

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI

ESCUELA DE POSGRADOS

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EXTRACCION, LEVANTAMIENTO Y
TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título en Magister Tecnológico en Petróleos.

Tema:

Implementar el sistema de bombeo de cavidad progresiva pcp como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los pozos Pucuna - 06 y Pucuna - 17 del campo Pucuna.

Autor/s:

Danilo Eduardo Guamán Abril- Ademir Efrén Rojas Andy.

Director:

MSc. Christopher Mayorga Zambrano.

Fecha:

2024/09/22.

Sangolquí - Ecuador

Autor:



Guamán Abril Danilo Estuardo

Título a obtener: Magister Tecnológico en Extracción,
Levantamiento y tratamiento de crudos pesados.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: danilo.guaman@ister.edu.ec

Autor:



Rojas Andy Ademir Efrén

Título a obtener: Magister Tecnológico en Extracción,
Levantamiento y tratamiento de crudos pesados.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: adermir.rojas@ister.edu.ec

Dirigido por: **MSc.** Christopher Jonathan Mayorga Zambrano



Título: Magister en Petroleos con mención en recobro por
inyección de agua y gas

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: Christopher.mayorga@inter.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

Guamán Abril Danilo Estuardo.

Rojas Andy Ademir Efren.

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **Implementar el sistema de bombeo de cavidad progresiva (PCP) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los Pozos Pucuna -06 y Pucuna-17 del Campo Pucuna** realizado por **Danilo Estuardo Guamán Abril** y **Ademir Efren Rojas Andy** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

MSc. Christopher Mayorga Zambrano
Director del Trabajo de Titulación
C.I.: 1311871717
Correo electrónico: christopher.mayorga@ister.edu.ec

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

Por medio de la presente, yo, **Danilo Estuardo Guamán Abril**, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado **Implementar el sistema de Cavidad Progresiva (PCP) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los pozos Pucuna 06 y Pucuna 17 del Campo Pucuna**, de la Maestría Tecnológica Extracción, levantamiento y Tratamiento de Crudos Pesados ; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

Danilo Estuardo Guamán Abril

CI: 2100471578

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de Septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

Por medio de la presente, yo, **ADEMIR EFREN ROJAS ANDY**, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado "**Implementar el sistema de bombeo de cavidad progresiva (PCP) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los Pozos Pucuna -06 y Pucuna-17 del Campo Pucuna**", de la Maestría Tecnológica **EXTRACCION, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

ADEMIR EFREN ROJAS ANDY

CI: 1500687239

**FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
EN BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

MAESTRÍA TECNOLÓGICA: EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y
TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS

AUTOR /ES:

DANILO ESTUARDO GUAMAN ABRIL
ADEMIR EFREN ROJAS ANDY

TUTOR:

MSC. CHRISTOPHER JONATHAN MAYORGA ZAMBRANO

CONTACTO ESTUDIANTE:

0985143813 -0968349477

CORREO ELECTRÓNICO:

danilo.guaman@ister.edu.ec - ademir.rojas@ister.edu.ec

TEMA:

IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE CAVIDAD PROGRESIVA (PCP) COMO ALTERNATIVA PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE CRUDOS VISCOSOS EN LOS POZOS PUCUNA 06 Y PUCUNA 17 DEL CAMPO PUCUNA

RESUMEN EN ESPAÑOL:

Los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 enfrentan serios problemas en la producción de crudo debido a la alta viscosidad del crudo 16 centipoise y un bajo grado API 18, lo que dificulta su flujo a través del sistema hidráulico tipo jet. Esta situación genera obstrucciones y eleva los costos operativos, con un costo de \$9 por barril para tratar crudos viscosos y separar emulsiones. Para abordar estos desafíos, se implementaron bombas de cavidad progresiva PCP. En Pucuna-17, la bomba WEATHERFORD EDM 820-4100 aumentó la producción en 150.6 barriles diarios, superando la producción inicial de 640 barriles con una eficiencia del 27%. Por su parte, en Pucuna-06, la bomba PCP KUDA 120 K900 logró un incremento de 134.5 barriles diarios con una eficiencia del 20%. Desde el punto de vista económico, ambos pozos presentan resultados positivos: Pucuna-17 tiene un Valor Neto actual de \$6,045,946.23

y Pucuna-06 de \$5,089,634.81, indicando que ambos proyectos recuperarán su inversión y generarán ganancias significativas. Además, las Tasas de Retorno interna son del 56% y 37%, respectivamente, lo que refuerza la viabilidad económica de los sistemas PCP, posicionándolos como una solución atractiva para la producción sostenible de crudos pesados.

PALABRAS CLAVE:

Hidráulico, cavidades progresivas, declinación, incremento, económico

ABSTRACT:

The Pucuna-06 and Pucuna-17 wells face serious issues in crude oil production due to the high viscosity of the crude at 16 centipoise and a low API gravity of 18, which complicates its flow through the jet hydraulic system. This situation leads to blockages and increases operational costs, with a treatment cost of \$9 per barrel for viscous crudes and emulsions separation. To address these challenges, progressive cavity pumps (PCP) were implemented. In Pucuna-17, the WEATHERFORD EDM 820-4100 pump increased production by 150.6 barrels per day, surpassing the initial production of 640 barrels with an efficiency of 27%. Meanwhile, in Pucuna-06, the PCP KUDA 120 K900 pump achieved an increase of 134.5 barrels per day with an efficiency of 20%. From an economic perspective, both wells show positive results: Pucuna 17 has a Net Present Value (NPV) of \$6,045,946.23, while Pucuna-06 has an NPV of \$5,089,634.81, indicating that both projects will recover their investment and generate significant profits. Additionally, TIR is 56% and 37%, respectively, reinforcing the economic viability of PCP systems and positioning them as an attractive solution for sustainable heavy crude production.

PALABRAS CLAVE:

Hydraulic, progressive cavities, decline, increase, economic.

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **Implementar el sistema de Cavidad Progresiva (PCP) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 del Campo Pucuna** de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Danilo Estuardo Guaman Abril, con documento de identificación No 2100471578, estudiante de la Maestría Tecnológica **EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

Danilo Estuardo Guaman Abril
CI: 2100471578

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de Septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **Implementar el sistema de bombeo de cavidad progresiva (PCP) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los Pozos Pucuna -06 y Pucuna-17 del Campo Pucuna** de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: **ADEMIR EFREN ROJAS ANDY**, con documento de identificación No1500687239, estudiante de la Maestría Tecnológica **EXTRACCION, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS.**

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

ADEMIR EFREN ROJAS ANDY
CI: 1500687239

Dedicatoria:

A mis queridos padres Rodolfo y Raquel, son mi motivación y fuente de inspiración gracias a sus consejos, los valores que me han inculcado, su incesante motivación, el apoyo incondicional brindado en todas las etapas de mi vida académica y personal, su extraordinario ejemplo de perseverancia, esfuerzo y determinación para alcanzar cada meta que me proponga

A mi amada esposa Sonia, a ella especialmente le dedico esta Tesis, por su apoyo, paciencia, comprensión, amor y ánimos que impartía día a día para seguir adelante luchar a cada momento por mis metas propuestas por ser mi compañía y sacarme risas en mis días difíciles durante mis estudios y a nivel personal. Realmente ella me llena por dentro para conseguir un equilibrio que me permita dar el máximo de mí. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

Mis hermanos Alex, Jennifer, Randy, que me motivaron moral y fueron una inspiración para culminar esta etapa.

Danilo Guaman

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Ademir Rojas

Agradecimiento:

En primer lugar, agradezco a Dios por ser la luz de mi camino en todo momento, por su bondad y amor infinito, por proveerme de sabiduría, salud y perseverancia para poder superar todas las pruebas que me trajeron hasta este punto y por haberme bendecido con una familia luchadora y llena de amor y valores, indispensables para conseguir esta meta.

Mi sincero agradecimiento a todo el personal y claustro de profesores de la Maestría en Extracción, Levantamiento y Tratamiento de Crudos Pesados y al Instituto Superior Tecnológico Universitaria Rumiñahui por su profesionalismo y dedicación durante el tiempo de cursada de la maestría.

De manera especial quiero agradecer a nuestro director y tutor de Tesis el MSc. Christopher Mayorga Zambrano, quién con su profesionalismo, experiencia, conocimiento y motivación supo guiarnos durante el periodo de tiempo que ha durado esta Tesis de maestría.

Gracias a todas las personas quienes aportaron de una u otra manera para que logre la culminación de esta etapa de mi vida.

Resumen:

Los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 enfrentan serios problemas en la producción de crudo debido a la alta viscosidad del crudo 16 centipoise y un bajo grado API 18, lo que dificulta su flujo a través del sistema hidráulico tipo jet. Esta situación genera obstrucciones y eleva los costos operativos, con un costo de \$9 por barril para tratar crudos viscosos y separar emulsiones. Para abordar estos desafíos, se implementaron bombas de cavidad progresiva PCP. En Pucuna-17, la bomba WEATHERFORD EDM 820-4100 aumentó la producción en 150.6 barriles diarios, superando la producción inicial de 640 barriles con una eficiencia del 27%. Por su parte, en Pucuna-06, la bomba PCP KUDA 120 K900 logró un incremento de 134.5 barriles diarios con una eficiencia del 20%. Desde el punto de vista económico, ambos pozos presentan resultados positivos: Pucuna-17 tiene un Valor Neto actual de \$6,045,946.23 y Pucuna-06 de \$5,089,634.81, indicando que ambos proyectos recuperarán su inversión y generarán ganancias significativas. Además, las Tasas de Retorno interna son del 56% y 37%, respectivamente, lo que refuerza la viabilidad económica de los sistemas PCP, posicionándolos como una solución atractiva para la producción sostenible de crudos pesados.

Palabras claves: Hidráulico, cavidades progresivas, declinación, incremento, económico

Abstract:

The Pucuna-06 and Pucuna-17 wells face serious issues in crude oil production due to the high viscosity of the crude at 16 centipoises and a low API gravity of 18, which complicates its flow through the jet hydraulic system. This situation leads to blockages and increases operational costs, with a treatment cost of \$9 per barrel for viscous crudes and emulsions separation. To address these challenges, progressive cavity pumps (PCP) were implemented. In Pucuna-17, the WEATHERFORD EDM 820-4100 pump increased production by 150.6 barrels per day, surpassing the initial production of 640 barrels with an efficiency of 27%. Meanwhile, in Pucuna-06, the PCP KUDA 120 K900 pump achieved an increase of 134.5 barrels per day with an efficiency of 20%. From an economic perspective, both wells show positive results: Pucuna-17 has a Net Present Value (NPV) of \$6,045,946.23, while Pucuna-06 has an NPV of \$5,089,634.81, indicating that both projects will recover their investment and generate significant profits. Additionally, TIR is 56% and 37%, respectively, reinforcing the economic viability of PCP systems and positioning them as an attractive solution for sustainable heavy crude production.

Keywords: Hydraulic, progressive cavities, decline, increase, economic.

Índice de contenido

| | |
|--|---|
| CAPITULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| Planteamiento del Problema..... | 1 |
| Problema científico..... | 1 |
| Preguntas científicas o directrices..... | 2 |
| Objetivo general..... | 2 |
| Objetivos específicos..... | 2 |
| Justificación..... | 3 |
| CAPÍTULO II..... | 5 |
| MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| Ubicación de Pucuna..... | 5 |
| Estructura de Pucuna..... | 5 |
| Problemas asociados a la viscosidad..... | 6 |
| Bombeo hidráulico tipo jet..... | 6 |
| Curvas de rendimiento del bombeo hidráulico..... | 7 |
| Bombeo de cavidades progresivas..... | 8 |
| Ventajas del bombeo en cavidades progresivas e hidráulico..... | 8 |
| Prueba de laboratorio cavidades progresivas..... | 9 |

| | |
|--|----|
| Diseño de un rotor y n estator de cavidades progresivas..... | 10 |
| Cálculo de las Iprs | 11 |
| Análisis nodal | 12 |
| Curvas de declinación de los pozos..... | 12 |
| Análisis Económico..... | 13 |
| CAPÍTULO III | 14 |
| MARCO METODOLÓGICO | 14 |
| Tipo de Investigación | 14 |
| Diseño de investigación..... | 14 |
| Selección de muestra | 14 |
| Recolección de datos | 15 |
| Métodos | 15 |
| Análisis de Datos | 16 |
| Campo Pucuna..... | 16 |
| Análisis Presión, volumen y temperatura..... | 16 |
| Sistema de fluido cerrado | 17 |
| Pucuna 17 | 17 |
| Historial de producción | 18 |
| Completación del pozo | 18 |
| Eficiencia de la bomba | 19 |

| | |
|---|----|
| Capacidad de producción | 20 |
| Pucuna 06 | 21 |
| Historial de producción | 21 |
| Completación del pozo | 22 |
| Eficiencia de la bomba | 22 |
| Capacidad de producción | 23 |
| Ensayos de laboratorio..... | 24 |
| Comportamiento de la viscosidad en un sistema de cavidades progresivas..... | 24 |
| Comportamiento de la viscosidad en función de la presión y caudal..... | 25 |
| Rediseño del sistema de cavidades progresivas Pucuna 17..... | 28 |
| Completación del pozo con PCP | 28 |
| Diseño del rotor y estator | 29 |
| Características de la bomba PCP Weatherford EDM-820-4100 | 30 |
| Estimación de la producción PC Weatherford | 30 |
| Torque..... | 31 |
| Cálculo de la potencia consumida | 32 |
| Cálculo de esfuerzos axiales..... | 32 |
| Análisis Nodal Pucuna 17 | 32 |
| Estimación de la producción declinación exponencial..... | 33 |
| Rediseño del sistema de cavidades progresivas Pucuna 06..... | 34 |

| | |
|---|-----------|
| Completación del pozo con PCP | 34 |
| Diseño del rotor y estator | 35 |
| Características de la bomba PCP KUDA 120 K900 | 37 |
| Estimación de la producción PCP KUDU | 37 |
| Torque..... | 38 |
| Cálculo de la potencia consumida | 38 |
| Cálculo de esfuerzos axiales..... | 39 |
| Análisis Nodal Pucuna 06 | 39 |
| Estimación de la producción declinación exponencial..... | 40 |
| Análisis Económico Pucuna 17 & Pucuna 06 | 40 |
| CAPÍTULO IV | 44 |
| RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO | 44 |
| Análisis Técnico Económico..... | 44 |
| CAPITULO V | 47 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 47 |
| Conclusiones..... | 47 |
| Recomendaciones | 48 |
| Referencias Bibliográficas..... | 50 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Ubicación Pucuna..... | 5 |
| Figura 2 Bomba tipo jet..... | 7 |
| Figura 3 Bomba pcp | 8 |
| Figura 4 Diseño rotor y estator | 10 |
| Figura 5 Curva IPRS | 11 |
| Figura 6 Análisis de producción..... | 12 |
| Figura 7 Curva de declinación..... | 13 |
| Figura 8 Sistema de fluido motriz Pucuna | 17 |
| Figura 9 Historial de producción Pucuna 17 | 18 |
| Figura 10 Eficiencia bomba Jet 10E..... | 19 |
| Figura 11 IPR Pucuna 17..... | 20 |
| Figura 12 Historial de producción Pucuna 06 | 21 |
| Figura 13 Eficiencia Jet tipo 3B+ | 22 |
| Figura 14 IPR Pucuna 06..... | 23 |
| Figura 15 Variación del caudal, presión en función de la viscosidad 15 cP | 26 |
| Figura 16 Variación del caudal, presión en función de la viscosidad 16 cP | 27 |
| Figura 17 Variación del caudal, presión en función de la viscosidad 16 cP | 27 |
| Figura 18 Completación PCP Pucuna 17 | 28 |
| Figura 19 Dimensiones rotor y estator PUC-17 | 29 |
| Figura 20 PCP Whaterford operación rpm..... | 31 |
| Figura 21 Operación del torque Weatherford EDM 820-4100..... | 31 |
| Figura 22 Análisis Nodal Pucuna 17 | 33 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 Estimación producción Pucuna 17 | 34 |
| Figura 24 Completación PCP Pucuna 06 | 35 |
| Figura 25 Dimensiones rotor y estator PUC-06 | 36 |
| Figura 26 PCP KUDU operación rpm..... | 38 |
| Figura 27 Operación del torque Kudu 120K 900 | 38 |
| Figura 28 Análisis Nodal Pucuna 06 | 39 |
| Figura 29 Estimación producción Pucuna 06 | 40 |
| Figura 30 Capacidad de producción | 46 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Ventajas sistema jet y pcp | 8 |
| Tabla 2 Análisis PVT Pucuna..... | 16 |
| Tabla 3 Dimensiones bomba jet 10E..... | 18 |
| Tabla 4 Capacidad de producción Pucuna 17..... | 20 |
| Tabla 5 Características bomba jet 3B+..... | 22 |
| Tabla 6 Características de presión y producción Pucuna 06 | 23 |
| Tabla 7 Ensayo de flujo de fluidos y cavidades progresivas..... | 25 |
| Tabla 8 viscosidad en función de la presión y caudal | 25 |
| Tabla 9 Características PCP Watherford Pucuna-17 | 30 |
| Tabla 10 Rango de operación PCP Weatherford..... | 33 |
| Tabla 11 Características PCP KUDU 120K900..... | 37 |
| Tabla 12 Costos PCP | 41 |
| Tabla 13 Análisis Económico Pucuna 17 | 42 |
| Tabla 14 Análisis Económico Pucuna 06..... | 43 |
| Tabla 15 Resultados sistema JET & PCP..... | 45 |

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Tema: Implementar el sistema de bombeo de cavidad progresiva (pcp) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los pozos Pucuna - 06 y Pucuna - 17 del campo Pucuna

Planteamiento del Problema

Los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 del campo Pucuna enfrentan problemas significativos en la producción de crudo debido a sus características específicas. El crudo tiene una viscosidad de 16 centipoise, un grado API de 18 dificultando su flujo a través de las tuberías y componentes del sistema hidráulico tipo jet, lo que reduce la eficiencia del bombeo y aumenta el riesgo de obstrucciones. Además, presenta una emulsión al estar en contacto con el agua, complicando la separación del crudo del agua y afectando el tratamiento en superficie. El contenido de agua y sedimentos del 23% incrementa la corrosión y el desgaste del equipo. Estas condiciones hacen que levantar 1220 barriles de este crudo sea considerablemente más costoso ya que el tratar crudos viscosos y separar emulsiones en superficie tiene un costo de 9 dólares por barril, debido a la necesidad de equipos especializados, mayores costos de mantenimiento y operación. En conjunto, estos factores representan un desafío considerable para optimizar la producción en el campo Pucuna.

Problema científico

Los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 enfrentan desafíos significativos en la producción de crudo debido a la alta viscosidad del crudo 16 centipoise, su bajo grado API (18), la presencia de una emulsión y un contenido de agua y sedimentos del 23%.

Preguntas científicas o directrices

¿Cómo afecta la viscosidad del crudo a la eficiencia de la producción jet en los pozos Pucuna 17 y 6?

¿Cuáles son las mejores prácticas para minimizar la corrosión y el desgaste del equipo debido al contenido de agua?

¿Qué tecnologías o equipos especializados se pueden implementar para mejorar el flujo del crudo a través de las tuberías?

¿Cómo se puede optimizar el tratamiento en superficie del crudo para reducir los costos asociados al manejo de emulsiones y crudos viscosos?

¿Qué impacto tiene el grado API del crudo en la rentabilidad en el campo Pucuna?

¿Cuáles son las proyecciones de producción y costos si se implementan mejoras tecnológicas en el manejo de crudos viscosos y emulsiones?

Objetivo general

Evaluar el sistema de cavidades progresivas (pcp) como alternativa para optimizar la producción de crudos viscosos en los pozos Pucuna - 06 y Pucuna - 17 del campo Pucuna.

Objetivos específicos

Evaluar el incremento en el caudal continuo y la eficiencia del sistema de bombeo con bombas PCP en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17, en comparación con el sistema hidráulico tipo jet, para crudos viscosos con una viscosidad de 16 centipoise y un grado API de 18.

Determinar la rentabilidad económica del sistema de cavidades progresivas por medio de la TIR y el VAN en los pozos Pucuna 06 y Pucuna 17.

Estimar la producción futura de crudo y evaluar la implementación del sistema PCP en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17, utilizando análisis de declinación y evaluación económica.

Justificación

Se justifica por varios factores críticos relacionados con las características del crudo y los desafíos operativos actuales. El crudo en estos pozos presenta una viscosidad de 16 centipoise y un grado API de 18, lo que dificulta su flujo a través del sistema hidráulico tipo jet, reduciendo la eficiencia del bombeo y aumentando el riesgo de obstrucciones. Esta alta viscosidad, combinada con una emulsión y un contenido de agua y sedimentos del 23%, incrementa los costos operativos y el desgaste del equipo, elevando el costo de tratamiento a \$9 por barril. La bomba PCP ofrece una solución eficaz para estos desafíos. Su capacidad para manejar crudos viscosos y su diseño, que incluye un rotor y estator de acero inoxidable con perfil helicoidal de 12 grados, permite un caudal continuo y constante a altas presiones (2175 psi) y temperaturas (80°C). Esta configuración mejora significativamente la eficiencia en comparación con el bombeo hidráulico tradicional, que no es ideal para estas condiciones extremas. Además, la implementación de las bombas PCP ha demostrado un aumento en la tasa de producción, obteniendo una producción mayor y continua. Estos resultados destacan la viabilidad de las bombas PCP como una solución eficiente para optimizar la producción y reducir los costos asociados con el tratamiento del crudo en el campo Pucuna.

Variables Independientes:

Tipo de sistema de bombeo PCP vs. sistema hidráulico tipo jet.

Viscosidad del crudo en centipoise.

Grado API del crudo.

Contenido de agua y sedimentos en porcentaje.

Tecnología utilizada en el sistema de bombeo diseño del rotor y estator.

Variables Dependientes:

Eficiencia del sistema de bombeo caudal y rendimiento.

Costos operativos por barril.

Tasa de producción de crudo barriles por día.

Corrosión y desgaste del equipo.

Rentabilidad económica VAN y TIR.

Proyecciones de producción futura.

Idea a defender y/o Hipótesis

La implementación del sistema de cavidades progresivas en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 optimizará la producción de crudos viscosos, aumentando la eficiencia del bombeo, reduciendo los costos operativos, y mejorando la rentabilidad económica

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Ubicación de Pucuna

En la figura 1 se puede observar cómo se encuentra ubicado Pucuna con campos aledaños como Palo azul, Sacha, Huachito y Paraíso . (Rodríguez, 2024)

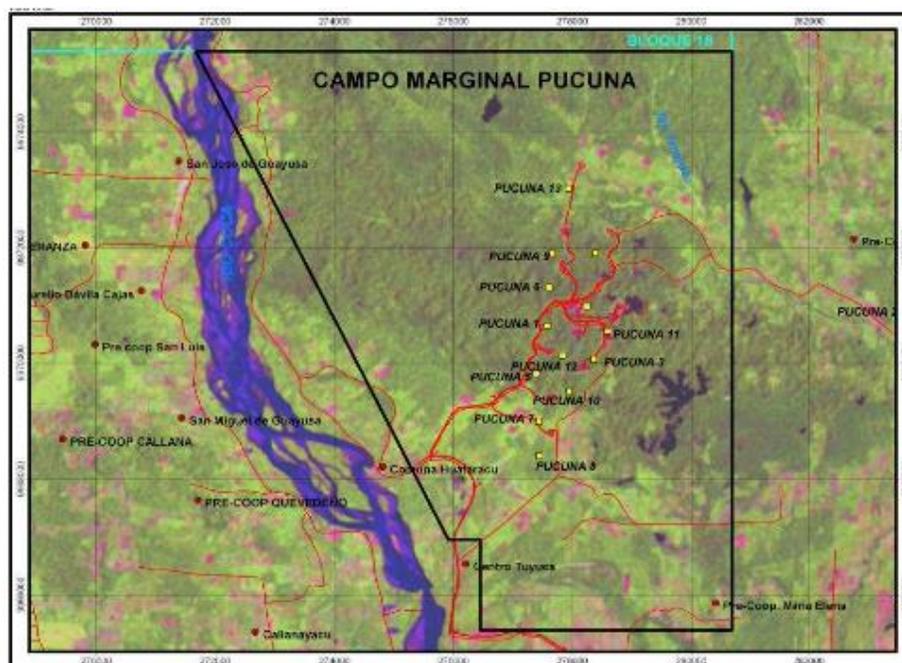


Figura 1 Ubicación Pucuna

Estructura de Pucuna

La geología es crucial para entender su potencial de producción de hidrocarburos. Este campo se sitúa en una región con una geología compleja, caracterizada por fallas, pliegues y trampas estructurales que afectan la acumulación de crudo. Las unidades estratigráficas incluyen secuencias sedimentarias que influyen en las características de los reservorios, como la porosidad y permeabilidad, mientras que estudios geofísicos, como la sísmica, permiten mapear las estructuras subterráneas. Comprender estas dinámicas es esencial para optimizar los métodos de

extracción y maximizar la producción. En conjunto, el análisis geológico proporciona información clave para reducir costos operativos (Lopez, 2012)

Problemas asociados a la viscosidad

El bombeo hidráulico enfrenta varios problemas significativos al manejar crudos de alta viscosidad. La elevada viscosidad del crudo aumenta la resistencia al flujo, requiriendo presiones operativas más altas que elevan los costos energéticos y de mantenimiento, además de acelerar el desgaste del equipo. La eficiencia del bombeo disminuye debido a la dificultad en mover el crudo viscoso, resultando en una menor tasa de producción. La alta viscosidad también puede provocar obstrucciones en las tuberías y componentes del sistema, incrementando el riesgo de paradas no planificadas y la necesidad de mantenimiento frecuente. Además, el tratamiento de crudos viscosos, que a menudo incluye la separación de emulsiones, requiere equipos especializados y procesos adicionales, lo que incrementa significativamente los costos operativos y afecta la rentabilidad del proyecto. (Kumar, R., & Patel, S., 2023)

Bombeo hidráulico tipo jet

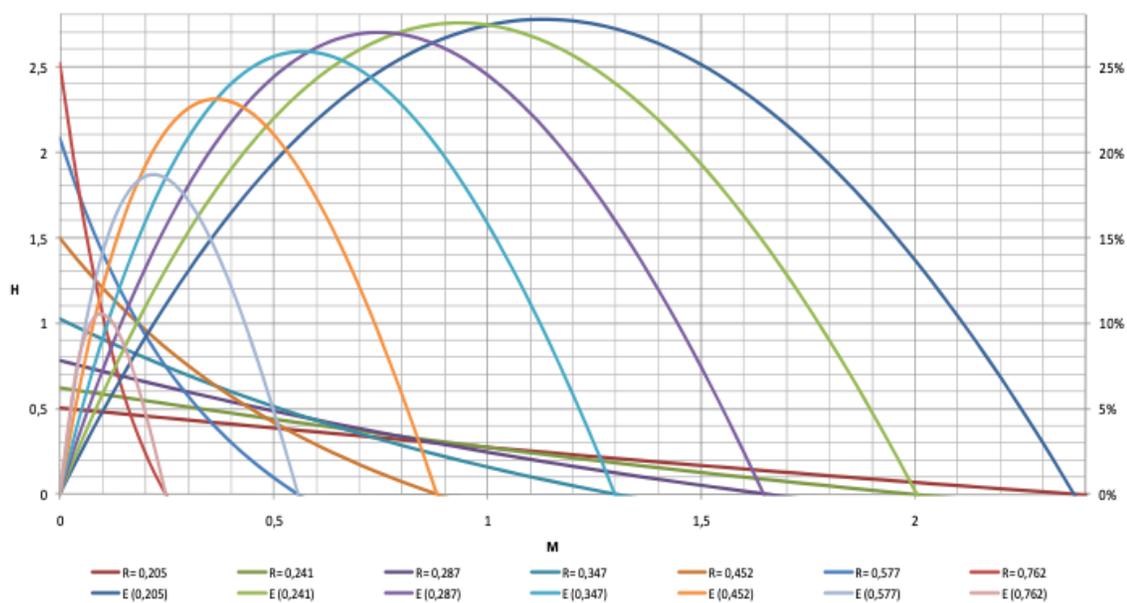
La bomba tipo jet que se observa en la ilustración 2 es un utilizado para elevar crudo a la desde el subsuelo hasta la superficie mediante la inyección de un fluido de alta presión en un jet. Este sistema funciona al crear una corriente de fluido que transporta el crudo. Es especialmente útil en pozos con baja presión de fondo y crudos de baja viscosidad. Sin embargo, enfrenta limitaciones significativas cuando se trata de crudos de alta viscosidad, ya que el sistema no puede generar suficiente energía para mover eficientemente fluidos viscosos. El aumento de los costos operativos, y problemas de mantenimiento debido a obstrucciones y desgaste de los componentes. (Smith, J. A., & Lee, R. T., 2023)



Figura 2 Bomba tipo jet

Curvas de rendimiento del bombeo hidráulico

Las curvas que se determinan permitan seleccionar el nozzle y el área de la bomba tipo jet con la finalidad de determinar las gráficas que permitan evaluar las bombas en función de su rendimiento con la apreciación y comparación con las distintas completaciones electrosumergibles para ello es necesario determinar cada eficiencia con la finalidad de aprovechar la mayor cantidad de hidrocarburos . (Cloete, D. J., & Lant, P. A., 2018)



Bombeo de cavidades progresivas

La eficiencia de un sistema de cavidades progresivas recae en operar con valores que oscilan entre los 65 a 85% esto permite que puedan manejar fluidos viscosos y con alta cantidad de arena de formaciones no consolidadas para ello están constituidos por un rotor y un estator y su movimiento en revoluciones por minuto permite que estos tiendan a levantar la mayor cantidad producción desde el pozo hasta superficie. Según la imagen se puede observar que su operación es de tipo desplazamiento positivo que permiten levantar fluidos por medio de elastómeros de forma helicoidal con crudos que poseen altas cadenas de hidrocarburos. (Brown, A. J., & Miller, D. L., 2023)

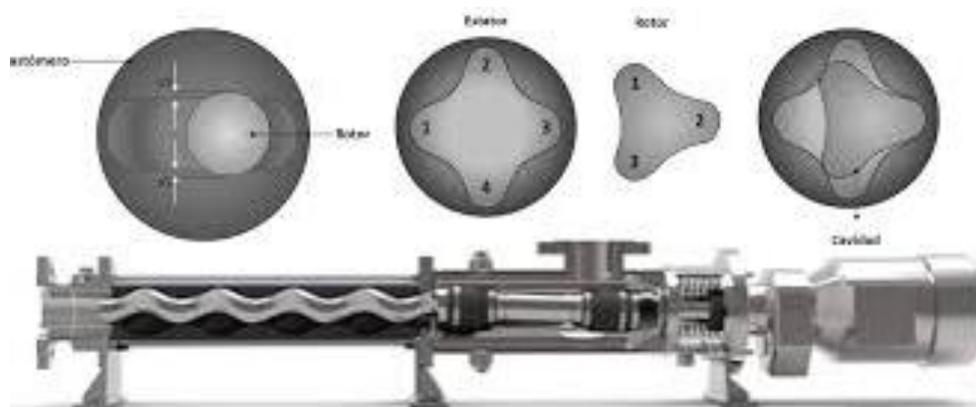


Figura 3 Bomba pcp

Ventajas del bombeo en cavidades progresivas e hidráulico

La tabla 1 que se indica a continuación muestra las ventajas entre los dos tipos de sistemas de producción.

Tabla 1 Ventajas sistema jet y pcp

| Aspecto | Bombeo de Cavidades Progresivas (PCP) | Bombeo Hidráulico |
|---------------------------------|---|---------------------------------------|
| Eficiencia de Extracción | Mayor eficiencia en crudos viscosos y pesados | Menor eficiencia en crudos viscosos |
| Flexibilidad Operativa | Adaptable a diferentes condiciones de pozo | Limitaciones en condiciones variables |

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| Reducción de Presión | Capaz de operar a presiones más bajas | Requiere presiones más altas |
| Costos de Mantenimiento | Menores costos de mantenimiento a largo plazo | Costos de mantenimiento más altos |
| Producción Continua | Permite un flujo continuo y estable | Puede tener fluctuaciones en el flujo |
| Instalación | Instalación más simple y rápida | Instalación más compleja y costosa |
| Efecto Ambiental | Menor impacto ambiental debido a menor uso de agua | Mayor consumo de agua y químicos |
| Capacidad de Manejo de Crudos | Excelente manejo de crudos viscosos y sólidos | Menor capacidad para manejar crudos pesados |

Prueba de laboratorio cavidades progresivas

Según (Jones, 2021) permite determinar las características

Objetivo: Extraer crudos viscosos que presentan alta resistencia al flujo

Método: Creación de cavidades en el reservorio para mejorar la movilidad del petróleo

Procesos de Estimulación: Inyección de vapor o productos químicos para reducir la viscosidad del crudo

Beneficios: Aumenta la eficiencia de extracción y optimiza el uso de recursos en el yacimiento

Monitoreo y Análisis Evaluación de la presión del reservorio y respuesta del crudo a las técnicas de estimulación

Tecnologías Utilizadas: Modelación numérica para predecir el comportamiento del flujo y la interacción entre las cavidades y el crudo

Resultados Esperados Incremento significativo en la recuperación de petróleo, especialmente en yacimientos con alta viscosidad del crudo

Diseño de un rotor y n estator de cavidades progresivas

El diseño de un estator y rotor para bombas de cavidades progresivas (PCP) es fundamental para optimizar la producción de crudos viscosos. Este sistema se indica en la ilustración 4

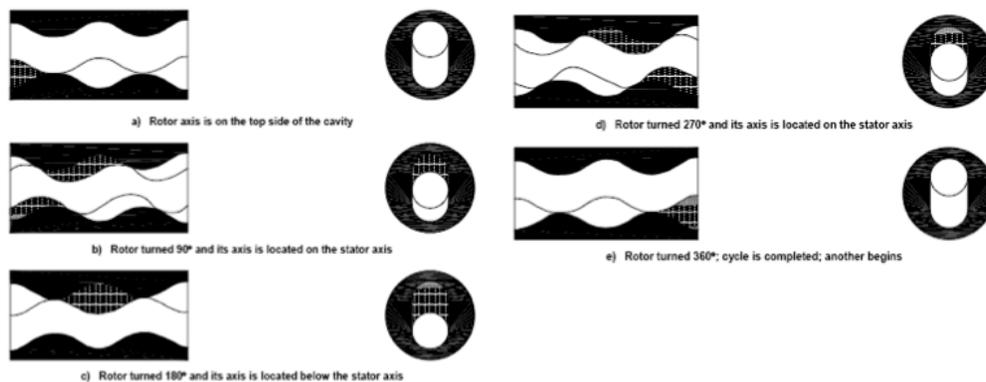


Figura 4 Diseño rotor y estator

Diseño del Rotor

Geometría: El rotor debe tener un perfil helicoidal que permita un ajuste preciso con el estator. La forma del helicoides influye en la eficiencia del bombeo.

Materiales: Debe estar fabricado de materiales resistentes a la corrosión y al desgaste, como aceros aleados o compuestos especiales, para soportar las condiciones del crudo viscoso.

Dimensiones: Las dimensiones del rotor, como el diámetro y la longitud, deben ser elegidas para maximizar el flujo y minimizar la cavitación.

Diseño del Estator

Forma y Configuración: El estator tiene una forma de hélice que complementa el rotor. Su diseño debe permitir la formación de cavidades progresivas que faciliten el desplazamiento del fluido.

Material: Al igual que el rotor, el estator debe ser fabricado con materiales duraderos, y a menudo se recubre para mejorar su resistencia al desgaste.

Tolerancias: Las tolerancias entre el rotor y el estator son críticas; un ajuste demasiado apretado puede aumentar la fricción, mientras que un ajuste demasiado holgado puede reducir la eficiencia.

Cálculo de las Iprs

La curva Ipr en un sistema de producción es la capacidad que tiene un pozo de varias arenas o de una sola en producir grandes cantidades de hidrocarburos. Esta producción es en relación a la presión de fondo fluyente y la capacidad productora con ello se determina un índice de productividad que permita estimar cuando barriles de producción se obtendrá en función del aumento o reducción de la p_{wf}

Cabe recalcar cuando existe una razón gas petróleo el comportamiento de la curva tiende a hacer de manera dual, esto quiere decir una parte se comporta de manera constante mientras que al aparecer la primera burbuja de gas aparece un comportamiento como lo escribe Vogel en la construcción de las curvas de oferta. Cabe recalcar que la mayoría de gráficas tiende a comportarse de esta manera

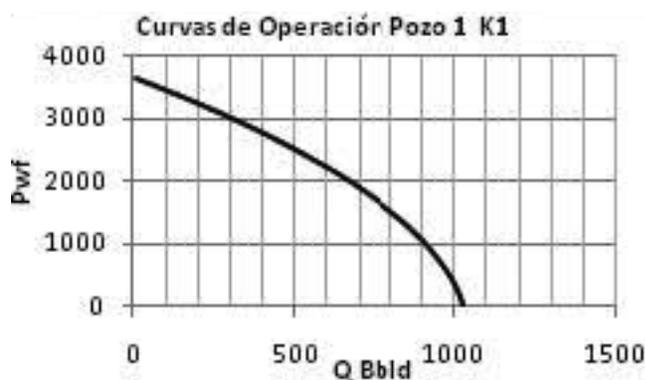


Figura 5 Curva IPRS

Análisis nodal

Sea el caso de la instalación de un sistema de cavidades progresivas el análisis nodal dependerá de 3 variables que se indican a continuación como lo indica (Agarwal, R., & Khan, M. T., 2023)

Presión de fondo

Caudal de fluidos

Velocidad de la bomba

Estas variables citadas permiten que exista una mayor recuperación de los fluidos a medida que se produce a una pwf conocida con la particularidad de que existe una variación en la velocidad de la bomba, la cual va desde 100 revoluciones por minuto hasta las 500 revoluciones, obteniendo de esta manera el mejor aprovechamiento de los recursos hidrocarburíferos.



Figura 6 Análisis de producción

Curvas de declinación de los pozos

En la ilustración 7. Se aprecia en un gráfico de tipo logarítmico como en el eje x el tiempo y la variación de la producción del eje y permiten que exista un valor una declinación de producción que se representa como una curva que disminuye en función del tipo la tasa total (Aragón, 2021)

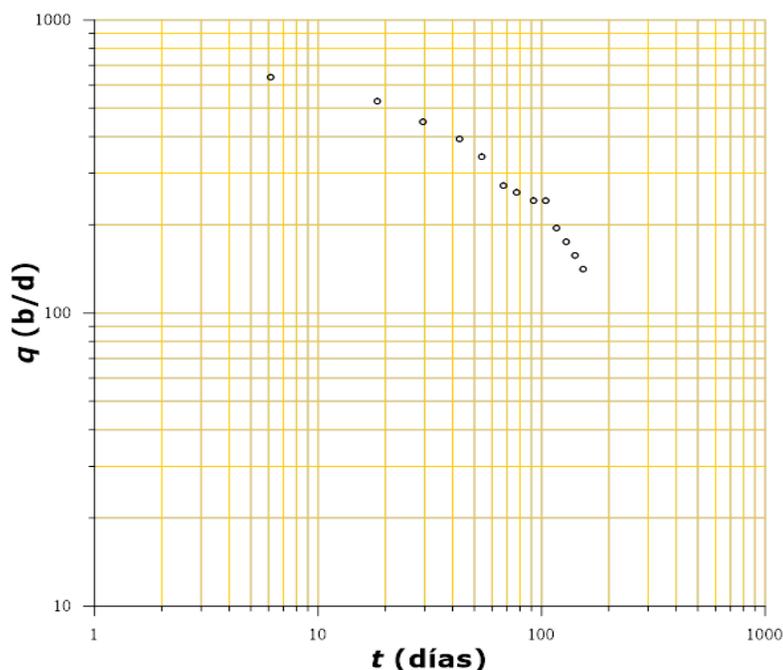


Figura 7 Curva de declinación

Análisis Económico

El indicador económico del VAN & TIR al implementar en una PCP se enfoca en analizar la viabilidad financiera del proyecto. El VAN es el cálculo de la variación entre el valor actual de las entradas previstas en el futuro y los desembolsos iniciales de capital, reduciendo a un tipo de interés. Un VAN positivo señala que los beneficios netos del proyecto serán mayores que la inversión inicial, lo que sugiere viabilidad financiera. Por otro lado, la TIR es la tasa de interés que hace que el valor presente de los flujos de efectivo futuros sea igual al costo de la inversión inicial. Una TIR que supere la tasa de rendimiento mínima necesaria indica que el proyecto es rentable. Un VAN significativo y una TIR alta son indicativos de la rentabilidad del proyecto para el sistema PCP, lo cual está respaldado por su habilidad para procesar crudos viscosos y aumentar la eficiencia operativa. A pesar de ello, es necesario tener en cuenta los gastos iniciales y en curso relacionados con la instalación y el mantenimiento del sistema.. (Jensen, 2023)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de Investigación

La investigación sobre la implementación de un sistema PCP de cavidades progresiva en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 se clasifica como aplicada, experimental y de caso. Aplicada porque busca resolver problemas específicos de producción de crudo mediante la adopción de una tecnología concreta. Experimental debido a que evalúa la eficacia del sistema PCP en condiciones reales, comparando su desempeño con el sistema hidráulico tipo jet. La investigación proporciona una solución práctica para optimizar la producción en un contexto particular.

Diseño de investigación

El diseño de la investigación para evaluar la implementar la bomba PCP en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 se estructura en tres etapas principales. Primero, recopilación de datos: se recopilan datos iniciales sobre las características del crudo, como viscosidad, grado API y contenido de agua y sedimentos, así como el rendimiento actual del sistema hidráulico tipo jet. Segundo, implementación experimental: se instala el sistema PCP en los pozos seleccionados y se monitorizan variables clave como el caudal, la presión, y la eficiencia en el manejo de crudos viscosos. Finalmente, análisis y evaluación entre el sistema hidráulico y el PCP, evaluando mejoras en la tasa de producción, reducción de costos y eficiencia operativa. El análisis también incluye una evaluación económica para determinar la rentabilidad financiera del nuevo sistema.

Selección de muestra

El campo Pucuna será el universo del presente estudio, mientras que la producción de los pozos Pucuna 6 y 17 serán la muestra seleccionada para la implementación de los equipos PCP

Recolección de datos

Características del Crudo: viscosidad (en centipoise), grado API, y contenido de agua y sedimentos (BSW) para comprender la naturaleza del crudo.

Datos del Pozo: presión de fondo, temperatura del pozo, y caudal de producción actual con el sistema hidráulico tipo jet.

Datos del Sistema de Bombeo Actual: especificaciones del sistema hidráulico tipo jet, incluyendo su rendimiento y problemas operativos.

Datos del Sistema PCP: especificaciones de las bombas PCP instaladas, como perfil helicoidal, espaciado y presión de operación.

Costos Operativos: costos de instalación y mantenimiento del sistema PCP frente al sistema actual, incluyendo el costo por barril de crudo tratado.

Indicadores de Desempeño: tasa de producción, eficiencia del bombeo, y reducción de obstrucciones y fallas en el equipo.

Métodos

Para evaluar los equipos PCP en los pozos Pucuna-17 y Pucuna-6, se utilizan varios métodos clave. En primer lugar, se realiza un análisis de datos previos, revisando la información histórica sobre el rendimiento del pozo y el sistema hidráulico tipo jet para establecer una línea base. Luego, se procede con la instalación experimental de las bombas PCP, permitiendo su evaluación en condiciones reales. Durante la operación, se lleva a cabo un monitoreo en tiempo real para medir variables críticas como el caudal, la presión y la eficiencia del bombeo. Se realiza una comparación de rendimiento entre el sistema PCP y el sistema actual, enfocándose en la tasa de producción y los costos operativos. Finalmente, se efectúa un análisis económico, para evaluar

la rentabilidad financiera del nuevo sistema. Estos métodos aseguran una evaluación exhaustiva del impacto de las bombas PCP en la optimización de la producción del pozo.

Análisis de Datos

Implicará la recopilación y comparación de datos operativos antes y después de la implementación del sistema. Se analizarán métricas clave como la viscosidad del crudo, la presión y el caudal de producción, además de los costos asociados con ambos sistemas de bombeo. Los datos históricos del sistema hidráulico tipo jet se compararán con los datos obtenidos del PCP para evaluar mejoras en la eficiencia y reducción de obstrucciones. También se examinarán indicadores económicos. Este análisis permitirá identificar los beneficios operativos y económicos de la nueva tecnología.

Campo Pucuna

Análisis Presión, volumen y temperatura

Los valores de presión temperatura y volumen del Campo Pucuna se aprecian en la tabla 2 donde se observa un grado API de 18 con una relación gas petróleo de 150 pcn/bbl a una temperatura de 190 grados Fahrenheit y una viscosidad de 16 centipoise, cabe recalcar que la densidad del crudo tiene una equivalencia de 59 lb/ft³

Tabla 2 Análisis PVT Pucuna

| PUCUNA | | |
|---------------|---------------------|------------|
| PVT | | |
| API | | 18 |
| GOR | bbl/ft ³ | 150,00 |
| TEMPERATURA | F | 190,00 |
| VISCOSIDAD | cP | 16,00 |
| Densidad Oil | lb/ft ³ | 59,0608696 |

Sistema de fluido cerrado

La ilustración 8 que se indica a continuación indica la configuración del sistema de fluido cerrado del campo Pucuna con la particularidad de circular un fluido motriz limpio que permite equilibrar el porcentaje de salinidad del reservorio U Inferior disminuyendo el porcentaje de corrosión del sistema, cae recalcar que el fluido motriz en el proceso posee las mismas características de la producción actual. El tratamiento del fluido en superficie en grandes capacidades con volúmenes altos y viscosos provoca que sea la operación costosa y difícil de manipular con tasas de inyección equivalentes a

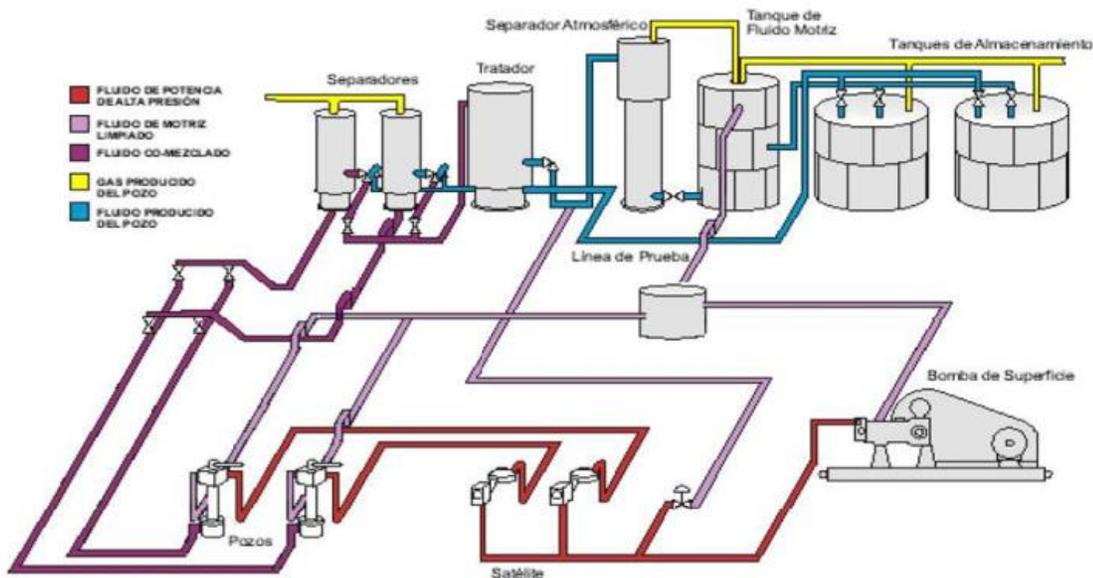


Figura 8 Sistema de fluido motriz Pucuna

Pucuna 17

La evaluación del pozo Pucuna 17 se determina a continuación con la facultad de poder obtener los datos necesarios para el rediseño del sistema de cavidades progresivas, incremento de producción y análisis económico de la aplicación del mismo con la finalidad de determinar los réditos económicos del proyecto. La producción del pozo se suscita en la formación U inferior a

una profundidad de 9663 a 9680 pies en un intervalo de 17 pies, completando con una tubería de 3 ½ grado N80 9,3lb/ft a una profundidad de 9606 pies como se puede observar en el anexo 1.

Historial de producción

En la ilustración 9 se observa la variación de producción del pozo en un intervalo de 4 años en la cual presenta una declinación del 0,002855 mensual obteniendo una producción de petróleo igual a 492,8 barriles, con un bsw del 23% y una producción de agua de 147,2 con una tasa total de fluido equivalente a 640 barriles.

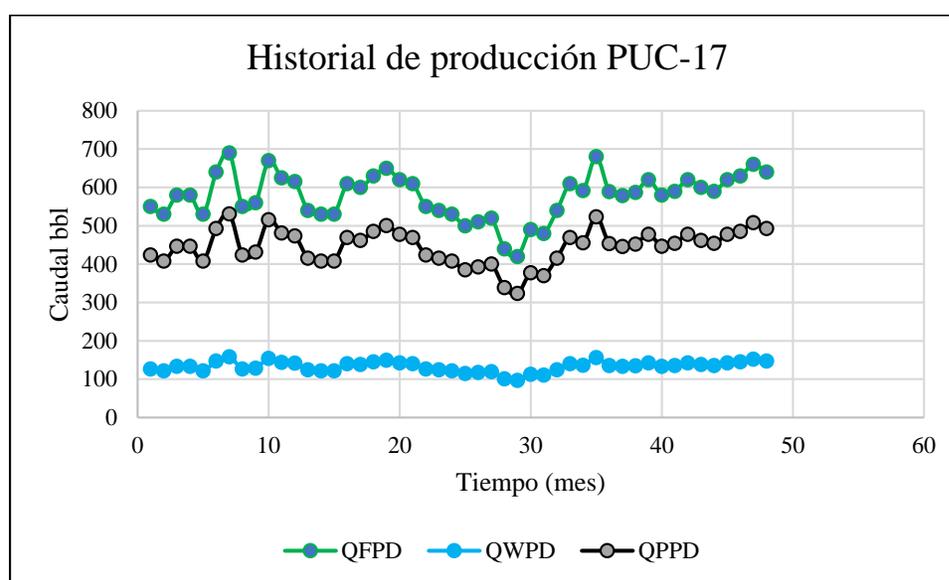


Figura 9 Historial de producción Pucuna 17

Completación del pozo

En la tabla 3 se indica la operación de las relaciones del nozzle E completado en el pozo Pucuna 17 cuyos valores se observan a continuación con un valor A de 0,0962 y un valor R de 0,25 una bomba JET tipo 10E a una profundidad de 9606 pies.

Tabla 3 Dimensiones bomba jet 10E

| | | | |
|----------------------------|--------|------------|------|
| Profundidad | ft | 9000 | |
| Presión de inyección (psi) | A | Eficiencia | R |
| 3000 | 0,0962 | 0,27 | 0,25 |

| SIZE | JET | DD | CC | BBA | A | A+ | BB | B+ | C | C+ | D | E | F | G | H | I |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| MT | AREA | 0,0016 | 0,0028 | 0,0038 | 0,0055 | 0,0075 | 0,0095 | 0,0109 | 0,0123 | 0,0149 | 0,0177 | 0,0241 | 0,0314 | 0,0452 | 0,0661 | |
| OOO | 0,0044 | 0,36 | 0,64 | | | | | | | | | | | | | |
| OO | 0,0071 | 0,224 | 0,399 | 0,543 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0104 | | 0,272 | 0,37 | 0,534 | 0,72 | 0,915 | | | | | | | | | |
| 1 | 0,0143 | | 0,198 | 0,269 | 0,387 | 0,524 | 0,664 | 0,782 | | | | | | | | |
| 2 | 0,0189 | | | 0,204 | 0,294 | 0,397 | 0,504 | 0,577 | 0,65 | | | | | | | |
| 3 | 0,0241 | | | | 0,23 | 0,311 | 0,395 | 0,452 | 0,51 | 0,62 | 0,74 | | | | | |
| 4 | 0,0314 | | | | | 0,239 | 0,303 | 0,347 | 0,39 | 0,48 | 0,56 | 0,77 | | | | |
| 5 | 0,038 | | | | | 0,197 | 0,25 | 0,237 | 0,32 | 0,4 | 0,46 | 0,63 | | | | |
| 6 | 0,0452 | | | | | 0,166 | 0,21 | 0,241 | 0,27 | 0,33 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | | | |
| 7 | 0,0531 | | | | | | 0,205 | 0,23 | 0,28 | 0,33 | 0,45 | 0,59 | | | | |
| 8 | 0,0661 | | | | | | | | | 0,23 | 0,27 | 0,36 | 0,48 | 0,68 | | |
| 9 | 0,0804 | | | | | | | | | 0,19 | 0,22 | 0,3 | 0,39 | 0,56 | | |
| 10 | 0,0962 | | | | | | | | | | | 0,25 | 0,33 | 0,47 | 0,69 | |

Eficiencia de la bomba

Según la figura 10 que se presenta a continuación indica la eficiencia del 27 % que en la gráfica se detalla con el color verde.

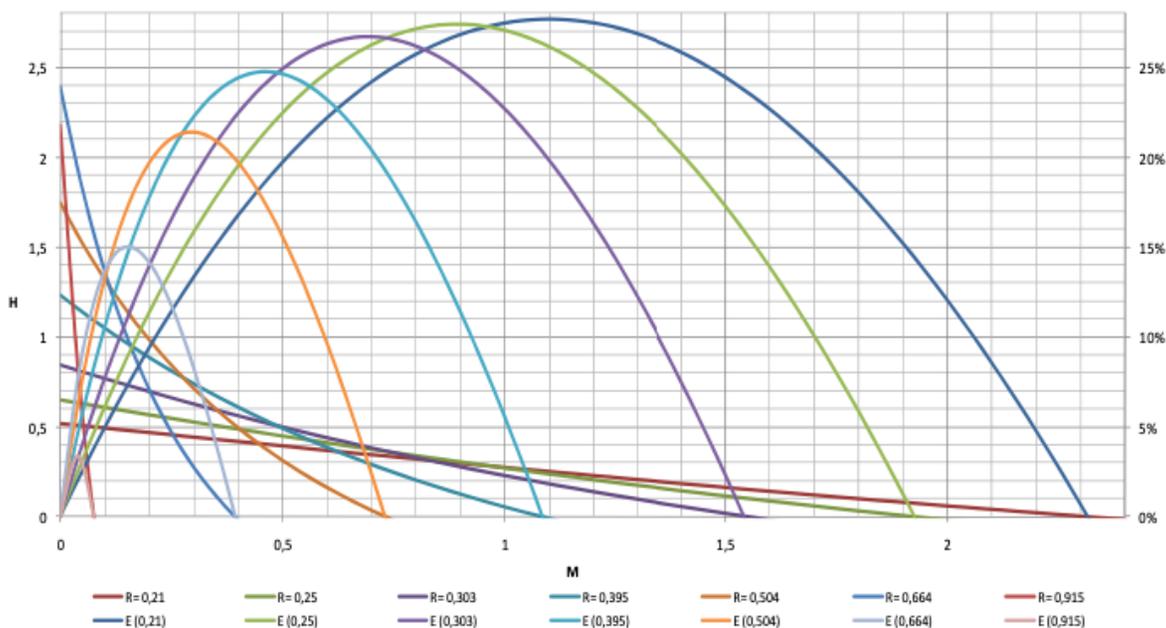


Figura 10 Eficiencia bomba Jet 10E

Capacidad de producción

Con la actual producción del equipo hidráulico se obtiene una producción de 640 barriles de fluido por día a una presión de 1300 bfpd obteniendo un índice de productividad equivalente a 0,91 bfpd/psi. La implementación del manejador de gas también es muy importante ya que a una presión de burbuja de 700 psi se obtiene una tasa máxima de 1188,57 barriles de fluido por día. En la tabla 4 se indica las características de presiones y producción, mientras que en la figura 11 se indica el modelo de la IPR.

Tabla 4 Capacidad de producción Pucuna 17

| Arenisca U Inferior Pucuna 17 | | |
|--------------------------------------|------|---------|
| PRUEBA DE PRODUCCION | | |
| Presión de reservorio (psia) | Pr | 2000,00 |
| PWF (psia) | Pwf | 1300,00 |
| Presión en el punto de burbuja | Pb | 700,00 |
| Tasa de flujo (bfpd) | Qf | 640,00 |
| Índice de productividad (bfpd/psi) | J | 0,91 |
| Caudal máximo (bfpd) | Qmax | 1544,13 |
| Caudal en el punto de burbuja (bfpd) | Qb | 1188,57 |
| Diferencia de presión | PSI | 100,00 |

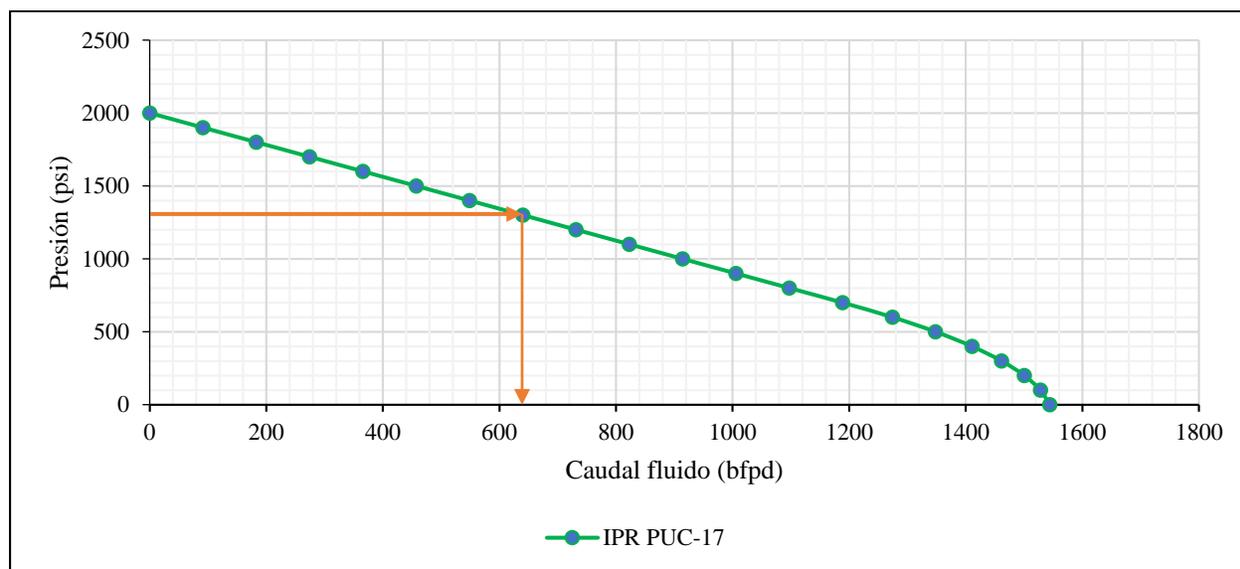


Figura 11 IPR Pucuna 17

Pucuna 06

La evaluación del pozo Pucuna 06 se determina a continuación con la facultad de poder obtener los datos necesarios para el rediseño del sistema de cavidades progresivas, incremento de producción y análisis económico de la aplicación del mismo con la finalidad de determinar los réditos económicos del proyecto. La producción del pozo se suscita en la formación U superior a una profundidad de 9395 a 9403 pies en un intervalo de 8 pies, completando con una tubería de 3 ½ grado N80 9,3lb/ft a una profundidad de 9376 pies como se puede observar en el anexo 2.

Historial de producción

En la ilustración 12 se observa la variación de producción del pozo en un intervalo de 4 años en la cual presenta una declinación del 0,0058 mensual obteniendo una producción de petróleo igual a 446,6 barriles, con un bsw del 23% y una producción de agua de 133,4 con una tasa total de fluido equivalente a 580 barriles

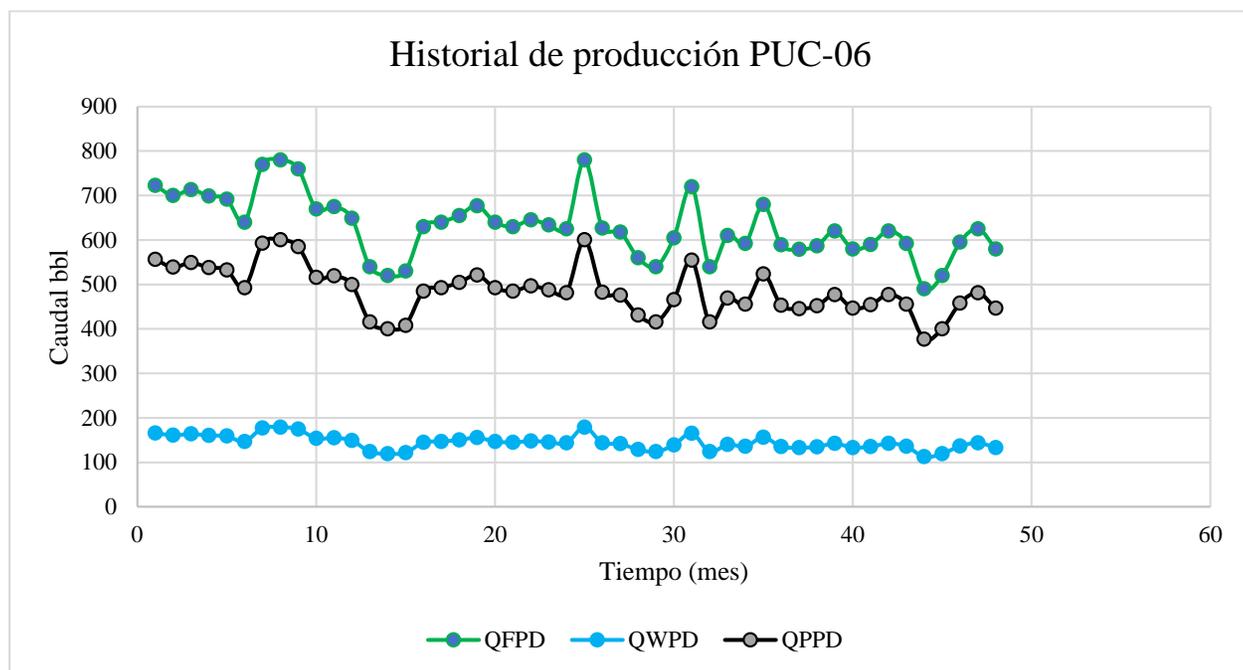


Figura 12 Historial de producción Pucuna 06

Completación del pozo

En la tabla 5 se indica la operación de las relaciones del nozzle E completado en el pozo cuyos valores se observan a continuación con un valor A de 0,0962 y un valor R de 0,25 una bomba JET tipo 3B+ a una profundidad de 9376 pies

Tabla 5 Características bomba jet 3B+

| Profundidad | ft | 9000 | |
|----------------------------|--------|------------|-------|
| Presión de inyección (psi) | A | Eficiencia | R |
| 2500 | 0,0241 | 23% | 0,452 |

| SIZE | JET | DD | CC | BBA | A | A+ | BB | B+ | C | C+ | D | E | F | G | H |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MT | AREA | 0,0016 | 0,0028 | 0,0038 | 0,0055 | 0,0075 | 0,0095 | 0,0109 | 0,0123 | 0,0149 | 0,0177 | 0,0241 | 0,0314 | 0,0452 | 0,0661 |
| OOO | 0,0044 | 0,36 | 0,64 | | | | | | | | | | | | |
| OO | 0,0071 | 0,224 | 0,399 | 0,543 | | | | | | | | | | | |
| O | 0,0104 | | 0,272 | 0,37 | 0,534 | 0,72 | 0,915 | | | | | | | | |
| 1 | 0,0143 | | 0,198 | 0,269 | 0,387 | 0,524 | 0,664 | 0,782 | | | | | | | |
| 2 | 0,0189 | | | 0,204 | 0,294 | 0,397 | 0,504 | 0,577 | 0,65 | | | | | | |
| 3 | 0,0241 | | | | 0,23 | 0,311 | 0,395 | 0,452 | 0,51 | 0,62 | 0,74 | | | | |
| 4 | 0,0314 | | | | | 0,239 | 0,303 | 0,347 | 0,39 | 0,48 | 0,56 | 0,77 | | | |
| 5 | 0,038 | | | | | 0,197 | 0,25 | 0,237 | 0,32 | 0,4 | 0,46 | 0,63 | | | |
| 6 | 0,0452 | | | | | 0,166 | 0,21 | 0,241 | 0,27 | 0,33 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | | |
| 7 | 0,0531 | | | | | | 0,205 | 0,23 | 0,28 | 0,33 | 0,45 | 0,59 | | | |
| 8 | 0,0661 | | | | | | | | 0,23 | 0,27 | 0,36 | 0,48 | 0,68 | | |
| 9 | 0,0804 | | | | | | | | | 0,19 | 0,22 | 0,3 | 0,39 | 0,56 | |
| 10 | 0,0962 | | | | | | | | | | | 0,25 | 0,33 | 0,47 | 0,69 |

Eficiencia de la bomba

Según la figura 13 que se presenta a continuación indica la eficiencia del 23 % que en la gráfica se detalla con el color tomate

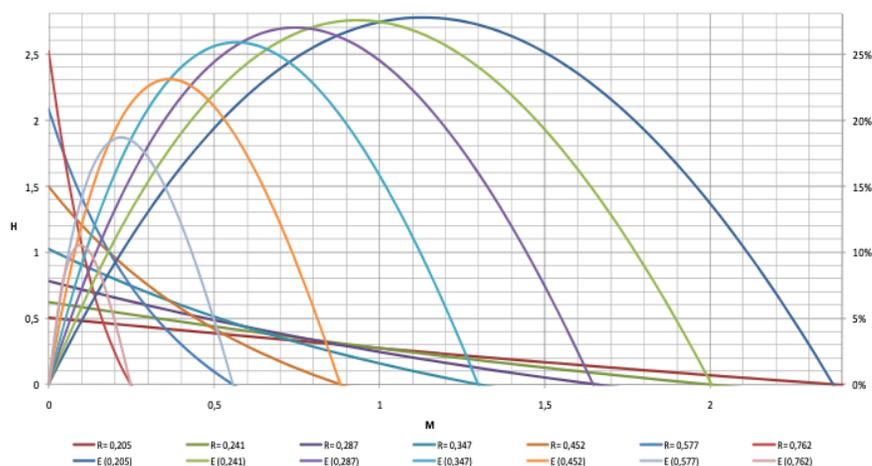


Figura 13 Eficiencia Jet tipo 3B+

Capacidad de producción

Con la actual producción del equipo hidráulico se obtiene una producción de 580 barriles de fluido por día a una presión de 1100 psi obteniendo un índice de productividad equivalente a 0,64 bfpd/psi.

La implementación del manejador de gas también es muy importante ya que a una presión de burbuja de 700 psi se obtiene una tasa máxima de 837,78 barriles de fluido por día.

En la tabla 6 se indica las características de presiones y producción, mientras que en la figura 14 se indica el modelo de la IPR.

Tabla 6 Características de presión y producción Pucuna 06

| Arenisca U superior Pucuna 06 | | |
|--------------------------------------|------|---------|
| Presión de reservorio (psia) | Pr | 2000,00 |
| Presión de fondo fluyente (psia) | Pwf | 1100,00 |
| Presión en el punto de burbuja | Pb | 700,00 |
| Tasa de flujo (bfpd) | Qf | 580,00 |
| Índice de productividad (bfpd/psi) | J | 0,64 |
| Caudal máximo (bfpd) | Qmax | 1088,40 |
| Caudal en el punto de burbuja (bfpd) | Qb | 837,78 |
| Diferencia de presión | PSI | 100,00 |

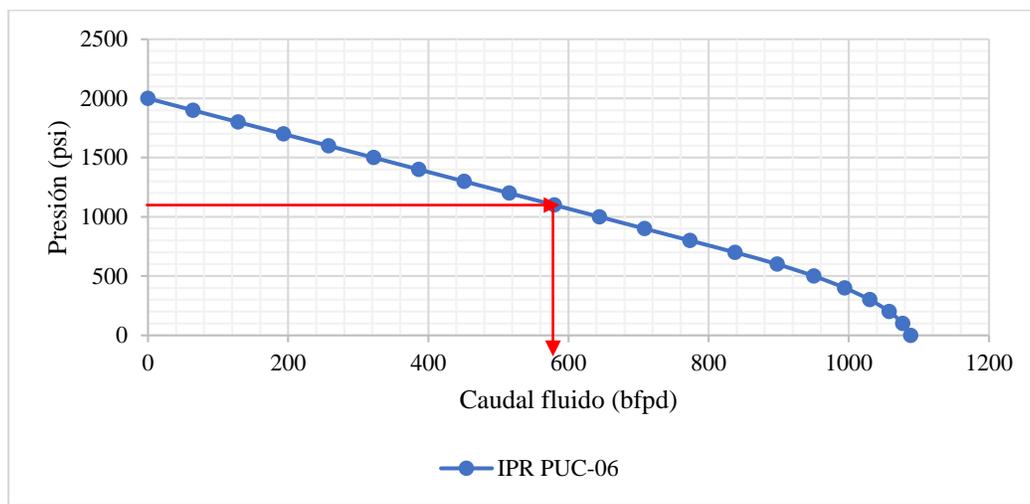


Figura 14 IPR Pucuna 06

Ensayos de laboratorio

Comportamiento de la viscosidad en un sistema de cavidades progresivas

Para simular el movimiento de un fluido viscoso con una viscosidad de 16 centipoise (cP) a una temperatura constante de 190 °F se emplea las ecuaciones de flujo de fluidos en un sistema de cavidades progresivas. Para ello se detalla la metodología simulada en laboratorio donde se establece:

1. Una geometría del sistema de cavidades progresivas con un diseño de un tornillo como estator un cilindro como rotor.
2. Simulación con un caudal de 10 litros/minuto que es equivalente a 0,0001667 m³/s.
3. El cálculo de la velocidad del fluido

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \pi \left[\frac{D}{4} \right]^2$$

$$A = \pi \left[\frac{0,02}{4} \right]^2$$

$$A = 0,000314 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,0001667}{0,000314}$$

$$V = 0,53 \text{ m/s}$$

4. Cálculo de la presión

Se usa la ecuación de Poiseuille para el flujo en un tubo cilíndrico, que se puede simplificar para un fluido newtoniano:

$$P = \frac{8\mu L Q}{\pi r^4}$$

$$P = \frac{(8)(0,016)(1)(0,0001667)}{\pi 0,01^4}$$

$$P = 1,33 \text{ Pa}$$

Los resultados del ensayo en la tabla 7 permiten observar cómo la viscosidad de un fluido afecta el flujo y la presión en un sistema de cavidades progresivas

Tabla 7 Ensayo de flujo de fluidos y cavidades progresivas

| Parámetro | Valor |
|------------------|--------------|
| Viscosidad (cP) | 16 |
| Temperatura (°F) | 190 |
| Caudal (L/min) | 10 |
| Velocidad (m/s) | 0.53 |
| Presión (Pa) | 1,33 |

Comportamiento de la viscosidad en función de la presión y caudal

La tabla 8 indica el comportamiento del fluido al variar el caudal en el ensayo de laboratorio en tres escenarios de viscosidad que experimenta el fluido.

Tabla 8 viscosidad en función de la presión y caudal

| Viscosidad (cP) | Caudal (L/min) | Presión (Pa) |
|------------------------|-----------------------|---------------------|
| 15 | 5 | 1,5 |
| 15 | 10 | 1,2 |
| 15 | 15 | 0,9 |
| 15 | 20 | 0,6 |
| 15 | 25 | 0,3 |
| 16 | 5 | 1,67 |
| 16 | 10 | 1,33 |
| 16 | 15 | 1 |
| 16 | 20 | 0,67 |
| 16 | 25 | 0,33 |
| 17 | 5 | 1,75 |
| 17 | 10 | 1,4 |
| 17 | 15 | 1,05 |
| 17 | 20 | 0,7 |

| | | |
|----|----|------|
| 17 | 25 | 0,35 |
|----|----|------|

A medida que la viscosidad aumenta de 15 a 17 cP, la presión necesaria para mantener el mismo caudal es inversamente proporcional. Para cada viscosidad, la relación entre el caudal y la presión es lineal, lo que significa que el aumento en el caudal incrementa la presión de manera predecible. En aplicaciones donde se manipulan fluidos, es crucial tener en cuenta cómo la viscosidad afecta la presión, especialmente en sistemas de bombeo y transporte de fluidos, ya que influye en la eficiencia y el diseño del sistema. En la figura 15 se observa como el incremento de producción es inversamente a la producción en el ensayo de laboratorio de un fluido de crudo pesado cuya viscosidad es de 15 centipoise, como la producción es inversamente proporcional a presión de fondo que se aplicaría en el reservorio.

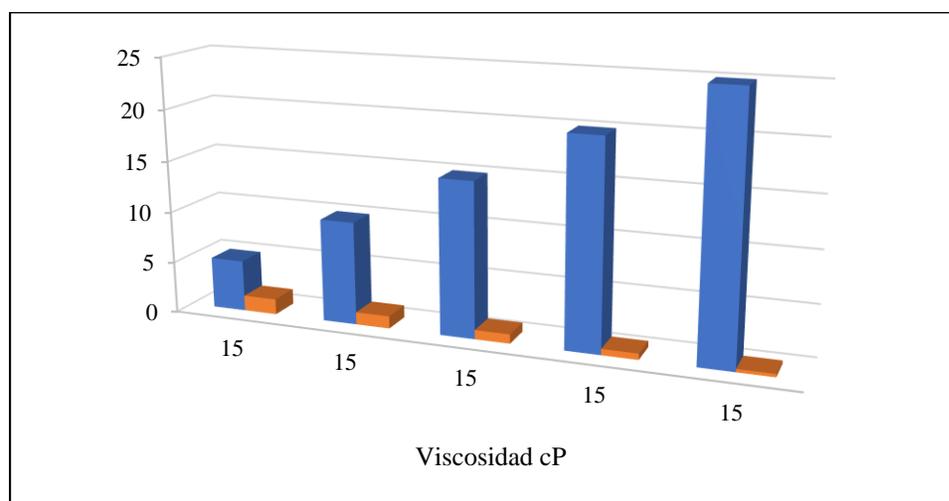


Figura 15 Variación del caudal, presión en función de la viscosidad 15 cP

En la figura 16 se observa como el incremento de producción es inversamente a la producción en el ensayo de laboratorio de un fluido de crudo pesado cuya viscosidad es de 16 centipoise, como la producción es inversamente proporcional a presión de fondo que se aplicaría en el reservorio.

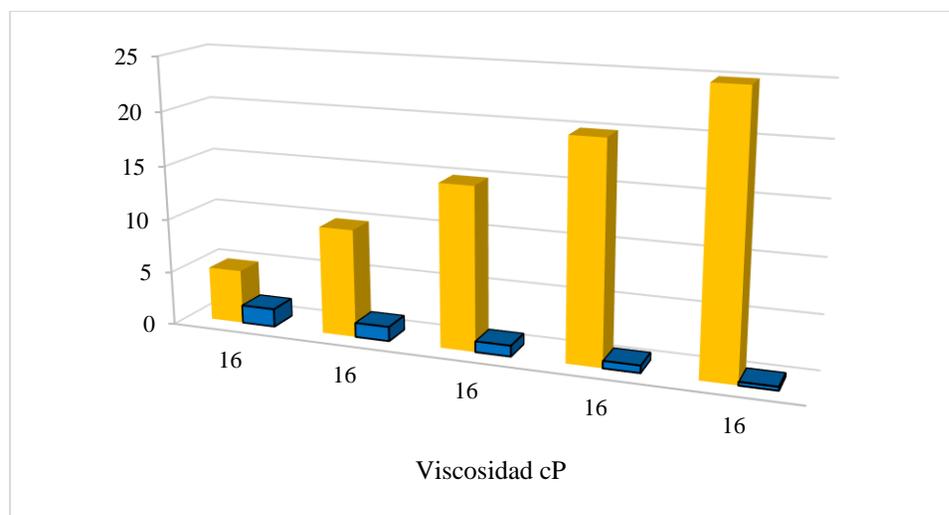


Figura 16 Variación del caudal, presión en función de la viscosidad 16 cP

En la figura 17 se observa como el incremento de producción es inversamente a la producción en el ensayo de laboratorio de un fluido de crudo pesado cuya viscosidad es de 17 centipoise, como la producción es inversamente proporcional a presión de fondo que se aplicaría en el reservorio.

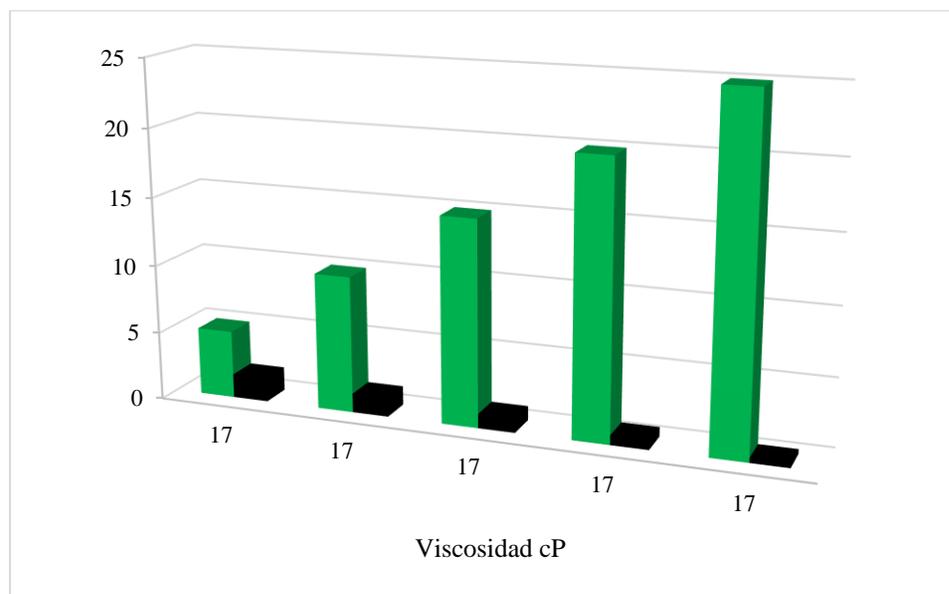


Figura 17 Variación del caudal, presión en función de la viscosidad 16 cP

Concluyendo que debe reducirse la presión de fondo fluvente del reservorio para un manejo y control de fluido viscoso e incrementando la producción a una tasa de manejo optima que se determina en el diseño del sistema de cavidades progresivas a una velocidad dada de revoluciones.

Rediseño del sistema de cavidades progresivas Pucuna 17

A continuación, se indica el diseño del equipo de cavidades progresivas PCP para el pozo Pucuna 017 basándose en cálculos analíticos para la instalación del mismo por medio de la siguiente metodología:

Completación del pozo con PCP

Según la gráfica 18 se observa la completación de la bomba a una profundidad de 9606 pies a una profundidad cercana a la de la formación equivalente a 9680 pies, además de la configuración tubing casing a la profundidad dada.

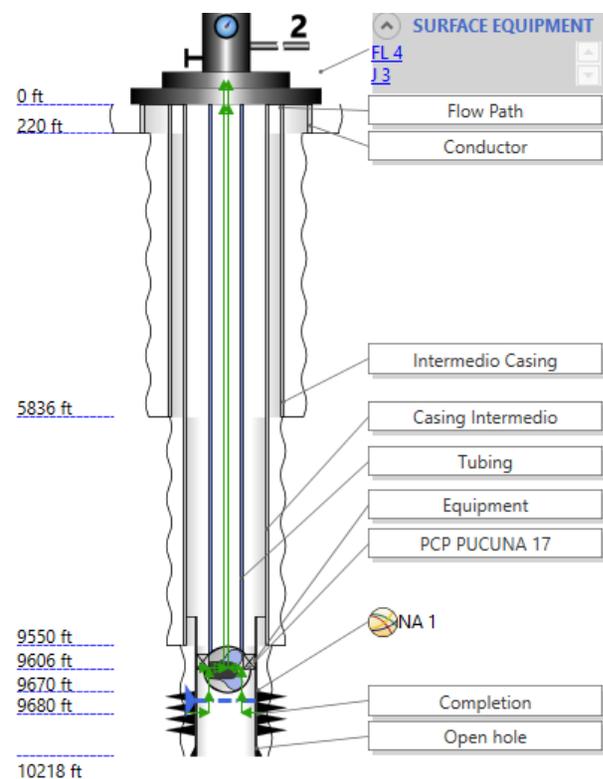


Figura 18 Completación PCP Pucuna 17

Diseño del rotor y estator

Según la figura 19 se observa las dimensiones del rotor y estator del equipo de cavidades progresivas con los siguientes valores de excentricidad del rotor de 0,39 in; paso del rotor 5,90 in, paso de estator 0,75 in el diámetro interno 1,57 in; diámetro exterior de 2,36 in.

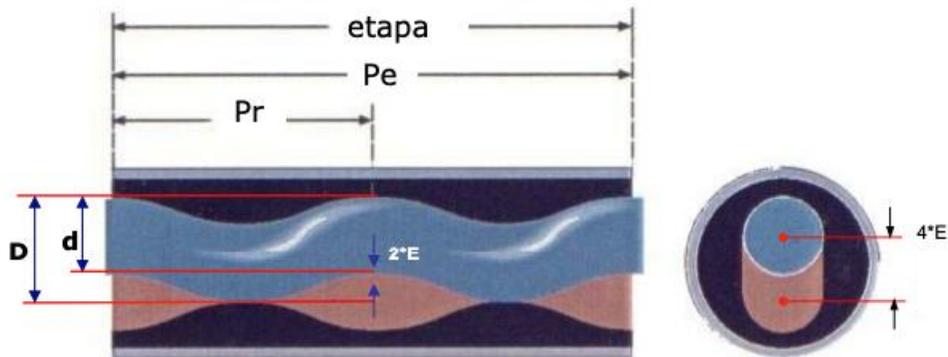


Figura 19 Dimensiones rotor y estator PUC-17

Mientras que el cálculo del área de cada actividad se determina con la siguiente expresión:

$$A = 4 d . E$$

$$A = (4)(1,57 \text{ in})(0,39 \text{ in})$$

$$A = 2,48 \text{ in}^2$$

Para el cálculo del volumen se determina con la siguiente expresión

$$V = A . Pe$$

$$V = (2,48 \text{ in}^2)(0,7574 \text{ in})$$

$$V = 1,87 \text{ in}^3$$

$$V = 307,84 \text{ cm}^3$$

Con el valor calculado se obtiene el caudal en función de la velocidad de rotación DE 300 revoluciones por minuto:

$$Q = V . N$$

$$Q = \frac{(307,84 \text{ cm}^3)(60\text{min})(24\text{h})}{1000000}$$

$$Q = 132,98 \text{ m}^3/D$$

$$Q = \frac{132,98 \text{ m}^3}{D} * 6,28 \text{ bbl/m}^3$$

$$Q = 835,15 \text{ bfpd}$$

Para alcanzar una producción establecida a 300 revoluciones por minuto se genera una producción de 835,15 bfpd con las dimensiones señaladas.

Características de la bomba PCP Weatherford EDM-820-4100

La tabla 9 que se indica a continuación muestra las características de la bomba instalada en el pozo Pucuna 17 cuyo modelo es una EDM-820-4100 de marca Weatherford capaz de levantar 828,4 barriles de fluido por día aun rango operacional de 100 revoluciones por minuto.

Tabla 9 Características PCP Watherford Pucuna-17

| PCP | |
|---|-------------------------------------|
| Name: | PCP PUCUNA 17 |
| Active: | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Measured depth: | 9606 ft |
| Performance data Calculation options | |
| Manufacturer: | Weatherford |
| Model: | EDM 820-4100 |
| Diameter: | 5,5 in |
| Nominal rate: | 828,4 bbl/d |
| Base speed: | 100 rpm |
| Operating speed: | 100 rpm |

Estimación de la producción PC Weatherford

En la figura 20 que se indica a continuación se observa la tasa de producción con la cual opera la bomba seleccionada, cabe recalcar que en el análisis nodal se determinara la presión de

entrada de la bomba y producción a una velocidad dada. Para este caso la bomba opera en un rango de 100 hasta 500 revoluciones por minuto.

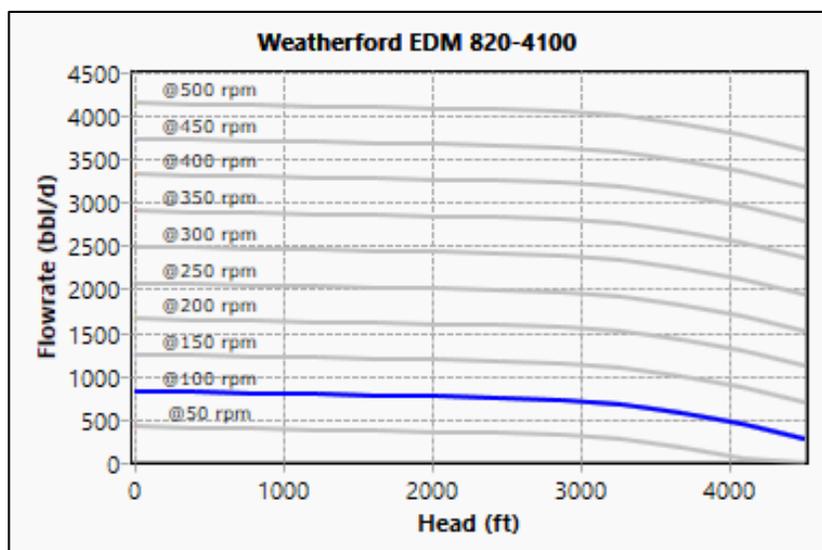


Figura 20 PCP Whaterford operación rpm

Torque

Al transmitir la rotación al rotor desde superficie a través de las varillas de bombeo, la potencia necesaria para elevar el fluido me genera un torque resistivo el cual se observa en el siguiente diagrama un torque de 1400 lb ft y una eficiencia el 31%.

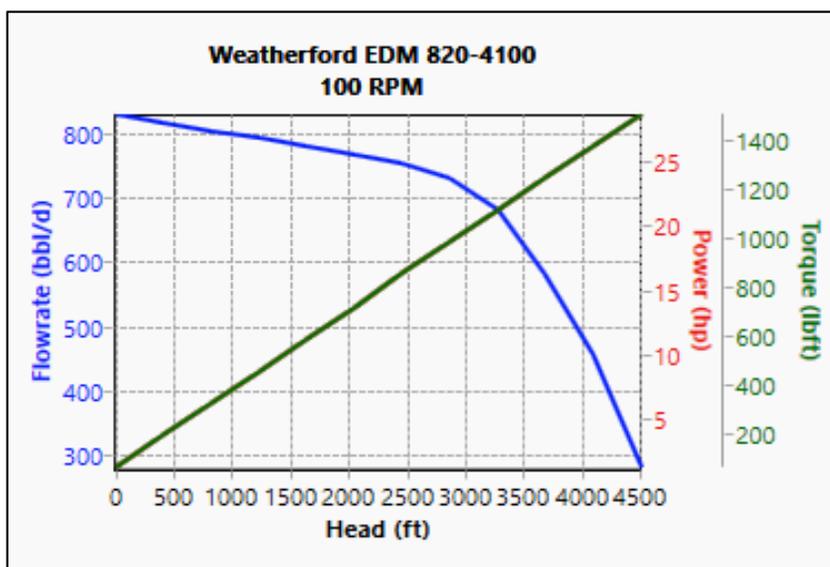


Figura 21 Operación del torque Weatherford EDM 820-4100

Cálculo de la potencia consumida

Con la finalidad de determinar la potencia consumida se establece partir de la siguiente expresión:

Para la bomba PCP se establece un valor de eficiencia del 0,70.

$$Potencia\ consumida = \frac{Potenc.\ hydr}{n}$$

$$Potencia\ consumida = \frac{31}{0,70}$$

$$Potencia\ consumida = 44,86\ Hp$$

Cálculo de esfuerzos axiales

Con la expresión se obtiene el peso de la varilla con una longitud de 256 pies y un peso referencial por pie de 4,3 kg.

$$Peso\ varilla = Longitud * 0,30\ kg/ft$$

$$Peso\ varilla = 856\ ft * 0,30\ kg/ft$$

$$Peso\ varilla = 256\ kg$$

Análisis Nodal Pucuna 17

Al implementar la PCP Weatherford EDM 820-4100 se observa en la figura 22 la capacidad de producción a distintas velocidades, según las pruebas de laboratorio se obtenía un mejor control y anejo de fluidos viscosos al reducir la presión obteniendo un incremento de producción, para este caso se selecciona un rango de operación de 300 revoluciones por minuto obteniendo una producción de 835,58 barriles de fluido a una presión intake de 941 psi como se aprecia en la tabla 10.

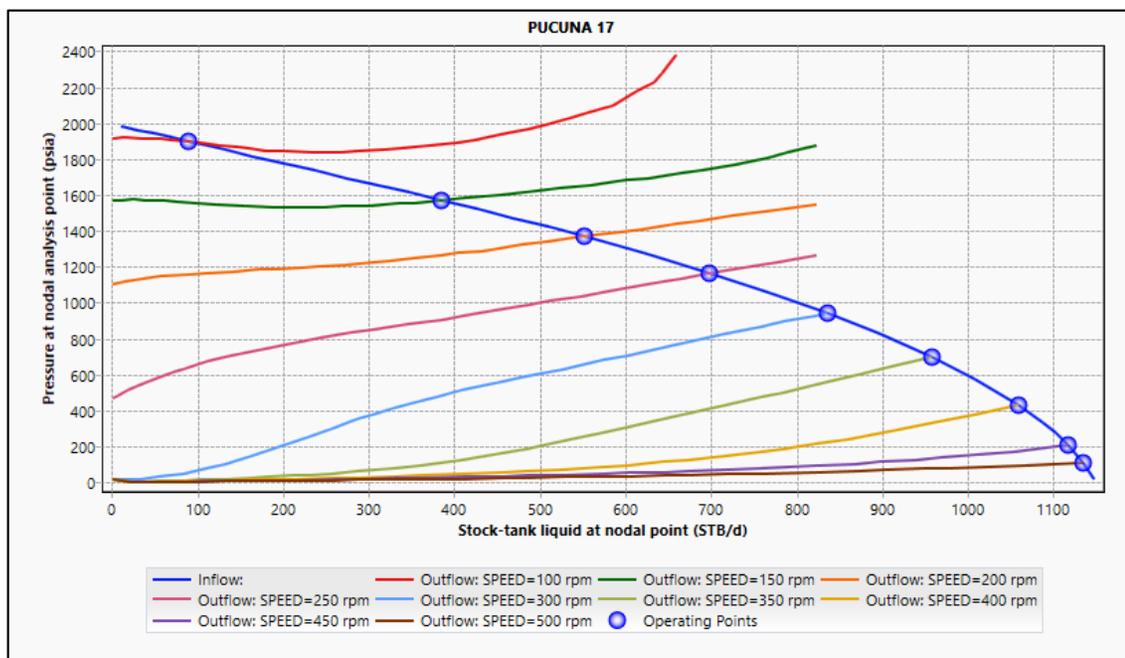


Figura 22 Análisis Nodal Pucuna 17

Tabla 10 Rango de operación PCP Weatherford

| | Operating point | ST Liq. at NA | P at NA |
|---|-------------------------|---------------|----------|
| | | STB/d | psia |
| 1 | SPEED= 100 rpm Flowr... | 88,68824 | 1898,835 |
| 2 | SPEED= 150 rpm Flowr... | 385,007 | 1571,357 |
| 3 | SPEED= 200 rpm Flowr... | 551,628 | 1368,108 |
| 4 | SPEED= 250 rpm Flowr... | 698,6917 | 1163,999 |
| 5 | SPEED= 300 rpm Flowr... | 835,5878 | 942,0103 |
| 6 | SPEED= 350 rpm Flowr... | 958,2395 | 698,26 |
| 7 | SPEED= 400 rpm Flowr... | 1058,723 | 433,3641 |
| 8 | SPEED= 450 rpm Flowr... | 1117,235 | 208,827 |
| 9 | SPEED= 500 rpm Flowr... | 1134,906 | 110,9384 |

Estimación de la producción declinación exponencial

Por medio de la declinación exponencial de la figura 23 se obtiene la producción estimada con una tasa de declinación de 0,002855 mensual obteniendo una producción de petróleo igual a 643,4 barriles, con un bsw del 23% y una producción de agua de 192,18 con una tasa total de fluido equivalente a 835,58 barriles. Con los valores presentados se establece determinar el análisis económico con una estimación de 12 meses.

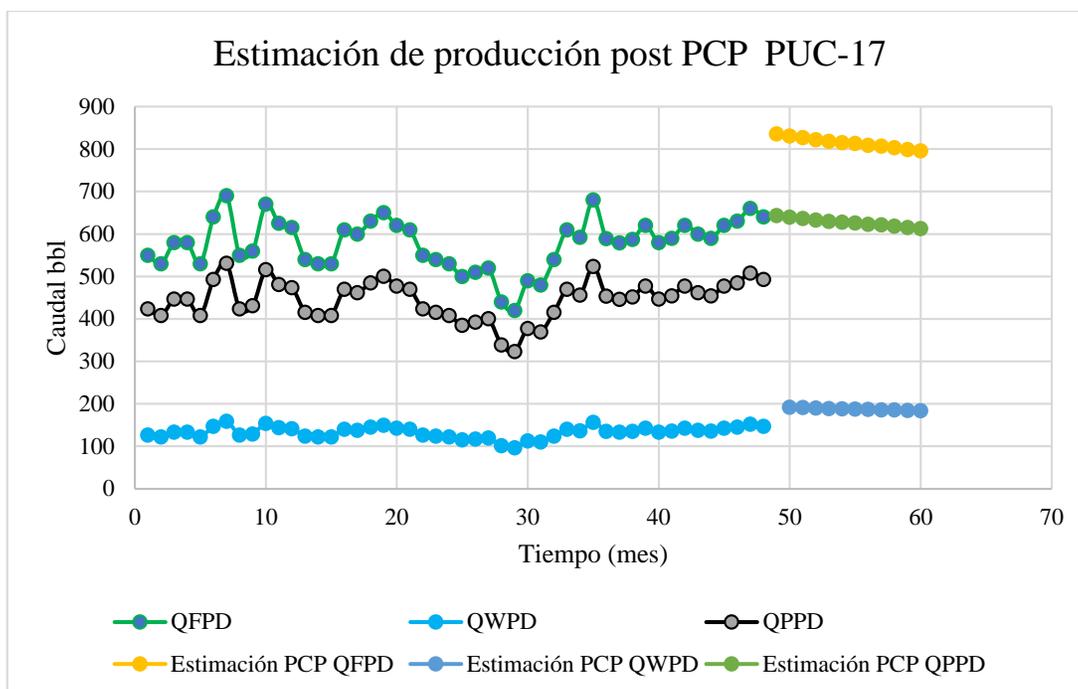


Figura 23 Estimación producción Pucuna 17

Rediseño del sistema de cavidades progresivas Pucuna 06

A continuación, se indica el diseño del equipo de cavidades progresivas PCP para el pozo Pucuna 06 basándose en cálculos analíticos para la instalación del mismo por medio de la siguiente metodología:

Completación del pozo con PCP

Según la gráfica 24 se observa la completación de la bomba a una profundidad de 9606 pies a una profundidad cercana a la de la formación equivalente a 9376 pies, además de la configuración tubing casing a la profundidad dada.

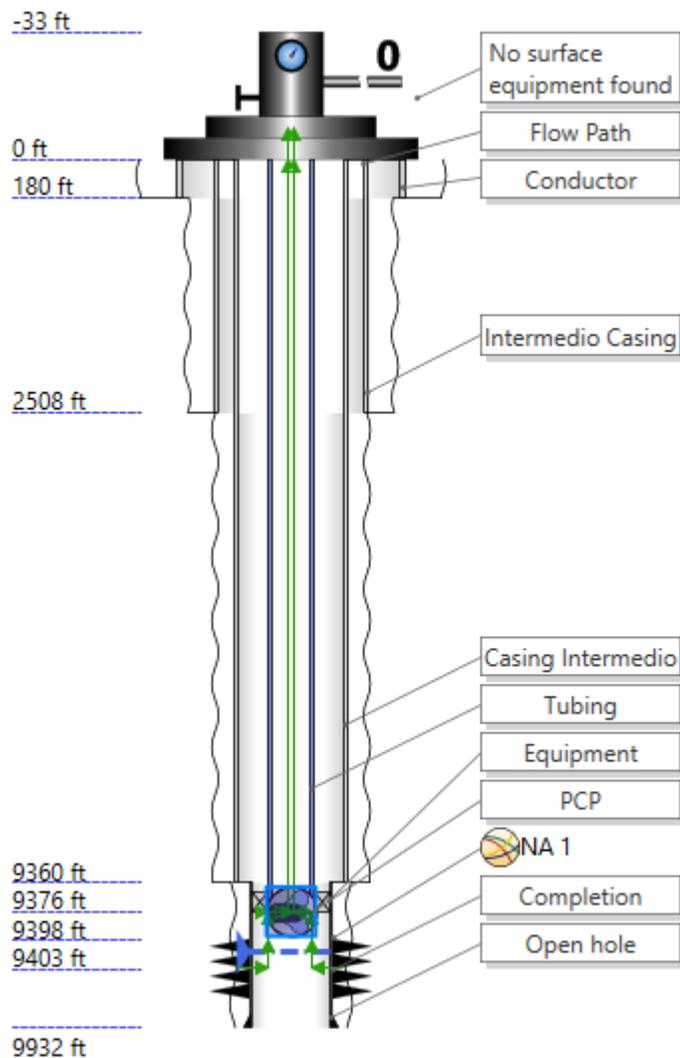


Figura 24 Completación PCP Pucuna 06

Diseño del rotor y estator

Según la figura 25 se observa las dimensiones del rotor y estator del equipo de cavidades progresivas con los siguientes valores de excentricidad del rotor de 0,39 in; paso del rotor 6,29 in, paso de estator 0,91 in el diámetro interno 1,18 in; diámetro exterior de 1,86 in.

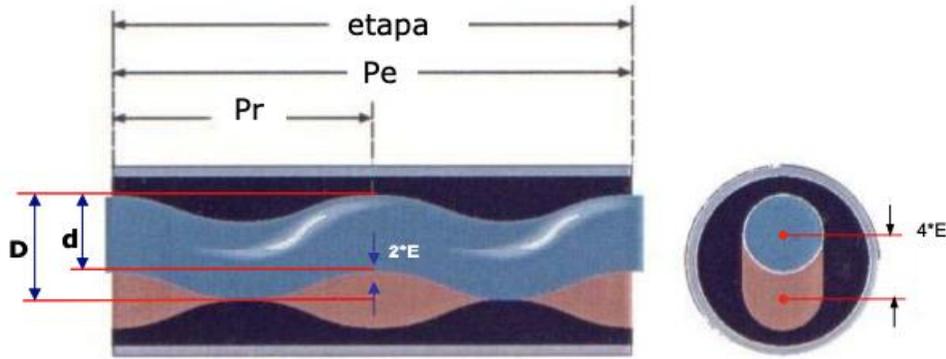


Figura 25 Dimensiones rotor y estator PUC-06

Mientras que el cálculo del área de cada actividad se determina con la siguiente expresión:

$$A = 4 d . E$$

$$A = (4)(1,86 \text{ in})(0,39 \text{ in})$$

$$A = 1,69 \text{ in}^2$$

Para el cálculo del volumen se determina con la siguiente expresión

$$V = A . Pe$$

$$V = (1,69 \text{ in}^2)(0,91 \text{ in})$$

$$V = 1,69 \text{ in}^3$$

$$V = 278,16 \text{ cm}^3$$

Con el valor calculado se obtiene el caudal en función de la velocidad de rotación DE 300 revoluciones por minuto:

$$Q = V . N$$

$$Q = \frac{(278,16 \text{ cm}^3)(60\text{min})(24\text{h})}{1000000}$$

$$Q = 120,16 \text{ m}^3 / D$$

$$Q = \frac{120,16 \text{ m}^3}{D} * 6,28 \text{ bbl} / \text{m}^3$$

$$Q = 754,6 \text{ bfpd}$$

Para alcanzar una producción establecida a 300 revoluciones por minuto se genera una producción de 754,6 bfpd con las dimensiones señaladas.

Características de la bomba PCP KUDA 120 K900

La tabla 11 que se indica a continuación muestra las características de la bomba instalada en el pozo Pucuna 06 cuyo modelo es una 120 K 900 de marca KUDA capaz de levantar 754,78 barriles de fluido por día aun rango operacional de 100 revoluciones por minuto.

Tabla 11 Características PCP KUDA 120K900

| PCP | |
|---------------------|-------------------------------------|
| Name: | PCP PUCUNA 06 |
| Active: | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Measured depth: | 9376 ft |
| Performance data | |
| Calculation options | |
| Manufacturer: | KUDU |
| Model: | 120 K 900 |
| Diameter: | 4,5 in |
| Nominal rate: | 754,78 bbl/d |
| Base speed: | 100 rpm |
| Operating speed: | 100 rpm |

Estimación de la producción PCP KUDA

En la figura 26 que se indica a continuación se observa la tasa de producción con la cual opera la bomba seleccionada, cabe recalcar que en el análisis nodal se determinara la presión intake y producción a una velocidad dada. Para este caso la bomba opera en un rango de 100 hasta 500 revoluciones por minuto.

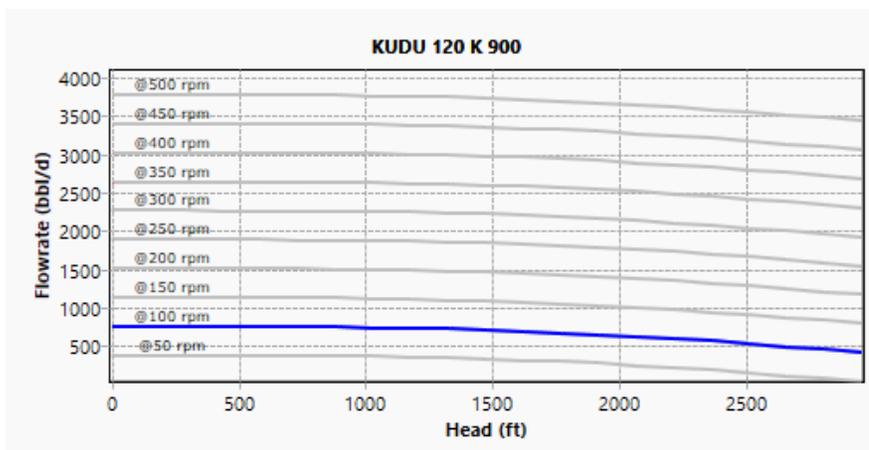


Figura 26 PCP KUDU operación rpm

Torque

Al transmitir la rotación al rotor desde superficie a través de las varillas de bombeo, la potencia necesaria para elevar el fluido me genera un torque resistivo el cual se observa en el siguiente diagrama 27 un torque de 1000 lb ft y una eficiencia del 20%.

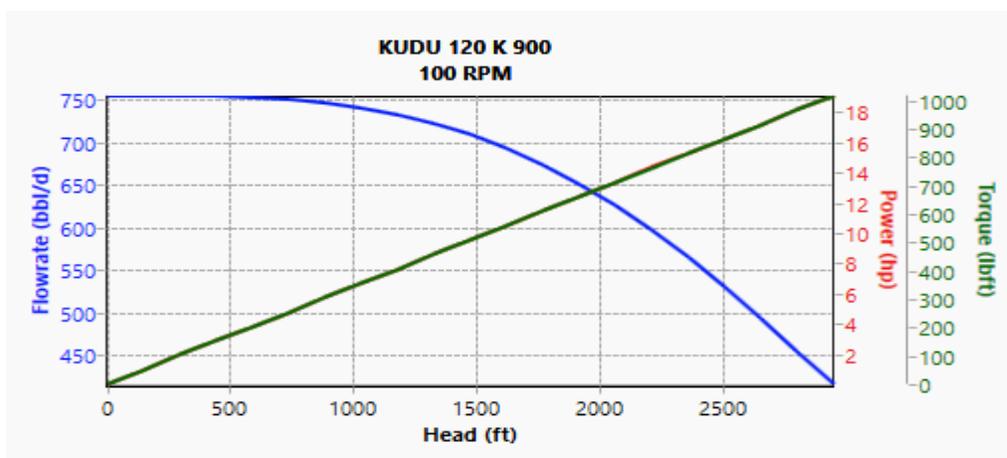


Figura 27 Operación del torque Kudu 120K 900

Cálculo de la potencia consumida

Con la finalidad de determinar la potencia consumida se establece partir de la siguiente expresión. Para la bomba PCP se establece un valor de eficiencia del 0,70.

$$\text{Potencia consumida} = \frac{\text{Potenc. hidr}}{n}$$

$$\text{Potencia consumida} = \frac{20}{0,70}$$

$$\text{Potencia consumida} = 28,57 \text{ Hp}$$

Cálculo de esfuerzos axiales

Con la expresión se obtiene el peso de la varilla con una longitud de 256 pies y un peso referencial por pie de 4,3 kg.

$$\text{Peso varilla} = \text{Longitud} * 0,30 \text{ kg/ft}$$

$$\text{Peso varilla} = 650 \text{ ft} * 0,30 \text{ kg/ft}$$

$$\text{Peso varilla} = 195 \text{ kg}$$

Análisis Nodal Pucuna 06

Al implementar la PCP KUDU 120 K 900 se observa en la figura 28 la capacidad de producción a distintas velocidades, según las pruebas de laboratorio se obtenía un mejor control y anejo de fluidos viscosos al reducir la presión obteniendo un incremento de producción, para este caso se selecciona un rango de operación de 300 revoluciones por minuto obteniendo una producción de 754 barriles de fluido a una presión intake de 790 psi

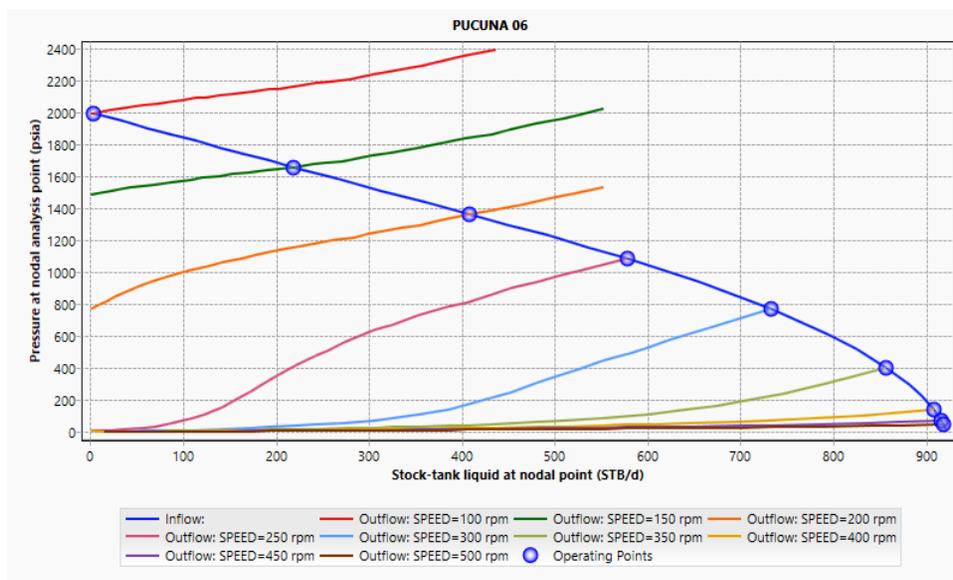


Figura 28 Análisis Nodal Pucuna 06

Estimación de la producción declinación exponencial

Por medio de la declinación exponencial se obtiene la producción estimada con una tasa de declinación de 0,005 mensual obteniendo una producción de petróleo igual a 580,58 barriles, con un bsw del 23% y una producción de agua de 173,42 con una tasa total de fluido equivalente a 754 barriles.

Con los valores presentados se establece determinar el análisis económico en función de la figura 29 que indica la declinación en un rango de 12 meses

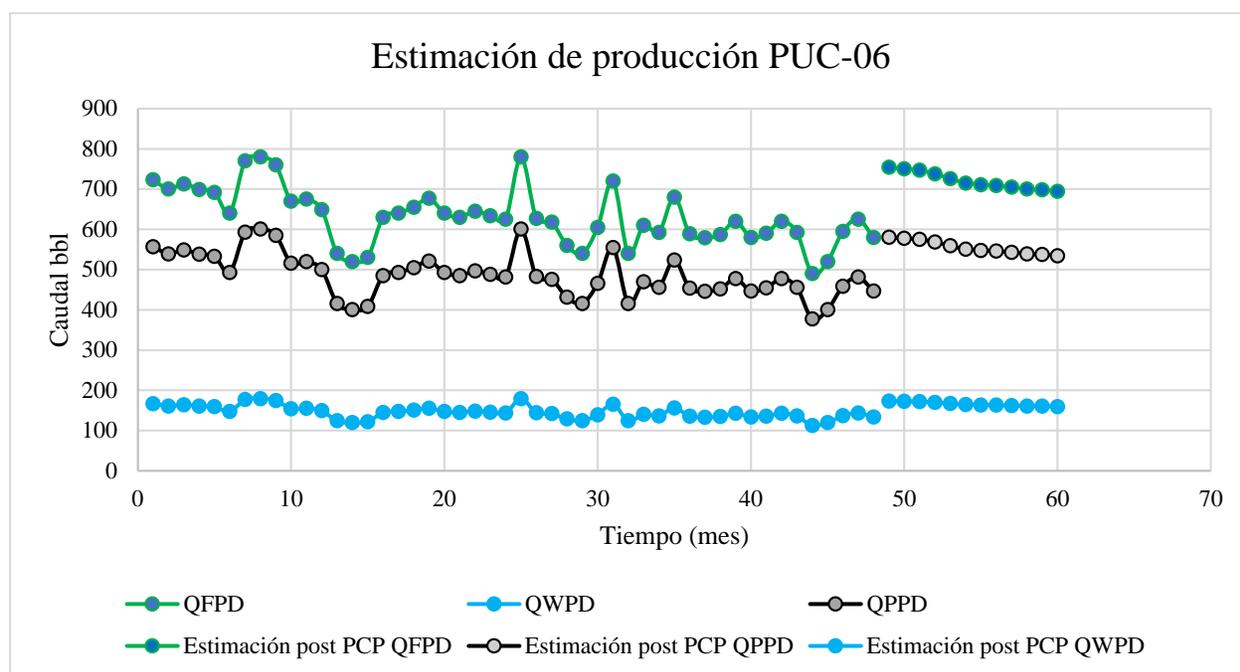


Figura 29 Estimación producción Pucuna 06

Análisis Económico Pucuna 17 & Pucuna 06

Para el desarrollo de los equipos PCP se analiza el escenario económico de los egresos e ingresos que tendrá cada proyecto evaluando la TIR y el VAN para ello se fundamenta en los costos que equivalen la implementación de la misma como se indica en la tabla 12.

Tabla 12 Costos PCP

| Descripción | Costo Estimado | |
|--|-----------------------|---------------------|
| Equipos Principales | | |
| Bombas de cavidad progresiva | \$ | 280.000,00 |
| Motores (eléctrico o diésel) | \$ | 75.000,00 |
| Sistema de control y monitoreo | \$ | 29.000,00 |
| Tuberías y Conexiones | | |
| Tuberías | \$ | 28.000,00 |
| Válvulas y accesorios | \$ | 120.000,00 |
| Instalación y Mano de Obra | | |
| Costos de instalación | \$ | 33.000,00 |
| Costos de ingeniería y diseño | \$ | 190.000,00 |
| Pruebas de Laboratorio | | |
| Pruebas de flujo y presión | \$ | 9.800,00 |
| Análisis de calidad de fluido | \$ | 14.500,00 |
| Costos Adicionales para Condiciones Remotas | | |
| Transporte y logística | \$ | 9.000,00 |
| Sistema de energía (generador solar o diésel) | \$ | 45.000,00 |
| Mantenimiento de infraestructura | \$ | 13.000,00 |
| Total, Estimado | \$ | 846.300,00 |
| TOTAL, ESTIMADO 2 BOMBAS | \$ | 1.692.600,00 |

Mientras que la tabla 13 indica el flujo de caja de la intervención el pozo Pucuna 17 obteniendo un VAN de \$ 6.045.946,23 USD y una TIR del 56%. Finalmente, la tabla 14 indica los indicadores económicos del pozo Pucuna 06 un VAN de \$5.089.634,81 y una TIR del 37%

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

Análisis Técnico Económico

Según la tabla 15 presentada a continuación se estima un incremento de producción al implementar el sistema de cavidades progresivas que se detalla a continuación.

El pozo Pucuna 17 presenta un incremento de producción de petróleo de 150,6 barriles al implementar un sistema PCP WEATHERFORD EDM 820-4100 con una eficiencia del 31% a una velocidad de 300 rpm reduciendo la presión de 1300 a 941 psi según el ensayo en el laboratorio con la finalidad de que exista un manejo y control del crudo pesado. Comparado a la producción inicial del sistema hidráulico JET 10E de 640 barriles de petróleo cuya eficiencia es del 27% a una PWF 1300 psi. La implementación del sistema PCP económicamente refleja un VAN de \$6,045,946.23 este valor positivo indica que el proyecto generará más de \$6 millones en valor adicional sobre la inversión inicial. Mientras que la TIR del 56% implica que, por cada dólar invertido, el proyecto genera \$0.56 de retorno adicional.

El pozo Pucuna 06 presenta un incremento de producción de petróleo de 134,5 barriles al implementar un sistema PCP KUDA 120 K900 con una eficiencia del 20% a una velocidad de 300 rpm reduciendo la presión de 1100 a 790 psi según el ensayo en el laboratorio con la finalidad de que exista un manejo y control del crudo pesado. Comparado a la producción inicial del sistema hidráulico JET 3B+ de 580 barriles de petróleo cuya eficiencia es del 23% a una PWF de 1100 psi. La implementación del sistema PCP económicamente refleja un VAN de \$5,089,634.81. Este valor positivo indica que el proyecto generará más de \$5 millones en valor adicional sobre la inversión inicial. Esto significa que, al descontar todos los flujos de efectivo futuros, el proyecto

no solo recupera la inversión, sino que también proporciona una cantidad significativa de ganancias adicionales. Mientras que la TIR del 37% implica que, por cada dólar invertido, el proyecto genera \$0.37 de retorno adicional. La capacidad de producción se aprecia en la figura 30.

Tabla 15 Resultados sistema JET & PCP

| Parámetro | Pozo | Pucuna 17 | | Pucuna 06 | |
|--------------------------------------|----------|-----------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | | Unidades | Sistema Hidráulico | Sistema Cavidades progresivas | Sistema Hidráulico |
| Presión de reservorio | PSI | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| bsw | % | 23% | 23% | 23% | 23% |
| Presión de fondo | PSI | 1300 | 941 | 1100 | 790 |
| Índice de productividad | BFPD/PSI | 0,91 | 0,91 | 0,64 | 0,64 |
| Caudal de fluido | BFPD | 640 | 835,58 | 580 | 754,78 |
| Caudal de agua | BAPD | 147,2 | 192,1834 | 133,4 | 173,5994 |
| Caudal de petróleo | BPPD | 492,8 | 643,3966 | 446,6 | 581,1806 |
| Incremento de producción de petróleo | BPPD | 0 | 150,5966 | 0 | 134,58 |
| Tipo de Bomba | | JET 10E | PCP WEATHERFORD EDM 820-4100 | JET 3B+ | PCP KUDA 120 K900 |
| Eficiencia | % | 27% | 31% | 23% | 20% |
| VAN | \$ | | \$ 6.045.946,23 | | \$ 5.089.634,81 |
| TIR | % | | 56% | | 37% |

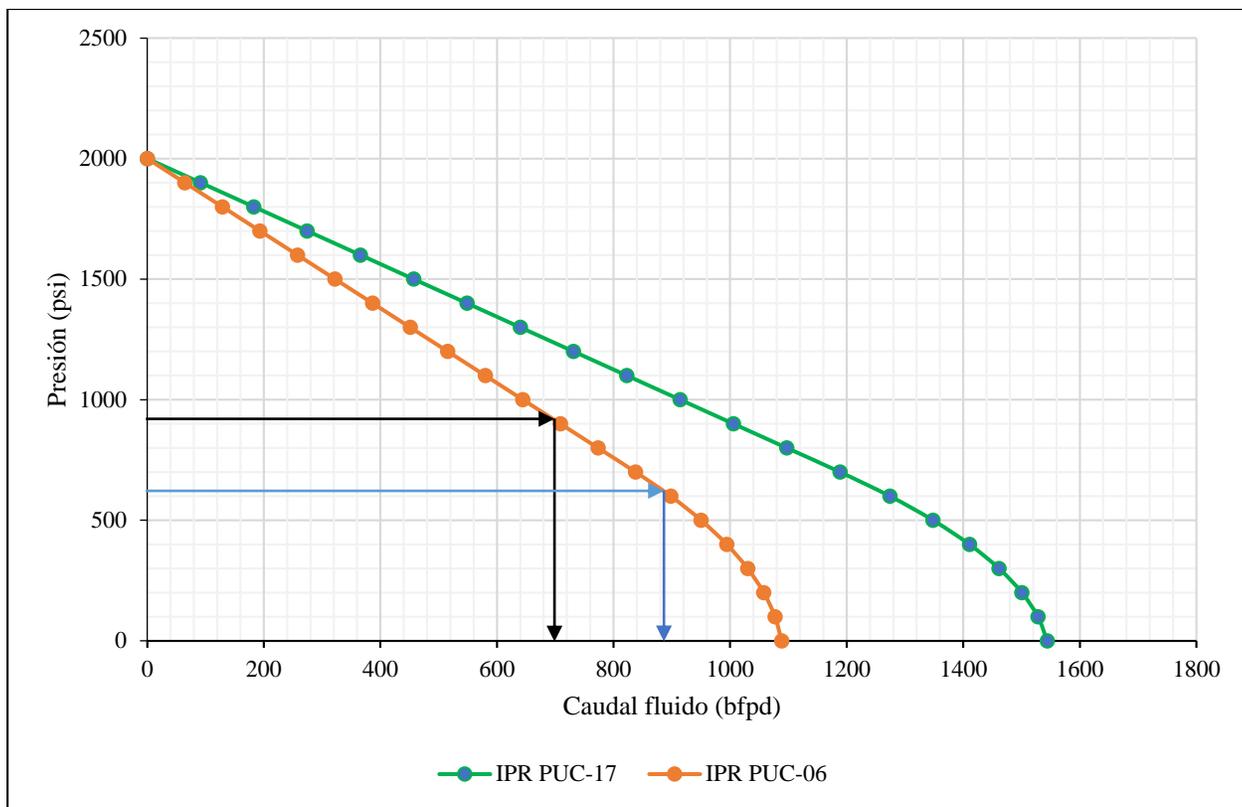


Figura 30 Capacidad de producción

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La evaluación del sistema de bombeo con bombas de cavidad progresiva (PCP) en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17 ha demostrado un incremento significativo en la producción de crudo viscoso. En Pucuna-17, se logró un aumento de 150.6 barriles diarios utilizando el sistema PCP WEATHERFORD EDM 820-4100, lo que supera la producción inicial del sistema hidráulico tipo jet, que era de 640 barriles con una eficiencia del 27%. Este avance resalta la superioridad de los sistemas PCP, mientras que en el pozo Pucuna 06 un incremento de producción de petróleo de 134,5 barriles al implementar un sistema PCP KUDA 120 K900 con una eficiencia del 20%, optimizando el caudal y la eficiencia en comparación con métodos tradicionales.

Desde el punto de vista económico, la implementación de sistemas PCP en ambos pozos presenta resultados altamente favorables. El pozo Pucuna-17 muestra un Valor Actual Neto (VAN) de \$6,045,946.23, lo que indica un valor significativo por encima de la inversión inicial, mientras que el pozo Pucuna-06 también refleja un VAN positivo de \$5,089,634.81. Estos valores demuestran que ambos proyectos no solo recuperarán su inversión, sino que generarán ganancias considerables, haciendo de estos sistemas una opción financieramente atractiva.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) de ambos pozos refuerza aún más la viabilidad de los sistemas PCP. Con una TIR del 56% en Pucuna-17 y del 37% en Pucuna-06, ambos sistemas ofrecen retornos sustancialmente superiores al costo del capital, sugiriendo que, por cada dólar invertido, el proyecto genera retornos significativos. Estos resultados no solo justifican la inversión en tecnología de cavidades progresivas, sino que también posicionan a los pozos para una producción futura sostenible y rentable, maximizando la eficiencia y el manejo de crudos pesados.

Recomendaciones

Para optimizar el rendimiento del sistema de bombeo en los pozos Pucuna-06 y Pucuna-17, se recomienda realizar un análisis continuo de los flujos de producción y ajustar los parámetros operativos de las bombas PCP. Implementar un programa de monitoreo en tiempo real permitirá identificar desviaciones en la eficiencia y realizar ajustes proactivos. Además, se sugiere considerar la instalación de sistemas de recuperación de energía para maximizar la eficiencia general del sistema. La capacitación del personal en el manejo y mantenimiento de estas tecnologías es crucial para garantizar un funcionamiento óptimo y reducir el tiempo de inactividad. Finalmente, realizar pruebas periódicas de los fluidos y su comportamiento permitirá adaptar las operaciones a las características específicas de cada pozo.

Desde el punto de vista económico, es fundamental establecer un análisis de costo-beneficio detallado que contemple tanto los beneficios a corto como a largo plazo de la implementación de sistemas PCP. Se recomienda diversificar las fuentes de financiamiento, explorando asociaciones público-privadas y financiamiento internacional que permita cubrir las inversiones iniciales. Además, es vital realizar estudios de mercado para prever cambios en la demanda de crudo y ajustar las estrategias de producción en consecuencia. También se debe considerar la posibilidad de invertir en tecnologías que reduzcan los costos operativos, como la automatización de procesos y la digitalización de datos, para mejorar la toma de decisiones y optimizar los recursos disponibles.

En el contexto político y ambiental de Ecuador, se sugiere implementar prácticas sostenibles que minimicen el impacto ambiental de las operaciones petroleras. Esto incluye la adopción de tecnologías más limpias y la reducción de emisiones mediante el uso de sistemas de monitoreo ambiental. Además, es crucial involucrar a las comunidades locales en la toma de

decisiones y en los beneficios del proyecto, fomentando un diálogo abierto y transparente que fortalezca la confianza y la aceptación social. La elaboración de un plan de gestión ambiental robusto que contemple acciones de mitigación y compensación es esencial para alinearse con las regulaciones ambientales y las expectativas de la sociedad. Esto no solo beneficiará la reputación de la empresa, sino que también ayudará a navegar el complejo entorno político y social del país.

Referencias Bibliográficas

- Rodríguez, M. A. (2024). Challenges and solutions in the Pucuna oil field: A case study of high-viscosity crude production. . *Journal of Petroleum Engineering*, 2.
- Kumar, R., & Patel, S. (2023). Challenges and solutions in hydraulic pumping of high-viscosity crude oil. . *Journal of Petroleum Technology*, 4.
- Smith, J. A., & Lee, R. T. (2023). Performance and limitations of jet pump systems in oil extraction. *Journal of Petroleum Engineering*, 9.
- Brown, A. J., & Miller, D. L. (2023). Advantages and considerations in the application of progressive cavity pumps for heavy oil extraction. *Journal of Petroleum Technology*, 8.
- Agarwal, R., & Khan, M. T. (2023). Nodal analysis in oil and gas production optimization: Methods and applications. *Journal of Petroleum Engineering*, 80(3), 45-58., 13.
- Jensen, C. L. (2023). Economic analysis of progressive cavity pump installations: VAN and IRR considerations. *Journal of Petroleum Economics*, 11.
- Cloete, D. J., & Lant, P. A. (2018). *Pumping Systems: Design and Optimization*. New York: McGraw-Hill.
- Jones, R. L. (2021). Progressive cavity systems for the production of viscous crude oil. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 8.
- Aragón, A. (2021). Análisis de declinación de la producción para la caracterización de yacimientos. *Scielo*, 20.
- Lopez. (2012). Análisis de la geología estructural del campo Pucuna en la producción de hidrocarburos. *ESP*, 13.

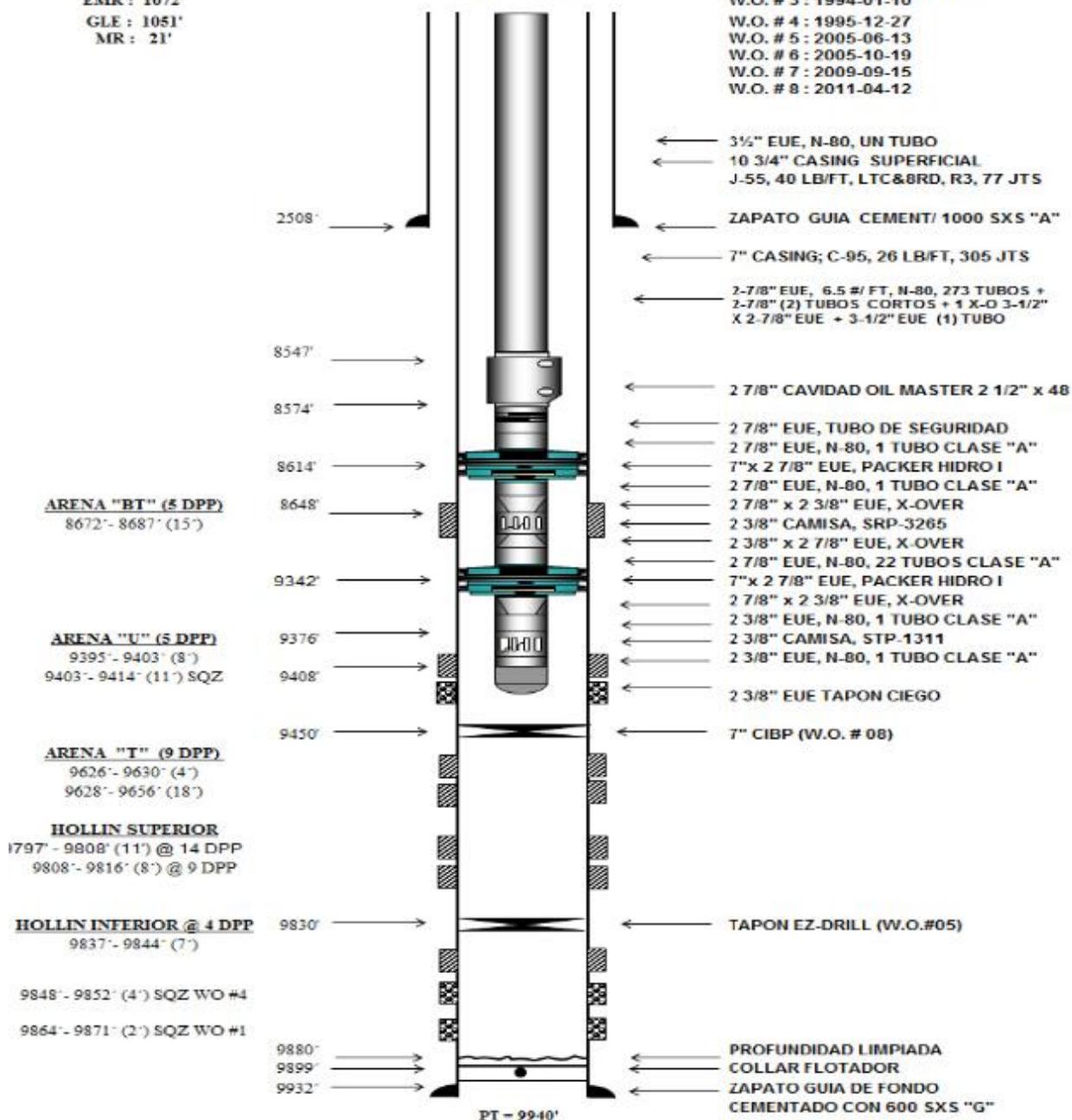
ANEXOS

PUCUNA # 06

W.O. # 08

EMR : 1072'
GLE : 1051'
MR : 21'

COMPLETACIÓN : 1989-03-29
W.O. # 3 : 1994-01-10
W.O. # 4 : 1995-12-27
W.O. # 5 : 2005-06-13
W.O. # 6 : 2005-10-19
W.O. # 7 : 2009-09-15
W.O. # 8 : 2011-04-12



PT - 9940'

PUCUNA 17-D

COMPLETACION Y PRUEBAS INICIALES

