

Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos implementando la metodología PLAN  
DO CHECK ACTION (PDCA) en el sector central del Campo Catatumbo.

Jorge Eduardo Villamizar Martínez

Trabajo De Grado Para Optar El Título De Especialista En Producción De Hidrocarburos

Director:

M.Sc. Erik Giovany Montes Páez

Ingeniero De Petróleos

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Físico Químicas

Escuela De Ingeniería De Petróleos

Bucaramanga

2020

### **Dedicatoria**

A Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida y por llenarme de bendiciones.

A mis padres Jorge y Soraya que son los pilares de mi vida.

A mi hermosa esposa Karem por ser la mejor amiga, compañera, confidente y lo más importante, una excelente madre.

A mis hijas María Paula y María José que son las personitas que me llenan la vida de alegría, de esperanza, de amor incondicional y con su ternura hacen de mí el padre más feliz del mundo.

A mi hermana Soraya que es mi ejemplo a seguir y mi socia.

A mi familia (tíos, primos, abuelito) por todo su apoyo y amor.

A mis suegros por hacerme sentir parte de su familia.

### **Agradecimientos**

Al Ingeniero Erik Montes, director del proyecto por sus acertadas enseñanzas, paciencia, su colaboración y por brindarme su amistad.

Al Ingeniero Fredy Alexander Herrera por su colaboración y asesoría en el desarrollo de este proyecto.

Al grupo de profesores y compañeros de la especialización.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Información general del sector central del Campo Catatumbo .....	12
1.1 Características del Yacimiento y Formaciones .....	12
1.2 Características generales de los sistemas de levantamiento.....	14
1.2.1 Bombeo Mecánico (Balancín).....	15
1.2.2 Bombeo por Cavidades Progresivas (P.C.P.).....	17
1.3 Resultados de la recopilación de información.....	18
2. Metodología PLAN DO CHECK ACTION (PDCA) .....	21
2.1 Características de la metodología.....	21
2.2 Errores en la forma de intentar resolver problemas .....	23
3. Etapas de la metodología PDCA .....	25
4. Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA. . .....	29
5. Análisis de productividad de la intervención a un pozo con el fin de optimizar tiempos de producción proyectada en un tiempo estimado de 10 años. ....	31
5.1 Análisis de Productividad en tiempos Pozo A2 (10 años) .....	32
5.2 Análisis estimado de productividad luego de luego de implementar el “Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA" en el Pozo A2 (10 años) .....	34
6. Conclusiones .....	37

7. Recomendaciones ..... 38

Referencia Bibliográfica ..... 39

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características generales del yacimiento. ....	12
Tabla 2. Información pozos Campo Catatumbo.....	19
Tabla 3. Causas y número de intervenciones a los pozos. ....	20
Tabla 4. Análisis de Productividad de tiempos en el pozo A2.....	33
Tabla 5. Análisis de Productividad luego de implementar el “Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA” en el pozo A2.....	35

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Columna Estratigráfica del Campo Catatumbo. ....	13
Figura 2. Sistema de Bombeo Mecánico. ....	16
Figura 3. Sistema de Bombeo por Cavidades Progresivas. ....	18
Figura 4. Esquema de metodología PDCA. ....	22
Figura 5. Forma Analógica de Metodología PDCA. ....	23
Figura 6. Metodología PDCA. ....	26
Figura 7. Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la Metodología PDCA .....	30
Figura 8. Análisis de producción del pozo A2 en 10 años. ....	32
Figura 9. Análisis de productividad en tiempos Pozo A2. ....	33

## Resumen

**Título:** Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos implementando la metodología PLAN DO CHECK ACTION (PDCA) en el sector central del Campo Catatumbo.\*

**Autor:** Jorge Eduardo Villamizar Martínez\*\*

**Palabras Clave:** Metodología, PDCA, Catatumbo, Daño, Mitigar, Intervención.

Luego de un análisis realizado en los pozos del sector Central del Campo Catatumbo, se logró concluir que existen factores que afectan la producción como; fallas recurrentes en la sarta de producción (tubería-varilla) producto de “dogleg” altos, pozos con producción de arena, elevados índices de intervenciones a pozos, incrementos en los tiempos de intervención por encima de lo planeado, además de retrasos en las actividades conexas requeridas para las intervenciones lo que impacta la integridad de la intervención, y conlleva a un aumento en los costos del levantamiento por barril que genera pérdidas significativas en la producción de hidrocarburos.

En esta monografía plantea un plan de acción para mitigar los daños e intervenciones a los pozos, aplicando la metodología (PDCA); **planificar, hacer, verificar y actuar**, esta describe los pasos esenciales que se deben llevar a cabo de forma sistemática para lograr mejores eficiencias, entendiendo como tal el mejoramiento continuo de la calidad (disminución de fallas, aumento de la eficacia y eficiencia, solución de problemas, prevención y eliminación de riesgos potenciales).

Para la aplicación de la metodología, y para el caso de estudio se requiere de la implementación de tres fases: (I) Realizar un barrido general por el Campo, extraer muestras representativas (pozos con mayor número de intervenciones por año), recopilar información disponible y crear un histórico de fallas por pozo. (II) Proceder con la explicación detallada de la metodología, los pasos para desarrollarla, la generación del plan de acción y la planeación para implementación de mismo. (III) Aplicación de la metodología (PDCA).

Con lo propuesto de acuerdo a lo planeado, los resultados que se esperan obtener son: El aumento del *run life* de la sarta de producción, la disminución de los tiempos y costos en la intervención a pozos y la obtención de mayor producción de hidrocarburos seguros y limpios.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Físico Química. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Erik Giovany Montes Paez. M.Sc. Ingeniería de Hidrocarburos

### Abstract

**Title:** Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos implementando la metodología PLAN DO CHECK ACTION (PDCA) en el sector central del Campo Catatumbo.\*

**Author:** Jorge Eduardo Villamizar Martínez\*\*

**Key Words:** Methodology, PDCA, Catatumbo, Damage, Mitigate, Intervention.

After an analysis carried out in the wells in the central sector of the Catatumbo field, it has been concluded that there are factors that affect production, such as recurrent failures in the production string (pipe-rod) due to high dog leg and wells with sand production , high rates of interventions to wells, increases in the times of intervention above the planned, in addition to delays in the related activities required for the interventions, which impacts the Integrity of the intervention, and leads to an increase in the costs of the survey per barrel that has generated significant losses in the production of hydrocarbons.

In this monograph, he presents an action plan to mitigate damage and interventions to wells, applying the Plan Do Check Action (PDCA) methodology; this describes the essential steps that must be carried out in a systematic way to achieve better efficiencies, understanding as such the continuous improvement of quality (reduction of failures, increase in effectiveness and efficiency, solution of problems, prevention and elimination of potential risks, etc.).

For the application of the methodology, and for the case study, the implementation of three phases is required: (i) Carry out a general sweep of the field, extract the most representative samples (wells with the greatest number of interventions per year), collect all available information and create a fault history for each well. (ii) Proceed with the detailed explanation of the methodology, the steps to develop it, the generation of the action plan and the planning for its implementation. (iii) Application (PDCA) methodology.

With what is proposed according to plan, the expected results are: An increase in the run life of the production string, a reduction in the times and costs in the intervention to wells and the obtaining of a greater production of safe hydrocarbons and clean.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Físico Química. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Erik Giovany Montes Paez. M.Sc. Ingeniería de Hidrocarburos

## Introducción

La presente monografía está enfocada en la problemática que se está presentando en los pozos del Campo Catatumbo y cómo a través de la aplicación de una metodología se buscará obtener resultados positivos en la producción de hidrocarburos.

La problemática principal que se presenta en este Campo son las múltiples intervenciones a los pozos para acondicionamientos o reacondicionamientos, lo que está generando que los costos por producción de barril (lifting cost) aumenten y por consiguiente no se está obteniendo los resultados económicos esperados.

La investigación de esta problemática se realizó en primera medida con el interés de proponer un plan de intervención integral con la metodología PDCA, con el fin de mejorar la producción en los pozos, aumentando el tiempo de vida (*run life*) en la sarta de producción, realizando intervenciones asertivas y lo más importante realizando una eficiente planeación de cada uno de los trabajos. Además de la disminución de los tiempos y costos en la intervención a pozos y la obtención de mayor producción de hidrocarburos seguros y limpios.

También de manera indirecta se genera un impacto positivo en el entorno, en cuanto al aporte social y económico hacia las comunidades que habita en esta zona, pues la mayor parte de su economía gira entorno a la actividad de la industria del petróleo, lo que conlleva a tener un Campo con mejor producción, que se traducirá al final en generación de empleos directos e indirectos, mejor calidad e inversiones especialmente en salud y educación.

Luego de desarrollar la metodología propuesta, de aplicar el plan a pequeña escala, se debe evaluar si se obtuvieron los resultados esperados y de acuerdo a lo anterior, actuar para tomar nuevas decisiones.

Los resultados que se esperan obtener con todo lo anteriormente mencionado, son pozos con mayor producción, pozos con menores intervenciones por año, disminución en el “*break even*” (*Umbral de rentabilidad; cuando una empresa entra en break even quiere decir que ha alcanzado el umbral de rentabilidad, esto es, que los ingresos igualan a los costos (fijos y variables) y, a partir de ahí, la previsión es la entrada en beneficios.*) del Campo, la disminución de los tiempos de intervención a pozos y la obtención de mayor producción de hidrocarburos seguros y limpios, además de dejar implementada una metodología guía, susceptible a cambios para trabajos futuros de calidad.

## 1. Información general del sector central del Campo Catatumbo

### 1.1 Características del Yacimiento y Formaciones

El Campo Catatumbo se encuentra ubicado en el Departamento de Norte de Santander. Está localizado en la cuenca del Catatumbo, en los anticlinales de Tibú y Socuavó. Las características principales del yacimiento se observan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Características generales del yacimiento.*

CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO	
OOIP (MBIs)	1276 (Todas las formaciones)
Profundidad (pies)	5000 - 6000
Gravedad API	32°
Porosidad (%)	8 ~ 18
Sw promedio	30%
Hidrocarburo tipo	Parafínico
Viscosidad del petróleo (cp.)	1,5 - 4,1
Permeabilidad (mD)	10 ~ 100
Presión inicial (psia)	2210
Presión actual (psia)	250 -1500

**Nota:** adaptado de *Estudio de pozos candidatos a re cañoneo y apertura de nuevas zonas de las arenas de la formación Barco del área A del Campo Tibú*. BUSTOS GUZMAN, Edna María. Tesis de Especialización en Producción de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2010.

**Figura 1.**

*Columna Estratigráfica del Campo Catatumbo.*

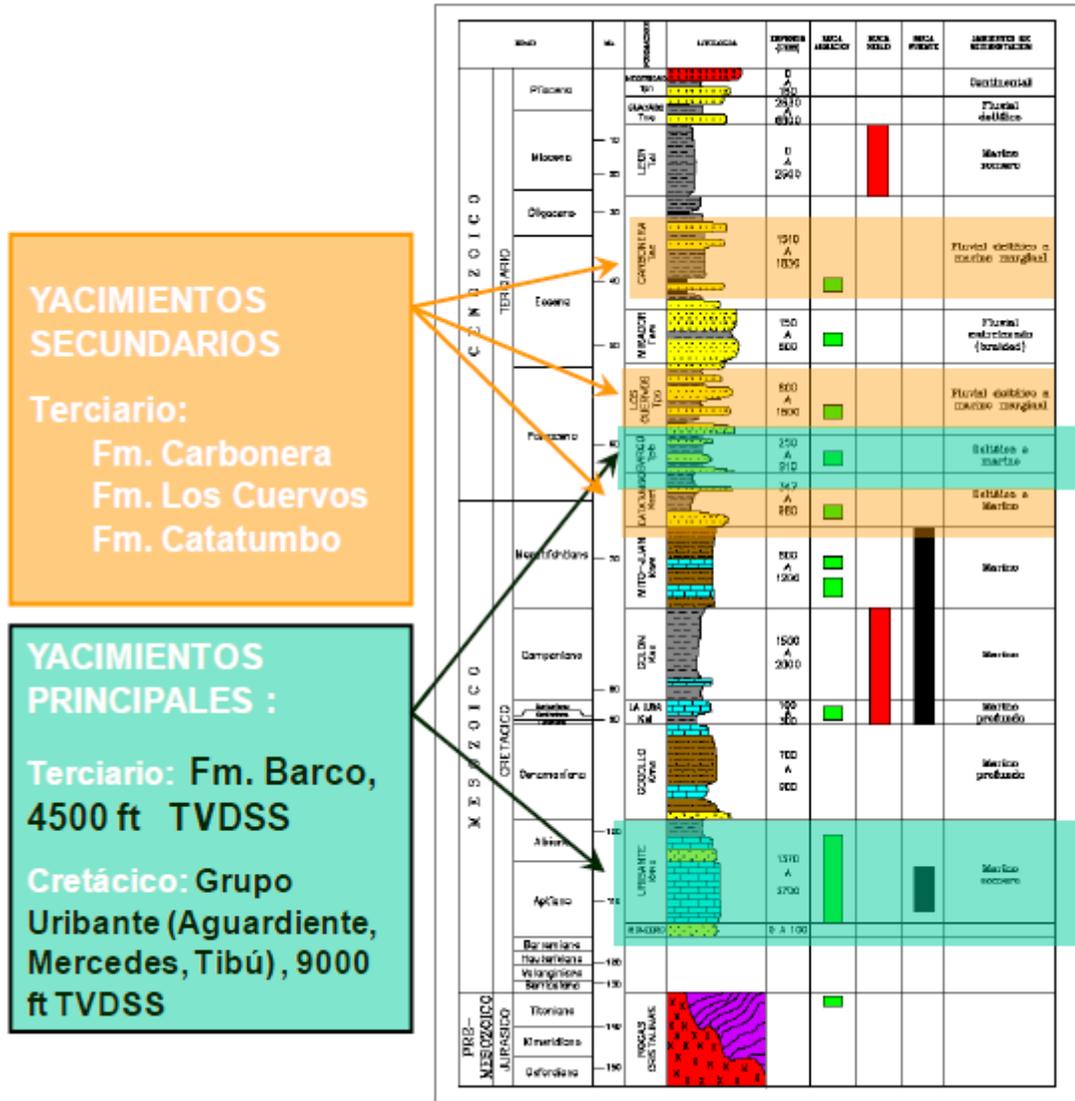


Figura 1. Columna estratigráfica del Campo Catatumbo. Tomado de *Estudio de pozos candidatos a re cañoneo y apertura de nuevas zonas de las arenas de la formación Barco del área A del Campo Tibú*. BUSTOS GUZMAN, Edna María. Tesis de Especialización en Producción de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2010.

Como se muestra en la figura 1, las formaciones productoras del Campo Catatumbo son: Carbonera, Barco, Catatumbo y Grupo Uribante; la formación de mayor producción es Barco encontrándose a 4500 ft de profundidad. Esta formación, en su sección tipo, se compone principalmente de areniscas, limolitas y arcillolitas intercaladas entre sí; las areniscas generalmente son de color gris, de grano muy fino a medio, bien calibradas, con estratificación cruzada, en su mayoría son arcillosas y localmente contienen capas muy delgadas de mica y carbón.

El Crudo original en los yacimientos del Campo Catatumbo es de base parafínica y su gravedad API oscila entre los 32 y 52, clasificándose como un aceite liviano y de fácil extracción.

La producción actual del Campo Catatumbo se encuentra alrededor de los 2250 BOPD, con un factor de recobro (FR) del 22%, el número de pozos perforados es de 585 de los cuales 95 son pozos productores activos y 68 son pozos inyectores activos.

## **1.2 Características generales de los sistemas de levantamiento**

Un sistema de levantamiento artificial es un instrumento externo de la formación productora, utilizado cuando la energía del pozo no es suficiente para llevar el fluido desde la formación productora hasta la superficie, también es utilizado cuando la producción del pozo es inferior a la deseada.

En la región Central del Campo Catatumbo se observan 2 tipos de sistemas de levantamiento artificial, los cuales son: El bombeo mecánico (Balancín: Sistema de Bombeo Mecánico utilizado en el Campo) y el sistema de Levantamiento de cavidades progresivas (PCP). Los esquemas generales de estos dos sistemas de levantamiento artificial se observan en las Figuras 2 y 3, respectivamente.

### ***1.2.1 Bombeo Mecánico (Balancín).***

Este sistema de levantamiento artificial convierte el movimiento rotacional del motor en movimiento recíproco vertical que trasmite a la sarta de varillas. Tiene el punto de apoyo en a mitad de la viga y puede rotar en sentido horario o anti horario. Estas unidades de bombeo comúnmente se han instalado en profundidades que oscilan entre los 60 y 3000 metros y a temperatura máximas de 288 °C, por lo que son altamente utilizadas para pozos de crudo pesado.

Equipo de Superficie:

- Base de la Unidad
- Generador de potencia
- Convertidor de potencia
- Balancín
- Unidad de contrabalance
- Barra lisa
- Equipo de cabeza de pozo

Equipo de Subsuelo:

- Varilla de bombeo
- Bomba de Subsuelo (Barril – Cuerpo de la Bomba – Pistón – Válvula fija – Válvula viajera)
- Ancla de gas (opcional)

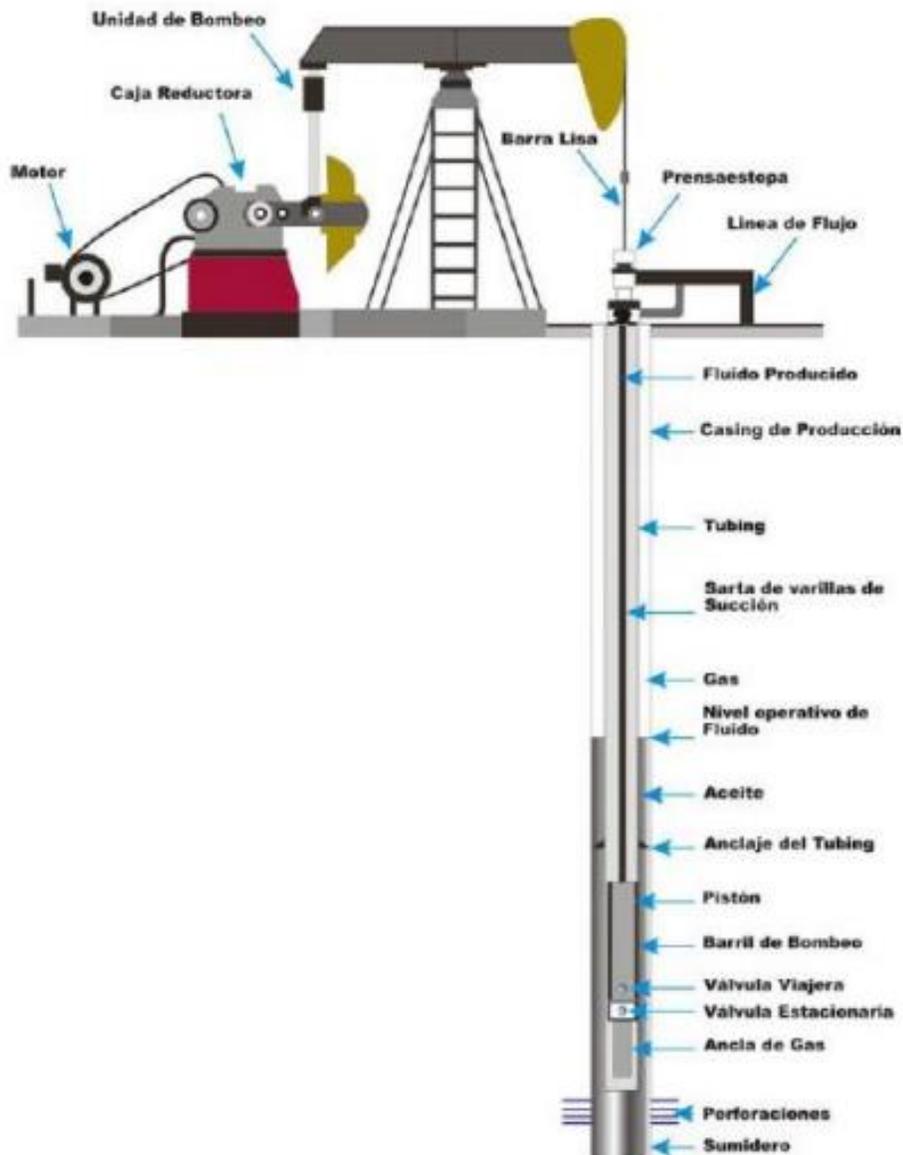
**Figura 2.***Sistema de Bombeo Mecánico.*

Figura 2. Esquema general del sistema de Bombeo Mecánico con sus partes de subsuelo y superficie. Tomado de *Evaluación Técnica de las estrategias de levantamiento artificial implementada en Campos Maduros. Diseño de una Herramienta de Software de selección*. M.R. Álvaro Fabián, T.T. Edgar.

### ***1.2.2 Bombeo por Cavidades Progresivas (P.C.P.).***

Este sistema de levantamiento artificial está basado en la acción continua de una bomba de cavidades progresivas estilo tornillo sin fin y su potencia es suministrada por un motor de eléctrico de superficie. Cuando el motor está ubicado en la superficie la transmisión de energía a la bomba se da a través de un eje y/o varillas que comunican el motor y la bomba desde la superficie hasta el subsuelo. Pero cuando el motor está en el fondo, se lleva un cable desde superficie el cual les proporcionara la energía al motor para que opere y mueva la bomba. La bomba está compuesta por un rotor (tornillo sin fin) y un estator (camisa). El rotor gira dentro del estator formando cavidades que progresan desde el extremo de succión hasta el extremo de descarga de la bomba que, ayudado por el sello continuo entre las hélices del rotor y el estator mantienen el fluido en movimiento permanente, a una velocidad fija directamente proporcional a la velocidad de rotación de la bomba.

Equipos de superficie son:

- Motor eléctrico.
- Caja reductora de velocidades.
- Caja de empaques.
- Cabezal de pozo.

Equipos de subsuelo son:

- Bomba (Rotor y estator).
- Varillas de succión.

**Figura 3.**

*Sistema de Bombeo por Cavidades Progresivas.*

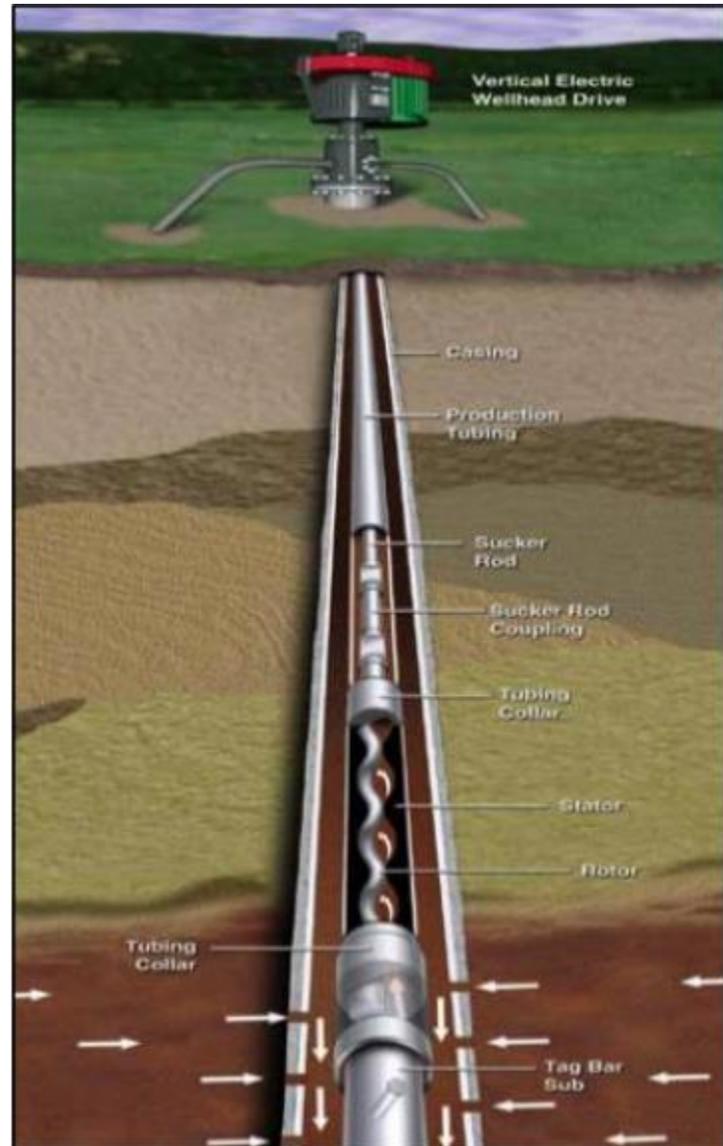


Figura 3. Esquema general del sistema de Bombeo por Cavidades Progresivas (PCP) con sus componentes de subsuelo.

Tomado de *PCP System* (En línea). Página web versión HTML. (Citado 31 de Agosto). Disponible en internet.

### **1.3 Resultados de la recopilación de información**

El primer paso en esta recopilación de información fue escoger los pozos que presentaban mayor número de intervenciones por año, se escogieron 8 pozos de los cuales 5 pozos tienen más de 50

años de perforados y los otros 3 tiene menos de 10 años de perforados. A los pozos de mayor antigüedad se les tuvo en cuenta los últimos 10 años de actividad o trabajo. El paso por seguir fue identificar características comunes que presentaban estos pozos, como por ejemplo pozos que presentan problemas de “*dog leg*” mayores a 2,5° de desviación y pozos con producción de arena; además de contar con sistemas de levantamiento artificial como el bombeo mecánico (Balancín) y el bombeo por cavidades progresivas y por último realizar un cuadro donde se visualice toda la información recopilada.

**Tabla 2.**

*Información pozos Campo Catatumbo*

<b>Pozo</b>	<b>Año de Perforación</b>	<b>Profundidad MD (ft)</b>	<b>SLA</b>	<b>Producción Actual (Bopd)</b>	<b>Fm</b>
A-1	1944	5230	PCP	65	Barco
A-2	1944	5385	BM	31	Catatumbo
A-3	1945	5049	BM	30	Barco
A-4	1953	4689	BM	45	Barco
A-5	1953	4715	BM	30	Barco
A-6	2011	5747	PCP	60	Barco
A-7	2014	4904	PCP	86	Barco
A-8	2015	5465	BM	40	Barco

Nota: En el cuadro se evidencia la información general obtenida de los pozos de la región Central del Campo Catatumbo.

**Tabla 3.***Causas y número de intervenciones a los pozos.*

<b>Pozo</b>	<b>Causas y numero de intervención y año en las cual ocurrieron (últimos 10 años)</b>	<b>Total, Interv. (días)</b>
A-1	Cambio de diseño de SLA (2010) - Prueba de integridad de tubería (2012 - 2013) - Mantenimiento de sarta de varilla (2010 - 2014 - 2015) - Mantenimiento de B. Mecánico (2011) - Mantenimiento de B. Cavidades progresivas (BCP) (2012 - 2017*2) Mantenimiento de Sarta de tubería (2014* 2 - 2015*2).	14
A-2	Cambio de diseño de SLA (2017) -Mantenimiento a sarta de varillas (2008 - 2010*2 - 2011*2 - 2013- 2014*2 - 2016) - Prueba de integridad de tubería (2012*2 - 2014*2 - 2016*2 - 2017)	17
A-3	Mantenimiento a sarta de varillas (2010*2 - 2012 - 2013*5 - 2017) - Prueba de integridad de tubería (2012 - 2013 - 2014*2 - 2015 - 2017)	12
A-4	Mantenimiento a sarta de varillas (2012 - 2013 - 2014 - 2015 - 2017*2 - 2018) - Prueba de integridad de tubería (2011*2 - 2012*2 - 2013 - 2014*2 - 2015*2 - 2017 - 2018)	18
A-5	Mantenimiento a sarta de varillas (2010*2 - 2011 - 2012*3 - 2014 - 2017) - Prueba de integridad de tubería (2012 - 2013*2 - 2014*2 - 2017)	13
A-6	Mantenimiento a sarta de varillas (2012 - 2014 - 2015*2 - 2016*2 - 2017) - Prueba de integridad de tubería (2011*2 - 2013 - 2014*2 - 2016)	13
A-7	Mantenimiento a sarta de varillas (2015*2 - 2017) - Prueba de integridad de tubería (2014 - 2015 - 2017 - 2018*2)	8
A-8	Mantenimiento a sarta de varillas (2016*3 - 2017*3) - Prueba de integridad de tubería (2015 - 2016*2 - 2017)	10

Nota: Tiempo promedio por trabajo de WorkOver para esta zona: 8,5 días. Costo promedio por trabajo: 100 KUSD.

Tiempo Promedio por trabajo WellService para esta zona: 5,2 días. Costo promedio por trabajo: 45 KUSD. Tomado de base de datos del campo Catatumbo.

La Tabla 3 muestra que la mayor intervención a los pozos se presenta por mantenimiento de la sarta de varilla y tubería de producción rota, causado por problemas de geometría del pozo (*dog leg* altos) y por formaciones productoras de arena; Se presentan hasta 3 intervenciones a un mismo pozo por año, lo cual es un número de intervenciones altos, puesto que se sabe por las características de cada uno de los materiales que componen la sarta de producción, que el tiempo promedio de vida útil de la misma en condiciones normales están entre los 15 y 18 meses aproximadamente.

## 2. Metodología PLAN DO CHECK ACTION (PDCA)

### 2.1 Características de la metodología

Esta metodología fue creada por Edwards Deming en la década de 1950, como un método fácil de seguir en el ciclo de resolución de problemas. Deming fue el encargado de ayudar a Japón a reconstruir su economía en la década de 1950. Su propósito era utilizar PDCA con un proceso de mejora continua para ayudar a reconstruir las industrias japonesas para que puedan competir en el mercado mundial en el futuro.

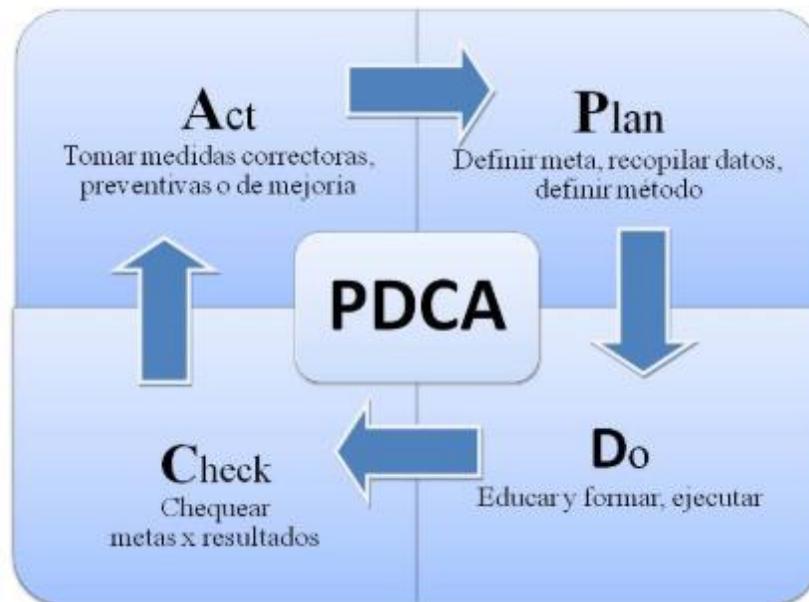
Esta metodología explica que el ciclo PDCA: “**planear, hacer, verificar y actuar**” es de gran utilidad para estructurar y ejecutar proyectos de mejora de la calidad y la productividad en cualquier nivel jerárquico en una organización. En este ciclo como se muestra en la Figura No. 4, se desarrolla de manera objetiva y profunda un plan (planear), éste se aplica en pequeña escala o sobre una base de ensayo (hacer), se evalúa si se obtuvieron los resultados esperados (verificar) y, de acuerdo con lo anterior, se actúa en consecuencia (actuar), ya sea generalizando el plan —si dio resultado— y tomando medidas preventivas para que la mejora no sea reversible, o reestructurando el plan debido

a que los resultados no fueron satisfactorios, con lo que se vuelve a iniciar el ciclo. La filosofía de este ciclo lo hace de gran utilidad para perseguir la mejora continua en los procesos.

La Metodología PDCA representa los pasos de un cambio planeado, donde las decisiones se toman científicamente, y no con base a apreciaciones. La Metodología PDCA se transforma en un proceso de mejora continua en la medida en que se utilice de forma sistemática: una vez logrados los objetivos del primer esfuerzo, se establece un proceso permanente de Planear, Hacer, Verificar y Actuar cuantas veces sea necesario, hasta resolver el problema en estudio.

#### Figura 4.

*Esquema de metodología PDCA.*



**Nota:** Adaptado de [https://www.google.com.co/search?q=ciclo+pdca+industrial+blogspot&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj2yrqMwabcAhXGqFkKHakhBHoQ\\_AUICigB&biw=1360&bih=662#imgdii=Rds63asUHzLrM:&imgsrc=FWZoopn2S8Cu8M](https://www.google.com.co/search?q=ciclo+pdca+industrial+blogspot&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj2yrqMwabcAhXGqFkKHakhBHoQ_AUICigB&biw=1360&bih=662#imgdii=Rds63asUHzLrM:&imgsrc=FWZoopn2S8Cu8M):

Este proceso puede compararse, en forma analógica, con una rueda (Ver figura 5) que va moviéndose en un plano inclinado desde un punto X a otro punto Y, en un nivel superior. Según el grado en que se use el Círculo de Calidad, la rueda lleva una inercia que le permite ir subiendo. En el momento en que se deje de utilizar, puede quedarse en la última posición lograda, siempre y cuando los proyectos implementados hayan sido debidamente estandarizados y documentados; o en su defecto, el Círculo retrocederá se perderán las mejoras utilizadas.

**Figura 5.**

*Forma Analógica de Metodología PDCA.*



**Nota:** Adaptado de <https://crisaza.com/guia-de-scrum/el-empirismo-y-los-pilares-de-scrum/>

## 2.2 Errores en la forma de intentar resolver problemas

Los estudios evidencian que los problemas de calidad y productividad que existen en las organizaciones generalmente son conocidos y se han hecho intentos para corregirlos. Sin embargo, es frecuente que estos conflictos permanezcan más o menos igual. Pareciera que los esfuerzos de mejora o de corrección no dan resultado. La razón de esto se debe, en parte, a las formas en la que

se tratan de enmendar los problemas, en la cual es frecuente caer en alguno o varios de los siguientes errores:

1. **Se atacan los efectos y los síntomas y no se va a las causas de fondo de los problemas.**

Con la corrección de los síntomas tal vez se obtienen beneficios a corto plazo, pero el problema muy posiblemente se volverá a presentar, con lo cual crece la presión. Además, la capacidad para dar soluciones de fondo se va atrofiando. En estos casos, a veces el remedio es peor que la enfermedad.

2. Se trata de resolver los problemas por reacción, por impulsos, ocurrencias y regañíos, **no mediante un plan de solución sustentado en métodos y herramientas de análisis.** Esto hace que las soluciones sean las mismas de siempre, pero, como dice *Senge*, el camino fácil lleva al mismo lugar.

3. Los esfuerzos son aislados, no hay mejora continua. En ocasiones, cuando al resolver un problema sí se logra una mejora real, ésta no se alcanza a percibir en la productividad, porque **es una acción aislada, no es parte de un plan de mejoras a lo largo y ancho de la organización.**

4. Se cree que las soluciones son definitivas, hay un **“enamoramamiento de las soluciones”**, **por lo que no se generan aprendizajes**, se cae en el conformismo y no se estandarizan soluciones ni se aplican medidas preventivas para que el problema no se vuelva a presentar y el avance logrado sea irreversible.

5. No se sabe el impacto que tiene lo que se hace y se administra según el resultado anterior. Por ello **se siguen aplicando las mismas soluciones sin saber si se están atacando las verdaderas causas.** El hecho de no saber con objetividad el impacto real de una solución en ocasiones lleva a que “los problemas de hoy son las soluciones de ayer”.

6. Se tienen creencias erróneas sobre cómo resolver los problemas. Se cree que éstos se deben a la falta de atención de los empleados, a la falta de recursos económicos para aplicar soluciones tecnológicas, a la competencia desleal en el mercado, a la falta de apoyo gubernamental, etc. Y aunque algunas de estas causas existen, se olvida que buena parte de los problemas en una empresa se deben a su cultura organizacional, al trabajo en silos, a los estilos de direcciones inadecuados, los métodos de trabajo, la capacitación, los criterios de compras, el diseño de productos y sistemas, así como a la manera de tomar decisiones.

### **3. Etapas de la metodología PDCA**

Esta metodología expone que cuando se reúne un equipo a resolver un problema, antes de proponer soluciones y aventurar acciones correctivas, se debe contar con información y seguir un método objetivo. El diagrama de flujo de la Figura 6, representa el detalle de las etapas de la metodología Plan Do Check Action, que servirán de base para la propuesta del Plan de Intervención para mitigación de daños e intervenciones a pozos.

De esta manera se estará haciendo hábito de la planeación, el análisis y la reflexión, con lo que se estarán reduciendo las acciones por reacción.

1. Definir, delimitar y analizar la magnitud del problema. En este primer paso se debe definir y delimitar con claridad un problema importante, de tal forma que se entienda en qué consiste el problema, cómo y dónde se manifiesta, cómo influye en la calidad y la productividad. Además, se debe tener clara la magnitud del problema: con qué frecuencia se presenta y cuánto cuesta. El resultado de este primer paso es tener definido y delimitado,

por escrito, el problema, así como el objetivo que se persigue con el proyecto y una estimación de los costos y beneficios directos que se obtendrían con la solución del problema.

**Figura 6.**

*Metodología PDCA.*

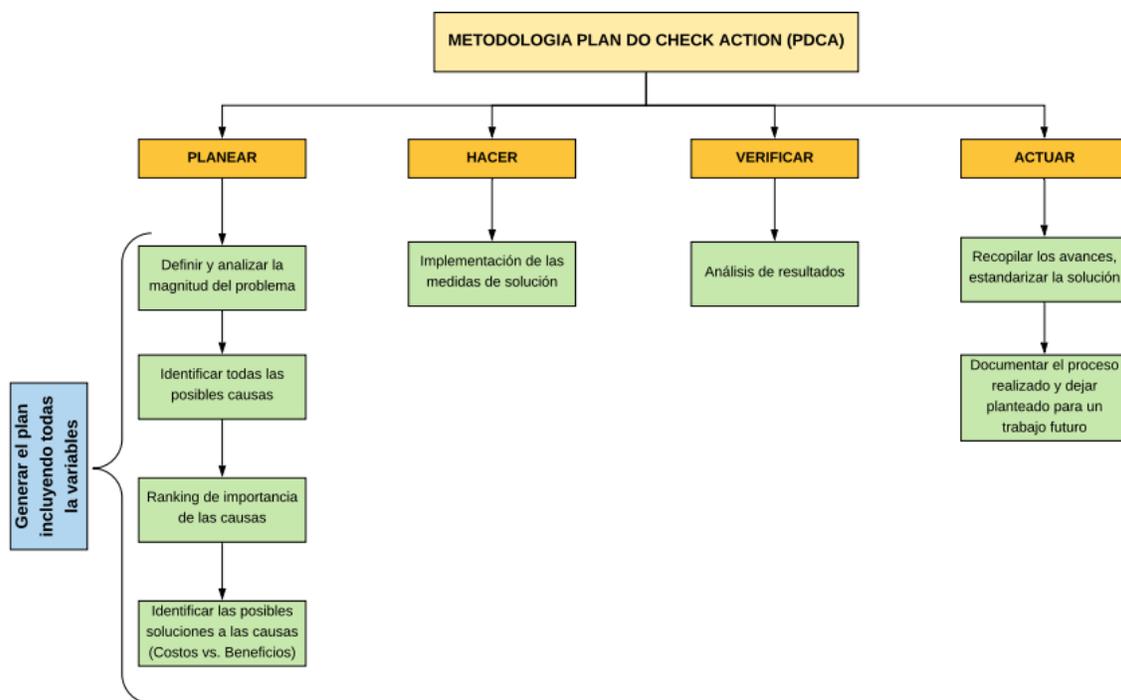


Figura 6. Corresponde al mapa conceptual de la metodología Plan do Check Action.

2. Investigar cuál es la causa o el factor más importante. Dentro de todos los posibles factores y causas considerados en el paso anterior, es necesario investigar cuál o cuáles se consideran más importantes. Para ello se puede sintetizar la información relevante encontrada en el paso anterior y por consenso seleccionar las causas que se crean más importantes. También es posible hacer un análisis con base en datos, la estratificación o el

diagrama de dispersión, o bien, se pueden tomar datos mediante una hoja de verificación. Además, se debe investigar cómo se interrelacionan las posibles causas, para así entender mejor la razón real del problema y el efecto que tendrá, al solucionarlo, en otros procesos interdependientes. No hay que olvidar y perder de vista el problema general.

3. Considerar las medidas para dar solución a las causas más importantes. Al considerar las medidas se debe buscar que éstas eliminen las causas, de tal manera que se esté previniendo la recurrencia del problema, y no deben llevarse a cabo acciones que sólo eliminen el problema de manera inmediata o temporal. Respecto a las medidas remedio, es indispensable cuestionarse lo siguiente: su necesidad, cuál es el objetivo, dónde se implementarán, cuánto tiempo llevará establecerlas, cuánto costará, quién lo hará y cómo. También es necesario analizar la forma en la que se evaluarán las soluciones propuestas y elaborar de manera detallada el plan con el que se implementarán las medidas correctivas o de mejora (secuencia, responsabilidades, modificaciones, etcétera). El equipo debe analizar si las medidas de solución no generan otros problemas (efectos secundarios). De ser el caso, se deben adoptar medidas que contrarresten tales efectos secundarios o considerar otro tipo de acciones.
4. Poner en práctica las medidas de solución. Para llevar a cabo estas medidas se debe seguir al pie de la letra el plan elaborado en el paso anterior, además de involucrar a los afectados y explicarles la importancia del problema y los objetivos que se persiguen. Algo fundamental a considerar en el plan de implementación es que las medidas de solución primero se hacen a pequeña escala sobre una base de ensayo, si esto fuera factible.
5. Revisar los resultados obtenidos. En este paso se debe verificar si las medidas de solución dieron resultado. Para ello es importante dejar funcionar el proceso un tiempo suficiente,

de tal forma que los cambios realizados se puedan reflejar y luego, mediante una técnica estadística, comparar la situación antes y después de las modificaciones. Si hubo cambios y mejoras en el proceso, es necesario también evaluar el impacto directo de la solución, ya sea en términos monetarios o sus equivalentes.

6. Prevenir la recurrencia del problema. Si las soluciones dieron resultado se deben generalizar las medidas de solución y prevenir la recurrencia del problema o garantizar los avances logrados; para ello, hay que estandarizar las soluciones a nivel proceso, los procedimientos y los documentos correspondientes, de tal forma que el aprendizaje logrado mediante la solución se refleje en el proceso y en las responsabilidades. Es necesario comunicar y justificar las medidas preventivas, y entrenar a los responsables de cumplirlas. También conviene elaborar una lista de los beneficios indirectos e intangibles que se lograron con el plan de mejora. Si las soluciones no dieron resultado se debe repasar todo lo hecho, aprender de ello, reflexionar, obtener conclusiones y, con base en esto, empezar de nuevo.

Conclusión. En este último paso se debe revisar y documentar el procedimiento seguido y planear el trabajo futuro. Para ello se puede elaborar una lista de los problemas que persisten y señalar algunas indicaciones de lo que puede hacerse para resolverlos. Además, es indispensable reflexionar sobre todo lo hecho, documentarlo y aprender de ello, para que las acciones futuras sean mejores y cuenten con un expediente o documento del cual partir. Si el proyecto se considera exitoso, es recomendable presentarlo a directivos y a otras áreas, tanto como una forma de reconocer a los miembros del equipo como una manera de difundir el trabajo por la calidad y la productividad.

#### **4. Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA.**

Una vez descrita la metodología PDCA, entramos en el desarrollo de la propuesta que se plantea con este trabajo de grado, que tiene como propósito desarrollar un *“Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA”*, que servirá de manera estandarizada para implementarse cada vez que se presente una falla en un pozo que requiera un plan de intervención, con la diferencia de que al ser construido teniendo en cuenta esta propuesta de paso a paso, se genere un plan tan completo e integral, que el resultado de su ejecución asegure eliminar el origen de la falla identificada.

Esto quiere decir que, la solución que se ofrecerá e implementará mediante el *“Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA”*, tendrá como resultado la disminución en la frecuencia de intervenciones pues atacará el origen de la falla, más no corregirá la falla en sí misma.

Para ampliar lo anterior, es necesario precisar que cuando se corrige la falla en sí misma y no se impacta el origen de esta, existe una alta probabilidad de que la falla se presente nuevamente en un corto plazo; mientras que, si se analiza el origen de la falla, la causa o causas de ésta y se corrige desde allí, la probabilidad de reincidencia de la falla disminuye.

Por ejemplo, se ha identificado que en el pozo A2 se presenta una falla en la bomba de subsuelo. Si se enfoca solo en la falla y se interviene el pozo reemplazando la bomba dañada por una nueva, no se estará corriendo la causa u origen del ¿Por qué? Se dañó la bomba. Mientras que si se genera *“Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA”*, esta nos lleva a analizar de manera profunda la causa o causas que dieron origen a la falla, en el

caso de ejemplo se pudo identificar que la causa del daño de la bomba se debe a que existe una alta producción de arena en el pozo, por lo cual el plan integral de intervención me permite implementar no solo el cambio de la bomba dañada sino generar e implementar al tiempo la estrategia que ataque la raíz del problema, para el caso de estudio cambiar la profundidad de la bomba, realizando limpieza programada del pozo (flushing), o aislando la zona productora de arena. Esto disminuirá la probabilidad de que se presente nuevamente falla en la bomba de subsuelo lo que se traducirá en menores intervenciones a pozo, por lo que se cumplirá el objetivo planteado.

**Figura 7.**

*Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la Metodología PDCA*

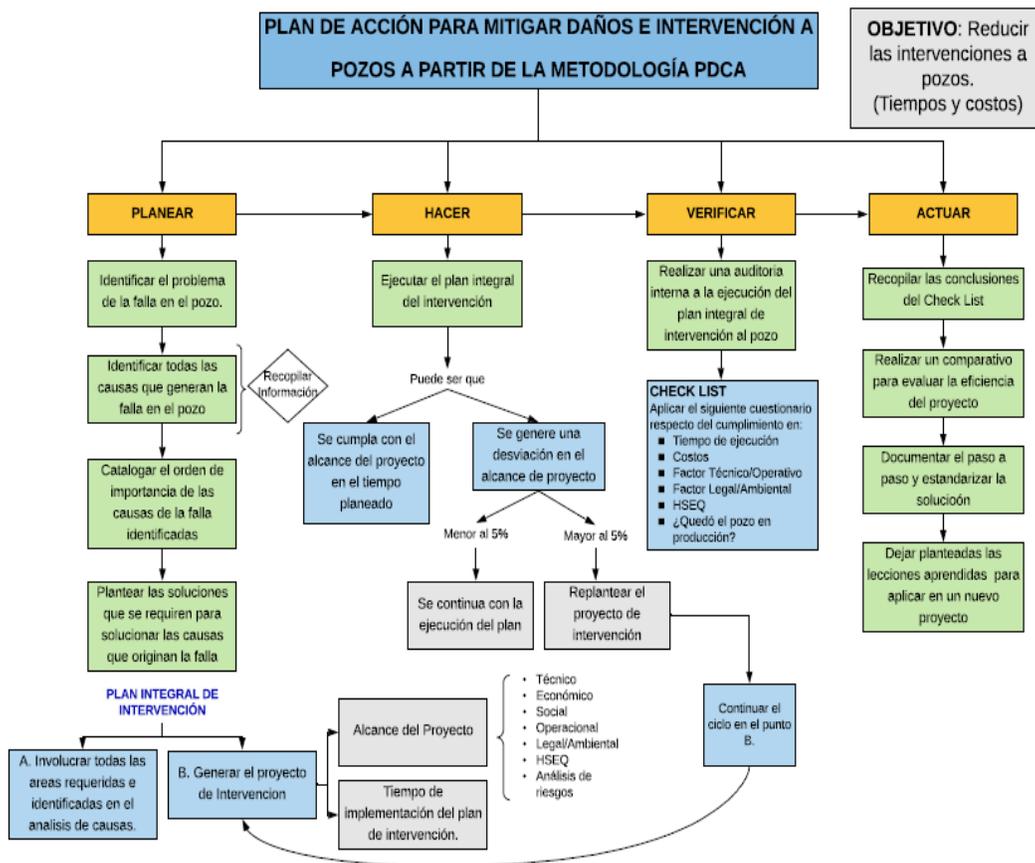


Figura 7. Corresponde al mapa conceptual del plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozo.

En la Figura No. 7 se presenta el esquema propuesto del “Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA”. En esta Figura se presenta el paso a paso sugerido del plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la Metodología PDC, con el detalle específico de cada una de las etapas para garantizar un plan integral de intervención.

### **5. Análisis de productividad de la intervención a un pozo con el fin de optimizar tiempos de producción proyectada en un tiempo estimado de 10 años.**

A lo largo del tiempo se ha observado como la industria del petróleo se vuelve más dinámica, llevando a las empresas a realizar análisis de cambio para mejorar sus procesos de productividad, buscando alternativas y nuevos métodos que impacten positivamente los resultados financieros, las ganancias, asegurando las operaciones, asegurando la vida de los trabajadores, la protección del medio ambiente y la calidad en sus procesos.

La base de estudio de este capítulo se centrará en realizar un análisis de productividad de la intervención a un pozo (A2) con el fin de optimizar tiempos de producción, con un estudio proyectado en un tiempo estimado de 10 años.

Para iniciar con el análisis se tomó como base el pozo A2, el cual luego de la investigación se evidenció que es uno de los pozos con mayor número de intervenciones en los últimos 10 años (17 intervenciones), con un índice alto de tiempo inactivo y con un potencial de 120 BOPD.

**Figura 8.**

*Análisis de producción del pozo A2 en 10 años.*



Figura 8. La gráfica representa el número de días que estuvo en producción el pozo A2 durante los últimos 10 años (2008-2018) y el número de intervenciones por año realizadas.

En la gráfica de la Figura 8, se puede concluir que, en un periodo de 10 años, el pozo A2 presentó un elevado número de intervenciones, en promedio 1,7 por año y una producción promedio de 206 días al año, es decir más de 100 días por año la empresa operadora dejó de producir BIs de hidrocarburo.

### 5.1 Análisis de Productividad en tiempos Pozo A2 (10 años)

En la Tabla 4 se observan los días en producción de acuerdo a la cantidad de intervenciones del pozo A2 durante los últimos 10 años (2008-2018).

En la Figura 9 se observa que en 10 años el pozo sólo ha estado en producción alrededor de la mitad del tiempo, un 56% del tiempo total estimado. Que el 44% tiene oportunidad de gestión si se implementa un “*Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA*”, para lograr aumentar el % de productividad del Pozo. Estos datos representan

una pérdida bastante significativa a la empresa operadora del Campo y a la región de Catatumbo, además de un aumento en los costos asociados a las necesidades de intervención del pozo.

**Tabla 4.**

*Análisis de Productividad de tiempos en el pozo A2.*

# Años	# Días pozo en producción	Tiempo Movilización	Tiempo de Intervención	Otros tiempos	Pozo parado/Pozo sin intervención	TOTAL AÑO	# Intervenciones
1	210	6	30	23	96	365	2
2	190	9	45	19	102	365	3
3	165	3	15	35	147	365	1
4	207	6	30	18	104	365	2
5	130	0	0	65	170	365	0
6	264	6	30	27	38	365	2
7	250	3	15	28	69	365	1
8	235	6	30	21	73	365	2
9	270	9	45	41	0	365	3
10	140	3	15	30	177	365	1
<b>Total</b>	<b>2061</b>	<b>51</b>	<b>255</b>	<b>307</b>	<b>976</b>	<b>3650</b>	<b>17</b>
	<b>56%</b>	<b>1%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>	<b>27%</b>	<b>100%</b>	

**Figura 9.**

*Análisis de productividad en tiempos Pozo A2.*



Figura 9. Representa el análisis de productividad en tiempo del pozo A2

Con la aplicación de la metodología PDCA se busca obtener resultados de producción incremental cercanos al 80% lo que quiere decir una mayor rentabilidad por los ingresos recibidos durante los siguientes 10 años, esto se logrará, elevando la producción del pozo de 30 BOPD actuales a 120 BOPD (un Análisis del Yacimiento evidencia que el potencial del pozo es de 150 BOPD y después de un tiempo este declina anualmente de un 12% a un 15% llegando a un promedio esperado de 120 BOPD, el pozo hace parte de un patrón de inyección 7:1), optimizando el sistema de levantamiento que implica análisis para implementar otras tecnología como BES, BCP que soportarían el manejo de mayores volúmenes, actividades de cañoneos de zonas nuevas, recañoneos a zonas productoras, operaciones de limpieza mecánicas al pozo, disminución del índice de falla con aplicación de tecnologías para tubulares, reducción de tiempos de intervención y el aseguramiento operacional de manera, que desde la primera intervención los trabajos cumplan la promesa de valor del pozo.

## **5.2 Análisis estimado de productividad luego de implementar el “Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA” en el Pozo A2 (10 años)**

En la Tabla 5 se observan los días en producción del pozo A2 de acuerdo a la cantidad de intervenciones luego de aplicar la metodología PDCA en un periodo de 10 años.

Luego de realizar este análisis estimado aplicando el “*Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA*”, se puede identificar (Ver Figura 10) que la productividad aumenta significativamente de un 56% a un 79%, aun manteniendo un rango proyectado amplio de tiempo estimado para la planeación e implementación de la intervención del Pozo (1 por año), un rango amplio de otros tiempos (clima, entorno, fuerza mayor), de 15 días por intervención y 3 por movilización. Quiere decir lo anterior, que aun después de analizar el ejercicio,

se mantienen ventanas operativas reales, y aun así los resultados de productividad se acercan a lo esperado. Esto al final se traducirá en beneficios económicos para la empresa, para el entorno y para la nación.

**Tabla 5.**

*Análisis de Productividad luego de implementar el “Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA” en el pozo A2*

# Años	# Días pozo en producción	Tiempo Movilización	Tiempo de Intervención	Otros tiempos	Pozo parado/Pozo sin intervención	TOTAL AÑO	# Intervenciones
1	287	3	15	20	40	365	1
2	287	3	15	20	40	365	1
3	287	3	15	20	40	365	1
4	287	3	15	20	40	365	1
5	287	3	15	20	40	365	1
6	287	3	15	20	40	365	1
7	287	3	15	20	40	365	1
8	287	3	15	20	40	365	1
9	287	3	15	20	40	365	1
10	287	3	15	20	40	365	1
<b>Total</b>	<b>2870</b>	<b>30</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>3650</b>	<b>10</b>
	<b>79%</b>	<b>1%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>11%</b>	<b>100%</b>	

**Figura 10.**

*Análisis de productividad en tiempos pozo A2 luego de implementar metodología PDCA.*

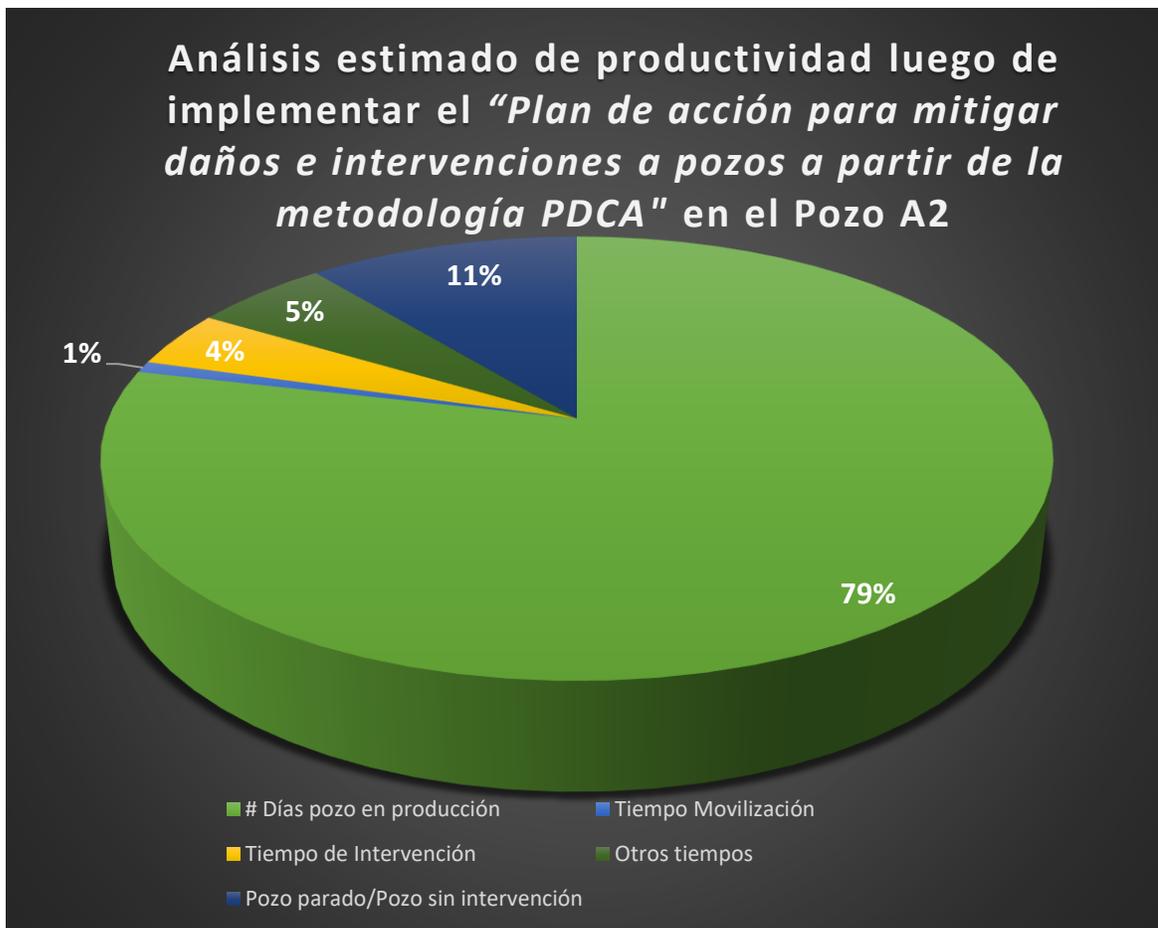


Figura 10. Representa el análisis de productividad en el pozo A2 después de aplicar la metodología PDCA

## 6. Conclusiones

Luego de analizar el planteamiento propuesto, se concluye que implementando el “*Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA*” es posible lograr disminuir el número de intervenciones a pozos, mejorando la eficiencia y productividad de este.

El análisis realizado permitió concluir que sí se implementa una acción rápida para solucionar una falla en un pozo, sin generar un análisis del origen y la causa de esta, que permita generar un proyecto integral para corregir la causa u origen de esta, se aumenta significativamente el número de intervenciones a pozo en periodos cortos de tiempo.

El estudio de la metodología PDCA, permite concluir que esta es una herramienta excelente para ser utilizada en cualquier trabajo en la industria petrolera, abarca lo esencial para planear, ejecutar y realizar seguimiento a un proyecto.

El análisis permitió concluir que se debe tener claro tanto el problema que generó la falla, como la causa u origen de esta, construir un plan integral de intervención y evaluación del resultado del proyecto.

En la metodología PDCA es importante seguir el paso a paso establecido por las áreas encargadas, cumpliendo con parámetros operacionales, parámetros HSEQ y parámetros ambientales, con el fin de obtener los mejores resultados de manera segura, que garantice la implementación integral del proyecto.

## 6. Recomendaciones

Se recomienda implementar el “*Plan de acción para mitigar daños e intervenciones a pozos a partir de la metodología PDCA*”, en todas las actividades de intervenciones a pozo que se requieran planear en la empresa, con el fin de lograr un impacto positivo de disminución a largo plazo del número de intervenciones requeridas.

Se recomienda aplicar de manera rigurosa cada una de las etapas del plan descritas, sin saltarse de una a otra para garantizar la integralidad el proyecto de intervención y su resultado positivo.

Antes de iniciar operaciones evaluar todas y cada una de las áreas identificando los posibles problemas a presentarse y una o dos soluciones como mínimo a cada problema.

Se recomienda recopilar la mayor información que se tenga de cada uno de los pozos. Estudiar y analizar esta información para realizar una buena planeación de las actividades.

Se recomienda registrar y/o documentar toda la información de manera puntual en una base de datos de fácil manejo, para ser utilizados en futuros proyectos.

Durante la ejecución de la operación en pozo y la puesta en producción de este, es de vital importancia llevar registro de todos los resultados que arroje las actividades realizadas (ejecución) y los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas (Producción), que permitan efectuar análisis de mejoramiento de estos.

### Referencia Bibliográfica

- Barrios, M.A. (2015) *Círculo de Deming en el departamento de producción de las empresas fabricantes de chocolate artesanal de la ciudad de Quetzaltenango*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Licenciatura en Administración de Empresas (PD). Universidad Rafael Landívar. Quetzaltenango, Guatemala.
- Bustos, E. M. (2010) *Estudio de pozos candidatos a recañoneo y apertura de nuevas zonas de las arenas de la formación Barco del área A del Campo Tibú*. Tesis de Especialización en Producción de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Ceballos, L., Marín, E., Patiño A., Pedraza, A. (2011, octubre) *Geología de las Planchas 98 - Durania y 99 - Villa del Rosario Norte de Santander – Colombia*. Instituto Colombiano de Geología y minería INGEOMINAS, Bogotá.
- El ciclo PDCA de Mejora Continua -. (2020, Marzo 3). Recuperado de <https://www.aiteco.com/ciclo-pdca-de-mejora-continua/>
- Fuentes, P., Vargas D. (2012) *Optimización de la producción en pozos con bombeo mecánico del sector M-14 del Campo Tibú usando herramienta echometer*. Tesis de Proyecto de Grado en Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Hoz M., Ortiz D. (2008) *Metodología para la sección, diseño y ejecución del cañoneo o recañoneo de pozos de bajo potencial, aplicación al Campo Colorado; Bucaramanga*.
- Montiel, A. (2016, marzo 10). *Capitulo-2 –bombeo -mecánico*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/arturoserrudomontiel/capitulo2bombeomecanico>
- Perea, C.A., Pérez, A. V. (2013) *Plan de Gestión para la implementación del sistema de levantamiento artificial seleccionado en un Campo colombiano bajo los lineamientos del PMI*. Tesis de Proyecto de Grado en Ingeniería Industrial. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Bucaramanga.

Sánchez, D., Suárez I.V. (2018) *Comparación y diseño de unidades convencionales y no convencionales de bombeo mecánico*. Aplicación a Campos colombianos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga.

Orjuela, A. F (2017) Evaluación técnica y financiera del desempeño del sistema de levantamiento artificial bombeo por cavidades progresivas metal- metal para la producción de crudo pesado en el Campo Abarco. Universidad Industrial de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería de Petróleos. Bogotá, D.C. Colombia.

<https://www.andbank.es/observatoriodelinversor/que-es-el-break-even/#:~:text=Es%20decir%2C%20cuando%20una%20empresa,es%20la%20entrada%20en%20beneficios.>