de crudo en el pozo. Al respecto, se requiere orientar esfuerzos en detectar, localizar e identificar el tipo de falla mediante un método de diagnóstico con el propósito de ir mejorando el funcionamiento del sistema para minimizar los problemas encontrados en campo.

Esta investigación engloba la creciente necesidad de diagnosticar fallas durante la operación del sistema de levantamiento artificial por BCP, fundamentándose en el hecho de definir las variables de operación y producción del sistema, así como también, describir las condiciones operacionales del equipo, con el objeto de detectar fallas, diagnosticar su localización y significado en el sistema basándose en el Diagrama Causa-Efecto.

## **Metodología**

Para el desarrollo de la investigación se establecieron dos fases a saber:

1. Obtención de datos. Una vez aplicada las técnicas de recolección de datos, se hizo necesario emplear técnicas que permitieran analizar los mismos. En virtud de ello, se realizaron Diagramas Causa-Efecto o también llamado "Diagrama de Espina de Pescado" para visualizar en forma gráfica todas las posibles causas de fallas y el efecto que éstas producen en el sistema de levantamiento artificial por bombeo de cavidad progresiva; y de esta manera finalmente proporcionar en forma detallada un método eficaz para el diagnóstico de fallas en dicho sistema.
2. Criterios para el desarrollo de la metodología. Para alcanzar los objetivos que se plantearon al inicio de la investigación se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Búsqueda y recopilación de la información documental, realizando varias consultas a textos, trabajos de grados, manuales y entrevistas no estructuradas con personas familiarizadas con el sistema de bombeo por BCP.
- Definición de las variables de producción y operación del sistema pozo-eQUIPO de bombeo de cavidad progresiva.
- Descripción de las condiciones operacionales del equipo de bombeo por cavidades progresivas.
- Identificación de las fallas que inciden en el tiempo de vida útil del sistema de bombeo por cavidad progresiva mediante el Diagrama Causa-efecto.

## Resultados

### **Variables de producción y operación del sistema pozo-eQUIPO de Bombeo de Cavidad Progresiva**

Para optimizar el comportamiento del sistema Pozo-EQUIPO BCP es necesario conocer las variables que intervienen en el proceso de monitoreo y control del mismo. Dichas variables se definen de acuerdo a dos procesos que están íntimamente relacionados entre sí, que son: producción y operación.

En el Cuadro 1, se muestran las variables relacionadas con la producción en el pozo.

De igual manera, se definen las variables de operación del equipo BCP en el Cuadro 2.

### **Condiciones operacionales del equipo de Bombeo por Cavidades Progresivas**

Una vez definidas las variables de producción y operación se detallan las características operativas principales de las bombas de cavidad progresiva (BCP) que son:

- Caudal (desplazamiento volumétrico): Es el volumen de fluido que la bomba puede desplazar en determinado lapso de tiempo. Para estos equipos se expresa generalmente en unidades de barriles de fluido por día o metros cúbicos por día a determinadas condiciones de velocidad (r.p.m.) y head. La mayoría de los fabricantes refieren las capacidades de sus bombas en Bls/d (o m<sup>3</sup>/d) a 500 r.p.m. y 0 head; algunos otros, refieren la capacidad de sus equipos a 100 r.p.m. y 0 head. En forma unitaria, el desplazamiento es el volumen generado por la bomba a cero altura por una revolución completa del rotor.
- Altura de descarga (Head): La altura de descarga o head de la bomba, es la capacidad de la misma para vencer la presión hidrostática y transportar los fluidos hasta las instalaciones de superficie. El head se puede expresar de dos ma-

**Cuadro 1.** Variables de producción

Variable	Definición
Tasa de producción de fluidos	Está dada por la capacidad de hidrocarburos que puede ofertar el yacimiento a una determinada presión.
Nivel de fluido	Es la distancia desde la superficie hasta el extremo superior de la columna de fluido en el tubing o en el casing de un pozo. Well Control School (2003). El nivel de fluido que equilibra exactamente la presión de yacimiento cuando está abierto el espacio anular ( $CHP = 0$ ) se llama Nivel Estático (NE) y se mide desde superficie. Mientras que el nivel de fluido que equilibra la presión fluyente de fondo, cuando está abierto el espacio anular, se llama nivel dinámico (ND). Chacín (2003).
Corte de agua y sedimentos (% AyS)	El porcentaje por volumen es el método más común de llevar un registro de los contenidos de sólidos, de petróleo y de agua de los fluidos de perforación. En el campo suele utilizarse la ASTM D-96 (Agua y sedimentos) por uno de los tres métodos de centrifugación según el tipo de crudo: crudos parafinosos (con calentamiento), Crudos asfálticos (Solventes aromáticos-tolueno) y otras muestras (con emulsificadores). Well Control School (2003).
Presión de cabezal en la línea de producción. (THP)	Es la presión registrada en el equipo de control instalado en la parte superior del pozo, el cual consta de de salidas, válvulas y preventores.
Sumergencia (H)	La distancia vertical entre la succión de la bomba (PB) y el nivel dinámico se conoce como Sumergencia de la bomba ( $H = PB - ND$ ). Según Chacín (2003) para los pozos que producen por BCP se recomienda una sumergencia de bomba mínima de 300 pies.

neras; como presión propiamente dicha (Lpc, bars, entre otros) o como altura de fluido (metros, pies, entre otros.). El head es función directa del número de etapas de la bomba. Una etapa se puede considerar como la longitud mínima que debe tener una bomba para generar la acción de bombeo; la longitud de una etapa es igual a la longitud de una cavidad. Cada etapa genera una presión diferencial en sus extremos, entre una cavidad y la siguiente de modo que la presión diferencial se incrementa de una etapa a la siguiente dentro de la bomba; por esta razón, la presión (o altura) de descarga es proporcional al número de etapa. La presión de descarga de una etapa varía de 70 a 100 Lpc, según los modelos de bombas y fabricantes.

- Interferencia: Característica que intrínsecamente está asociada a la eficiencia de la bomba en cuanto a su desplazamiento y a su capacidad para transportar

**Cuadro 2.** Variables de operación

Variable	Definición
Frecuencia de salida (Hz)	Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de la corriente que entra periódicamente al variador de frecuencia.
Velocidad de la bomba en R.P.M	Es una unidad de frecuencia, usada para medir la velocidad angular. En este contexto, una revolución es una vuelta de la bomba que gira sobre su propio eje. El variador puede modificar la velocidad en un rango más amplio que los demás sistemas y en un tiempo relativamente muy corto.
Intensidad de la corriente (Amp)	Es la magnitud física que expresa la cantidad de electricidad que atraviesa un conductor en la unidad de tiempo.
Tensión en la Red (Voltios)	Es la tensión de la red de transmisión registrada a la entrada del variador de frecuencia.
Tensión a la entrada y a la salida del variador (Voltios)	Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre la entrada y la salida del variador de frecuencia de las BCP.
Potencia activa (en HP o Kw)	Es la cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta o que se consume en una determinada unidad de tiempo para elevar la columna de fluido desde el fondo del pozo hasta superficie.
Torque (en Nw-mts o lbs-pie)	Es el parámetro que indica la resistencia ejercida, en sentido contrario, por las cabillas que giran por efecto de la bomba. Según Montilla y Martínez (2008), la rotación del rotor fuerza el movimiento del fluido de cavidad a cavidad en contra de una presión diferencial $\Delta p$ . La energía requerida para girar el rotor y mover el fluido contra esta presión está dada en forma de torque.
Tiempo de servicio	Muestra el tiempo de servicio del equipo desde la puesta en operación del variador.
Registro y presentación de las últimas fallas	Son los registros de eventos de fallas ocurridos en el equipo BCP (indicando en algunos equipos) fecha y hora de ocurrencia de los mismos.
Temperatura del variador y del motor y energía total consumida (Kw acumulados)	Indica la temperatura del variador, del motor, así como la energía total consumida.
Variables analógicas o digitales de sensores instalados en el pozo (subsuelo o superficie),	Son señales captadas de alguna variable medida en el pozo o en el cabezal (tales como presión y temperatura) y sobre las cuales se toman decisiones y acciones a nivel del programa interno del variador de frecuencia generando una señal de salida.

los fluidos hasta la superficie es el grado de ajuste o “apriete” entre el elastómero y el rotor, esta garantiza que exista el sello entre las cavidades que permite la acción de bombeo. Cuando la bomba es sometida a una diferencia de presión entre su succión y su descarga, el fluido trata de romper este sello para regresar a las cavidades anteriores, lo cual se conoce como escurrimiento (o resbalamiento). Si la interferencia es muy pequeña el sello se rompe fácilmente, lo cual produce un escurrimiento excesivo y una baja eficiencia volumétrica, mientras que una interferencia de operación excesiva producirá un torque de fricción muy alto que podría conducir eventualmente a la destrucción del estator (elastómero).

Cabe destacar, que el escurrimiento a su vez es función de la interferencia de la bomba a condiciones de operación, del diferencial de presión en la bomba y de la viscosidad del fluido.

A su vez existen factores que inciden directamente sobre la interferencia, entre los cuales destacan la temperatura de operación, las características de los fluidos del pozo y la presión interna en la bomba.

De lo anteriormente expuesto, se puede deducir que los factores que tienen más efecto sobre la eficiencia volumétrica o desempeño de la bomba son la velocidad de operación, la altura (head) requerida y la interferencia. Partiendo de esto, se presentan las condiciones de operación del equipo BCP en los siguientes casos:

- Caso 1. Pozo operativo con buena producción: El pozo ha sido optimizado, registrando una tasa de producción cercana al potencial estimado del mismo. Por lo tanto, el funcionamiento del equipo es óptimo.
- Caso 2. Pozo operativo con baja producción: Se registra una caída en la tasa de producción en el pozo ya optimizado. Operacionalmente, puede presentar alguna de las siguientes condiciones:

En equipos de superficie:

Correa deslizándose.

- Equipos funcionan bien pero el pozo levanta poca presión.
- Equipos funcionan correctamente pero existe excesiva presión de cabezal.

En equipos de subsuelo:

- Sarta gira con torque normal.

- Caso 3. Pozo operativo sin producción: Se observa una tasa de producción nula en el pozo. Por lo tanto, puede presentar alguna de las siguientes condiciones:

En equipos de superficie:

- Motor apagado.
- Motor en marcha, no hay rotación en el eje de salida de la caja reductora.

- Eje de salida de la caja reductora gira, el eje del cabezal no gira.
- Todo el equipo de superficie funciona pero el pozo no levanta presión.
- Equipo Arranca pero las correas deslizan.
- Brida del cabezal rotatorio desenroscada.

En equipos de subsuelo:

- Consumo de corriente igual al de vacío.
- Atascamiento de la sarta de cabillas.

### **Fallas que inciden en el tiempo de vida útil del sistema de bombeo por cavidad progresiva mediante el Diagrama Causa-Efecto**

Algunas fallas presentadas en las BCP, justifican la necesidad de identificar las causas de dichas fallas y establecer los controles necesarios sobre criterios de selección, diseño e instalación de las mismas en las completaciones, con el objeto de efectuar un seguimiento oportuno del sistema para obtener mayor vida útil del equipo.

En esta perspectiva, con el objeto de identificar las fallas que inciden en el tiempo de vida útil del sistema de bombeo por cavidad progresiva se realizaron entrevistas no estructuradas a personal familiarizado con el sistema y se efectuó una revisión de manuales de mantenimiento del equipo, lo cual permitió aportar ideas para la elaboración de los Diagramas Causa-Efecto considerando el diagnóstico con el sistema BCP operando.

Diagnóstico con sistema BCP operativo: para identificar las fallas fue necesario preguntar el ¿por qué de la falla?, con el fin de encontrar las posibles causas de cada una de ellas y dar una mejor descripción de las mismas. Los típicos problemas operacionales presentados por las BCP son los siguientes:

**Problema A.1.** Pozo sin producción por deficiencias a nivel de equipos de superficie (ver Diagrama A):

- El equipo arranca pero las correas deslizan, esto suele ocurrir por las siguientes causas: ajuste inapropiado de las correas, la válvula de la línea de producción está cerrada, atascamiento en la línea del cabezal, caja reductora o completación; o por atascamiento de la sarta de cabillas.
- Motor apagado, esta falla puede suceder por las siguientes razones: inversión de las fases, falla de energía eléctrica, protección térmica disparada, o simplemente el motor está quemado.
- Motor en marcha sin rotación en el eje de salida de la caja reductora, ocurre por alguno de los siguientes orígenes: caja reductora dañada, polea suelta, acople o correas de transmisión dañados.
- Brida del cabezal rotatorio desenroscada, por: ajuste inadecuado del equipo en la instalación, atascamiento de la sarta de cabillas, torque excesivo.

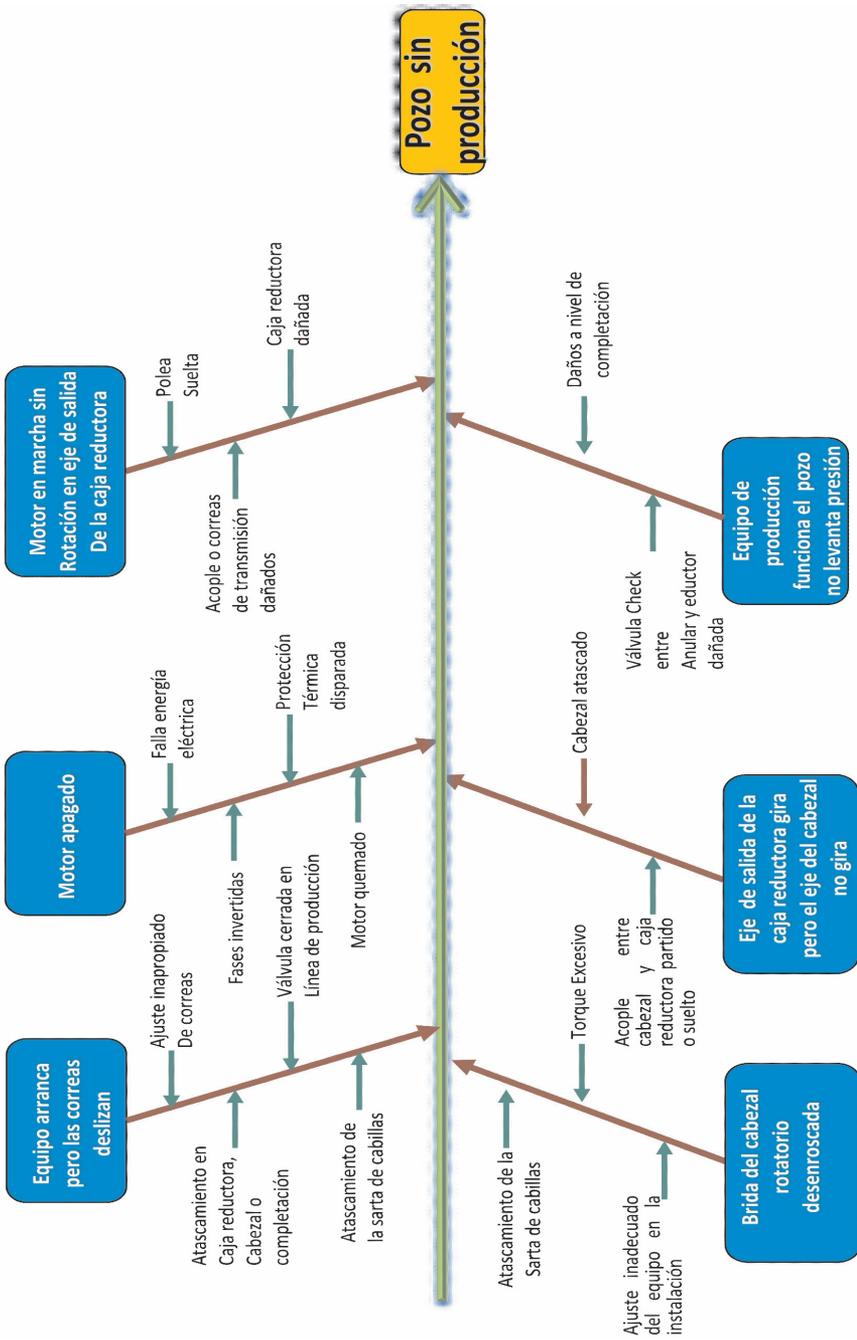
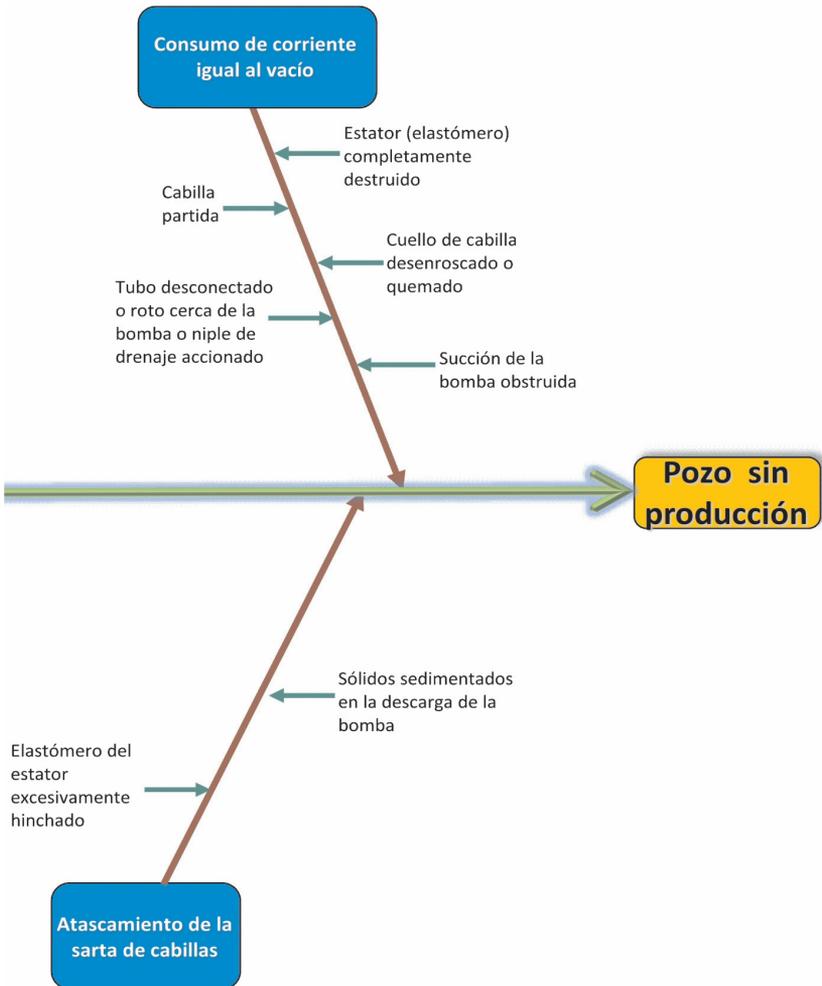


Diagrama A. Problema A.1. Pozo sin producción por deficiencias a nivel de equipos de superficie

- Eje de salida de la caja reductora gira pero el eje del cabezal no gira, por alguna de las siguientes razones: acople entre el cabezal y caja reductora suelto o partido.
- Equipo de producción funciona pero el pozo no levanta presión, generalmente ocurre porque se presentan daños a nivel de la completación o por daño de la válvula check entre el anular y el educor.

**Problema A.2.** Pozo sin producción por ineficiencias en los equipos de subsuelo (ver Diagrama B):



**Diagrama B.** Problema A.2. Pozo sin producción por deficiencias en equipos de subsuelo.

- El consumo de corriente igual al de vacío, se presenta por diversas razones entre ellas destacan las siguientes: cabillas partida, tubo desconectado o rotor cerca de la bomba o niple de drenaje accionado, cuello de cabilla desenroscado o quemado, estator (elastómero) completamente destruido, succión de la bomba obstruida.
- Atascamiento de la sarta de cabilla, frecuentemente tiene sus orígenes en las siguientes causas: elastómero del estator excesivamente hinchado, sólidos sedimentados en la descarga de la bomba.

**Problema B.1.** Pozo con baja producción por deficiencias a nivel de equipos de superficie (ver Diagrama C):

- Correa deslizándose, frecuentemente obedece a las siguientes causas: ajuste inadecuado de la correa, atascamiento en los equipos de subsuelo, atascamiento en los equipos de superficie.
- Equipos funcionan bien pero el pozo levanta poca presión, generalmente ocurre cuando se presenta: fuga en la línea de producción, revestidor cerrado, filtración en la válvula check de conexión entre revestidor y línea de producción, falla en equipo de subsuelo problemas con el pozo, succión de la bomba obstruida.
- Equipos funcionan correctamente pero existe excesiva presión en el cabezal, lo cual suele suceder por: poco suministro de diluyente, obstrucción de la línea de producción o en el múltiple de la estación

**Problema B.2.** Pozo con baja producción por ineficiencias en los equipos de subsuelo (ver Diagrama D):

- Sarta gira con torque normal, producto de múltiples causas tales como: obstrucción en la succión de la bomba, alta relación gas/ petróleo (RGP) en el fluido de producción, fuga en el eductor, poca sumergencia de la bomba, estator desgastado, espaciado defectuoso o pérdida del espaciado en la bomba.

Después de proponer las causas a cada una de las fallas operativas se debe decidir sobre "la causa más probable" con el propósito de para solventar la situación presentada en el sistema, lo cual puede hacerse relacionando el diagrama Causa-Efecto con el método de Pareto.

Por otra parte, una vez identificadas las principales fallas operativas del sistema, es necesario generar las posibles soluciones de las teorías de causas expuestas en forma compacta en los Diagramas Causa-Efecto (ver Cuadros 3, 4, 5, 6).

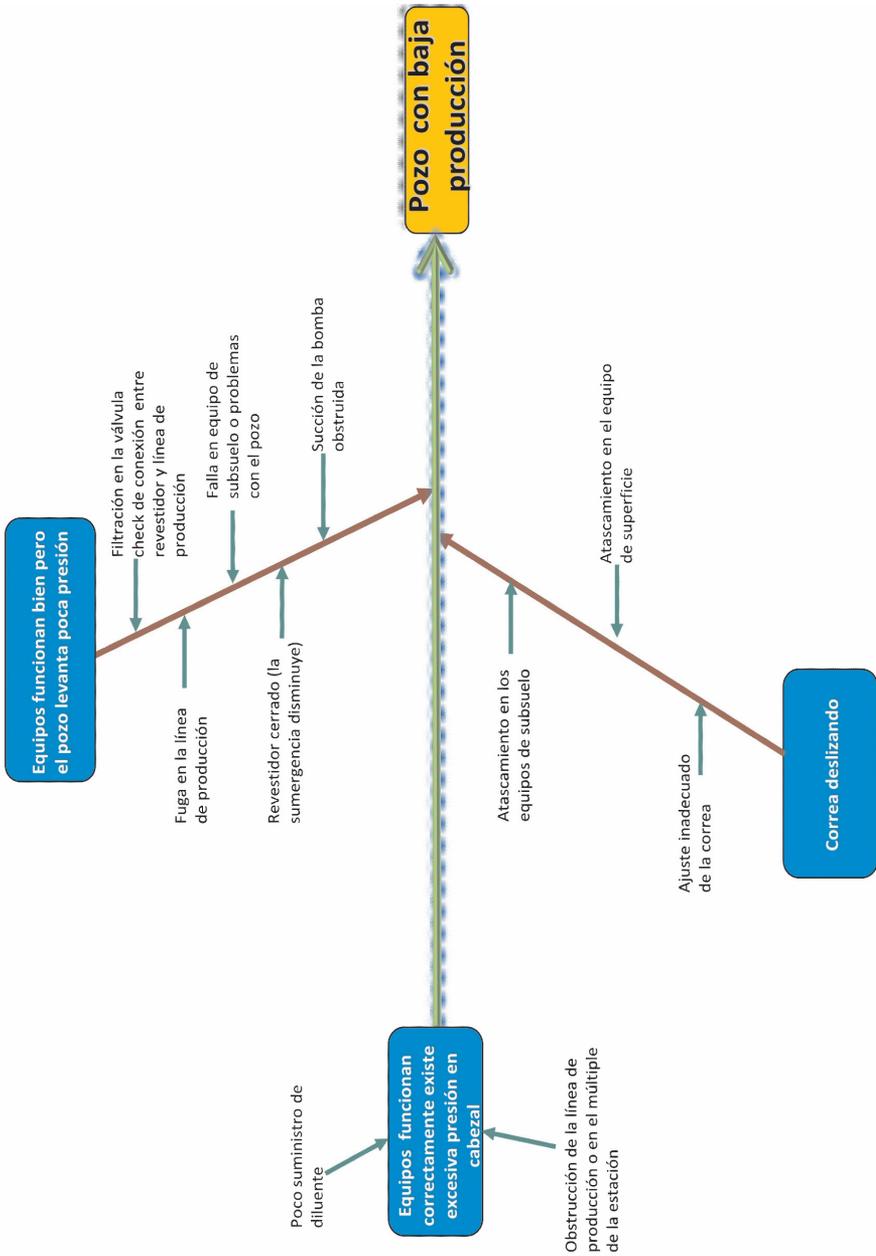
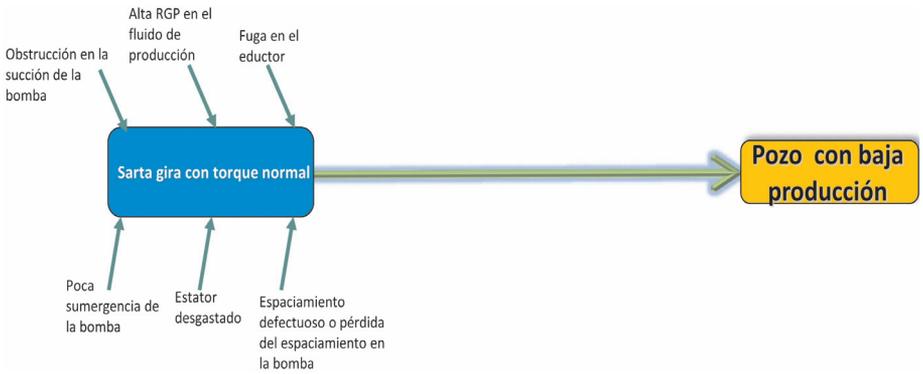


Diagrama C. Problema B.1. Pozo con baja producción por deficiencias en equipos de superficie.



**Diagrama D.** Problema B.2. Pozo con baja producción por ineficiencias en equipos de subsuelo.

**Cuadro 3.** Pozo sin producción/ deficiencias en equipos de superficie

Condición o falla	Soluciones
Equipo arranca pero las correas deslizan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descnectar cabezal y caja reductora para chequear por separado. Reparar equipo deteriorado.</li> <li>• Aplicar el ajuste correcto.</li> <li>• Monitorear presión al arrancar el pozo, chequear posición de válvulas</li> </ul>
Motor apagado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar suministro de energía eléctrica.</li> <li>• Verificar sincronismo de fases.</li> <li>• Reponer térmicos y medir consumo. El alto consumo de corriente es producto de una anomalía en el funcionamiento del sistema.</li> <li>• Desmontar el motor y chequear manualmente si el cabezal se puede rotar; si es así montar un motor nuevo y chequear consumo de corriente, de lo contrario revisar los demás sistemas.</li> </ul>
Motor en marcha sin rotación en el eje de salida de la caja reductora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiar correas o acople y chequear consumo de corriente. Verificar diseño del sistema.</li> <li>• Cambiar polea y chaveta. Verificar ajuste entre eje poleas, chaveteros, entre otros.</li> <li>• Cambiar caja reductora, verificar selección del equipo, estudiar origen de la falla.</li> </ul>
Brida del cabezal rotorio desenroscada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montar el equipo nuevamente ajustando con extensiones y fijar mediante cadena, Chequear consumo de corriente.</li> <li>• Montar los equipos nuevamente, fijar con cadenas y chequear consumo de corriente.</li> </ul>
Equipo de producción funciona pero el pozo no levanta presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear integridad e instalación de la válvula check, para verificar si existe recirculación.</li> </ul>

**Cuadro 4.** Pozo sin producción/ deficiencias en equipos de subsuelo

Condición o falla	Soluciones
El consumo de corriente igual al de vacío	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar torque adecuado a las cabillas.</li> <li>• Verificar diseño de la sarta de cabillas, descartar sobre-hinchamiento del estator (las fallas por sobretorque en las cabillas son síntomas de otros problemas tales como hinchamiento del estator, rotor atascado por arena, volumen elevado de gas en la bomba o ésta operando en vacío, etc.)</li> <li>• Verificar hermeticidad en la tubería de producción, recuperar eductor, verificar estado del niple de drenaje y del estator, reemplazar tubo o reinstalar aplicando torque adecuado (considerar la instalación de ancla de tubería), recalcular presión de calibración del equipo de drenaje.</li> <li>• Verificar selección del elastómero.</li> <li>• Verificar hermeticidad de la tubería de producción, circular el pozo para limpiar obstrucción, recompletar con tubo ranurado y tubo de barro para evitar futuras obstrucciones.</li> </ul>
Atascamiento de la sarta de cabilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la condición y chequear compatibilidad del elastómero con el fluido. Chequear si el ajuste es el apropiado para los fluidos y la temperatura de trabajo.</li> <li>• Realizar análisis de falla antes de proceder a la instalación de un nuevo equipo.</li> <li>• Sacar rotor del estator y circular el pozo. Chequear estado del sistema de control de arena.</li> </ul>

**Cuadro 5.** Pozo con baja producción/deficiencias en equipos de superficie

Condición o falla	Soluciones
Correa deslizando	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar las correas adecuadamente.</li> <li>• Chequear equipos de superficie (lubricación, partes móviles, entre otras)</li> </ul>
Equipos funcionan bien, pozo levanta poca presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar integridad de la válvula check. Reemplazar si es necesario.</li> <li>• Detectar la fuga y corregirla.</li> <li>• Verificar posición de las válvulas de revestidor.</li> </ul>
Equipos funcionan correctamente, existe poca presión en el cabezal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar suministro de diluyente.</li> <li>• Chequear línea de producción y condiciones del múltiple de la estación. Corregir la falla.</li> </ul>

### Cuadro 6. Pozo con baja producción/ deficiencias en equipos de subsuelo

Condición o falla	Soluciones
Sarta gira con torque normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar nivel de fluido, disminuir velocidad de bombeo.</li> <li>• Verificar nivel de fluido, bajar velocidad de bombeo.</li> <li>• Corregir espaciamento.</li> <li>• Sacar rotor del estator y circular el pozo.</li> <li>• Revisar hermeticidad del educor, y reemplazar tubería en mal estado.</li> <li>• Verificar hermeticidad del educor. Cambiar estator.</li> </ul>

## Conclusiones

El conocimiento de las variables de producción y operación que intervienen en el proceso de monitoreo y control del sistema pozo-equipos BCP, permite optimizar el comportamiento de dicho método de producción.

En virtud de ello, se definen como variables relacionadas con la producción del pozo las siguientes: tasa de producción de fluidos, nivel de fluido, corte de agua y sedimentos (% AyS), presión de cabezal en la línea de producción (THP) y Sumergencia (H).

De igual manera, se puntualizan las siguientes variables de operación de las BCP: frecuencia de salida, velocidad de la bomba en r.p.m, intensidad de la corriente, tensión en la red, tensión a la entrada y a la salida del variador, potencia activa, torque, tiempo de servicio, registro y presentación de las últimas fallas, temperatura del variador, motor y energía total consumida; variables analógicas o digitales de sensores instalados en el pozo (a nivel de subsuelo o superficie).

Por otra parte, es importante resaltar que las características operacionales que afectan el desempeño de las BCP son: la velocidad de operación, la altura (head) requerida y la interferencia.

En los pozos que producen por el sistema de levantamiento artificial por BCP suelen presentarse las siguientes condiciones de operación: Pozo operativo con buena producción, pozo operativo con baja producción, pozo operativo sin producción. Estas dos últimas están asociadas a causas vinculadas con un funcionamiento inapropiado de los equipos de superficie o subsuelo.

Cabe destacar, que la identificación de las causas de fallas operacionales presentadas en las BCP permite establecer los controles necesarios sobre criterios de selección, diseño e instalación de las mismas en las completaciones, con el objeto de efectuar un seguimiento oportuno del sistema para obtener mayor vida útil del mismo.

Una vez identificadas las fallas operacionales más frecuentes en las BCP, las teorías de causas probables son expuestas en forma compacta en Diagramas Causa-Efecto, con el fin de generar soluciones para cada uno de los problemas presentados.

Desde esta perspectiva, las causas más probables cuando el pozo presenta baja producción son las siguientes: correa deslizándose, equipos funcionan bien pero el pozo levanta poca presión, equipos funcionan correctamente pero existe excesiva presión de cabezal, sarta gira con torque normal.

Asimismo, cuando el pozo está operativo sin producción estas suelen ser las causas más factibles: motor apagado, motor en marcha, no hay rotación en el eje de salida de la caja reductora, eje de salida de la caja reductora gira, el eje del cabezal no gira, todo el equipo de superficie funciona pero el pozo no levanta presión, equipo arranca pero las correas deslizan, brida del cabezal rotatorio desenroscada, consumo de corriente igual al de vacío, atascamiento de la sarta de cabillas.

## Referencias bibliográficas

- Belcher I. (2005). *Progressive Cavity Pump Engineering Principles*.
- Centro de Investigación Enseñanza y Desarrollo-CIED (1997). *Ingeniería de Producciones Nivel III*.
- Caldera, N. y Riva, S G. (2006). *Diseño de Bombas de Cavidades Progresivas para el Campo Bachaquero Tierra*. Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago.
- Chacín, N. (2004). *Manual de Bombas de Cavidad Progresiva*.
- Diagrama Causa-Efecto. (2008). Consultado en [www.fundibeq.org](http://www.fundibeq.org) y <http://www.eduteka.org/>
- Hirschfeldt, M. (2008). *Manual de bombeo de cavidades progresivas*. Oilproduction.
- Martínez A. y Montilla B. (2008). *Modelo matemático para cálculo de presión de entrada en el sistema de levantamiento artificial BCP para la empresa R&M Energy System*. I.U.P. "Santiago Mariño", Cabimas.
- Norma COVENIN 3049-93 (2006).
- Padilla, R. (2009). *Bombeo por cavidad progresiva*.
- PDVSA (2005). *Manual de diseño de instalaciones de levantamiento artificial por bombeo de cavidad progresiva*.
- Pérez, D. (2008). *Evaluación del Comportamiento de Producción de Pozos sometidos a cambio de sistema de bombeo en las zonas pobladas del Campo Bachaquero Tierra*. Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago.
- Pérez, M. (2008). *Modelo de Diagnóstico de fallas para válvulas de gas GS16 marca Woodward en turbinas Westinghouse W-101 mediante técnicas estadísticas y Probabilísticas*. I.U.P. "Santiago Mariño", Cabimas.
- Saveth, K. (2008). *General Guidelines for Failure Analysis Of Downhole Progressing Cavity Pumps*.
- Norma COVENIN 3049-93 (2006).
- Weatherford. (2008). *Catálogo Geremia*.
- Well Control School (2003). *Manual de Control de Pozos*.