



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA APLICACIÓN DE SENSORES  
DE NIVEL EN POZOS DE BAJA PRODUCCIÓN EN EL CAMPO GUSTAVO  
GALINDO VELASCO**

**AUTOR**

**Guale Ricardo, Jenny Patricia**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

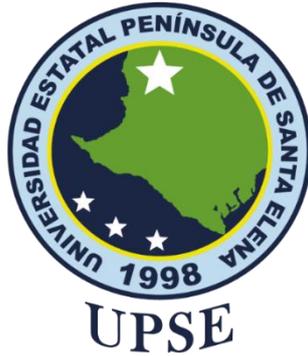
**Previo a la obtención del grado académico en  
MAGÍSTER EN PETRÓLEOS**

**TUTOR**

**Malavé Carrera, Carlos Alfredo**

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Fidel Chuchuca Aguilar, MSc.  
COORDINADOR DEL PROGRAMA**

---

**Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc.  
TUTOR**

---

**Ing. Carlos Portilla Lazo, MSc.  
DOCENTE ESPECIALISTA 1**

---

**Ing. Christian Sánchez Rodríguez, MSc.  
DOCENTE ESPECIALISTA 2**

---

**Ab. María Rivera González, Mgtr.  
SECRETARIA GENERAL UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por JENNY PATRICIA GUALE RICARDO, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Petróleos.

**TUTOR**

---

**Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc**

**20 días del mes de noviembre del año 2023**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **JENNY PATRICIA GUALE RICARDO**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, **EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA APLICACIÓN DE SENSORES DE NIVEL EN POZOS DE BAJA PRODUCCIÓN EN EL CAMPO GUSTAVO GALINDO VELASCO** previo a la obtención del título en Magíster en Petróleos, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 20 días del mes de noviembre del año 2023

**EL AUTOR**

---

**Jenny Patricia Guale Ricardo**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA APLICACIÓN DE SENSORES DE NIVEL EN POZOS DE BAJA PRODUCCIÓN EN EL CAMPO GUSTAVO GALINDO VELASCO, presentado por la estudiante, JENNY PATRICIA GUALE RICARDO fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 8 %, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS <i>magister</i>			
<b>TESIS PARA COMPILATIO - JENNY GUALE</b>		<b>8%</b> Textos sospechosos	<b>8% Similitudes</b> < 1% similitudes entre comillas <b>0% Idioma no reconocido</b> <b>0% Textos potencialmente generados por la IA</b>
Nombre del documento: TESIS PARA COMPILATIO - JENNY GUALE.docx ID del documento: 261ca989711a37300bd0b6505efd87316669a54b Tamaño del documento original: 144,34 KB	Depositante: CARLOS ALFREDO MALAVE CARRERA Fecha de depósito: 22/11/2023 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 22/11/2023	Número de palabras: 12.553 Número de caracteres: 80.319	

Ubicación de las similitudes en el documento:

**TUTOR**

---

**Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO  
DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, JENNY PATRICIA GUALE RICARDO**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales del informe de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 20 días del mes de noviembre del año 2023

**EL AUTOR**

---

**Jenny Patricia Guale Ricardo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios infinitamente y a todas las personas que contribuyeron de alguna manera en el proyecto de mi tesis.

Especialmente a mis padres, hermana y esposo que me dieron ese apoyo y confianza a lo largo de este proceso.

Agradezco al Ing. Cristhian Sánchez por las facilidades y apertura al Campo Gustavo Galindo Velasco.

Por último, al Ing. Carlos Malavé por formar parte de este trabajo por sus sugerencias y guía.

*Jenny Patricia, Gual Ricardo*

## **DEDICATORIA**

A mi familia por brindarme su amor y por ser mi fuente constante motivación a seguir.

A mis Padres por enseñarme cada día el valor, el esfuerzo, y la perseverancia sin duda ellos han sido fundamental para alcanzar un logro más en mi vida.

A mi hermana por ayudarme con el cuidado de mis hijos por el tiempo invertido en ellos, gracias por siempre estar dispuesta a apoyarme.

*Jenny Patricia, Guale Ricardo*

# ÍNDICE GENERAL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	IV
DECLARO QUE:.....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVI
RESUMEN .....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	6
1.1 Ubicación geográfica del Campo Gustavo Galindo Velasco .....	6
1.1.2 Geología .....	7
1.1.3 Estructura geológica y litología.....	7

1.2	Historia de producción del Campo .....	11
1.3	Descripción operativa del sistema por Bombeo Mecánico .....	13
1.4	Características de los pozos de Bombeo Mecánico .....	15
1.4.1	Profundidad .....	15
1.4.2	Diámetro de tubing en los pozos .....	15
1.4.3	Revestimiento .....	15
1.4.4	Varillas de bombeo .....	16
1.4.5	Sistema de control.....	16
1.4.6	Bombas RWAC .....	16
1.5	Nivel de fluidos en un pozo .....	20
1.5.1	Nivel Estático (NE).....	20
1.5.2	Nivel Dinámico (ND).....	20
1.5.3	Sumergencia .....	21
1.6	Software Echometer analizador de pozos .....	21
1.6.1	Registro acústico de nivel con el Software TAM.....	23
1.6.2	Prueba de presión mini Buildup (condiciones dinámicas) TAM .....	25
1.6.3	Presión de fondo con el equipo Echometer .....	26
1.7	Importancia de los sensores .....	26
1.7.1	Tipos de sensores en el Campo petrolero.....	26
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA .....</b>		<b>28</b>
2.1	Contexto de la investigación .....	28
2.2	Diseño y alcance de la investigación .....	28
2.3	Tipo y métodos de investigación.....	28
2.4	Población y muestra.....	29
2.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29

2.5.1	Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información .....	29
2.6	Evaluación o screening del Sistema de Bombeo Mecánico.....	30
2.5.2	Análisis de las características de completaciones de pozos de Bombeo Mecánico.....	31
2.5.3	Análisis de las características de yacimiento obtenidas por medios de registros del Echometer .....	34
2.5.4	Análisis de Características de Fluidos .....	35
2.5.5	Análisis de equipo de superficie y de fondo.....	36
2.5.6	Análisis del cable del sensor de nivel .....	38
2.5.7	Análisis de Abrazaderas .....	38
2.5.8	Análisis de las bombas trabajando al vacío.....	38
2.7	Procedimiento de Cálculo de presión en el fondo del pozo .....	39
2.7.1	Ecuación que utiliza el Software TAM para obtener la Presión de la columna de gas	
	40	
2.7.2	Ecuación que utiliza Echometer para obtener la Presión de la columna de interfase gas-líquido .....	41
2.7.3	Ecuación que utiliza Echometer para obtener la Presión de la columna de interfase líquido-gaseosa.....	42
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>44</b>
3.1	Pozos candidatos para la implementación del sensor de nivel de fondo .....	44
3.2	Resultados de Evaluación de Parámetros para aplicar el sensor de nivel.....	47
3.2.1	Parámetros considerados en el análisis de Completación de pozos.....	47
3.2.3	Parámetros considerados en el análisis del equipo Echometer .....	48
3.2.4	Reportes de cartas dinamométricas.....	50

3.3	Equipos de fondo a instalar .....	55
3.3.1	Sensor de nivel y cable a utilizar en el proyecto .....	55
3.4	Alternativa de fuente de alimentación para el sensor de fondo.....	56
3.4.1	Sistema de Energización Solar en el Sistema de Bombeo Mecánico .....	56
3.5	Equipos de superficie Sistema de Energización y Control .....	57
3.5.1	Motor Lorentz Ecdrive sin escobillas 4000-CS PJ .....	58
3.5.2	Controlador de bomba.....	58
3.5.3	PV Disconnect. ....	59
3.6	Criterios y beneficios de instalación del sensor de nivel .....	61
3.7	Configuración de la Plataforma Lorentz Global .....	62
3.7.1	Panel Lorentz Global .....	64
3.7.2	Localización satelital.....	65
3.7.3	Gráfica de operación .....	67
3.8	Costos de implementación de sensores de nivel en pozos seleccionados.....	67
3.8.1	Alternativa de costos de instalación para Pozos de Bombeo Mecánico Móvil.....	70
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>76</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .....	11
<b>Tabla 2</b> .....	13
<b>Tabla 3</b> .....	18
<b>Tabla 4</b> .....	19
<b>Tabla 5</b> .....	33
<b>Tabla 6</b> .....	35
<b>Tabla 7</b> .....	37
<b>Tabla 8</b> .....	44
<b>Tabla 9</b> .....	47
<b>Tabla 10</b> .....	48
<b>Tabla 11</b> .....	68
<b>Tabla 12</b> .....	68
<b>Tabla 13</b> .....	69
<b>Tabla 14</b> .....	69
<b>Tabla 15</b> .....	70
<b>Tabla 16</b> .....	71
<b>Tabla 17</b> .....	71
<b>Tabla 18</b> .....	72
<b>Tabla 19</b> .....	72
<b>Tabla 20</b> .....	73
<b>Tabla 21</b> .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> .....	6
<b>Figura 2</b> .....	7
<b>Figura 3</b> .....	10
<b>Figura 4</b> .....	12
<b>Figura 5</b> .....	14
<b>Figura 6</b> .....	21
<b>Figura 7</b> .....	22
<b>Figura 8</b> .....	23
<b>Figura 9</b> .....	24
<b>Figura 10</b> .....	25
<b>Figura 11</b> .....	27
<b>Figura 12</b> .....	27
<b>Figura 13</b> .....	27
<b>Figura 14</b> .....	31
<b>Figura 15</b> .....	32
<b>Figura 16</b> .....	41
<b>Figura 17</b> .....	43
<b>Figura 18</b> .....	45
<b>Figura 19</b> .....	46
<b>Figura 20</b> .....	49
<b>Figura 21</b> .....	50

<b>Figura 22</b> .....	51
<b>Figura 23</b> .....	52
<b>Figura 24</b> .....	53
<b>Figura 25</b> .....	54
<b>Figura 26</b> .....	56
<b>Figura 27</b> .....	57
<b>Figura 28</b> .....	58
<b>Figura 29</b> .....	59
<b>Figura 30</b> .....	60
<b>Figura 31</b> .....	61
<b>Figura 32</b> .....	63
<b>Figura 33</b> .....	63
<b>Figura 34</b> .....	64
<b>Figura 35</b> .....	65
<b>Figura 36</b> .....	66
<b>Figura 37</b> .....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A</b> .....	82
<b>Anexo B</b> .....	83
<b>Anexo C</b> .....	83
<b>Anexo D</b> .....	83
<b>Anexo E</b> .....	83
<b>Anexo F</b> .....	83
<b>Anexo G</b> .....	83
<b>Anexo H</b> .....	83
<b>Anexo I</b> .....	83

## RESUMEN

El desarrollo investigativo comprende implementar un sensor de nivel de fondo a pozos de baja productividad del Sistema de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico del Campo Ancón. El objetivo fue evaluar parámetros mediante un screening para optimizar las operaciones del sistema, determinando las características y parámetros óptimos para la instalación. La Plataforma Lorentz Global controlará de manera remota el proceso de extracción del fluido, para el encendido y apagado automático del balancín. Otro factor primordial es el aprovechamiento de Paneles Solares para la generación de energía para el funcionamiento de los motores de extracción de crudo.

Los resultados fueron factibles para el uso del sensor en pozos con profundidades menores a 1500 ft y casing mayor a 5 ½ in, garantizando un funcionamiento ideal, en las instalaciones de fondo y en las de superficie del pozo. Esto, además permitirá impulsar la innovación y desarrollo tecnológico en la operación del Campo.

**Palabras claves:** Sensor de Nivel, Pozos de Bombeo Mecánico, Paneles Solares.

## **ABSTRACT**

The research development comprises the implementation of a bottom level sensor to low productivity wells of the Artificial Lifting System by Mechanical Pumping of the Ancon Field. The objective was to evaluate parameters through a screening to optimize system operations, determining the optimal characteristics and parameters for the installation. The Lorentz Global Platform will remotely control the fluid extraction process, for automatic on and off of the rocker arm. Another important factor is the use of Solar Panels for the generation of energy used for the operation of the crude oil extraction engines.

The results were feasible for the use of the sensor in wells with depths less than 1500 ft and casing greater than 5½ in, guaranteeing an ideal operation in the downhole and surface installations of the well. This will also allow promoting innovation and technological development in the operation of the field.

**Keywords:** Level Sensor, Mechanical Pumping Wells, Solar Panels.

## INTRODUCCIÓN

La producción en la industria hidrocarburífera implica múltiples etapas, por lo tanto, constantemente se requiere innovar en tecnologías que permitan controlar las operaciones.

En Ecuador, la extracción de petróleo comenzó en el Bloque 2 del Campo Gustavo Galindo Velasco (GGV), donde la propia energía del yacimiento permitía que el fluido se elevara a la superficie sin la ayuda de un mecanismo de levantamiento. Sin embargo, a medida que ha transcurrido el tiempo, ha sido esencial implementar sistemas de levantamiento artificial debido a que la presión del yacimiento ha disminuido y ha afectado la vida productiva del Bloque.

El equipo de ingeniería del Campo GGV ha optado por la implementación del sistema por Bombeo de Cavidades Progresivas (BCP), dando como resultado la optimización operativa en la producción gracias a los sensores de nivel de fluido que poseen en fondo. Al analizar los componentes de los que se encuentra constituida la bomba BCP, se pudo determinar la necesidad de realizar el estudio técnico para aplicar los sensores de niveles de fluidos en pozos de características similares, en este caso aquellos de Bombeo Mecánico (BM), son pozos que operan gran parte con este mecanismo de producción, y a causa de la labor constante surgen problemas en las bombas de subsuelo, fallas humanas, reparaciones frecuentes. Y por el excesivo trabajo se ha propuesto un sistema de automatización al Campo.

La propuesta tiene como objetivo aplicar el sensor de nivel de fondo a la unidad de Bombeo Mecánico mejorando la eficiencia de la bomba a fin de alargar la vida útil de la misma.

La metodología de estudio es realizar un screening a los pozos y en base a aquello analizar las características y condiciones que permitan aplicar la nueva tecnología al sistema de Bombeo Mecánico. A continuación, se detalla parámetros a estudiar Característica del pozo (Benavides J., 2015) (rangos de profundidad, diámetros de tuberías, desviación de pozos), característica del

fluido (fluido viscoso, corrosivos), (Obregon k., 2019) característica del yacimiento (volumen del fluido, producción de gas).

El resultado de este proyecto permitirá monitorear de manera confiable la variable de nivel en el fondo del pozo de forma remota, (Meneses J., García J., 2015) lo que facilitará su operación.

Además, esto posibilitará estar informados de cualquier falla en el encendido o apagado del equipo, recibir alertas, verificar variables del sistema en tiempo real y contar con datos para tomar decisiones de problemas a futuro.

Esta innovación inteligente optimizará tiempo de operación, extenderá la vida útil de la bomba y mejorará la economía del Bloque.

### **Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)**

El sistema por Bombeo Mecánico por su larga historia y por su facilidad operacional actual es el método más popular y usado en la industria petrolera a nivel mundial. La mayoría de las fallas asociadas con los sistemas de levantamiento artificial pueden atribuirse a cualquiera de los tres componentes principales del fondo del pozo: la bomba, varilla de bombeo (Xing, 2016), y sarta de la tubería de producción. Las fallas de la bomba del subsuelo, las varillas de bombeo o los tubos es definida como cualquier evento catastrófico que requiere que el personal de servicio extraiga o reemplace uno o más de estos componentes de forma inmediata.

En el Ecuador debido a su simplicidad y robustez en su unidad, manejo e instalación, es posible su aplicación en casi todos los tipos de pozos que requieren levantamiento artificial. Sin embargo la medición del nivel dinámico del fluido es de gran importancia durante el proceso de producción de petróleo en pozos de bombeo con varillas (S. Chen et al., 2023), pero es una de las deficiencias de este método principalmente de no lograr una medición en tiempo real, donde debe calcularse para cada pozo afectando la producción, es por ello requiere de nuevos equipos que logren obtener

un cronograma de trabajo eficiente y obtener un mejor rendimiento del equipo de fondo .(B. Chen & Gao, 2021)

En el Campo Gustavo Galindo Velasco un gran número de pozos opera mediante este sistema de Bombeo Mecánico a partir de un ciclo en función del nivel que tiene el pozo, de esta manera determina los ciclos de trabajo al balancín según la producción acumulada hay pozos que operan por balancín portátil y fijos. Estos periodos de trabajo no son tan reales, hay días que el yacimiento aporta fluido y otros periodos que el yacimiento no cumple con lo esperado. En ocasiones la bomba podría trabajar en vacío debido a la rapidez de recuperación de los niveles de fluido, ocasionando fallas del sistema por golpes de bomba y unidades bloqueadas por gas trabajando en seco(Martínez I., 2013) (daños en la operatividad), generando calentamiento del motor y a la bomba con el tiempo ocasionarían paradas o mantenimientos que dan lugar a costos de operación inesperados, (Calderón A., 2014).

- **Justificación**

La presente investigación se enfocará en el estudio del uso de un sensor a partir de la identificación de las consecuencias ligadas al tiempo de recuperación de niveles en el pozo.

La instalación de estos sensores de nivel adaptados al sistema de Bombeo Mecánico facilitará la supervisión del pozo y permitirá realizar el apagado y encendido del balancín. Resultando esencial y beneficioso para el operador, el equipo de ingeniería, y resolver de manera inmediata inconvenientes operativos que pudieran resultar en incidentes, todo esto monitoreado desde una plataforma Lorentz Global. (Merchan A., 2010)

El estudio evitará que las bombas trabajen en vacío, dando confiabilidad al funcionamiento gracias a los sensores de nivel.

## **Formulación del problema de investigación**

¿El uso del sensor de nivel en el fondo del pozo del Sistema de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico optimizará las operaciones del Campo?

### **Objetivo General:**

Evaluar los parámetros para la aplicación de sensores de nivel en pozos de baja producción mediante un screening para optimizar las operaciones del Sistema de Bombeo Mecánico en el Campo Gustavo Galindo Velasco

### **Objetivos Específicos:**

- Identificar cinco pozos de baja productividad que den cumplimiento a las condiciones requeridas para el uso del sensor de nivel de fondo al sistema de Bombeo Mecánico para su instalación.
- Establecer los problemas, factores y características de la integridad de los pozos del sistema de Bombeo Mecánico, mediante cartas dinamométricas.
- Establecer los criterios de instalación del sensor de nivel de fondo en pozos del Campo Gustavo Galindo Velasco, que permite ser monitoreada por medio de la plataforma Lorentz Global mediante la data móvil o PC.
- Evaluar los beneficios de la aplicación del sensor de nivel en pozos seleccionados para el encendido y apagado automático del balancín.

### **Planteamiento hipotético**

Los prototipos de sensores colocados en los pozos han logrado que compañías internacionales a cargo de grandes campos petroleros aumenten la producción y reduzcan los costos operativos de los pozos. El sistema de bombeo mejorará la eficiencia e interacción de todos sus elementos: el equipo de superficie, el equipo de subsuelo, y el yacimiento.

La implementación e innovación de sensores de nivel de fondo en pozos de baja productividad del Bloque 2 Gustavo Galindo Velasco permitirá optimizar el sistema operativo de Bombeo Mecánico, de tal manera que disminuyan los riegos operacionales, disminuya costos por gastos de herramientas.

Al ser ejecutado estos proyectos en la actualidad, se logrará establecer una operación altamente eficiente mediante la utilización de un sistema computarizado de recolección de datos, respaldado por sensores adecuados y un conjunto de programas de análisis. (Núñez K., & Vargas L, 2013)

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

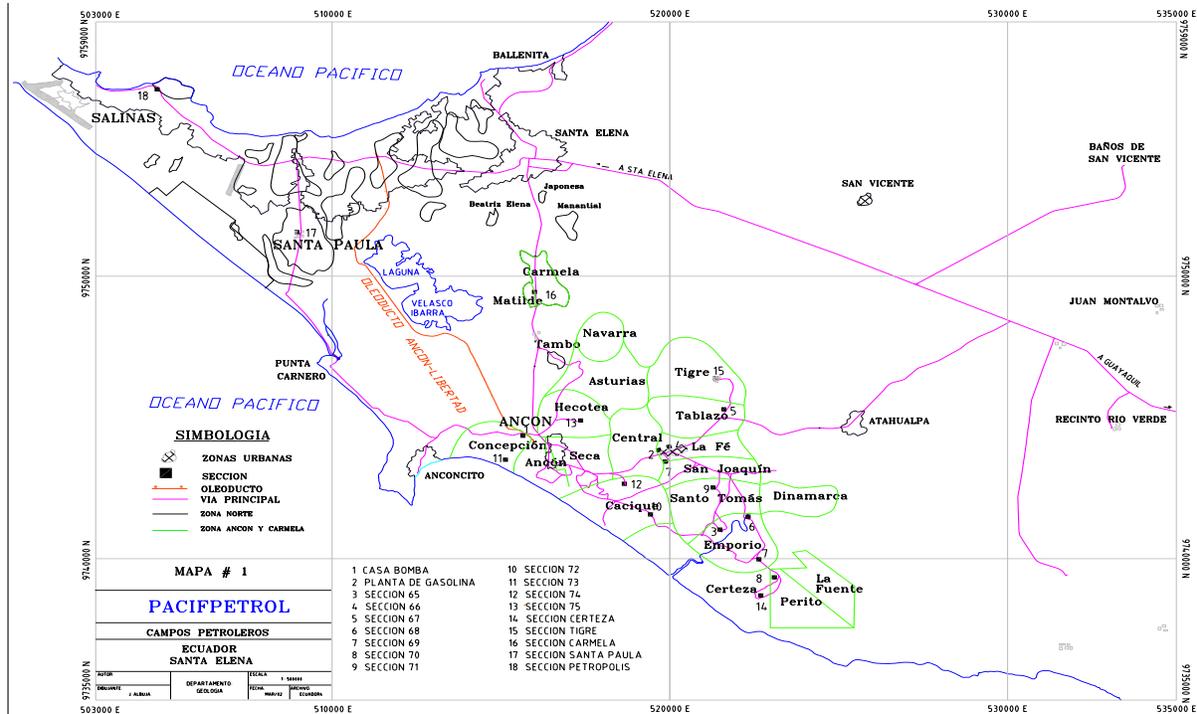
En el siguiente capítulo se realiza una revisión de la literatura sobre el tema de investigación.

## 1.1 Ubicación geográfica del Campo Gustavo Galindo Velasco

La explotación petrolera inició en el año 1911 en el Campo Gustavo Galindo Velasco, siendo el primer pozo productor petrolero denominado ANC001, perforado por la compañía Anglo Ecuadorian OilFields Ltd. Se encuentra ubicado en el Ecuador, provincia de Santa Elena, en el Bloque 2 (Figura 1), también conocido como Campo Ancón, aproximadamente a 130 km al oeste de la ciudad de Guayaquil. (Mayorga-Mayorga & Reyes-Bueno, 2022).

**Figura 1**

*Mapa de ubicación del Bloque 2- Gustavo Galindo Velasco*



**Fuente:** Tomado de (Soriano, 2020)

### 1.1.2 Geología

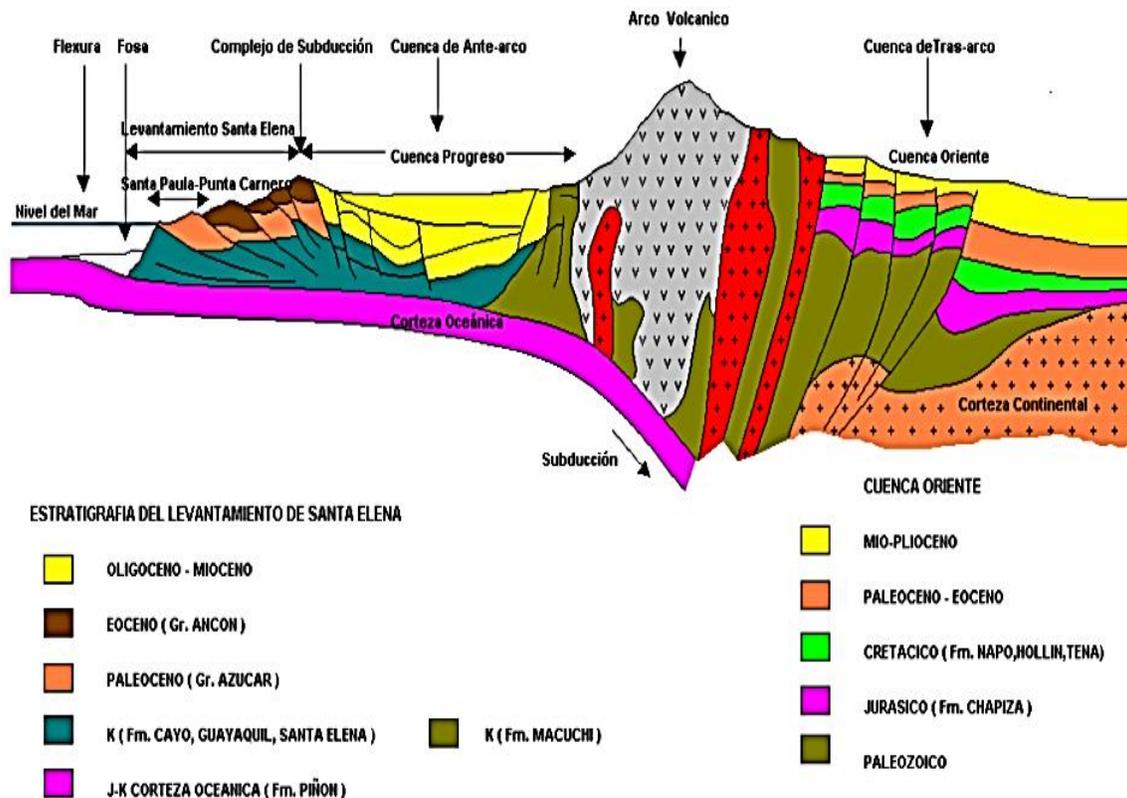
El bloque 2 se encuentra ubicado en el grupo Ancón, formado en la edad del Eoceno Medio. Esta edad sobrepasa la formación Atlanta debido a la composición de sus minerales, lo que lleva a asumir que esta formación pertenece a un bloque que fue desplazado desde la zona sur hasta donde se ubica actualmente. (Escobar, k., Armijos, D., Erazo R., & Oña, 2019)

### 1.1.3 Estructura geológica y litología

La Cuenca sedimentológica del Campo Ancón está ubicada en el Levantamiento de Santa Elena. Comprende la secuencia desde el Cretácico hasta el Terciario Inferior (Paleoceno-Eoceno), la cual fue desarrollada sobre una corteza oceánica (Figura 2).

**Figura 2.**

*Estructura Geológica del Levantamiento de Santa Elena*



**Fuente:** Tomado de (Velázquez, 2019)

El Levantamiento de Santa Elena delimita, desde el noreste por la falla regional llamada de La Cruz, que está separada de la cuenca Progreso. Los tipos de sedimentos provienen de la edad del Oligoceno-Plioceno. Mientras que, en el sur, el levantamiento delimita el Alto de Santa Elena, marcando el límite de la secuencia del Mioceno Inferior al Pleistoceno, que representa la apertura del Golfo de Guayaquil. Y el límite del oeste está constituido por el Prisma de Subducción Neógeno.

A continuación, se describen las características litológicas de las formaciones de la Península de Santa Elena:

**Formación Tablazo.** Son rocas de edad Pleistocena que descansan en fuerte discordancia erosiva sobre las rocas cretácicas y paleógenas de la península de Santa Elena. Consiste de areniscas gruesas y calizas arenosas con bancos de conchillas, son niveles de terraza marina.

**Grupo Ancón.** Comprende las rocas silicoclásticas, lutitas rojizas, areniscas líticas con conglomerados subordinarios típicamente de origen costero. La secuencia geológica compuesta por la Formación Clay Pebble Beds incluye la arenisca Santo Tomás, la Formación Passage Beds, Formación Socorro y la Formación Seca.

**Formación Seca.** Está compuesta principalmente por arcilla de tonalidad gris verdosa, con algunas capas de arena fina intercaladas, y en la parte superior adquiere un tono amarillo rojizo. Esta capa rocosa es importante porque constituye una roca sello en los depósitos de la Formación Socorro, ubicados en el campo Ancón.

**Formación Socorro.** Comprende de sedimentación de areniscas turbidíticas y pelitas que se depositan sobre la Formación Clay Pebble Beds. Estas áreas son de color gris oscuro a negro en el caso de las rocas pelitas y presentan areniscas turbidíticas delgadas de tonalidad verdosa.

**Formación Clay Pebble Beds (CPB).** Se trata de una secuencia de matriz arcillosa que se forma a partir del deslizamiento de barroes densos submarinos, sin la presencia de sedimentos, y se intercalan con capas de turbiditas.

**Formación Santo Tomás.** Está compuesto por una serie de capas de areniscas de espesor relativamente pequeño.

**Formación Passage Beds (PB).** Está compuesta por capas delgadas y firmes de areniscas que contienen intercalaciones de areniscas con contenido calcáreo.

**Formación Atlanta.** Es el reservorio más importante, el cual ha sido identificado en las perforaciones. La formación está compuesta por una arenisca de color gris que es resistente y presenta una textura intermedia a gruesa. Además, es considerada el principal reservorio debido a las fracturas que posee.

**Formación Santa Elena.** Esta estructura se originó a partir de la acumulación de sedimentos finos en aguas profundas debido a deslizamientos y flujos de detritos. Está compuesta por capas estratificadas de pelitas silíceas y radiolaritas, con la presencia de depósitos blancos de tobáceas.

**Formación Cayo.** La formación comprende de una secuencia de distintos tipos de sedimentos marinos y volcánicos, está compuesta por lutitas bituminosas, conglomerados, turbiditas finas y arcillas intercaladas. Incluye también lavas almohadillas y tobas volcánicas. Esta formación es bastante gruesa y se encuentra en la localidad de Guayaquil, con un espesor que oscila entre 2000m y 3000m.

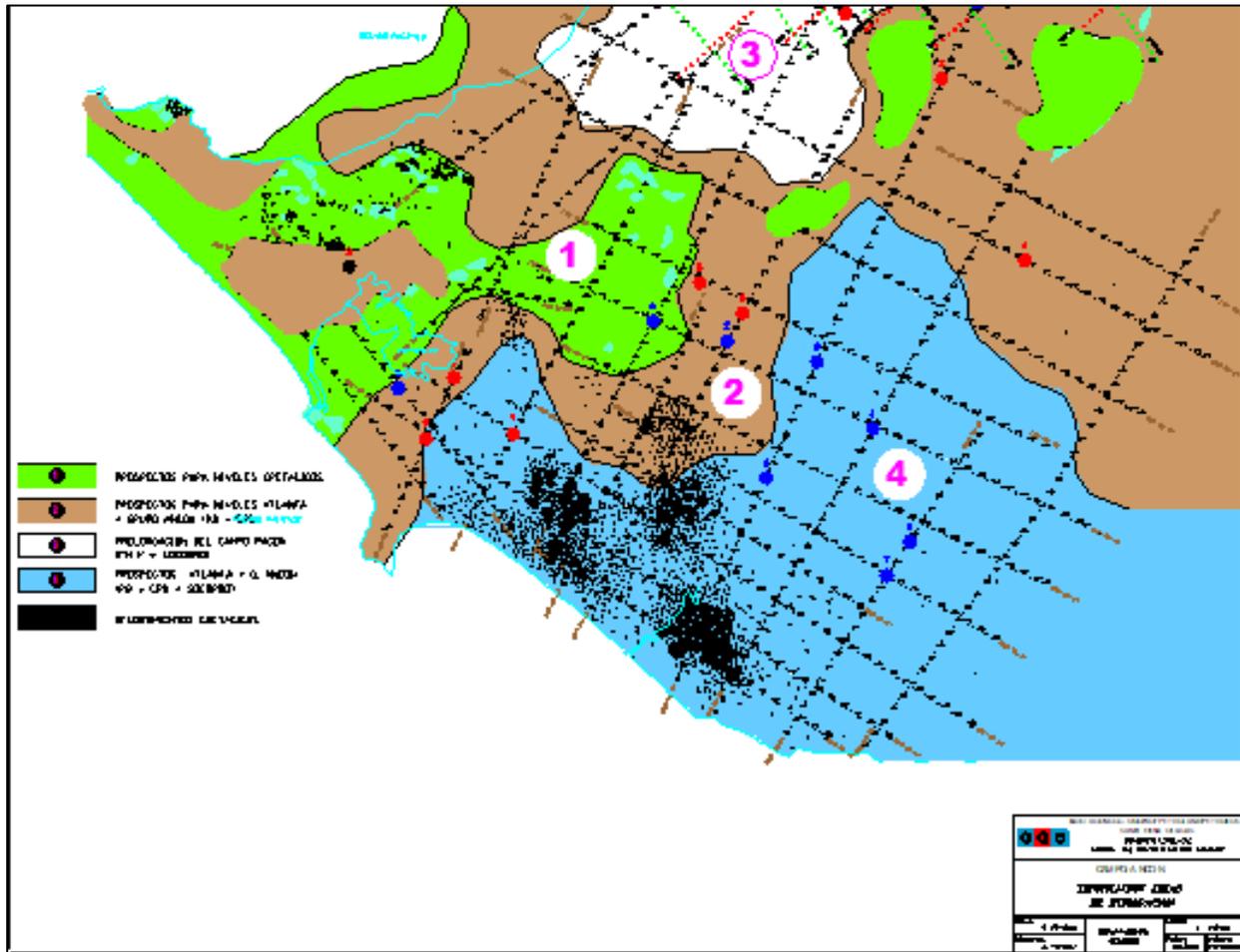
**Formación Piñón.** Se encuentra en formaciones de rocas basálticas de textura afanítica y también en doleritas intrusivas.

En la Figura 3 podemos observar las ubicaciones de las formaciones productoras (Escobar, k., Erazo, 2019) del Bloque 2 y se clasifican de la siguiente manera:

- 1- Formación Azúcar / Santa Elena
- 2- Formación Atlanta
- 3- Formación Socorro (Morrillo)
- 4- Grupo Ancón (Formación CPB, Formación Santo Tomás, y Formación PB, Atlanta)

**Figura 3**

*Ubicación de Formaciones productoras del Bloque 2*



**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

A continuación, se muestra en la Tabla N° 1 los datos de las propiedades de las rocas y fluidos de las formaciones productoras del Campo.

**Tabla 1***Propiedades de las rocas y fluidos de las formaciones productoras del Bloque 2*

<b>Parámetros</b>	<b>Socorro</b>	<b>Clay Pebble Beds</b>	<b>Santo tomas</b>	<b>Passage Beds</b>	<b>Atlanta</b>	<b>Santa elena</b>
<b>Permeabilidad k(md)</b>	82	55	6	5	3	7.7
<b>Permeabilidad vertical k(md)</b>	35				8.7	13
<b>Factor Volumétrico %</b>	13	10	9	3	8	10
<b>Saturación de petróleo So (%)</b>	22	20	8		0.6	
<b>Saturación de agua Sw (%)</b>	45	50	64	64	64	60
<b>Densidad de grano [gr/cc]</b>	2.38	2.34	2.43	2.62	2.5	2.6
<b>° API</b>	36.8	39	38.8	39	40	33.6
<b>Bo By/Bn</b>	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
<b>POES MMBls</b>	238.1	23.3	133.4	83.8	922.5	62.7
<b>Reservas totales</b>	31.47	2.33	12.17	2.42	73.53	6.43
<b>Porosidad Frac</b>	0.250	0.100	0.110	0.075	0.100	0.110
<b>Vol. Roca Acre/pie</b>	267.808	72.006	521.001	480.034	3963.844	220.360

**Fuente:** Tomado de (Rezabala, G., & Yanza, 2015)

## 1.2 Historia de producción del Campo

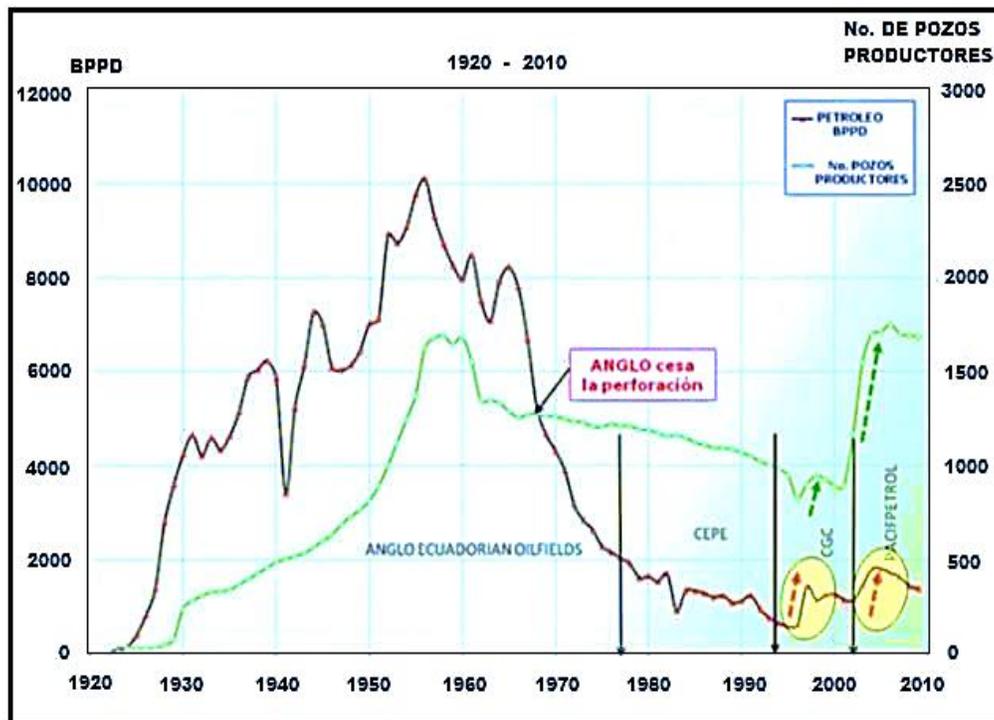
El Bloque 2 fue explotado por Anglo desde 1921 hasta el año de 1976, durante el periodo de operación se perforaron un total de 2857 pozos. La máxima producción registrada por estos pozos fue de 10,000 barriles de petróleo por día en el año de 1956.

En 1976, la operación del Bloque fue transferida u operado por CEPE (Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana). Durante ese tiempo se perforaron adicionalmente 5 pozos en el Bloque. La producción promedio de estos pozos fue de 780 BPPD.

A partir de octubre de 1994, la ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral) asumió la responsabilidad del Bloque en colaboración con CGC (Compañía General de Combustible). En este proceso, se llevaron a cabo diversas actividades para explorar y explotar los recursos petroleros en la zona. (Pacifpetrol, n.d.) Ver Figura 4

**Figura 4**

*Historia de producción del Campo Ancón*



**Fuente:** Tomado de (Calderón, 2013)

El 22 de enero de 2011, Pacifpetrol S.A., en colaboración con el Estado Ecuatoriano, firmó el contrato de prestación de servicios de exploración y explotación de hidrocarburos en el Campo

Gustavo Galindo Velasco. Una de las actividades realizadas fue el registro de 400km de líneas sísmicas 2D. Estas líneas permitieron obtener información detallada sobre la estructura geológica del subsuelo y la ubicación de posibles yacimientos de petróleo.

Además, se perforaron 7 pozos en el área. Estos pozos fueron fundamentales para la extracción de petróleo, ya que permitieron llegar a los reservorios y extraer el crudo.

En la actualidad, se utilizan un total de seis sistemas de levantamiento artificial para extraer el petróleo de los pozos de estado productivo. En la Tabla N°2 que se presenta a continuación, se detalla el porcentaje de producción promedio que corresponde a cada uno de estos sistemas.

**Tabla 2**

*Porcentaje de producción promedio de los Sistemas de Levantamiento Artificial Operativos en el Campo Gustavo Galindo Velasco del año 2022*

<b>Producción promedio de los Sistemas De Levantamiento Artificial En El Campo Gustavo Galindo Velasco</b>						
<b>SLA</b>	<b>Bombeo Mecánico</b>	<b>Swab</b>	<b>Herramienta Local</b>	<b>Plunger Lift</b>	<b>Bombas De Cavidades Progresivas Eléctricas</b>	<b>Fluyente</b>
<b>%</b>	59.1	19,1	14.4	1	5.8	0.5

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

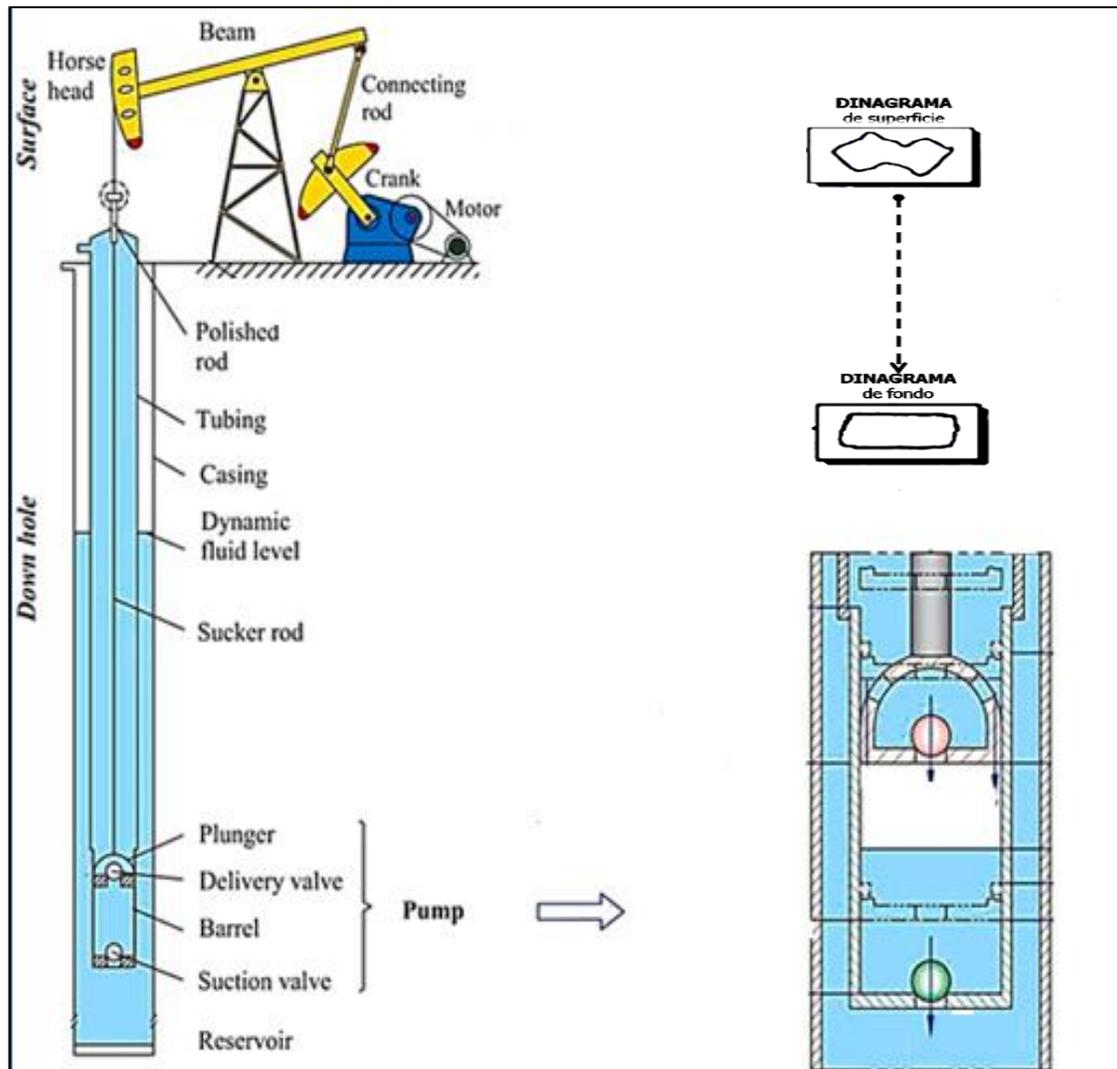
### **1.3 Descripción operativa del sistema por Bombeo Mecánico**

El propósito fundamental de este Sistema de Levantamiento Artificial es permitir la extracción eficiente del fluido desde el fondo del pozo hacia la superficie, utilizando una bomba de desplazamiento positivo y abasteciéndola con energía suministrada a través de las sartas de varillas ver Figura 5.(Fakher et al., 2021)

Esto se logra mediante la utilización de un motor eléctrico o de combustión interna que moviliza una unidad de superficie conectada a la bomba mediante un sistema de engranajes y correas.

**Figura 5**

*Sistema de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico*



**Fuente:** Modificado de (Lv et al., 2021)

La unidad de Bombeo se caracteriza por tener dos puntos claros: el punto muerto superior y el punto muerto inferior. Durante el punto muerto inferior, las válvulas fijas y viajeras permanecen cerradas. Sin embargo, al comenzar el movimiento ascendente, la presión desde el fondo y el efecto

de succión del pistón hacen que la válvula fija se abra, permitiendo que el fluido fluya desde el pozo hacia el interior de la bomba. Simultáneamente, la columna de fluido ejerce presión sobre la válvula viajera, manteniéndola cerrada durante todo el movimiento ascendente. (He et al., 2023)

El fluido continúa llenando la bomba hasta alcanzar el punto muerto superior; momento en el que la válvula fija se cierra. Entonces, inicia el movimiento descendente, donde el pistón se desplaza hacia abajo y genera un efecto de compresión. Al chocar con el fluido, la presión interna provoca la apertura de la válvula viajera. En este proceso, el pistón continúa su movimiento hacia abajo, mientras que el fluido fluye hacia la tubería de producción hasta llegar al punto muerto inferior. Posteriormente, se repite el ciclo descrito. (Romero & Almeida, 2014)

#### **1.4 Características de los pozos de Bombeo Mecánico**

Los pozos del sistema por bombeo mecánico presentan diversas características importantes. A continuación, se describen alguna de ellas:

##### **1.4.1 Profundidad**

Las profundidades de los pozos pueden variar, en función de la geología de la zona y de los requerimientos de extracción de agua o hidrocarburos. (Erazo-Bone et al., 2022)

##### **1.4.2 Diámetro de tubing en los pozos**

El diámetro de los pozos varía según el tipo de bomba utilizada y el caudal necesario. Es decir, se elige en función de la capacidad de flujo.

##### **1.4.3 Revestimiento**

Los pozos utilizados en el sistema de bombeo mecánico se encuentran protegidos con revestimiento de tuberías, comúnmente fabricadas en acero. Estas tuberías tienen como objetivo asegurar la estabilidad del pozo y prevenir el hundimiento de las paredes.

#### 1.4.4 Varillas de bombeo

Las varillas de bombeo son utilizadas para transmitir la energía de la superficie a la bomba de bombeo mecánico (Xiao-Xiao et al., 2022). Estas varillas se unen en secciones y se introducen en el pozo, permitiendo la extracción del fluido.

#### 1.4.5 Sistema de control

Los pozos del sistema por bombeo mecánico suelen estar equipados con sistemas de control que permiten monitorear y regular la producción de hidrocarburos. Estos sistemas pueden incluir sensores de presión, sensores de nivel de fluido y caudal, así como válvulas y controladores de velocidad.

#### 1.4.6 Bombas RWAC

La bomba de subsuelo de bombeo mecánico RWAC (Ali et al., 2015) es un tipo de bomba insertable de pared fina utilizada en el campo Ancón para la extracción de petróleo. Algunas de sus características incluyen:

- **Diseño/Durabilidad.** Las bombas RWAC están diseñadas específicamente para resistir condiciones difíciles y operar de manera confiable, su diseño ha sido cuidadosamente desarrollado teniendo en cuenta las exigentes condiciones a las que puede ser sometida.
- **Eficiencia energética.** Estas bombas pueden operar eficientemente en una amplia gama de condiciones de flujo y presión. Requieren de menor consumo de energía para operar.
- **Flexibilidad de uso.** Las bombas pueden utilizarse para extraer diversos tipos de líquidos, como petróleo, gas natural, agua, por lo que son versátiles en su aplicación.
- **Alta capacidad de bombeo.** Las bombas tienen una alta capacidad de bombeo, lo que les permite extraer grandes volúmenes de líquido en un corto período de tiempo.

- **Bajas vibraciones.** Cuando las bombas están sumergidas en el fluido, producen vibraciones mínimas mientras están en funcionamiento, lo que hace que sean seguras para su uso. (Jiang, 2016)
- **Resistencia a la corrosión.** Las bombas de extracción por bombeo mecánico están diseñadas con materiales resistentes a la corrosión para garantizar su durabilidad. Esto permite que la bomba funcione de manera óptima a lo largo del tiempo sin sufrir daños que puedan afectar su rendimiento.
- **Fácil instalación.** Las bombas son fáciles de instalar y pueden adaptarse a diferentes tipos de pozos.

Tienen un bajo consumo de energía son eficiente en términos operativo. Y es ideal para extraer petróleo de pozos profundos. Esto la convierte en una elección popular en la industria.

Estas características pueden variar dependiendo a las condiciones específicas de cada pozo a seleccionar.

En la tabla N° 3 se muestra las especificaciones de la Bomba de fondo del sistema del bombeo mecánico donde detalla lo siguiente:

- Espesor de pared gruesa
- Espesor de barril delgado
- Bombas de tuberías
- Bombas de Revestidor

**Tabla 3***Especificaciones de la Bomba de Bombeo Mecánico*

<b>Especificaciones de la Bomba de subsuelo</b>		
<b>Pistón (pulg)</b>	<b>Espesor de pared</b>	<b>Profundidad máxima</b>
<b>Bomba de Pared Gruesa RHAC</b>		
1.00	0.125	11.540
1.06	0.125	11.000
1.25	0.188	13.350
1.5	0.188	11.570
1.75	0.250	11.970
2.00	0.156	7.785
2.25	0.25	10.485
<b>Barril de Pared delgada</b>		
2.00	0.125	6.400
2.50	0.125	5.240
<b>Bombas de Tuberías</b>		
1.75	0.25	9.600
2.25	0.25	7.870
2.75	0.25	6.660
<b>Bomba de Revestidor</b>		
2.75	0.25	6.660
3.25	0.25	5.770
3.75	0.25	5.090
4.75	0.25	4.120

**Fuente:** Tomado de (García, 2019)

El Instituto Americano de Petróleo (API) ha establecido una designación para identificar las Bombas de subsuelo. Esta designación se basa en un código y proporciona una descripción precisa y clara de los componentes de las bombas. A continuación, se detalla en la siguiente Tabla N° 4.

**Tabla 4***Identificación de Bomba de Subsuelo por medio del Código API*

<b>20-125-RWAC-30-12-4</b>	
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
<b>Diámetro de la tubería</b>	
15	15: 1.900" OD.
20	20: 2 3/8" OD.
25	25: 2 7/8" OD.
30	30: 3 1/2" OD.
<b>Diámetro interior de la bomba</b>	
125	125: 1 1/4"
150	150: 1 1/2"
175	175: 1 3/4"
178	178: 1 25/32"
200	200: 2"
250	250: 2 1/2"
275	275: 2 3/4"
<b>RWAC</b>	<b>Descripción de la bomba</b>
R: Tipo de bomba	R: Insertable T: Tubería
W: Tipo de barril	H: Pared gruesa W: Pared fina
A: Tipo de asiento	A: Superior B: Inferior
C: Tipo de anclaje	C: De copas M: Mecánico
30	Longitud del barril (ft)
5	Longitud del pistón (ft)
4	Longitud de extensiones (ft)

**Fuente:** Tomado de (Garcia, 2019)

## **1.5 Nivel de fluidos en un pozo**

Las mediciones de fluido en un pozo petrolero se pueden medir utilizando herramientas de registros especializadas que miden la presión y la producción de fluidos. Esto dependerá del tipo de levantamiento artificial que tenga el pozo según los requisitos específicos del yacimiento. (Littleford et al., 2016)

### **1.5.1 Nivel Estático (NE)**

El nivel estático de un pozo petrolero se refiere a la altura a la que se encuentra acumulado el petróleo en el pozo cuando no se está produciendo ni inyectando fluidos en él, esta medida se la determina desde el cabezal al nivel de fluido en el pozo a condiciones estáticas, se mide el nivel máximo antes de que funcione la bomba. (Sernaque, 2022)

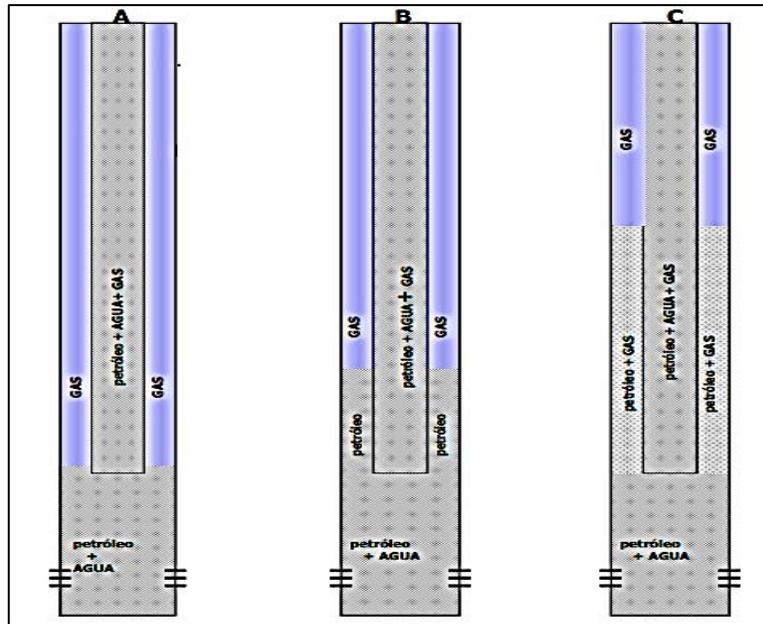
El nivel estático en la columna de fluidos ayuda a estabilizar la presión del yacimiento en un pozo que produce por levantamiento artificial debido a que el pozo no tiene suficiente energía para vencer las presiones desde el fondo hasta superficie.

### **1.5.2 Nivel Dinámico (ND)**

El nivel dinámico de un pozo petrolero se refiere a la profundidad a la que se encuentra el nivel del líquido (petróleo) dentro del pozo en condiciones normales de producción ver Figura N° 6, es decir es la altura de los fluidos en el anular del pozo una vez que la rata de producción se ha estabilizado.

## Figura 6

Representación de nivel dinámico en pozos productores



Fuente: Tomado de (Partidas H, 2003)

### 1.5.3 Sumergencia

Es la altura de la columna de fluidos en el anular cuya base es la profundidad de la bomba y el tope es el Nivel dinámico

La sumergencia es uno de los parámetros especialmente importante cuando se estudia y diseña una instalación.

### 1.6 Software Echometer analizador de pozos

En la industria petrolera es muy común y útil el equipo portátil Echometer, este sistema utiliza dos software el TWM (Total Well Management), y el TAM (Total Asset Monitor) (McCoy et al., 2001), la última actualización del TWM fue en el año 2012, y actualmente en el campo se está utilizando el Software TAM nueva generación de la tecnología Echometer, tal como se muestra en la Figura 7, ambos equipos compuestos por Hardware y Software realizando la misma función, Cabe indicar que ambos Software sirven para adquisición y análisis de datos acústico y

dinamométricos de los pozos, su diferencia es que el TWM se conecta al pozo por medio de cableado y el TAM es un equipo inalámbrico (Wang et al., 2018). El sistema por levantamiento artificial por Bombeo Mecánico requiere constantes evaluaciones de las condiciones de operación, permitiendo al Ingeniero de Producción obtener diversa información de los pozos para posteriormente tomar decisiones para optimizar su funcionamiento y aumentar la producción.

### Figura 7

*Equipo Portátil Echometer (TWM y TAM)*

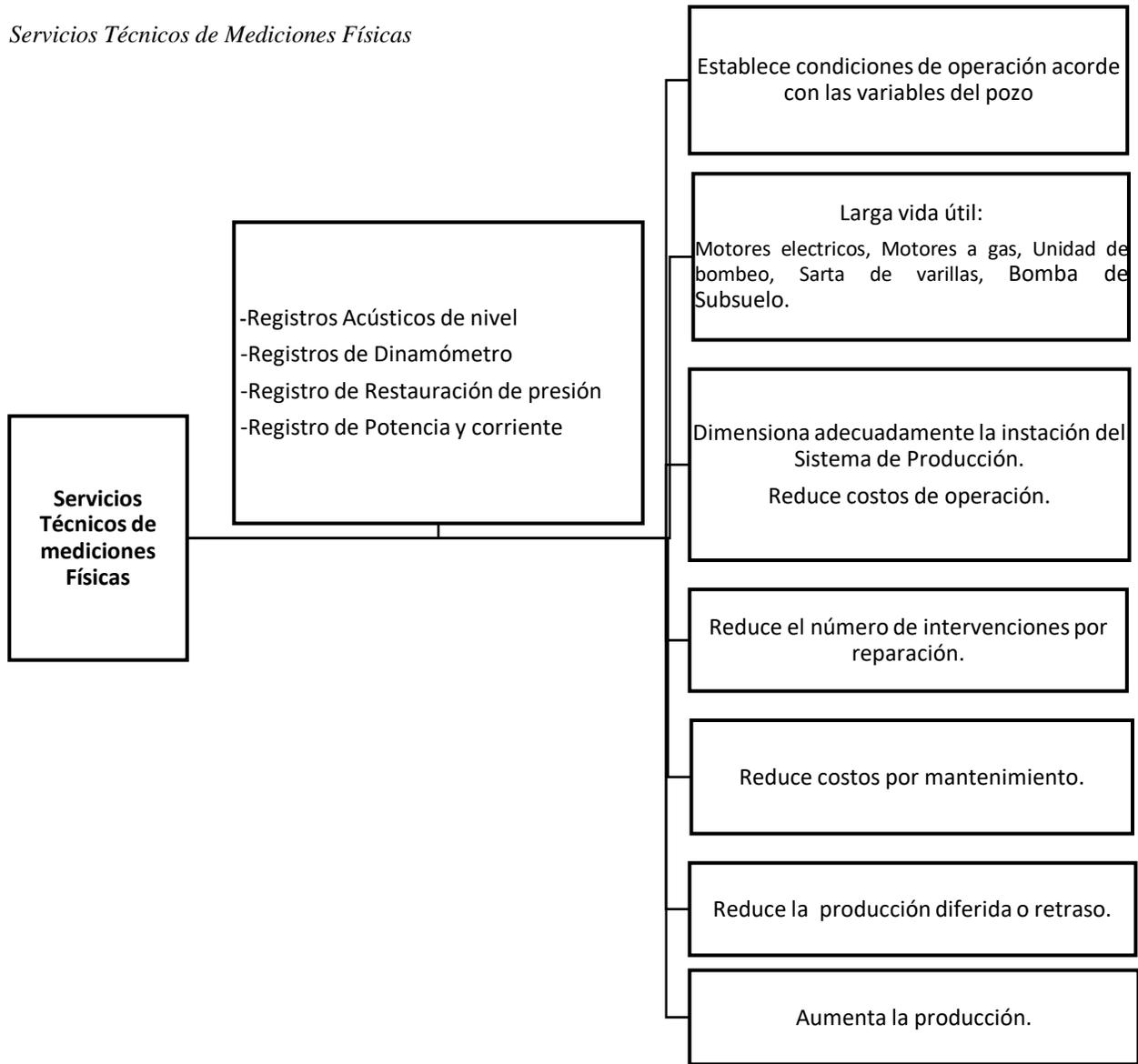


**Fuente:** Tomado de (GLOBAL, 2020a)

Este software o analizador de pozo es utilizado para realizar servicios técnicos especializados de registros Acústicos de nivel del fluido, registro dinamométrico, registro de restauración de presión en el fondo del pozo a determinadas profundidades, registros de potencia y corriente. En la siguiente Figura N° 8 se detalla los servicios técnicos de mediciones físicas

**Figura 8**

*Servicios Técnicos de Mediciones Físicas*



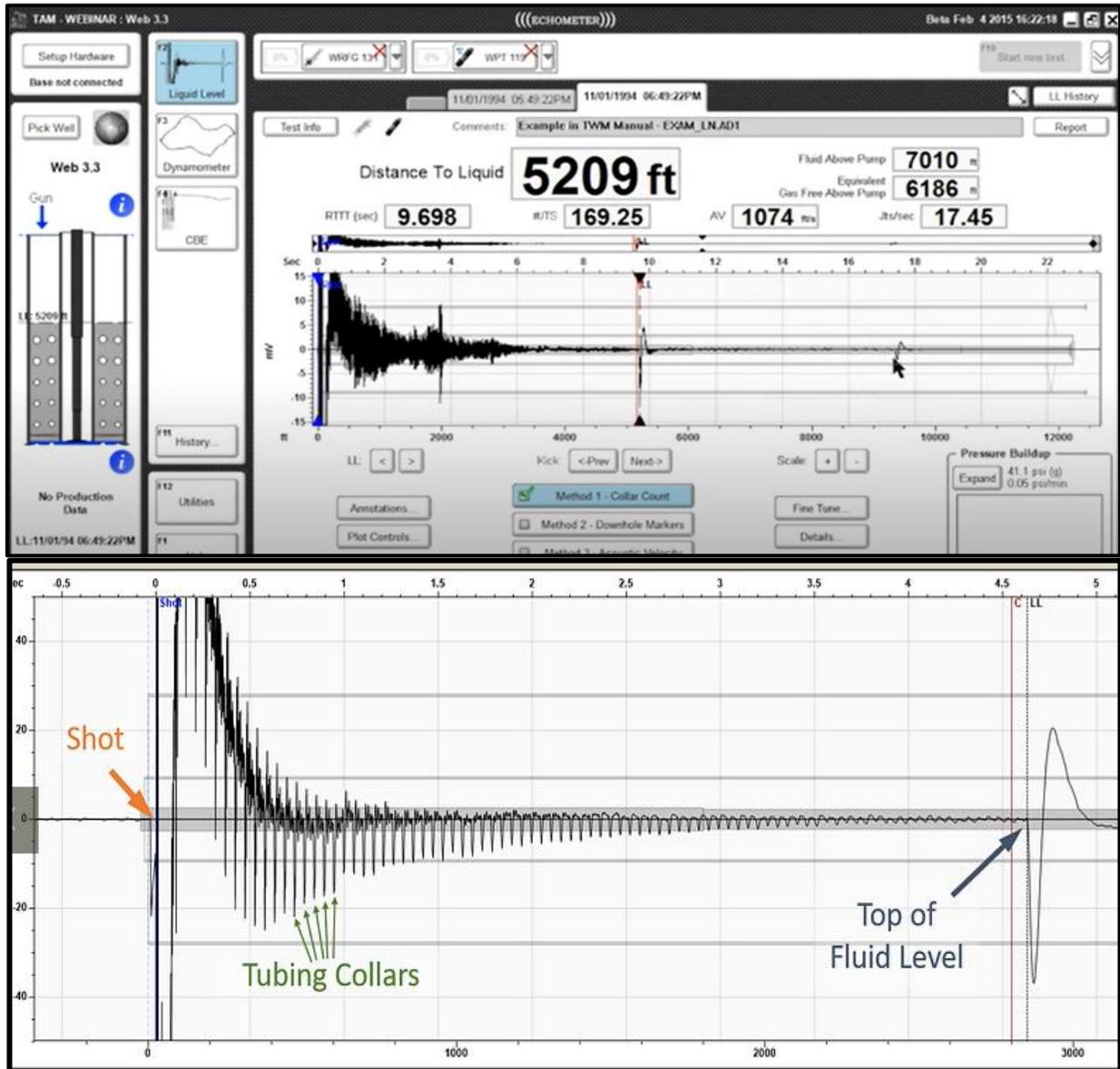
### 1.6.1 Registro acústico de nivel con el Software TAM

El Echometer es una herramienta que permite medir el registro acústico de nivel (Teclé & Ziuzev, 2019) que por medio de una señal acústica determina los niveles del líquido, desde superficie se conecta al pozo una pistola que está lleno de nitrógeno o dióxido de carbono, esta consiste en que al momento de iniciar el disparo por el espacio anular, el gas viaje reflejando

cambios en las áreas seccionales generados por ondas de sonidos o ecos acústicos, estos reflejos se dan en las uniones de las tuberías, acoples, niveles de fluido, y por medio de un micrófono que genera señales en superficie mostrando en el sistema. En la Figura N 9 se proyecta una línea punteada donde indica el nivel de fluido.

**Figura 9**

*Señal Acústica de Nivel con el equipo TAM*



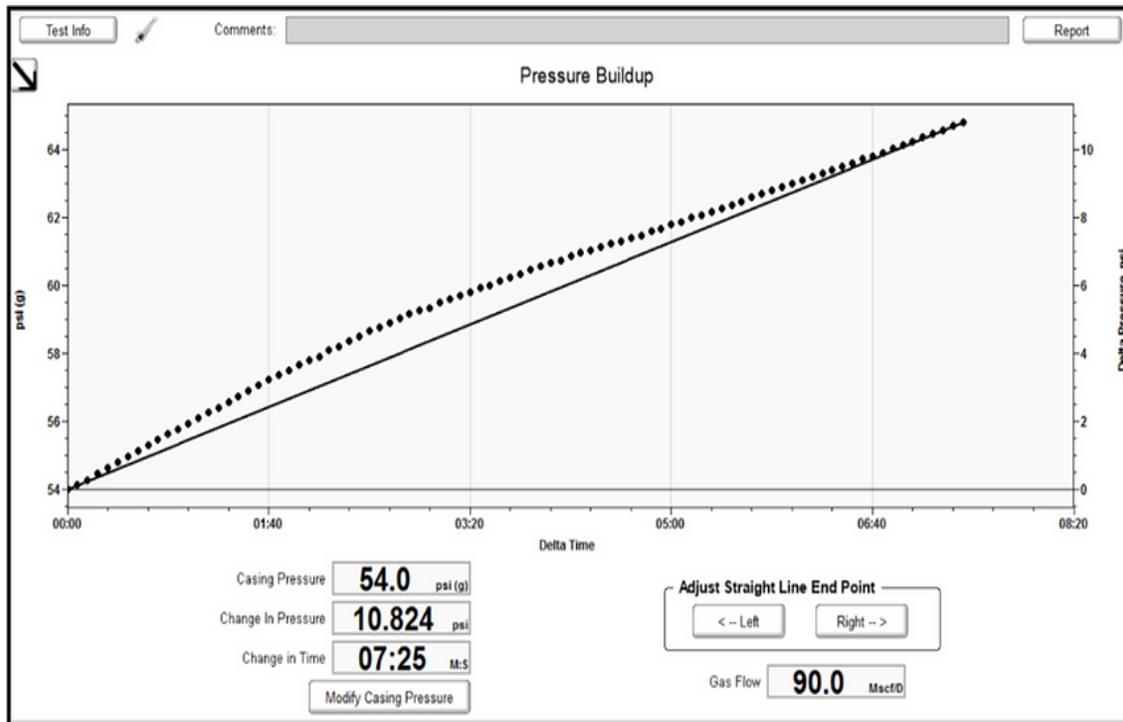
Fuente: Tomado de (GLOBAL, 2020b)

### 1.6.2 Prueba de presión mini Buildup (condiciones dinámicas) TAM

Esta prueba permite conocer el caudal instantáneo de gas, para luego calcular una estimación del gradiente de la columna de líquido (psi/pie) de la columna de fluido gaseoso aplicando una correlación derivada del campo desarrollada por Echometer. Ver figura 10 (Diagnostic, 2023). El resultado de la prueba Mini Build up, este valor sirve posteriormente para los cálculos hidrostáticos para resolver las presiones en cualquier lugar de la columna del pozo, sumando la presión de la entrada de la bomba y las presiones de fondo. Esta prueba se realiza luego que se haya tomado la medición acústica del nivel de fluido, la presión mini Build up se realiza automáticamente cuando el pozo ha estado produciendo en un tiempo considerable para lograr una restauración de presión a condiciones estables. El equipo toma presiones con respeto al tiempo.

**Figura 10**

*Presión Buildup*



**Fuente:** Tomado de (Diagnostic, 2023)

Para tener pruebas precisas se debe considerar lo siguiente:

- ✓ Transductor calibrado
- ✓ Buen estado de los cables en el caso de utilizar el TWM
- ✓ El espacio anular debe estar completamente presurizado
- ✓ Válvulas del casing en buen funcionamiento no debe existir fugas
- ✓ Verificar la conexión de la pistola con el casing, para evitar fugas
- ✓ Para tener una prueba estabilizada se requiere una duración mínima de 2 minutos

### **1.6.3 Presión de fondo con el equipo Echometer**

La presión de fondo es un parámetro muy útil para entender el estado actual del pozo, y con esta tecnología es posible, al tener el nivel de fluido se puede obtener el dato de sumergencia de la bomba de fondo, Este equipo Echometer realiza unas series de cálculos refiriéndose a la sumatorias de las columnas hidrostáticas del pozo.

## **1.7 Importancia de los sensores**

Estos sensores están diseñados para medir la presión, nivel, temperatura del flujo y otros parámetros relacionados a la producción de petróleo.

Los sensores colocados en el fondo del pozo y en las facilidades de superficie son importantes para el equipo de Ingeniería y operadores del Campo porque permite monitorear y controlar las operaciones. Además, los sensores también pueden detectar problemas o anomalías. (Guluyev et al., 2012), los sensores están conectados a sistemas de adquisición de datos y transmisión inalámbrica para enviar la información en tiempo real.

### **1.7.1 Tipos de sensores en el Campo petrolero**

Existen diversos tipos de sensores en el campo petrolero cumpliendo diferentes funciones cada uno de ellas. A continuación, se define las siguientes:

- **Sensores combinados.** Los sensores combinados miden simultáneamente la presión y temperatura del líquido en diferentes puntos de sistemas de producción. Observar Figura 11

**Figura 11.**

*Sensor combinado*



**Fuente:** Tomado de (Lorentz, 2022)

- **Sensores de presión de fluidos.** Son sensores para medir presión de los fluidos presentes en los pozos petroleros durante la extracción estos sensores suelen estar instalados en el fondo del pozo y están diseñadas para soportar condiciones extremas. Ver fig. 12

**Figura 12**

*Sensor de presión*



**Fuente:** Tomado de (Lorentz, 2022)

- **Sensores de nivel de fluidos.** Estos sensores miden el nivel de fluido en el fondo del pozo, en tuberías o tanques de almacenamiento, son fundamentales para monitorear y controlar la producción de petróleo. Ver fig. 13

**Figura 13**

*Sensores de nivel*



**Fuente:** Tomado de (Lorentz, 2022)

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Contexto de la investigación

La investigación fue realizada en el Bloque 2 “Gustavo Galindo Velasco”. La empresa Pacifpetrol encargada de las operaciones de producción del Campo, requiere potenciar nuevas tecnologías, específicamente enfocándose en el sistema operativo del Bombeo Mecánico, que mediante una señal que es emitida por el sensor de nivel, envía la información a la tarjeta del controlador, donde traduce la señal de presión a una medida requerida, medida que es ingresada o seteada por el operador según la recuperación de fluido de cada pozo, y así se lograría operar de forma eficiente en el campo.

### 2.2 Diseño y alcance de la investigación

La investigación es de carácter **experimental**, se manipulará variables. El desarrollo de la investigación es en base a análisis de datos históricos de las características de los pozos, análisis de cartas dinamométricas, completaciones y locaciones del área del Bombeo Mecánico.

El alcance de la investigación es de tipo **exploratorio- descriptiva y analítica**.

Exploratorio porque no existe antecedentes o literatura de la implementación del sensor de nivel de fondo para pozos de baja productividad para el bombeo mecánico.

### 2.3 Tipo y métodos de investigación

La investigación es de tipo **cuantitativo** porque mediante el análisis de información de registros acústicos de nivel obtenidos de los pozos se puede predecir y analizar los ciclos a trabajar en el software.

El método de investigación es Hipotético

## **2.4 Población y muestra**

Población de estudio: Pozos en operación de baja productividad del Campo Gustavo Galindo Velasco.

Muestra: Área piloto en el Sistema de fondo, corresponde a las zonas del Campo Ancón que es la fuente de información de donde se obtendrán los datos de cinco pozos seleccionados para la implementación.

## **2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica e instrumentación es cuantitativa, la recolección de datos para la investigación y considerados para la selección de pozos es la siguiente:

- Registros acústicos de nivel
- Característica de los pozos, del fluido, y del yacimiento.

### **2.5.1 Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.**

La técnica e instrumentación es cuantitativa, del levantamiento de información obtenida de los datos históricos del Campo Gustavo Galindo se seleccionará las características que cumplan las condiciones de los pozos necesarios para mejorar la operatividad del sistema de Bombeo Mecánico mediante la propuesta del uso del sensor de nivel se analizará lo siguiente:

- La metodología de estudio es seleccionar pozos de Bombeo Mecánico aplicando un sensor de nivel de fondo del pozo energizado por Panel solares.
- Mediante las completaciones de Bombeo Mecánico se identifica los diámetros del tubing requeridos para la aplicación del cable del sensor.
- Analizar registros acústicos de nivel obtenidas por el equipo Echometer para identificar la variación de los ciclos de bombeo.

- Analizar tipo de abrazadera para la colocación del cable del sensor
- Analizar el equipo de fondo para la ubicación del sensor de nivel.
- Analizar el controlador que va a realizar el encendido y apagado de la unidad de Bombeo Mecánico
- Realizar el diseño de superficie y fondo de la implementación del sensor de nivel.

## **2.6 Evaluación o screening del Sistema de Bombeo Mecánico**

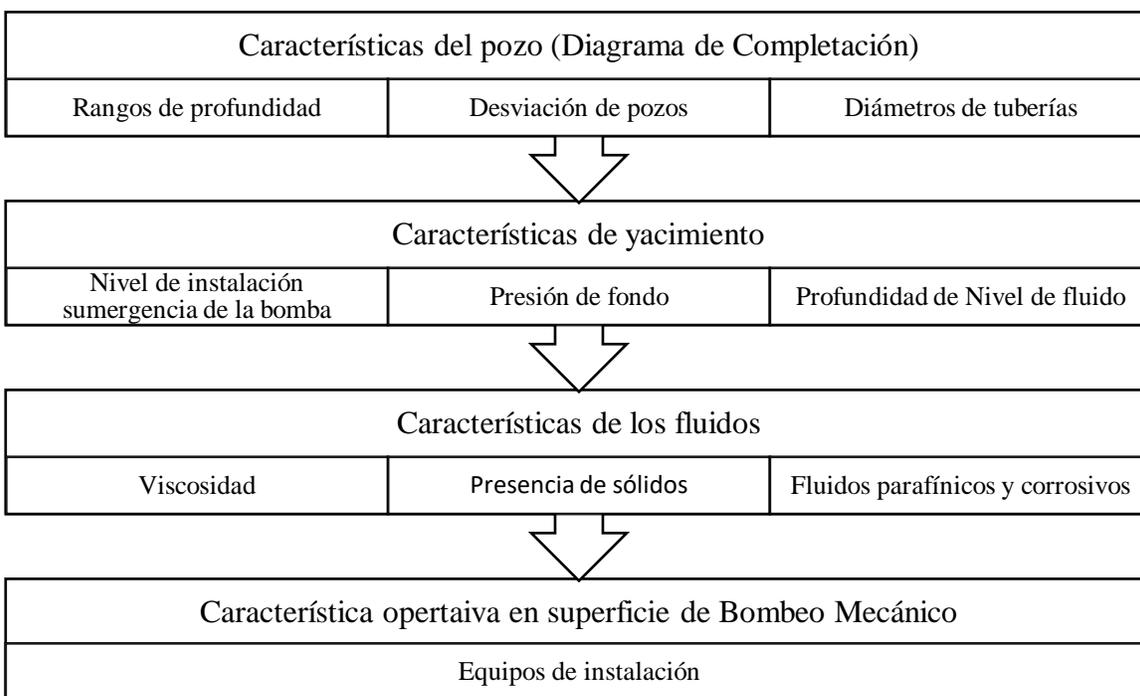
Para el uso del sensor de fondo para el sistema de extracción por Bombeo Mecánico se debe considerar algunas condiciones antes de su instalación.

El primer paso para esta innovación al Campo GGV es realizar un screening, analizando los resultados e informe de las evaluaciones continuas de los pozos de la zonas central, norte y sur, esto ayudará a establecer parámetros y rangos de pozos aptos para el funcionamiento.

Además, con los datos históricos de los pozos obtendremos una mejor investigación. Esta metodología nos proporcionará un análisis actual y más preciso para la elección de los pozos candidatos para aplicar dicho sensor, a continuación, se detallará un cuadro del desarrollo ver Figura 14.

**Figura 14**

*Metodología de estudio para la evaluación a pozos de BM*



### 2.5.2 Análisis de las características de completaciones de pozos de Bombeo Mecánico

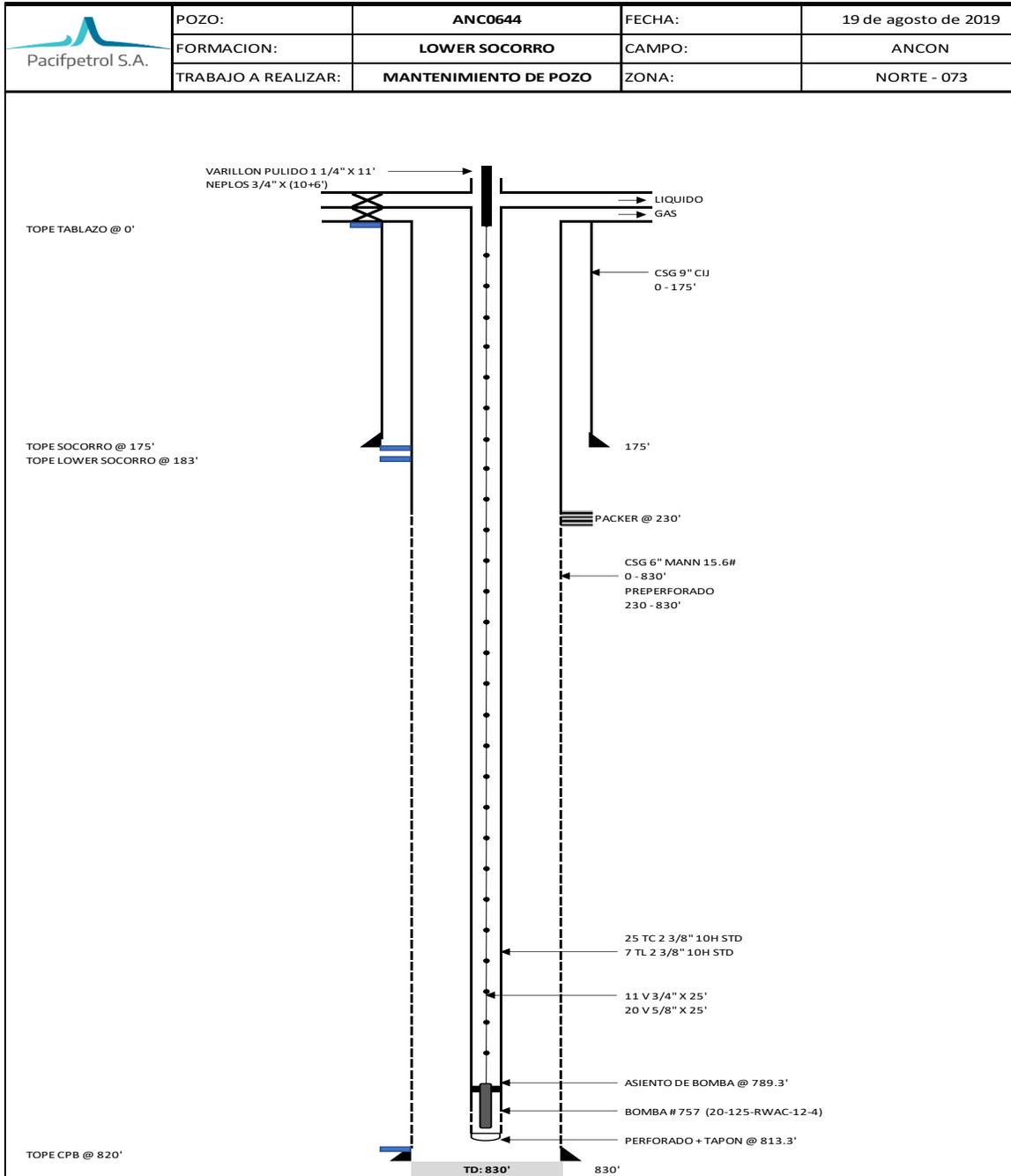
El análisis de las completaciones de los pozos de Bombeo mecánico, (ver Figura N° 15) permiten determinar las características requeridas a la instalación de operación del sensor, además consiste en identificar el tipo de Bomba de Subsuelo que se encuentra en operación actualmente debido que al momento de la instalación del software es un dato indispensable para la configuración de la aplicación Lorentz Global.

Las completaciones de los pozos nos proporciona la siguiente información:

Diámetros de casing, diámetros de tubing, diámetros de varillas, profundidad de instalación de la bomba, tipos de formaciones de yacimiento, pozos desviados, tipo de bomba, información importante para la elaboración del nuevo diseño a instalar.

**Figura 15**

*Diagrama actual de Completación por Bombeo Mecánico*



**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

Durante el estudio y análisis de la información histórica del campo Ancón con respecto al Sistema Artificial por Bombeo Mecánico de las zonas Central, Norte y Sur de los pozos se identificó que

no existen pozos desviados, actualmente hay pozos verticales y se observó rangos de profundidades desde 117 a 8500 ft, con diámetros de casing de 4 1/2 a 10 3/4 in, las tuberías de producción con un diámetro de 2 3/8” y 2 7/8” con una longitud de 31 ft, y las tuberías cortas de 22 ft. Utilizan varillas combinadas de diámetros entre 3/4" y 5/8” con una longitud de varilla de 25 ft, son varillas de grado D, elaborados de cromo-molibdeno de aleación de acero, y elaboradas para cargas pesadas.

El tipo de bomba utilizada en el campo GGV son las denominadas RWAC consiste en bombas de tipo insertable, barril de pared fina es de anclaje superior, y es de tipo copas. Son de acero al carbono con baño de cromo para dar resistencia a la bomba debido al constante movimiento.

Se llevó a cabo una comparación de los parámetros generales que describen las características de los pozos en el Campo, los cuales se encuentran detallados en la Tabla N° 5.

**Tabla 5**

*Características de los pozos de Bombeo Mecánico del Campo GGV*

<b>Características de las Completaciones de los pozos de Bombeo Mecánico</b>		
<b>Sur</b>	<b>Central</b>	<b>Norte</b>
Certeza, 65, 68, 69, 70, 71, 72	Tigre, 66, 67,74	Santa Paula, Petropolis, Carmela, 66, 73, 74
<b>Descripción</b>	<b>Tipo - Rango de Parámetros</b>	
<b>Bombas</b>	RWAC	
<b>Varillas</b>	(Tipo D) 3/4 - 5/8”	
<b>Pozos desviados</b>	No existe	
<b>Profundidad de asiento</b>	578-4600 ft	
<b>Profundidad (Total Depth)</b>	117 – 8500 ft	
<b>Diámetros de tubería de producción</b>	2 3/8” - 2 7/8”	
<b>Diámetros de revestimiento o casing</b>	4 1/2 in a 10 3/4 in	

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### **2.5.3 Análisis de las características de yacimiento obtenidas por medios de registros del Echometer.**

Es de vital importancia este equipo que permite evaluar el desempeño de cada pozo y mediante los datos obtenidos del software Total Asset Monitor (TAM) podemos analizar factores y característica del yacimiento requeridos.

Los parámetros a ingresar al sistema del ecómetro se mencionan a continuación:

Nombre del pozo, profundidad de la bomba, tipo de material de varillas, tipo de balancín, carrera del pistón, diámetro del pistón, longitud promedio de las juntas (31.7 pies), diámetro externo del revestimiento, diámetro externo de la tubería de producción, barriles de petróleo por día, barriles de agua por día, temperatura de superficie, temperatura de fondo de pozo, gravedad API, gravedad específica del agua.

Una vez ingresada los datos se obtiene los resultados acústicos y dinamométricos (McCoy et al., 2000) donde podemos analizar lo siguientes:

- Analizar las condiciones actuales de operación, golpes por minuto y carrera de la unidad de bombeo
- Determinar la eficiencia del equipo de Bombeo, desempeño de la unidad motriz
- Carga mecánica de las varillas
- Capacidad de pozo
- Registros acústicos de nivel
- Potencia barra pulida
- Frecuencia de fallas actual de los pozos
- Presiones de fondo

Los resultados principales a interpretar para el estudio son los registros acústicos de nivel, eficiencia del sistema, y presión de fondo (Torgaeva et al., 2019), con estas evaluaciones y resultados obtenidos se logrará identificar los ciclos de bombeo, y pronosticar el tiempo que será ingresado al sistema Lorentz, además como dato principal es la presión de fondo en cual indica que el sensor cumple con los parámetros específicos para la aplicación a la instalación del equipo de fondo del pozo de Bombeo Mecánico.

#### **2.5.4 Análisis de Características de Fluidos**

Son varias razones por la que se debe considerar las características de fluidos del pozo, los grados API, viscosidad, fluidos parafínicos, fluidos corrosivos, presencia de sólidos, esto puede afectar en la forma en que el sensor interactúe con el fluido, si el fluido es muy viscoso podría adherirse al sensor, es por ello que se estudian diferentes tipos de sensores y se considere el más acto y apropiado que se ajuste a las condiciones del Campo. En la siguiente tabla N° 6 se muestra porcentaje de las condiciones actuales del Bloque 2.

**Tabla 6**

*Porcentaje de característica de fluido*

<b>Campo Gustavo Galindo Velasco</b>	
<b>Sistema De Levantamiento Artificial Por Bombeo Mecánico</b>	
<b>Característica del Fluido</b>	<b>Condiciones</b>
Grados API	36
Fluidos parafínicos	5%
Fluidos viscosos	Baja
Presencia de sólidos	10%
Fluidos corrosivos	5%

### **2.5.5 Análisis de equipo de superficie y de fondo**

Para la instalación del sensor de nivel de fondo es considerable analizar lo siguiente:

#### **- Sistemas de energización y control**

El sistema de energización para los pozos seleccionados puede ser abastecidos de diferentes maneras según la disponibilidad de área o ubicación de los pozos, estas pueden ser directamente conectados a la red eléctrica del campo, paneles solares o por medio de baterías.

#### **- Análisis Instalación de motores y controladores**

Los controladores son la base fundamental porque energizan al motor del balancín, tienen tarjetas electrónicas donde se encuentra cargada la información requerida a trabajar dicho sensor de nivel. El controlador es el cerebro de la implementación porque permite controlar los niveles por medio de un móvil o por la plataforma Lorentz.

Cabe indicar que si se implementan paneles solares, los motores diseñados por la compañía de servicio Lorentz trabajan con corriente continua, muy diferente a los motores ARROW que actualmente operan en el campo Gustavo Galindo Velasco que son generalmente motores de combustión interna de 9 a 13 HP, y a los motores eléctricos de 10 HP que son de corriente alterna.

**- Análisis del sensor de nivel.** El sensor de nivel permitirá la medición automática de los niveles de fluido, este dispositivo se colocará en la parte inferior de la instalación de Bombeo Mecánico, en si es un medidor de presión que detecta la presión a la columna del pozo. Esta presión es transmitida a la tarjeta del controlador donde es traducida a una medida detectando el nivel de fluido.

Todos los datos se registran en el controlador de la bomba. El controlador proporciona control de velocidad, ciclos temporizados o de encendido/apagado, control de nivel.

Los productos LORENTZ se destacan entre la competencia por el diseño de ingeniería, la utilización de materiales para condiciones hostiles, las aplicaciones de control integradas, los excelentes estándares de fabricación y los excepcionales niveles de prueba de cada producto fabricado. A continuación, se detalla en la tabla N° 7 los diferentes tipos y las especificaciones de los sensores de nivel que ofrece la compañía Lorentz.

El sistema de operación tiene la posibilidad de elegir el suministro de energía, lo que le permite funcionar con una pequeña red eléctrica, un generador o con energía solar.

**Tabla 7**

*Especificaciones de diferentes tipos de sensores de nivel de fondo*

<b>Ítem #</b>	<b>Especificaciones Sensor de nivel de fluido</b>	<b>Rango de presión</b>
<b>19-005040</b>	0-10m/33ft/100ft cable	0-100 KPa 0 to 10 m / 0 to 33ft 0 to 1 bar / 0 to 14.5 psi
<b>19-005050</b>	0-20m/66ft,40m/130ft cable	0-200 KPa 0 to 20m/ 0 to 66 ft 0 to 2 bar / 0 to 29 psi
<b>19-005080</b>	0-50m/164ft,60m/200ft cable	0-500 KPa 0 to 50m/ 0 to 164 ft 0 to 5 bar / 0 to 72.5 psi
<b>19-004395</b>	0-100m/328ft, 140m/460ft cable	0-1000 KPa 0 to 100m/ 0 to 328 ft 0 to 10 bar / 0 to 145 psi

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### **2.5.6 Análisis del cable del sensor de nivel**

Existen diferentes tipos de cables de sensores de fondo, la selección depende de las condiciones de los pozos y de los parámetros que se deseen medir, los cables existentes son de tipo de fibra óptica, cables electromagnéticos, cables de presión y temperatura.

Los cables a utilizar deben estar diseñados a la resistencia a la corrosión para garantizar la durabilidad y precisión en la medición.

La elongación del cable, también es otro factor importante en la evaluación de parámetros, debe cumplir la flexibilidad y resistencias para soportar la tensión y carga ejercida durante la operación.

El cable debe ser compactible con el sistema para generar comunicación de la medición requerida, además debe cumplir con las calibraciones e inspecciones adecuados para un programa de mantenimiento para futuro o reemplazo.

### **2.5.7 Análisis de Abrazaderas**

Este accesorio es considerado muy útil durante la instalación del cable del sensor debido a que sujetaría el cable a la tubería de producción de 2 3/8" o 2 7/8", esta abrazadera ayuda a asegurar un correcto funcionamiento y tener estabilidad para evitar posibles problemas en el fondo del pozo, tomando en cuenta que debe cumplir con las características de operatividad y soportar la presencia de corrosión, resistencias a presiones de fondo, temperaturas, normativas y estándares que cumplan los requisitos mínimos para el funcionamiento de soporte al cable del sensor.

### **2.5.8 Análisis de las bombas trabajando al vacío.**

El Campo Ancón es un campo maduro donde el agotamiento de los ciclos programados de un pozo petrolero es muy frecuente y a la vez causa problemas operacionales en el sistema de extracción. Es importante resaltar que no es un problema grave si la bomba no se encuentra sumergida en el fluido cuando el balancín se encuentre apagado, las bombas no sufren daño. Sin

embargo, se convierte en una desventaja cuando la bomba está en funcionamiento, ya que succiona sin tener fluido en el pozo. Y al no cumplir con el potencial programado por falta de aporte de fluido en el yacimiento, la bomba de subsuelo trabajaría en seco ocasionando algunas consecuencias:

- **Desgaste de la bomba** al no estar sumergido la bomba RWAC en el fluido, esta trabajaría en seco provocando mayores desgastes internos de la bomba y de las válvulas.
- **Sobrecalentamiento de los Motores Arrow**, al no existir energía térmica o movimiento de la bomba en un fluido, esto podría sobrecalentar la bomba al trabajar en seco ocasionando daños en el funcionamiento al no ser controlada adecuadamente.
- **Cavidades de gas**, al no aportar fluido al pozo la bomba trabajaría en seco y esto provocaría cavidades de gas generando pérdidas en eficiencias.

El bajo rendimiento de las bombas puede generar riesgos en la extracción de fluido, por lo cual es crucial mantener optimizado el nivel y evitar que este descienda, de manera que la bomba no se quede sin sumergencia de líquido.

## 2.7 Procedimiento de Cálculo de presión en el fondo del pozo

El cálculo de presión de fondo es un dato específico el cual se puede determinar si el sensor es compatible en el fondo del pozo y pueda soportar cambios de presiones en la columna de fluido. Echometer realiza los cálculos automáticamente de las presiones, como el PIP sus siglas en ingles es Pump Intake Pressure que significa Presión de la entrada de la bomba, esta presión asume que la interfase agua-petróleo se encuentra al nivel de la entrada de la bomba, y realiza una sumatoria y es la siguiente: presión del casing ( $P_{csg}$ ), la presión de la columna de gas o la interfase gas líquido ( $P_{gas-líquido}$ ), y la columna de petróleo que es líquido gaseoso  $P_{líquido-gas}$ .

$$PIP = P_{csg} + P_{gas} + P_{líquido-gas} \quad Ec. (1)$$

### 2.7.1 Ecuación que utiliza el Software TAM para obtener la Presión de la columna de gas

A continuación, se detalla las ecuaciones para obtener las presiones:

$$P_{\text{columna gas}} = \frac{0.0188 \times (P_{\text{csg}} + P_{\text{promedio}}) \times \gamma_{\text{GAS}} \times \text{NL}}{Z \times T} \quad (2)$$

Donde; 0.0188 = Constante adimensional

$P_{\text{csg}}$  = Presión del casing, (psi)

$P_{\text{promedio}}$  = Presión de valor promedio de la columna de gas y se calcula en la Figura 15

$\gamma_{\text{GAS}}$  = Gravedad específica del gas

NL= Nivel del líquido, (ft)

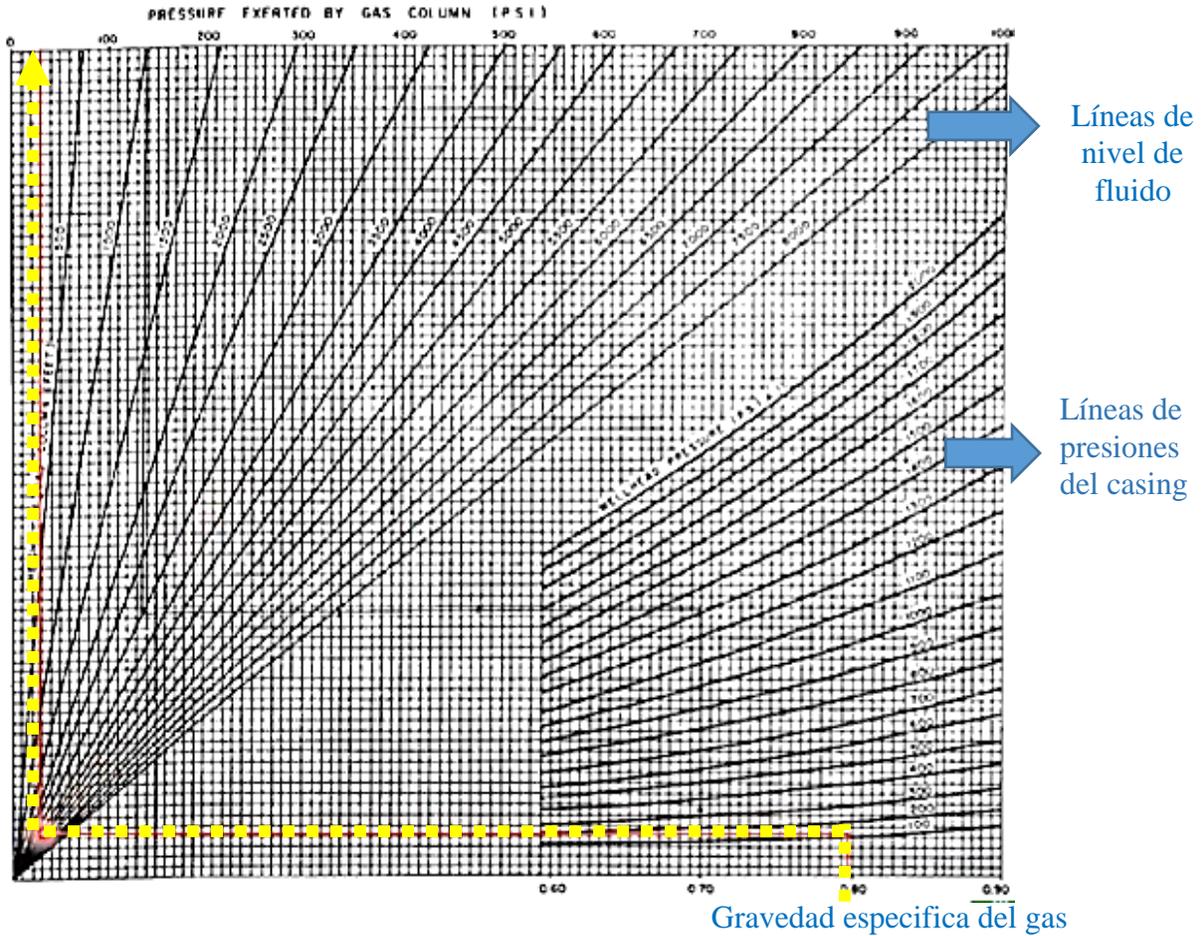
Z= Factor de la compresibilidad de los gases (valor de Z es 1 por tener presiones de casing por debajo de 300 psi)

T= Temperatura (°R)

Al sustituir los valores en la ecuación (2), se puede observar el valor de P promedio, el cual no es un dato conocido y debe obtenerse de la Figura 16. Para ello se ingresa la gravedad específica del gas y se intercepta con las líneas de presión del casing. Luego se traza una recta hasta llegar a las líneas de nivel de fluido. Se selecciona la línea de nivel de fluido obtenida por el Echometer y se traza la línea hasta alcanzar la presión promedio de la columna de gas.

**Figura 16**

Gráfica Presión promedio de la columna de gas



Fuente: Tomado de (GLOBAL, 2020b)

### 2.7.2 Ecuación que utiliza Echometer para obtener la Presión de la columna de interfase gas-líquido

Una vez obtenido el resultado de la ecuación (2), que representa la presión de la columna de gas, se le suma la presión del casing con el fin de determinar la presión en la interfase gas líquido.

$$P_{interfase\ gas-líquido} = P_{columna\ de\ gas} + P_{csg} \quad (3)$$

### 2.7.3 Ecuación que utiliza Echometer para obtener la Presión de la columna de interfase líquido-gaseosa

Para resolver la ecuación es necesario conocer la fracción de gas y la fracción de líquido y para ello se utiliza la Figura 17.

Para ingresar a la curva, se debe tener en cuenta dos datos: el nivel de líquido obtenido de la prueba acústica y el resultado de multiplicar este valor por el diferencial de presión respecto al diferencial del tiempo, según se explica en la ecuación (4) de la prueba de mini Buildup.

$$NL \times \frac{dp}{dt} \quad (4)$$

Se ingresa en la Figura 17 el valor obtenido de la ecuación (4)  $NL \times \frac{dp}{dt}$ . A continuación, se realiza la intersección en la curva S y se traza una línea hasta alcanzar el resultado de la fracción de gas ( $f_{gas}$ ).

Una vez obtenido el resultado de la fracción de gas se procede a calcular el Nivel de Líquido Equivalente (NL')

$$NL' = f_{gas} \times Prof_{datum} - NL \quad (5)$$

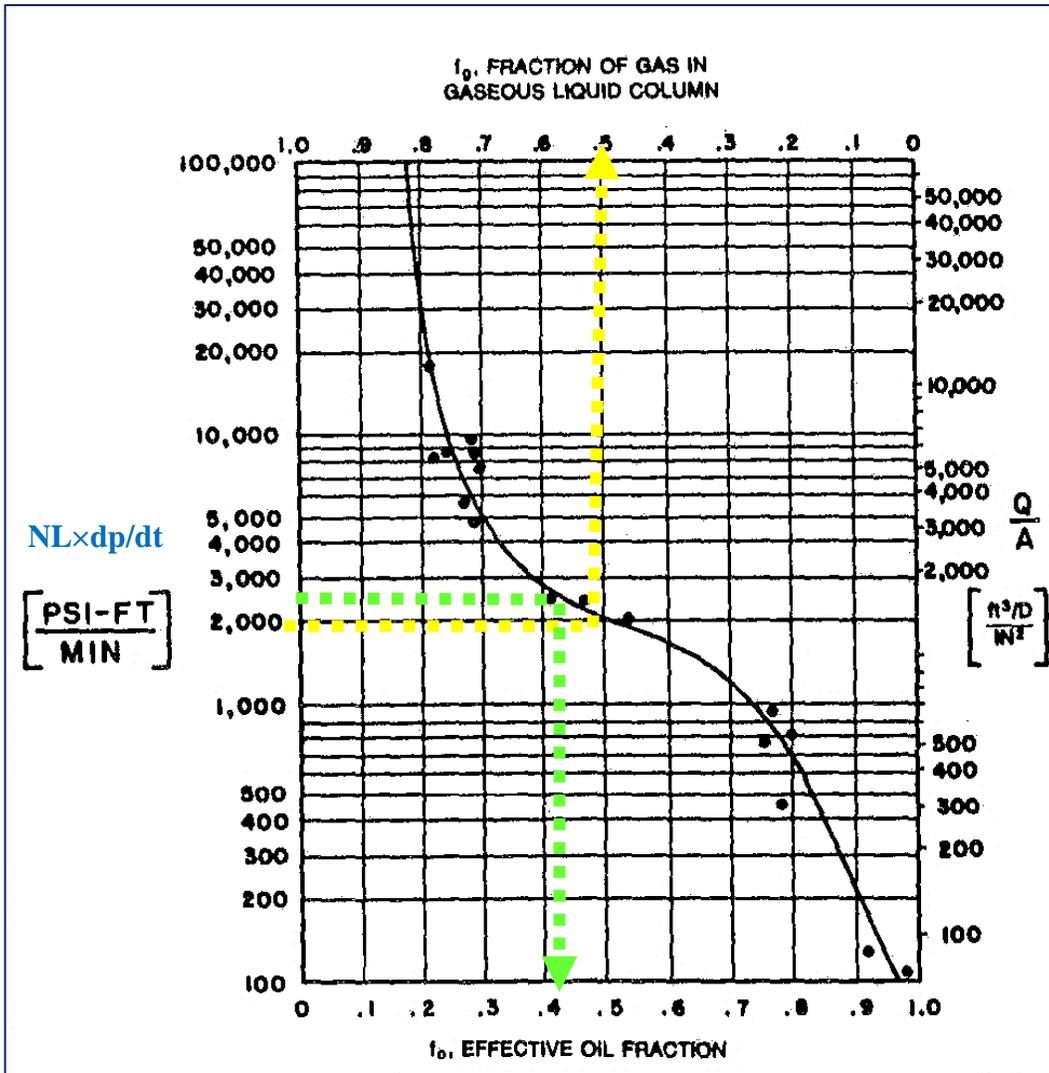
El valor obtenido del NL' se multiplica por el diferencial con respecto al tiempo.

$$NL' \times \frac{dp}{dt} \quad (6)$$

Al obtener el resultado de la multiplicación de la ecuación (6) se procede a ingresar nuevamente a la gráfica, donde se interseca con la curva S. A partir de ese punto, se traza una recta hasta alcanzar la fracción correspondiente al líquido.

**Figura 17**

*Curva fracción del líquido y fracción de gas*



Fuente: Tomado de (McCoy et al., 1988)

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Pozos candidatos para la implementación del sensor de nivel de fondo

Del estudio técnico en el Campo Gustavo Galindo Velasco se eligieron cinco pozos, los cuales cumplieron con las características para la implementación. Estos pozos son: ANC0768, ANC1386, ANC0694, ANC0644, y ACH0022. Se encuentran ubicados en la Zona Central, y Zona Norte, en el siguiente Tabla 8 se muestra las coordenadas de ubicación y las formaciones de los pozos a implementar. Ver Figuras 18 y 19

**Tabla 8**

*Pozos seleccionados para la implementación*

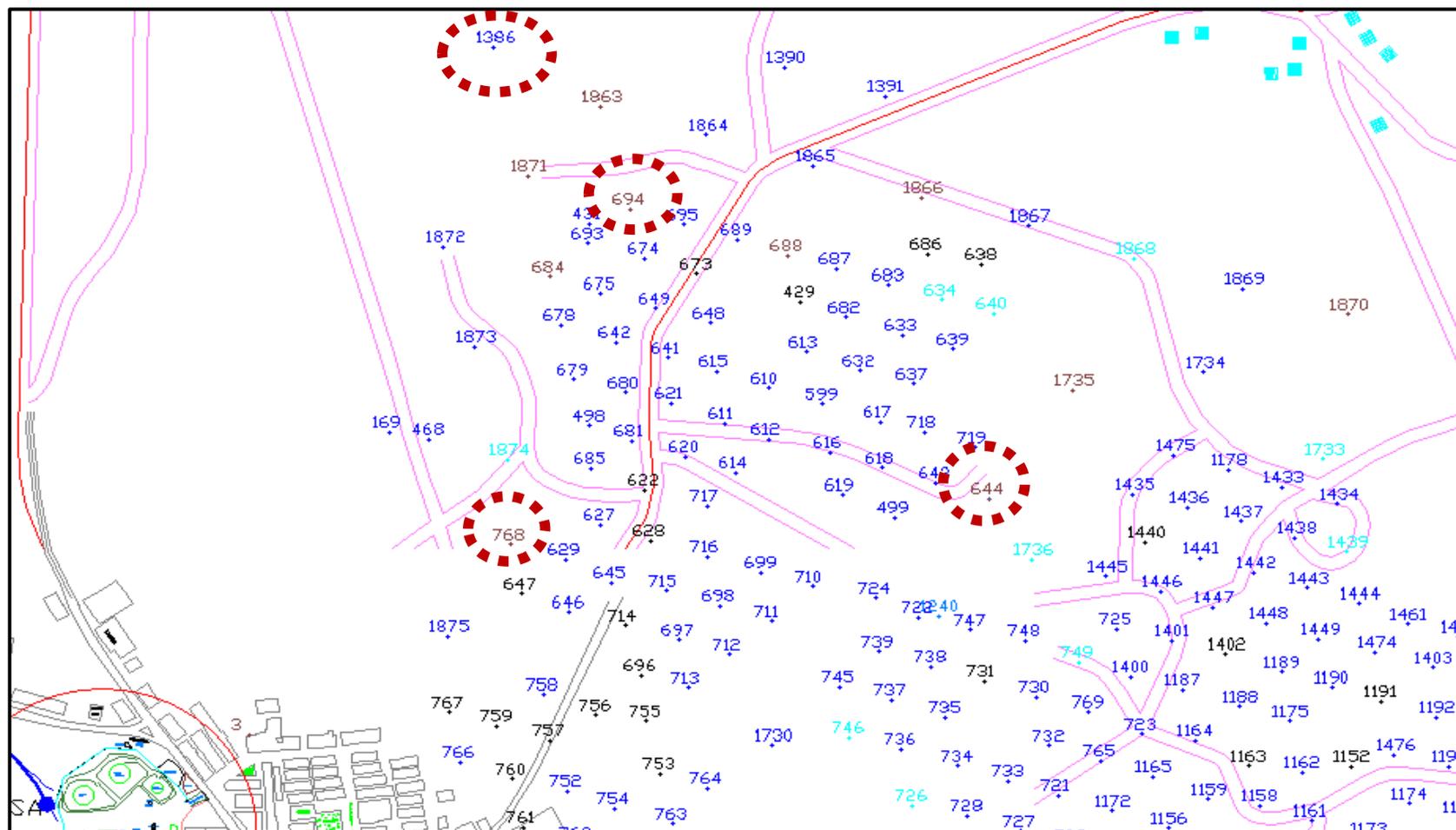
<b>Pozos</b>	<b>Zona</b>	<b>Sección</b>	<b>Formaciones</b>	<b>Coordenadas X</b>	<b>Coordenadas Y</b>
<b>ANC0768</b>	Central	73	Socorro	516815	9744643
<b>ANC1386</b>	Central	73	CPB/PB	516786	9745614
<b>ANC0694</b>	Central	73	SO/CPB	517031	9745298
<b>ANC0644</b>	Central	73	Socorro	517675	9744733
<b>ACH0022</b>	Norte	Santa Paula	Santa Elena	509948	9751505

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)



### Figura 19

Mapa de ubicación de los pozos ANC 1836 - 0768 - 0694 - 0644



Fuente: Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

## 3.2 Resultados de Evaluación de Parámetros para aplicar el sensor de nivel

### 3.2.1 Parámetros considerados en el análisis de Completación de pozos

La información histórica existentes en el Campo fue de gran utilidad, ya que permitió conocer el resultado de las características de los pozos y, a su vez, facilitó la evaluación del espaciado entre el revestimiento y la tubería de producción. Esto fue importante para identificar el espacio adecuado para que el sensor ubicado en el fondo del pozo funcione correctamente con un casing mayor a 5 ½ pulgadas. También se tuvieron en cuenta las conexiones del cable del sensor, las cuales estarían instaladas fuera de la tubería de producción de 2 3/8 pulgadas (ver Anexo A). Por lo tanto, fue fundamental analizar las dimensiones con el fin de garantizar un óptimo rendimiento y evitar obstáculos durante la instalación. En la tabla N° 9 muestra los parámetros específicos de los 5 pozos seleccionados para la implementación.

**Tabla 9**

*Parámetros de las características de los pozos considerados para la implementación*

<b>POZOS</b>	<b>Casing (in)</b>	<b>Tubing (in)</b>	<b>Profundidad de asiento de la bomba (ft)</b>	<b>Bomba</b>	<b>TD (ft)</b>
<b>ANC0768</b>	7	2 3/8	686.7	20-125-RWAC-8-3	738
<b>ANC1386</b>	5 1/2	2 3/8	1233.8	20-125-RWAC-12-4	1996
<b>ANC0694</b>	7	2 3/8	579.4	20-125-RWAC-8-3	606
<b>ANC0644</b>	6	2 3/8	789.3	20-125-RWAC-12-4	830
<b>ACH0022</b>	6 1/4	2 3/8	1181.10	20-125-RWAC-8-3	1210

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

Además, en la tabla N° 9 se puede identificar la profundidad de instalación del asiento de la bomba RWAC más usada en el campo, siendo uno de los parámetros que determinará la posición y fijación adecuada a instalar el sensor de fondo del pozo.

### 3.2.3 Parámetros considerados en el análisis del equipo Echometer

La información obtenida por el Software Total Asset Monitor ha logrado obtener un estudio más eficiente para la propuesta del proyecto. En la tabla N° 10 se muestra los resultados de los registros acústicos de los pozos seleccionados

**Tabla 10**

*Registros acústicos de nivel Dinámico*

<b>Registros acústicos de nivel dinámico</b>											
POZOS	BPD	POTENCIAL BLS	CICLO	Profundidad de nivel dinámico ft	Presiones de fondo - psi		Flujo de gas en el anular Mscf/D	Prueba mini Buildup		Fluido	
					PIP- psi	PBHP psi		Buildup- psi	Buildup Time sec	Fluido debajo de la bomba	Fluido encima de la bomba
ANC0768	2	24	12	676	4.0	18.4	1.6	0	15	100%	100%
ANC1386	2	8	4	1219	8.5	86.3	0.7	0	15	98.65%	98.95%
ANC0694	0.8	4	5	563	1.4	10.6	6.0	0.2	35	91.43%	92.20%
ANC0644	1	5	5	747	16.3	28.1	0.8	0	45	100%	100%
ACH0022	4	12	3	1043	43.8	50.9	9.2	0	15	92.54%	92.94%

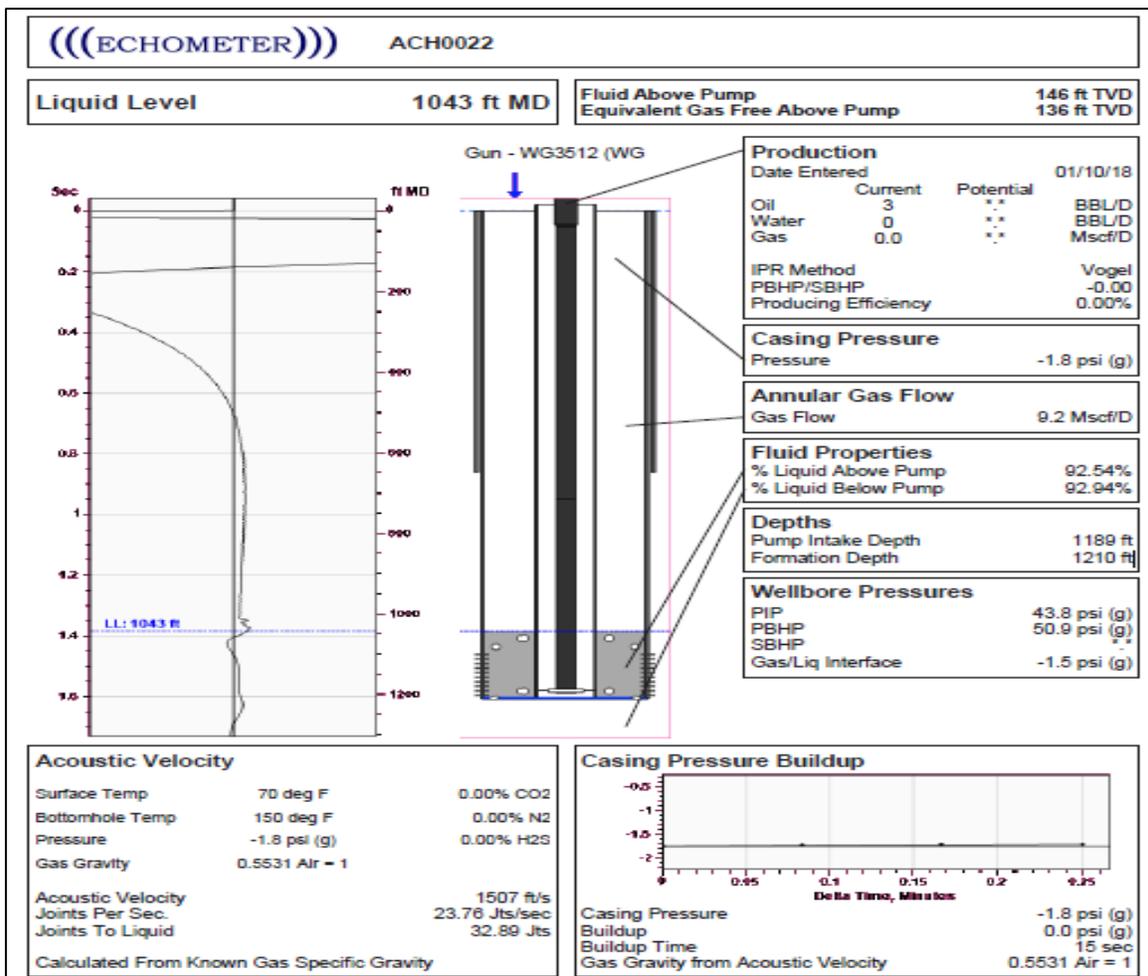
**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En la Figura 20, se presenta el informe específico del pozo ACH0022. En los Anexos, se encuentran informes detallados de todos los pozos candidatos evaluados por Echometer. Uno de los parámetros analizados y considerado es el nivel dinámico, que nos permite identificar la precisión de la ubicación del sensor de nivel de fondo. Es importante que el sensor este por debajo del nivel del

líquido para que las mediciones sean confiables. Se muestran los valores de prueba Mini Buildup, la cual es muy útil para realizar las restauraciones de presiones. Esta prueba es clave en el estudio, ya que permite analizar los resultados de las presiones de fondo y verificar si el sensor está dentro de parámetros para operar en condiciones de yacimiento. Además, la prueba indica el caudal de gas presente en el pozo. Si los resultados de la prueba Mini Buildup muestra una línea recta o valores negativos, significa que no hay un mayor aporte de caudal de gas en los pozos.

**Figura 20**

*Informe acústico de nivel del POZO ACH002*



**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

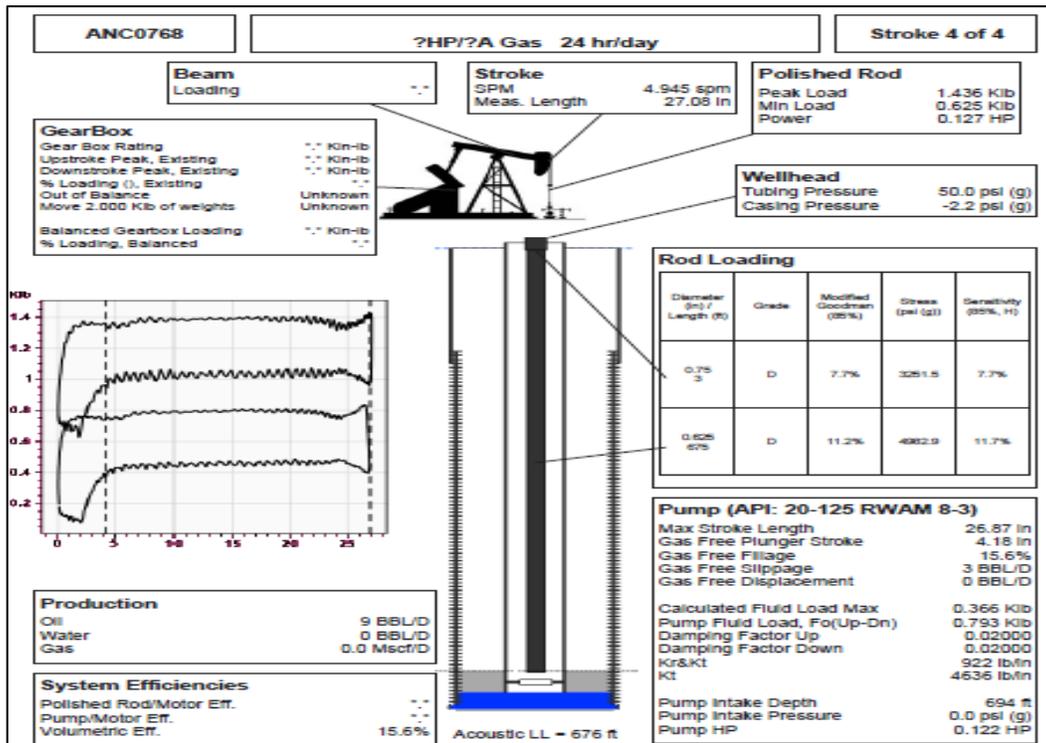
### 3.2.4 Reportes de cartas dinámicas

En los siguientes reportes, se detallan los resultados de los pozos que fueron evaluados y se representan mediante una gráfica de las cargas sobre la barra pulida en un ciclo completo de bombeo. Esta gráfica es conocida como carta dinámica y muestra una carta de fondo. A través de su interpretación, se puede obtener condiciones de la bomba y se identificarán los problemas dependiendo de la forma y los resultados obtenidos.

En el informe, se puede apreciar en la Figura N° 21 un golpe de fluido debido a la falta de sumergencia de la bomba. Esto indica que el yacimiento no ha aportado suficiente cantidad de fluido para llenar el barril y solo se está ingresando gas a baja presión.

**Figura 21**

*Resultado de carta dinámica Pozo ANC0768*

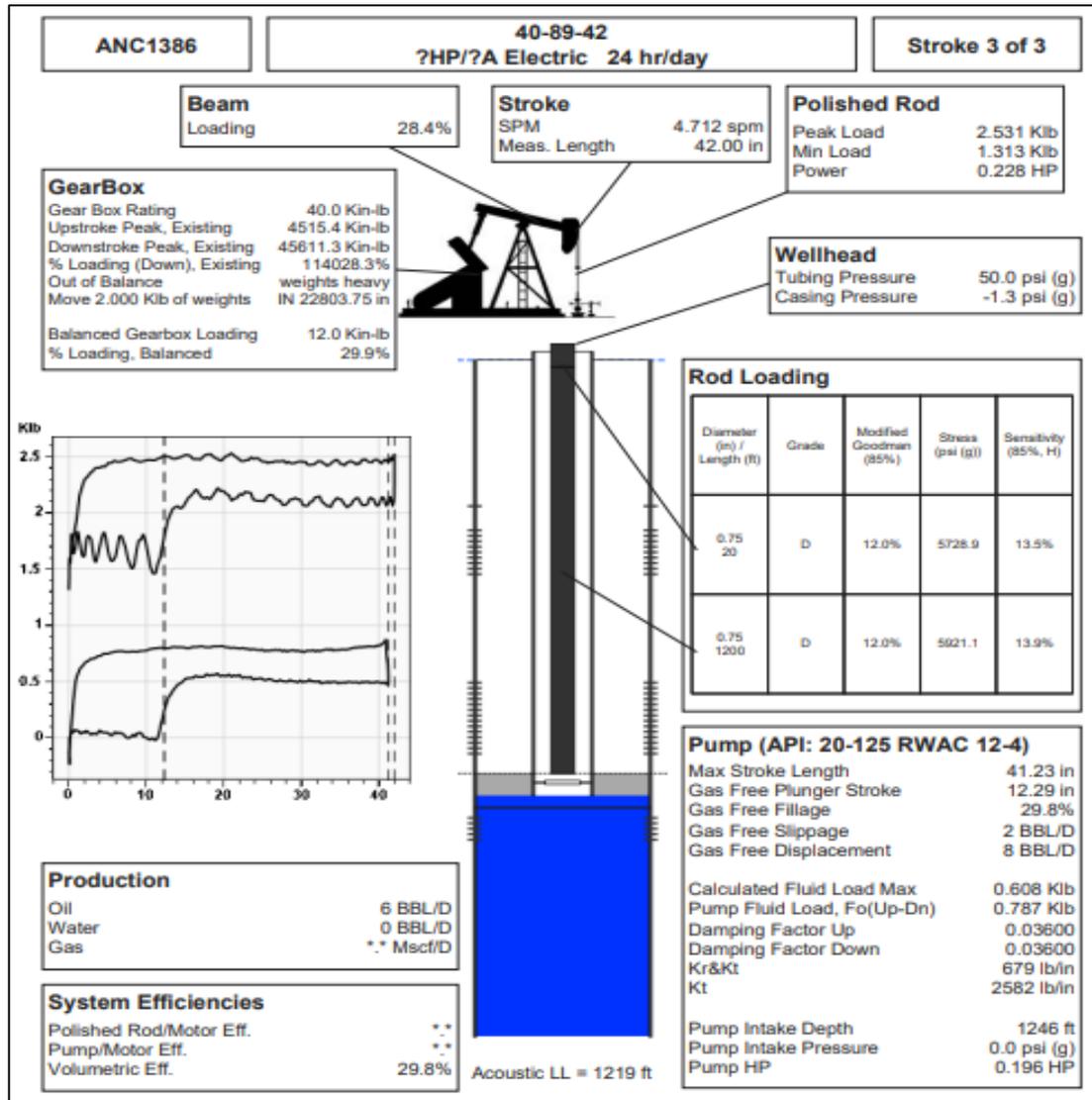


Fuente: Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En el pozo ANC1386 la evaluación de la carta de dinamométrica Figura N° 22 muestra un golpe de fluido, esta es una de las razones que se requiere de la innovación del uso del sensor para evitar trabajar la bomba por falta de nivel adecuado en el pozo, lo que significa que el pistón no se llena completamente, como resultado cuando el pistón baja puede generar un impacto brusco.

**Figura 22**

*Resultado de carta dinamométrica Pozo ANC1386*

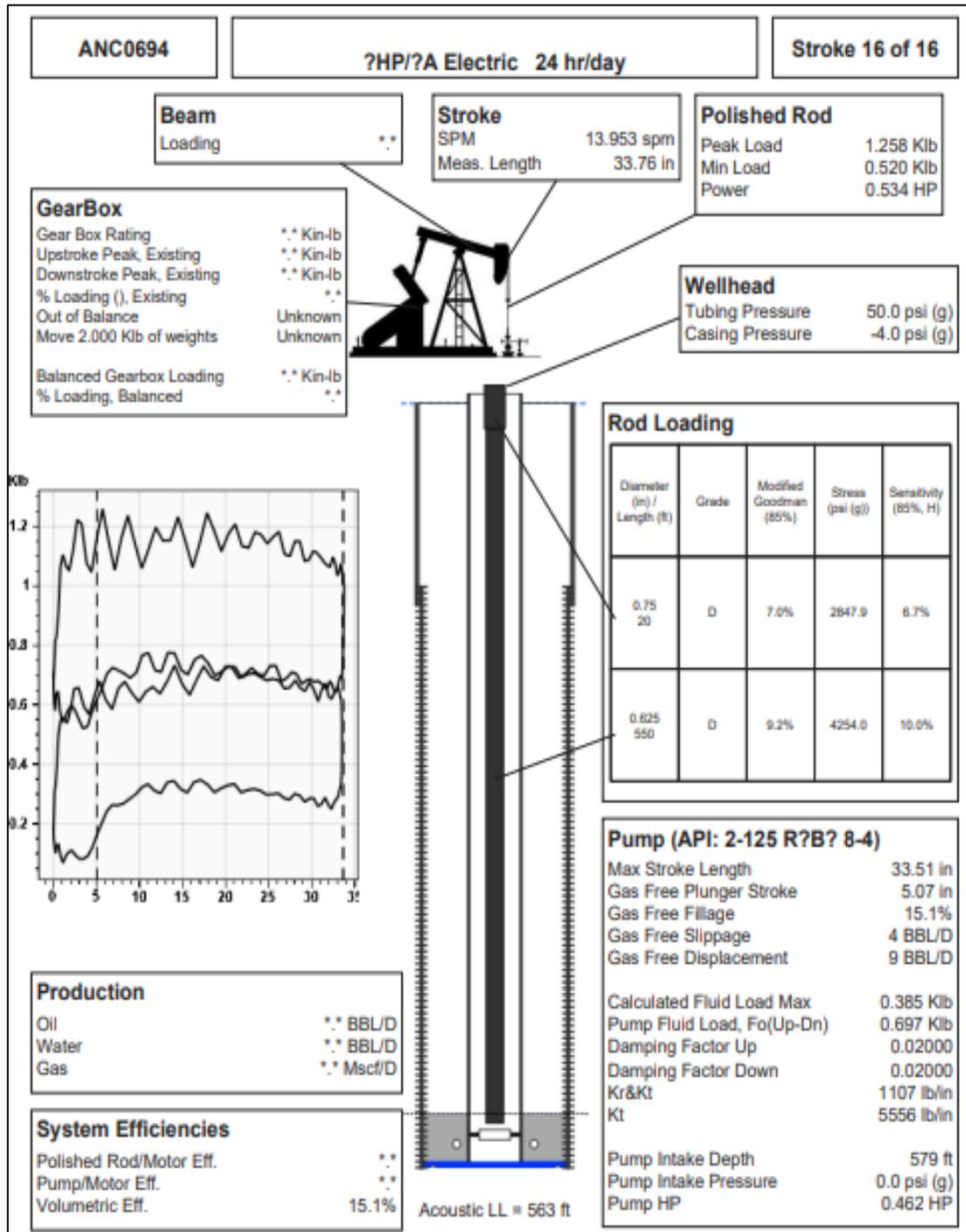


**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

De la misma manera en el pozo ANC0694 podemos observar un golpe de fluido en la figura 23

**Figura 23**

Resultado de carta dinamoétrica Pozo ANC0694

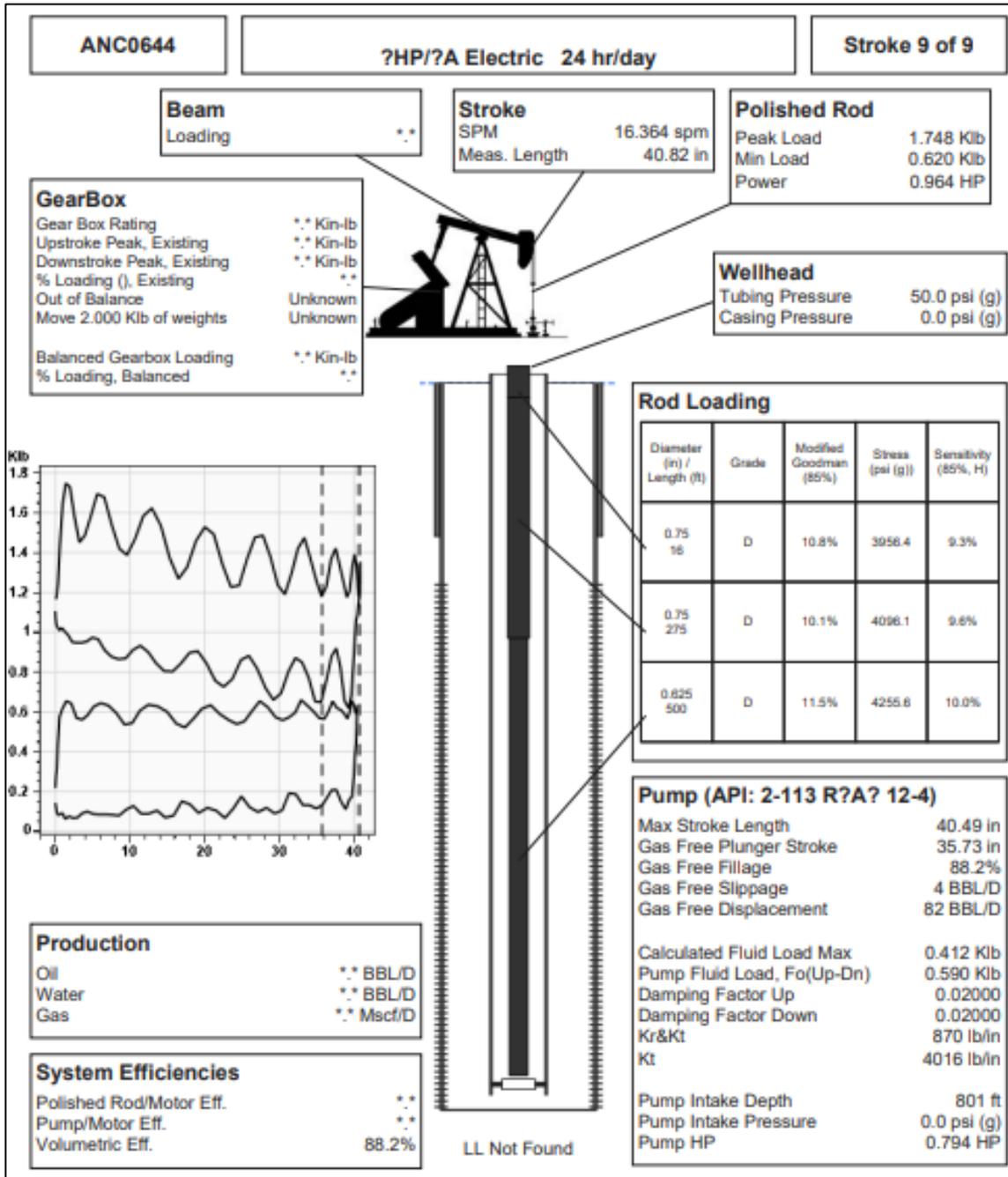


Fuente: Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En los resultados del pozo ANC0644, se muestra un modelo del pozo cuando está vacío y en proceso de recuperación de fluido ver Fig. 24.

**Figura 24**

Resultado de carta dinamoétrica Pozo ANC0644

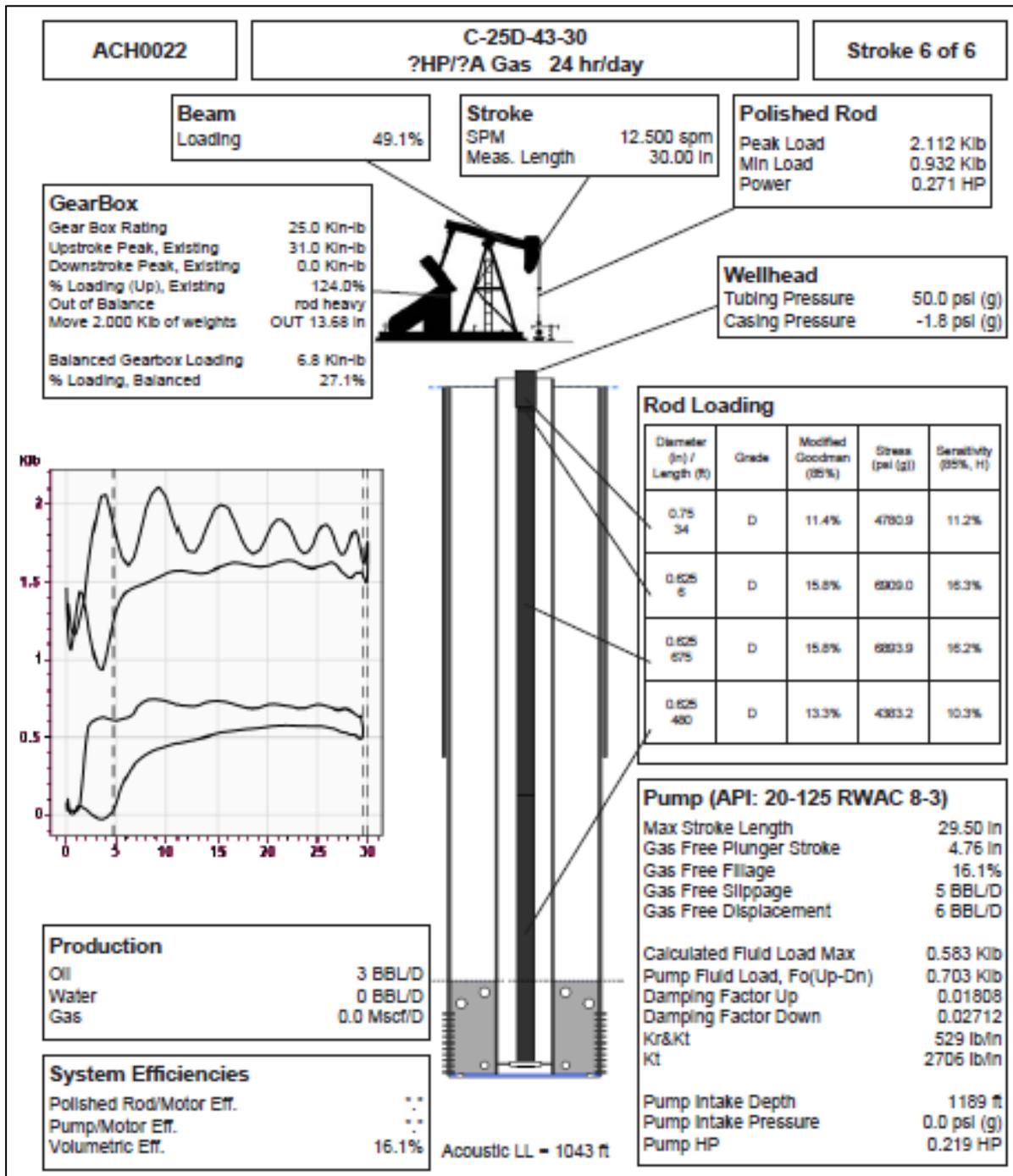


Fuente: Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En la Figura 25 se observa un golpe de fluido, el llenado de barril es muy severo.

**Figura 25**

Resultado de carta dinamoétrica Pozo ACH0022



Fuente: Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### **3.3 Equipos de fondo a instalar**

#### **3.3.1 Sensor de nivel y cable a utilizar en el proyecto**

Los sensores de nivel a instalar en los pozos del Campo Gustavo Galindo Velasco están diseñados para trabajar a altas temperaturas de hasta 150°C debido a que el yacimiento se encuentra a condiciones de alta presión y temperatura, son fabricados con materiales resistentes a la corrosión para asegurar el funcionamiento durante largos periodos de tiempo, el rango de medición del sensor es 100 metros (328 pies), estos sensores pueden manejar presiones de hasta 145 psi. Los sensores son alimentados con corriente continua o con corriente alterna dependiendo las necesidades del monitoreo.

El cable de sensor es tipo redondo de diámetro D7.3 mm blindado contra interferencias electrónicas lo cual ayuda a minimizar las interferencias y mejorar la calidad de señal transmitida. Fueron seleccionados pozos con una profundidad menores de 1500 ft, considerando que la elongación es de 1 pie por cada mil pies de tubería, es importante tomar en cuenta el diseño de instalación y evitar problemas debido a los cambios de temperaturas en el fondo del pozo que conllevan a un aumento de longitud en el tubing. Por lo tanto, al bajar el cable del sensor es recomendable que el cable no esté de forma tensada a la tubería de producción y tenga una holgura, similar a la instalación que existe en el campo de los pozos de Bombeo de cavidad progresiva. El cable del sensor para tener estabilidad va sujeta a unas abrazaderas metálicas colocadas en la tubería de producción.

En la Figura 26 se puede visualizar las especificaciones a utilizar en el equipo de fondo del pozo.

**Figura 26**

*Especificaciones del equipo de fondo*

<b>Especificaciones del sensor de nivel de fondo</b>	
<p style="text-align: center;"><b>Sensor de nivel</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Cable del sensor</b></p> 
<p><b>Rango de medición presión:</b> 0-1000 KPa, 0 to 10 bar / 0 to 145 psi <b>Nivel máximo de operación:</b> 100 metros/ 328 ft</p>	<p><b>Cable de sensor de nivel:</b> Tipo redondo, con diámetro D7.3 mm. <b>Cableado:</b> 2x0.2sqmm, <b>Con protección:</b> blindada (shielded) Sqmm= square millimeter</p>

**Fuente:** Modificado de (Pacifpetrol, 2023)

### **3.4 Alternativa de fuente de alimentación para el sensor de fondo.**

Una opción de estudio para energizar los sensores en los pozos de Bombeo Mecánico es mediante el uso de paneles solares. Este método busca mejorar la eficiencia en la producción de petróleo, tratándose que los pozos del Campo Ancón se encuentran en zonas específicamente en pozos someros.

A continuación, se describe los equipos de superficie a utilizar en esta innovación.

#### **3.4.1 Sistema de Energización Solar en el Sistema de Bombeo Mecánico**

Unos de los beneficios al aplicar la energización solar en el campo Ancón es la libre disponibilidad de energía renovable que no tiene costo. Nuestro país está ubicado en la latitud cero, esto significa que se encuentra en Ecuador donde la presencia del sol es prácticamente permanente

durante el año, se puede experimentar variaciones en la duración de los días, pero la presencia del sol es constante.

Los paneles solares aun con presencia de lluvia o días nublados siguen funcionando y están dimensionados con la mínima radiación solar, generarían menos energía, pero están elaborados para resistir condiciones climáticas adversas.

La irradiación promedio es de 800 vatios al día es suficientemente para que las bombas puedan operar a la máxima potencia.

Para la propuesta de la implementación de este proyecto se utilizarán productos de Global Lorentz encargada a las soluciones e innovaciones del desarrollo del Campo, estos productos de Global Lorentz son soluciones especializadas diseñadas para el bombeo de petróleo.

En la Figura 27 podemos ver un Prototipo de Panel Solares aplicado al Bombeo Mecánico.

### **Figura 27**

*Prototipo de instalación del Panel Solar al Bombeo Mecánico*



**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### **3.5 Equipos de superficie Sistema de Energización y Control**

Es importante destacar que, en el caso de la energía solar se requieren motores de corriente continua para hacer funcionar los balancines. A continuación, se describe que equipos se deben utilizar.

### 3.5.1 Motor Lorentz Ecdrive sin escobillas 4000-CS PJ

Para llevar a cabo la solarización, se requiere un motor de superficie de corriente continua y 5.4 HP que se acople al mecanismo del balancín. El motor de corriente continua sin escobillas es altamente eficiente, en un rango de trabajo amplio a los motores de las unidades de bombeo mecánico existentes, con un rendimiento superior al 50-100%. Este motor, conocido como Ecdrive, es recomendable para las bombas mecánicas “pump jacks” debido a su capacidad de mantener una alta eficiencia incluso cuando los módulos solares generen niveles de potencia bajos, permitiendo funcionar el balancín. En la siguiente Figura 28 se detalla algunas de sus características:

#### Figura 28

*Característica del motor ECDDRIVE*

MOTOR ELÉCTRICO DE SUPERFICIE	
<p><b>Clasificación del Motor:</b> TEFC <b>Amperaje:</b> 14.6 A <b>Temperatura</b> de S1/50°C /120°F <b>Potencia:</b> 4KW/5.4 HP <b>Tensión de entrada:</b> 60-240 V DC <b>Velocidad:</b> 450 a 170 rpm <b>Eficiencia:</b> 90% <b>Frame:</b> 182T <b>Características Físicas:</b> Clase de aislamiento F-grado de protección IPX4- Acero inoxidable</p>	

**Fuente:** Tomado de (Lorentz, 2021)

### 3.5.2 Controlador de bomba

El controlador Lorentz PS2-4000 actualmente se utiliza en los sistemas de BCP y es un equipo que se adaptaría al sistema de levantamiento artificial por Bombeo Mecánico para energizar el motor del balancín. El controlador puede ser energizado directamente desde la red eléctrica o mediante paneles solares fotovoltaicos, es ideal para lugares remotos donde no hay acceso a la red

eléctrica. Una de las características principales del controlador es su capacidad de comunicación a través del software PumpScanner, mediante Bluetooth en el sitio donde se encuentra instalado, y a través de la Plataforma Lorentz Global de forma remota. Esta comunicación permite controlar la velocidad en los tiempos de encendido y apagado del balancín, es decir permite cambiar la tasa de producción y el tiempo del ciclo. Además, cuenta con un registrador de datos y un módulo de comunicación Bluetooth, dos entradas de 4-20 mA y un terminal de salida para controlar dispositivos externos. En cuanto a su mantenimiento, el controlador Lorentz PS2-4000 es sencillo y eficiente, ya que permite el cambio fácil de tarjetas electrónicas en el sitio de instalación. (Ver figura 29)

### **Figura 29**

*Controlador de bomba*



**Fuente:** Tomado de (Lorentz, 2021)

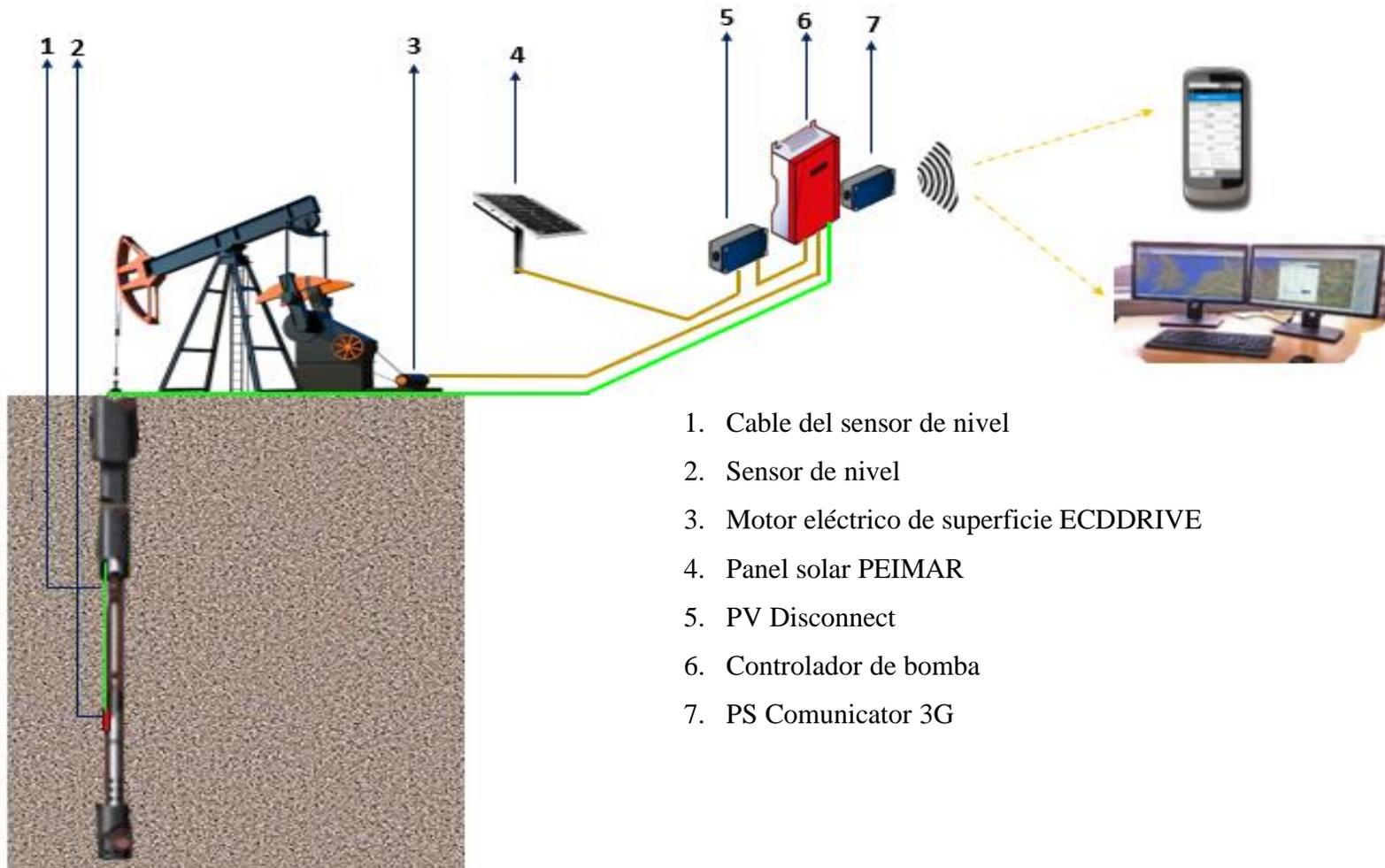
### **3.5.3 PV Disconnect.**

Su principal función es proporcionar una manera segura de cortar la conexión eléctrica entre el sistema solar y la red, ya sea por mantenimiento, o reparación en caso de emergencia.

En la figura 30 se detalla la nueva esquematización de la propuesta del proyecto tanto del equipo de fondo, como los equipos de superficie.

### Figura 30

Esquematación de la implementación



### 3.6 Criterios y beneficios de instalación del sensor de nivel

La instalación inteligente dará una solución automática al equipo de bombeo mecánico mejorando la extracción de fluido sin que se agote por completo el pozo.

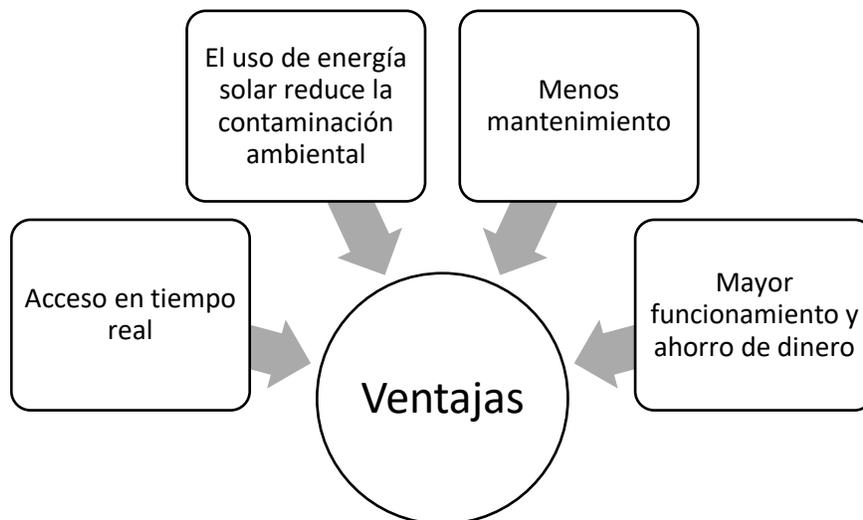
**Eficiencia.** Al operar con energía solar beneficiará una larga vida útil a las unidades de Bombeo Mecánico, debido a que el motor es diseñado para funcionar con energía fotovoltaico de tal manera que el sistema trabajará de forma eficiente, confiable y rentable. Los beneficios potenciales que representaría este proyecto es el ahorro de energía como la reducción del impacto ambiental.

**Monitoreo y control.** Es posible controlar y administrar completamente desde una aplicación de forma remota desde su puesto de trabajo, inclusive de su automóvil.

El controlador digital cuenta con aplicaciones incorporadas y entradas, lo que permite al sistema ajustar la velocidad de producción y la duración de su funcionamiento. En la Figura 31 podemos ver unas de las ventajas del sistema

**Figura 31**

*Ventajas del sistema automatizado al Bombeo Mecánico*



### **3.7 Configuración de la Plataforma Lorentz Global**

El monitoreo y control de las bombas de fondo RWAC de los pozos se la puede llevar a cabo mediante el teléfono, Tablet o desde una computadora las 24/7, mediante un PS Communicator se encarga de enviar la información a la Plataforma.

Para realizar la instalación o configuración desde el celular o PC, se ingresa a la aplicación y se conecta al controlador para automatizar el encendido y apagado de balancín.

Después de acceder a la Plataforma, se procede a realizar la configuración necesaria ingresando el tipo de bomba instalada en el pozo. En el estudio los pozos corresponden a las series de bombas 20-125-RWAC-8-3 y 20-125-RWAC-12-4, adicionalmente se requiere ingresar datos de entrada analógica al sistema y la información es la siguiente:

#### **Sensor análogo 1**

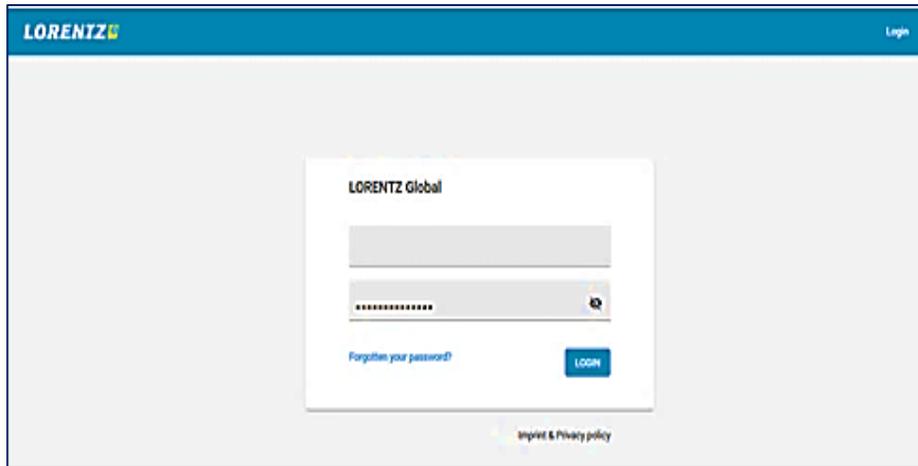
- Seleccionar el tipo de sensor de nivel
- Ingresar el rango de nivel a medir (328ft), es importante dimensionar el equipo y saber el nivel de fluido encima de la bomba para evitar dañar el sensor.

En la configuración operativa también se podría trabajar la bomba por temporizador por intervalos o ciertas horas en el día, es muy útil para el operador porque se puede apagar o encender automáticamente desde la aplicación aun encontrándose a largas distancias o cualquier parte del mundo siempre y cuando haya acceso a internet.

En la siguiente Figura 32 visualizamos el acceso al software Lorentz Global.

## Figura 32

*Acceso a la Plataforma*



**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

Una vez que se establece la conexión, este sistema proporciona comunicación enviando datos a través de un PS Communicator hacia la página web. Y la data es la siguiente:

- Mide y registra los niveles de fluido
- Control y monitoreo total de la bomba en sitio, con el uso de un Smart phone o Tablet /sistema androide (ver figura 33).

## Figura 33

*Equipos de Control y Monitoreo*



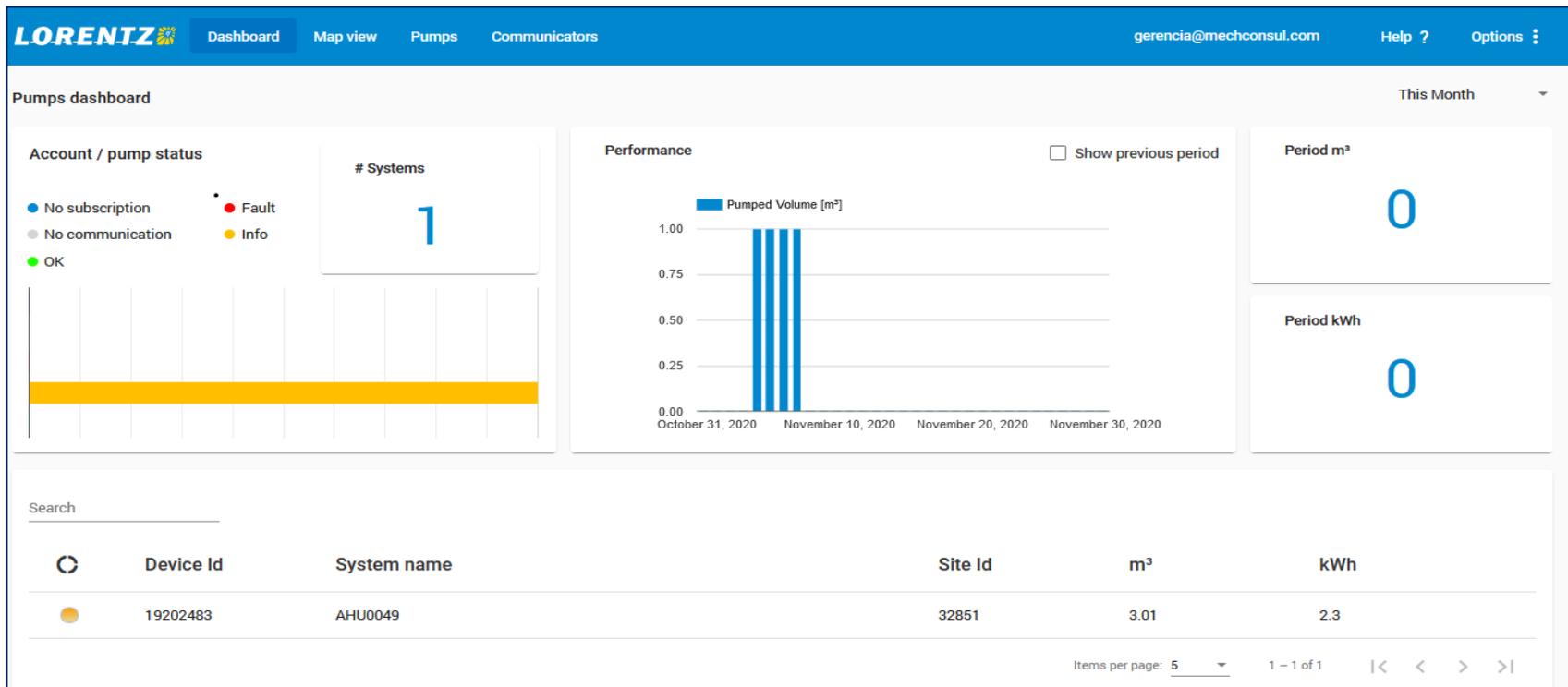
**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### 3.7.1 Panel Lorentz Global

En la figura 34 se muestra el Panel de Control de la Plataforma, desde el cual podemos controlar y supervisar en tiempo real el desempeño de la bomba.

**Figura 34.**

*Panel de control*



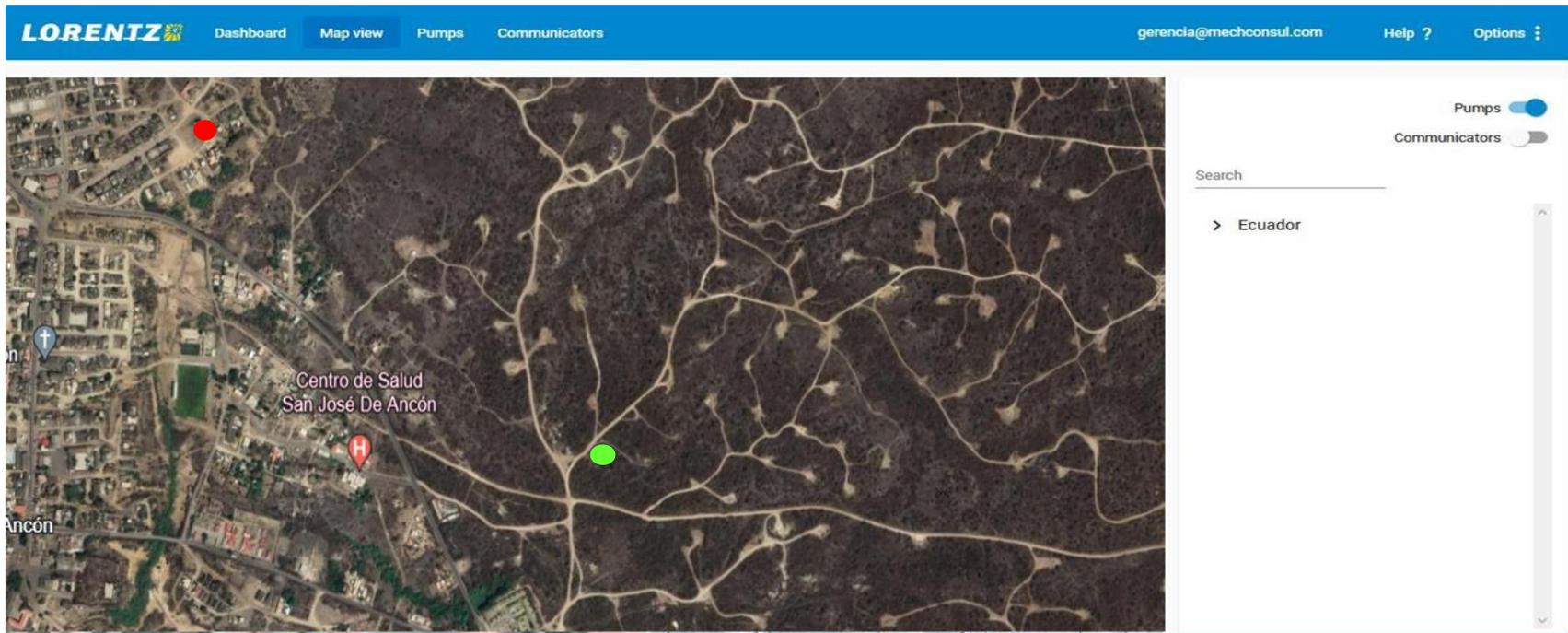
**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### 3.7.2 Localización satelital

La Plataforma también da acceso para ver la ubicación de los pozos ver figura 35, donde se identifica la operatividad del equipo indicando en qué estado de funcionamiento se encuentra el pozo ya sea activo o inactivo.

**Figura 35**

*Ubicación de pozo*

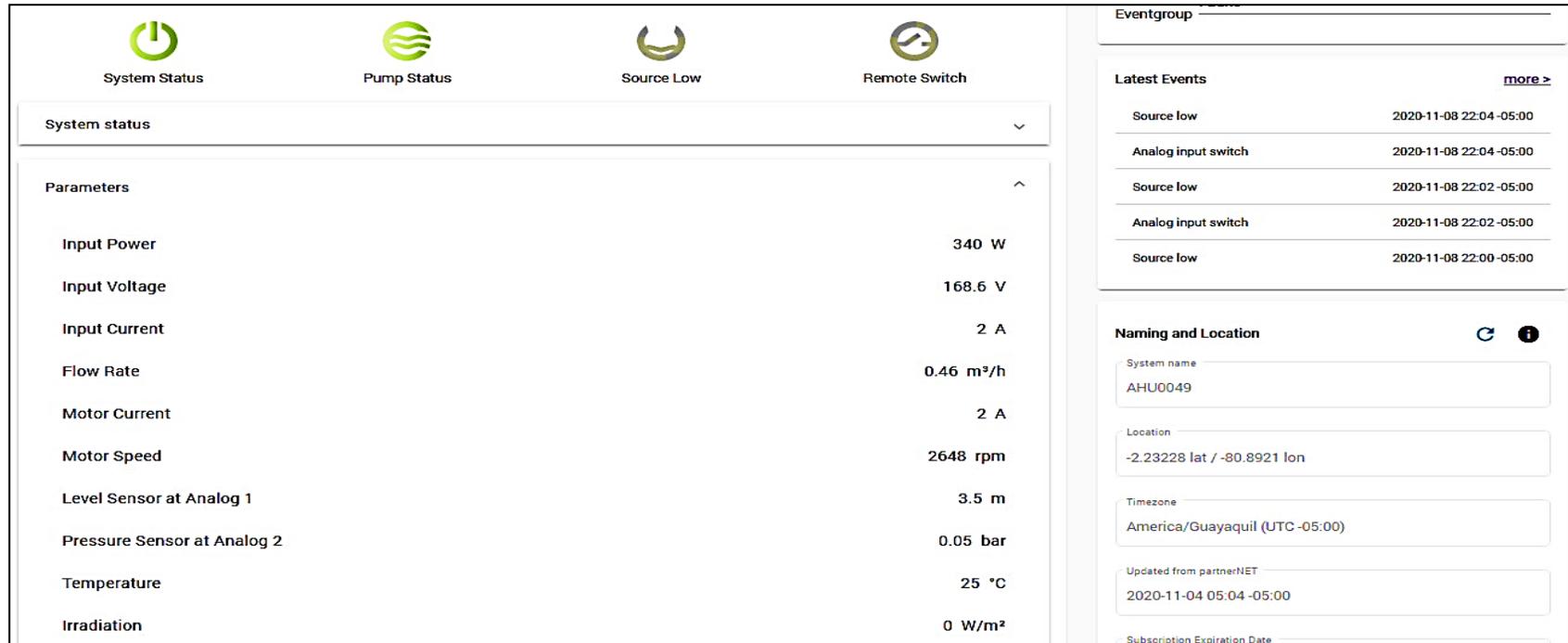


**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

A la vez se puede ingresar al sistema dando clic en la ubicación del pozo y se muestra 4 indicadores: primero indica el encendido o apagado, segundo indica sistema operativo, tercero indica nivel bajo, y cuarto indica un flotador de un tanque de almacenamiento, en el caso del estudio no aplicaría el cuarto indicador. Además, mostrará los parámetros en el que está operando el sistema y se detalla en la siguiente Figura N° 36

### Figura 36

*Parámetros de operación del Sistema*



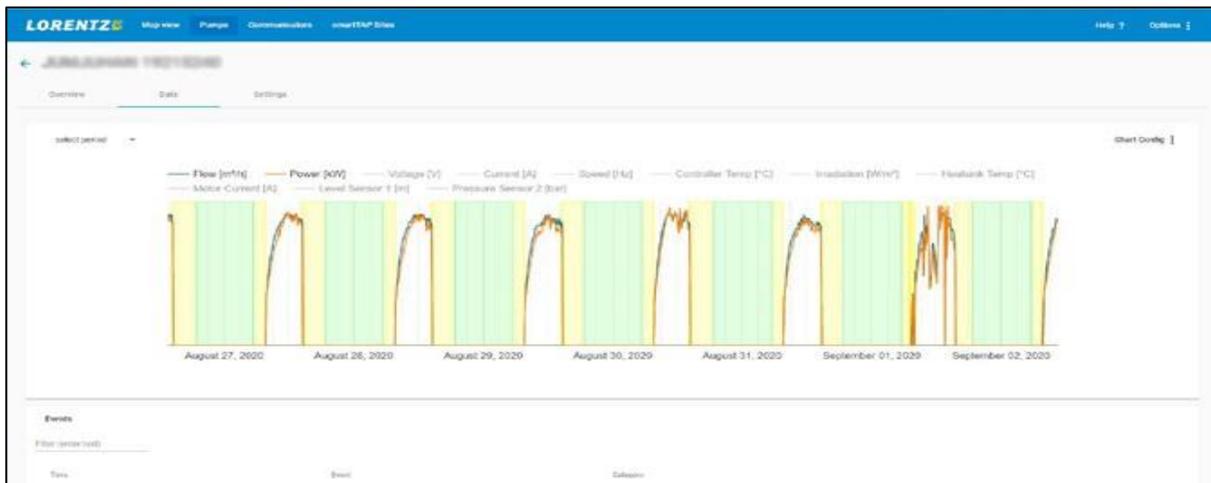
**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### 3.7.3 Gráfica de operación

El control del encendido y apagado automático de la bomba de los pozos se puede observar mediante curvas. En la siguiente Figura 37 muestra un ejemplo de cómo se llevaría el control de encendido y apagado de balancín según la configuración ingresada al sistema.

**Figura 37**

*Curvas de operación*



**Fuente:** Tomado de (Lorentz, 2021)

### 3.8 Costos de implementación de sensores de nivel en pozos seleccionados.

Es importante resaltar que la propuesta del proyecto no tiene un impacto productivo, no se centra en aumentar la producción de petróleo en el Campo GGV con el objetivo de generar mayores ingresos económicos. El enfoque de la propuesta representaría una importante innovación y desarrollo tecnológico al Campo, además consiste en implementar paneles solares en los pozos, lo cual resultaría un ahorro significativo de energía donde los paneles solares captarían la energía solar y lo convertiría en electricidad para el uso de funcionamiento de las operaciones de los pozos. También, reduciría el impacto ambiental al utilizar una fuente energía limpia y renovable. Aunque no se espera un retorno económico, el estudio generaría beneficios a largo plazo a la Empresa.

A continuación, se detalla los costos operativos de los equipos a utilizar para esta implementación.

**Tabla 11***Costos de Equipos de Sistema de Energización Solar y Control*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Motor eléctrico de superficie ECDDRIVE 4000-CS-PJ	1	2775.3	2775.3
Controlador de bomba PS2-4000 Energy Controller-4.0kVA	1	5940.9	5940.9
PV Disconnect 440-50-3-S	1	320	320
Instalación del motor, controlador, accesorios y conexiones eléctricas	1	931.60	931.60
		<b>Subtotal</b>	9967.80
		<b>IVA (12%)</b>	1196.14
		<b>Total (\$)</b>	11,163.94

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)**Tabla 12***Costos de Accesorios de Sistemas de Control*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Sensor de presión, LPS-1000, 0-1000 kPa, AISI 304	1	291.26	291.26
Sensor de nivel, 100m/328 ft	1	439.81	439.81
Cable del sensor de nivel, oil resistant, round D7.3	1234	1.57	1937.38
Surge Protector 2	2	41.75	83.5
		<b>Subtotal</b>	2751.95
		<b>IVA (12%)</b>	330.23
		<b>Total (\$)</b>	3082.18

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

**Tabla 13***Costo de Generador Fotovoltaico*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Panel Solar PEIMAR SL460M, monocristalino de 460W; con 144 células, mono 6BB/9BB M6	24	210.35	5048.4
Estructura soportante para 8 paneles	3	1640	4920
Instalación de estructura, instalación de paneles a estructura, puesta a tierra, materiales y conexiones eléctricas para energizar el sistema de bombeo.	1	1506	1506
		<b>Subtotal</b>	11474.40
		<b>IVA (12%)</b>	1376.93
		<b>Total (\$)</b>	12851.33

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)**Tabla 14***Costo de Sistema de Comunicación*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
PS Communicator 3G without battery, incluye SIM CARD	1	995,15	995,15
Directional Antenna for PS Com	1	179,82	179,82
Panel solar antena, Helios- 20W LC20-12M	1	155,34	155,34
Bateria solar 12V, 7 Ah	1	76,70	76,70
Pump manager credit – servicio conexión anual	1	516,00	516,00
		<b>Subtotal</b>	1923,02
		<b>IVA (12%)</b>	230,76
		<b>Total (\$)</b>	2153,78

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En las tablas 11,12,13, y 14 se muestra detallado los gastos que se requiere para la implementación del uso de sensor y paneles solares para pozos de BM Fijos (BMF), indicando gastos de equipos

en superficie, equipos de fondo, accesorios para en control, equipos de comunicación, y equipos de generación voltaicos.

La inversión inicial para el pozo ANC0768 es de \$ 28,289.39 cabe mencionar que el costo varía en cada pozo debido a la profundidad de asiento de la bomba en la que se encuentra en este caso está ubicado a 687 ft, ya que se requiere de cierta cantidad para la instalación del cable del sensor.

El ANC1386 tiene un valor inicial de inversión de \$29,251.23 con una profundidad del asiento de bomba de 1234 ft. Y el pozo ACH0022 tiene una inversión de \$29,158.04 con una profundidad de la bomba de 1181 ft.

La inversión total de los tres pozos de bombeo mecánico Fijos es de \$ 86,698.66 ver Tabla 15, el objetivo de este proyecto es invertir en tecnología para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones en el campo.

**Tabla 15**

*Inversión total de pozos de BMF*

Inversión	Pozos de bombeo mecánico fijo		
	ANC0768	ANC1386	ACH0022
Sistema de energización y control	11163.94	11163.94	11163.94
Accesorios de sistemas de control	2120.34	3082.18	2988.99
Generador voltaico	12851.33	12851.33	12851.33
Sistema de comunicación	2153.78	2153.78	2153.78
<b>TOTAL</b>	<b>\$28,289.39</b>	<b>\$29,251.23</b>	<b>\$29,158.04</b>
		<b>\$86,698.66</b>	

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

### 3.8.1 Alternativa de costos de instalación para Pozos de Bombeo Mecánico Móvil (BMM)

En las siguientes tablas se detalla los costos para instalación de pozos de Bombeo Mecánico Móvil.

**Tabla 16***Sistema de energización y control de BMM*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Motor eléctrico de superficie ECDDRIVE 4000-CS-PJ, Energy, 4KW	1	2775.3	2775.3
Controlador de bomba PS2-4000 Energy Controller-4.0kVA	1	5940.9	5940.9
Power Pack 4000s	1	2313.83	2313.83
Surge protector, MNSPD-300 AC	1	257.28	257.28
Instalación del motor, controlador, accesorios y conexiones eléctricas	1	931.6	931.6
		<b>Subtotal</b>	12218.91
		<b>IVA (12%)</b>	1466.27
		<b>Total (\$)</b>	13685.18

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)**Tabla 17***Generación por batería BMM*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Batería RB24V200 (24V, Ah, 5120 Wh)	1	5400	5400
Cargador de batería 150 amperios (carga en 1 hora)	1	2290	2290
Inversión Xtender XTM 2400-24 /2400VA/2000VA/24V/230V	1	2482,63	2482,63
Controlador de carga Vario Track VT-80 /12V/24V/48V- U in:7-150 Vdc- I:80A	1	855,36	855,36
Control remoto RCC-0.2 con 2 metros de cable (+SD Card)	1	198,20	198,20
Tablero eléctrico 1,2 x0,8x0,4 m /IP 64/ IK 10 en acero al carbono pintado en color beige y armado	1	1152,93	1152,93
		<b>Subtotal</b>	12379,12
		<b>IVA (12%)</b>	1485,49
		<b>Total (\$)</b>	13864,61

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

**Tabla 18***Accesorios de sistema de control para pozos de BMM*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Sensor de presión, LPS-1000, 0-1000 kPa, AISI 304	1	291.26	291.26
Sensor de nivel, 100m/328 ft	1	439.81	439.81
Cable del sensor de nivel, oil resistant, round D7.3	579	1.57	909.03
Surge Protector 2	2	41.75	83.5
		<b>Subtotal</b>	1723.6
		<b>IVA (12%)</b>	206.83
		<b>Total (\$)</b>	1930.43

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)**Tabla 19***Sistema de comunicación BMM*

Descripción de rubro	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
PS Communicator 3G without battery, incluye SIM CARD	1	995,15	995,15
Directional Antenna for PS Com	1	179,82	179,82
Panel solar antena, Helios- 20W LC20-12M	1	155,34	155,34
Bateria solar 12V, 7 Ah	1	76,70	76,70
Pump manager credit – servicio conexión anual	1	516,00	516,00
		<b>Subtotal</b>	1923,02
		<b>IVA (12%)</b>	230,76
		<b>Total (\$)</b>	2153,78

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En el Campo GGV además de los balancines convencionales, emplean balancines portátiles, su movilidad es una alternativa para el campo, estos pozos también necesitan ser monitoreados es por ello que se seleccionó dos pozos para analizar el costo de equipos a instalar, aunque es recomendable a futuro sean pozos de Bombeo Mecánicos Fijos. En las tablas 16, 17, 18 y 19 se desglosa los equipos a utilizar para los pozos ANC0644 y ANC0694 en esta cotización se emplean baterías para suministrar la energía del funcionamiento del sensor.

El valor de inversión de los pozos con balancines portátiles es de \$63,637.27

## Tabla 20

### *Inversión Total de Pozos de BMM*

Inversión	Pozos de bombeo mecánico móvil	
	ANC0694	ANC0644
Sistema de energización y control	13685.18	13685.18
Accesorios de sistemas de control	1930.43	2299.7
Generador voltaico	13864.61	13864.61
Sistema de comunicación	2153.78	2153.78
<b>TOTAL</b>	<b>\$31,634.00</b>	<b>\$32,003.27</b>
	<b>\$63,637.27</b>	

**Fuente:** Tomado de (Pacifpetrol, 2023)

En el recuadro de Flujo de Caja y flujo acumulado, se hace referencia a los ingresos y gastos monetarios que se generan en las operaciones durante un período de tiempo determinado. La producción diaria alcanza los 10 barriles por día, considerando la implementación de 5 pozos, lo que genera un ingreso de producción anual de 288,000 dólares en el primer año.

**Tabla 21***Flujo de Caja*

Descripción	Inversión inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Producción diaria</b>		10	9.98	9.95	9.93	9.90	9.88	9.85	9.83	9.80	9.78	9.75	9.73
<b>Producción mensual</b>		300	299.25	298.50	297.76	297.01	296.27	295.53	294.79	294.05	293.32	292.58	291.85
<b>Producción Anual</b>		3600	3591	3582.02	3573.07	3564.13	3555.22	3546.34	3537.47	3528.63	3519.81	3511.01	3502.23
<b>Ingresos</b>		288,000.00	23,940.00	23,880.15	23,820.45	23,760.90	23,701.50	23,642.24	23,583.14	23,524.18	23,465.37	23,406.71	23,348.19
<b>Gastos</b>		8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20	8,515.20
<b>Flujo de caja</b>	-150335.92	279,484.80	15,424.80	15,364.95	15,305.25	15,245.70	15,186.30	15,127.04	15,067.94	15,008.98	14,950.17	14,891.51	14,832.99
<b>Flujo acumulado</b>	-150335.92	279,484.80	294,909.60	310,274.55	325,579.80	340,825.50	356,011.79	371,138.84	386,206.77	401,215.75	416,165.92	431,057.43	445,890.42

La inversión inicial requerido para llevar a cabo la instalación de los sensores en los 5 pozos es de \$ 150,335.92.

## CONCLUSIONES

- Los resultados del screening de los pozos de Bombeo Mecánico fueron satisfactorios proporcionando información precisa del estado de las características de los pozos permitiendo seleccionar parámetros que determinaron un buen funcionamiento al uso del sensor de nivel de fondo.
- Las cartas dinamométricas fue una herramienta fundamental donde se logró identificar problemas de las condiciones del estado de las bombas de fondo, con el análisis se pudo determinar las afectaciones en el rendimiento del sistema.
- La propuesta de la implementación del uso del sensor proporcionará numerosos beneficios facilitando la toma de decisiones rápidas programando ciclos de bombeo, accediendo de forma remota al pozo, y permitiendo observar la ubicación y ver en tiempo real los datos de operación de los pozos.
- El sensor de nivel controlará automáticamente el nivel del fluido del pozo de manera más precisa asegurando que la bomba funcione de forma óptima, evitando daños y a la vez prolongando la vida útil de la misma.
- La automatización del proceso permitirá realizar ajustes mediante la Plataforma Lorentz Global según las condiciones del pozo minimizando los tiempos de intervención manual.
- Implementar paneles solares en el Campo Gustavo Galindo Velasco representa una oportunidad significativa para impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector petrolero.
- Los desafíos económicos son fundamentales para la empresa, reflejando una inversión inicial de \$150,335.92 en la instalación de 5 pozos, teniendo en cuenta los costos correspondientes la instalación, los equipos de control y comunicación, así como los equipos de fondo y superficie.

## RECOMENDACIONES

- Considerar y cumplir las características de los pozos al aplicar el sensor de nivel de fondo en casing mayor a 5 ½ y una profundidad de asiento de bomba no mayor a 1500 ft para no tener afectaciones.
- Al obtener los análisis y resultados de las cartas dinamométricas se debe realizar acciones correctivas para evitar cualquier cambio continuo de las condiciones de las bombas.
- Capacitar al personal del uso del software Lorentz Global, además sobre el diseño de instalación y mantenimiento de los sistemas solares, garantizando el correcto manejo y análisis de datos obtenidos para la interpretación adecuada en la toma de decisiones.
- Establecer una configuración de alertas y notificaciones de los pozos implementados para recibir alertas de cualquier situación o anomalía existente en la operación y que el usuario actúe de manera inmediata para solucionar el problema o eventualidad que pueda surgir.
- Para garantizar paneles solares con un rendimiento óptimo se recomienda un programa de monitoreo para un correcto funcionamiento logrando una producción exitosa más sostenible.
- Proseguir con el análisis y la investigación de pozos no solo de Bombeo Mecánico, sino también evaluar la posibilidad de cambiar pozos que actualmente utilizan el método de Swab o Herramienta Local al método más rentable como la extracción de fluido por balancín.

## REFERENCIAS

- Ali, M., Mahmoud, R., & Mahmoud, S. (2015, September 14). An Essential Periodical Assessment & Performance Revision for Optimizing Sucker Rod Pumping Systems' Operations. *Day 3 Wed, September 16, 2015*. <https://doi.org/10.2118/175781-MS>
- Benavides J. (2015). *Análisis Técnico – Económico De La Implementación De Equipo De Bombeo Mecánico En Pozos Seleccionados Por Bajo Aporte En Los Campos Mahogany Y Alice De La Compañía Andes Petroleum En El Año 2012*. [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10721>
- Calderón, A. (2013). *Estudio De Los Ciclos De Trabajo Utilizando El Echometer Para Aumentar La Eficiencia De Los Equipos De Bombeo Mecánico En Las Secciones 67 Y Tigre Del Campo Gustavo Galindo Velasco* [Upse]. file:///D:/MAESTRIA DE PETROLEO 2022/MODULO VIII AUDITORIA/TESIS 2023 PARA MAESTRIA/BIBLIOGRAFIA/"ESTUDIO DE LOS CICLOS DE TRABAJO.pdf
- Calderón A. (2014). *Estudio De Los Ciclos De Trabajo Utilizando El Echometer Para Aumentar La Eficiencia De Los Equipos De Bombeo Mecánico En Las Secciones 67 Y Tigre Del Campo Gustavo Galindo Velasco*". <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2426>
- Chen, B., & Gao, X. (2021). Soft sensor hybrid model of dynamic liquid level for sucker rod pump oil wells. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 43(9), 1843–1857. <https://doi.org/10.1177/0142331220979498>
- Chen, S., Zhao, R., Deng, F., Zhang, D., Chen, G., Hao, H., Shi, J., & Zhang, X. (2023). Research of Big Data Production Measurement Method for SRP Wells Based on Electrical Parameters. *Processes*, 11(7), 2158. <https://doi.org/10.3390/pr11072158>
- Diagnostic, D. (2023). Acoustic Fluid Level Surveys. *Downhole Diagnostic*. <https://www.downholediagnostic.com/fluid-level>
- Erazo-Bone, R., Erazo-Bone, R., Chuchuca-Aguilar, F., Chuchuca-Aguilar, F., Chiquito-Mero, J., Guevara-Chavez, E., & Silva-Zea, R. (2022). Smart Solution To Selecting Artificial Lift And Improve Oil Production Using Machine Learning. *Proceedings of the 20th LACCEI*

*International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-Pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions.”* <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.393>

Escobar, k., Armijos, D., Erazo R., & Oña, J. (2019). *Generación de curvas de presión de formación y fractura para optimizar la perforación de pozo en el campo Gustavo Galindo Velasco.* 2(1), 9.

<https://geolatitud.geoenergia.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/34/67>

Escobar, k., Erazo, R. (2019). Análisis multivariable para la selección de las mejores zonas productivas de la formación Santo Tomás, sección 68, campo Gustavo Galindo Velasco. *Revista Fuentes El Reventón Energético*, 17(1), 47–54.

<https://doi.org/10.18273/revfue.v17n1-2019005>

Fakher, S., Khlaifat, A., Hossain, M. E., & Nameer, H. (2021). A comprehensive review of sucker rod pumps’ components, diagnostics, mathematical models, and common failures and mitigations. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 11(10), 3815–3839. <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01270-7>

Garcia, R. (2019). *Optimización Del Sistema De Levantamiento Artificial Por Bombeo Mecánico En Pozos Someros, Orientado En La Sección Petrópolis Del Campo GGV [UPSE].*

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4970>

GLOBAL, U. (2020a). *Cálculo de la PIP a partir de pruebas acústicas y dinámométricas con Echometer.* UPC GLOBAL. <https://www.youtube.com/watch?v=YSSnI00et-I>

GLOBAL, U. (2020b). *Cálculo De Presiones De Fondo Con Equipo Echometer.* UPC GLOBAL. <https://www.upcoglobal.com/es/blog/109-calculo-de-presiones-de-fondo-con-equipo-echometer>

Guluyev, G., Rzayev, A., Aliyev, Y., & Rizvanov, M. (2012). Force sensors of sucker rod oil pumps. *2012 IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” (PCI)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICPCI.2012.6486305>

He, Y., Guo, Z., Wang, X., & Abdul, W. (2023). A Hybrid Approach of the Deep Learning Method and Rule-Based Method for Fault Diagnosis of Sucker Rod Pumping Wells. *Energies*, 16(7), 3170. <https://doi.org/10.3390/en16073170>

- Jiang, Z.-H. (2016). The Sucker Rod Pump Parameters Optimization of Horizontal Wells with ASP Flooding Considering the Influence of Centralizers. *MATEC Web of Conferences*, 77, 01026. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167701026>
- Littleford, S. J., Holyoak, S. ., Birch, W. ., & Shepherd, D. . (2016, January 26). Subsurface Wireless Intervention Technology Development for the Acquisition of Subsurface Static and Dynamic Fluid Level in Oil and Gas Wells. *Day 2 Wed, January 27, 2016*. <https://doi.org/10.2118/178250-MS>
- Lorentz. (2022). Soluciones para la producción de petróleo en aplicaciones de pozos someros. *Lorentz*, 11. [https://partnernet.lorentz.de/files/lorentz-energy-oil-portfolio\\_es.pdf](https://partnernet.lorentz.de/files/lorentz-energy-oil-portfolio_es.pdf)
- Lorentz, E. (2021). *LORENTZ Energy Oil Portfolio*. [https://partnernet.lorentz.de/files/lorentz-energy-oil-portfolio\\_en.pdf](https://partnernet.lorentz.de/files/lorentz-energy-oil-portfolio_en.pdf)
- Lv, X., Wang, H., Zhang, X., Liu, Y., Jiang, D., & Wei, B. (2021). An evolutionary SVM method based on incremental algorithm and simulated indicator diagrams for fault diagnosis in sucker rod pumping systems. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 203, 108806. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108806>
- Martínez I. (2013). *Diagnóstico De Fallas Y Optimización Del Bombeo Mecánico* [Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22509>
- Mayorga-Mayorga, H. S., & Reyes-Bueno, F. (2022). Análisis de Derrames de Petróleo en el Campo Ancón Mediante Sistemas de Información Geográfica. *Revista Politécnica*, 49(1), 53–60. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n1.05>
- McCoy, J. N., Podio, A. L., & Drake, B. (2000, June 19). Modern Total Well Management. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/62834-MS>
- McCoy, J. N., Podio, A. L., Drake, B., & Rowlan, L. (2001, March 26). Modern Total Well Management - Sucker Rod Lift Case Study. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/68864-MS>
- McCoy, J. N., Podio, A. L., & Huddleston, K. L. (1988). Acoustic Determination of Producing Bottomhole Pressure. *SPE Formation Evaluation*, 3(03), 617–621. <https://doi.org/10.2118/14254-PA>
- Meneses J., García J., & F. D. (2015). *Acelerómetros Mems En El Desarrollo De Pozos Y*

*Campos Petroleros Inteligentes*. 2, 8.

[https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_40/recursos/05\\_v25\\_30/revista\\_26/01052016/19.pdf](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_40/recursos/05_v25_30/revista_26/01052016/19.pdf)

Merchan A., & F. G. (2010). *Análisis e Interpretación de Sensores Permanentes de Presión de Fondo del Pozo* [Instituto Politécnico Nacional].

<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/16362>

Obregon k., & M. C. (2019). *Implementación Del Sistema De Producción Bombeo Mecánico En El Campo Pucuna* [Escuela Superior Politécnica Del Litoral].

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/49125>

*Pacifpetrol*. (n.d.). <https://www.pacifpetrol.com/es/historia>

*Pacifpetrol*. (2023). *Informe del Campo Ancón*.

Partidas H. (2003). *Bombeo Mecánico Optimización, Diagnóstico y Operación*.

<https://christian3306.files.wordpress.com/2010/10/bombeo-mecanico-optimizacion-diagnostico-y-operacion.pdf>

Rezabala, G., & Yanza, J. (2015). *Análisis De Perdida De Producción De Hidrocarburos Por Factores Geológicos Del Campo Ancón Sección 73* [ESPOL]. file:///D:/MAESTRIA DE PETROLEO 2022/MODULO XII TRABAJO DE TITULACIÓN/BIBLIOGRAFIA/Tabla II. Parámetros petrofísicos promedio por formación. tesis.pdf

Romero, O. J., & Almeida, P. (2014). Numerical simulation of the sucker-rod pumping system. *Ingeniería e Investigación*, 34(3), 4–11. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v34n3.40835>

Sernaque, L. (2022). *Automatización de unidades de Bombeo Mecánico con sistemas Pump off en el lote VI* [Universidad Nacional de Piura].

<https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3486>

Soriano, J. (2020). *Optimización Del Sistema De Levantamiento Artificial Por Bombeo Mecánico En Pozos Productores De La Sección Santa Paula Del Cantón Salinas* [Upse].

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5631/1/UPSE-TIP-2020-0024.pdf>

Teclé, S. I., & Ziuzev, A. (2019). A Review on Sucker Rod Pump Monitoring and Diagnostic System. *2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of*

*Metallurgy Industry: Research & Practice (PEAMI)*, 85–88.

<https://doi.org/10.1109/PEAMI.2019.8915296>

Torgaeva, D. S., Shalyapina, N. A., & Sukhorukov, M. P. (2019). Simulation of Load on a Polished Rod of Sucker Rod Pump for Oil Production. *2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON)*, 0504–0508.

<https://doi.org/10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958101>

Velázquez, V. (2019). *Optimización Del Sistema De Levantamiento Por Bombeo Mecánico, En La Zona Sur Sección 73, En El Campo Gustavo Galindo.*

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4778/1/UPSE-TIP-2019-0003.pdf>

Wang, A., Gong, G., Shen, R., Mao, W., Lu, H., Wang, K., & Wang, J. (2018). Tracking the multi-well surface dynamometer card state for a sucker-rod pump by using a particle filter.

*IET Communications*, 12(16), 2058–2066. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.5331>

Xiao-Xiao, Wang, H.-X., Xin, Z., Liu, Y.-X., & Zhao, P.-C. (2022). Adaptive fault diagnosis of sucker rod pump systems based on optimal perceptron and simulation data. *Petroleum Science*, 19(2), 743–760. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.09.012>

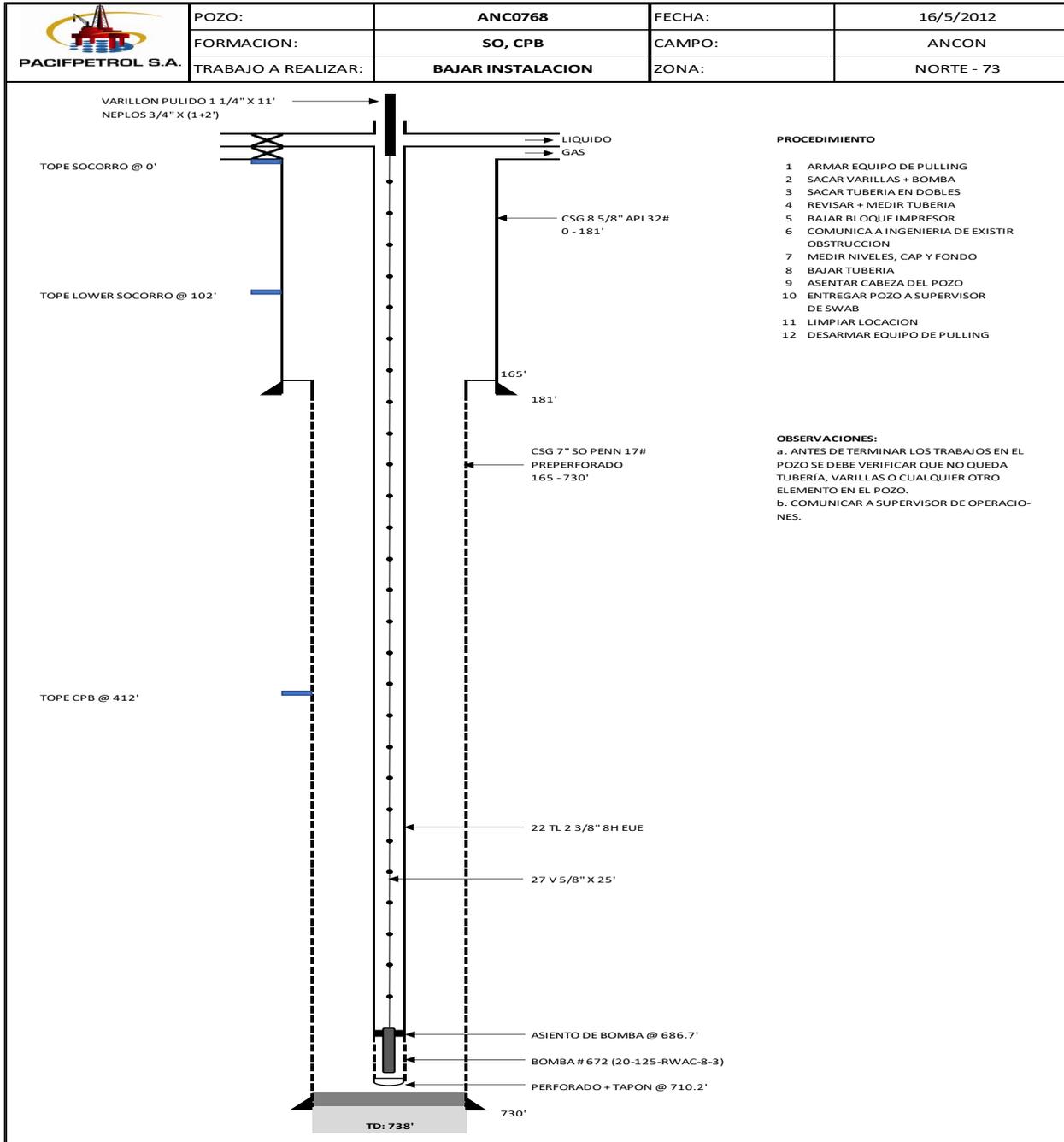
Xing, M. (2016). Response analysis of longitudinal vibration of sucker rod string considering rod buckling. *Advances in Engineering Software*, 99, 49–58.

<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.05.004>

# ANEXOS

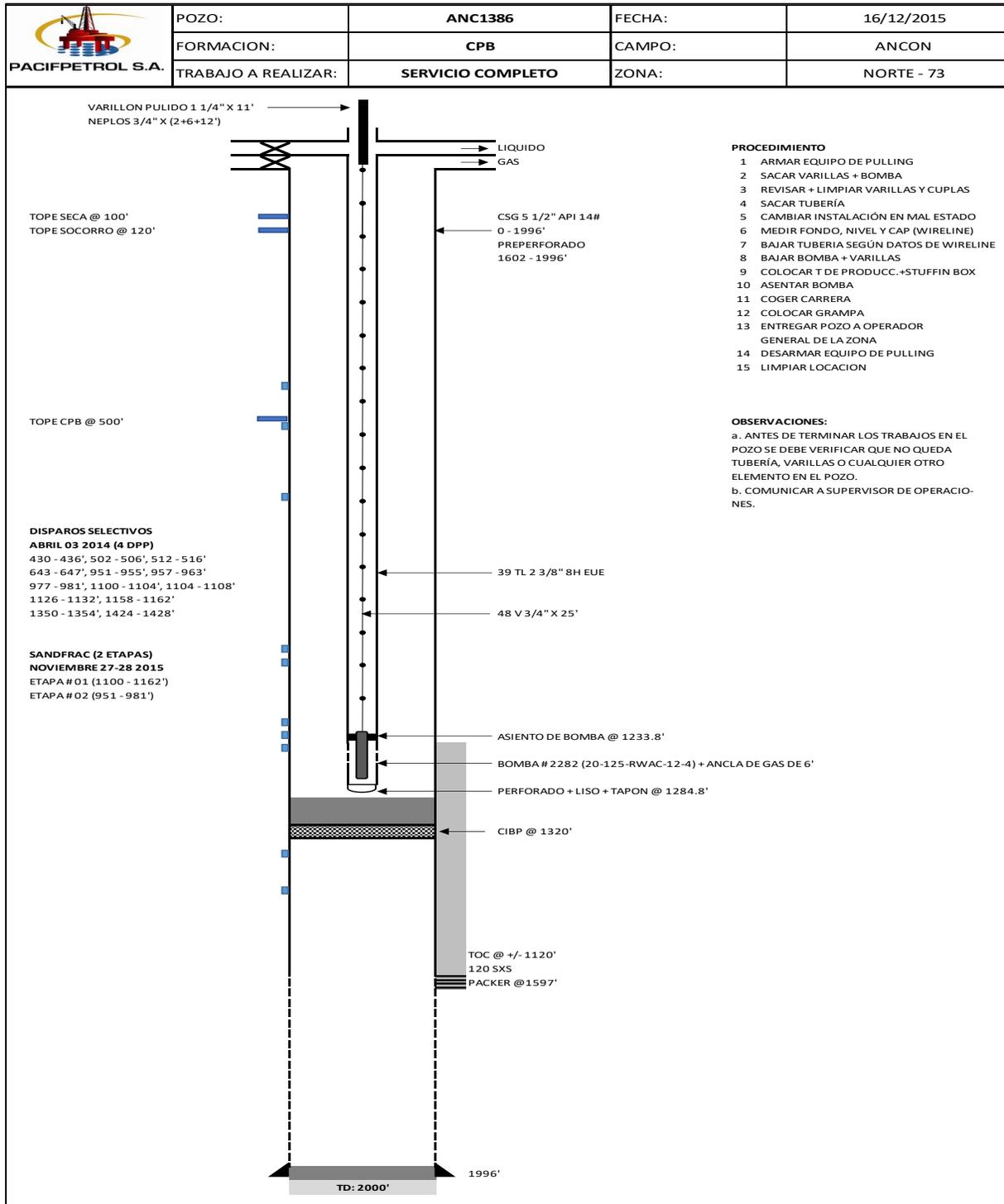
## Anexo A

### Completación del Pozo ANC0768



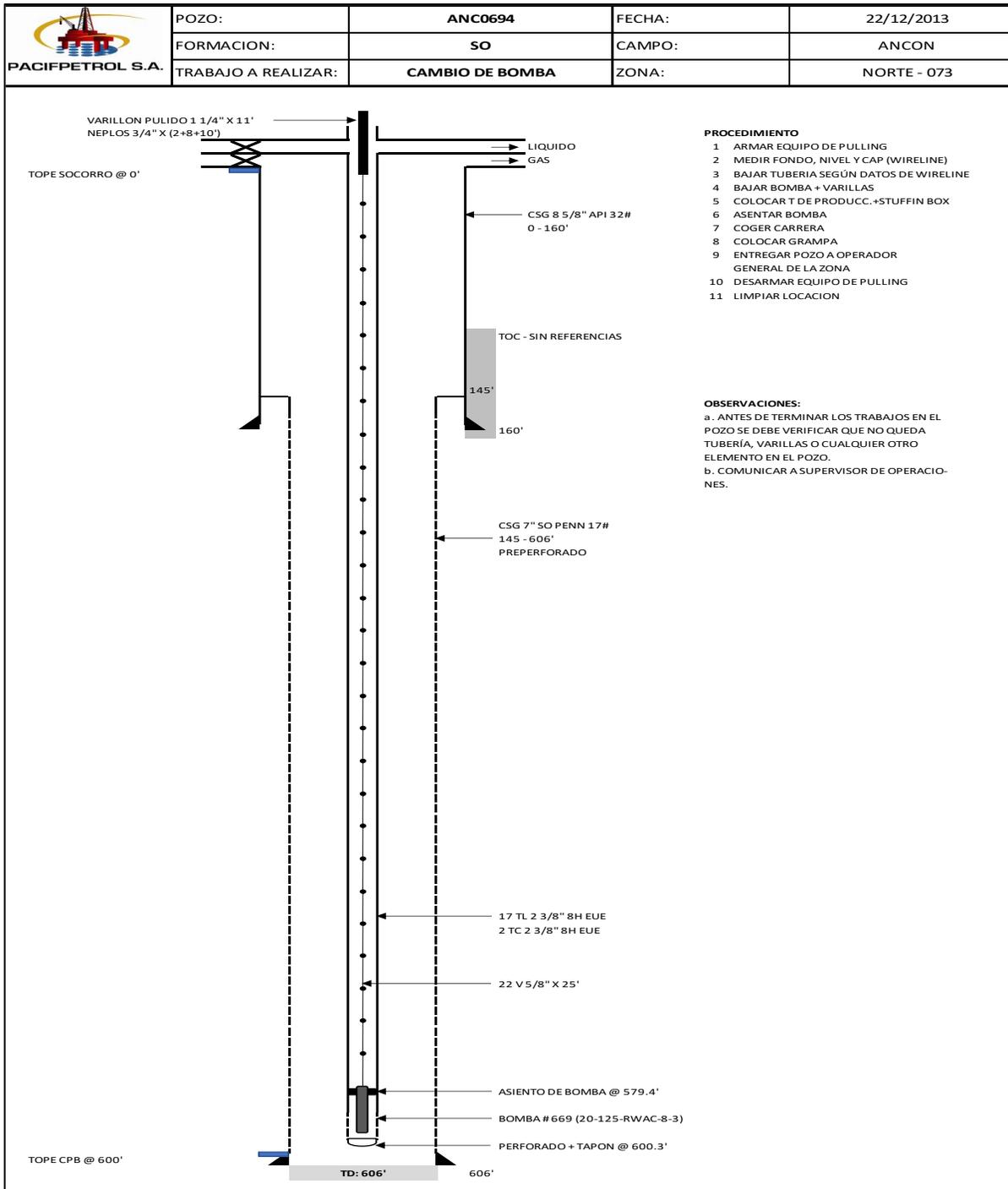
# Anexo B

## Completación del Pozo ANC1386



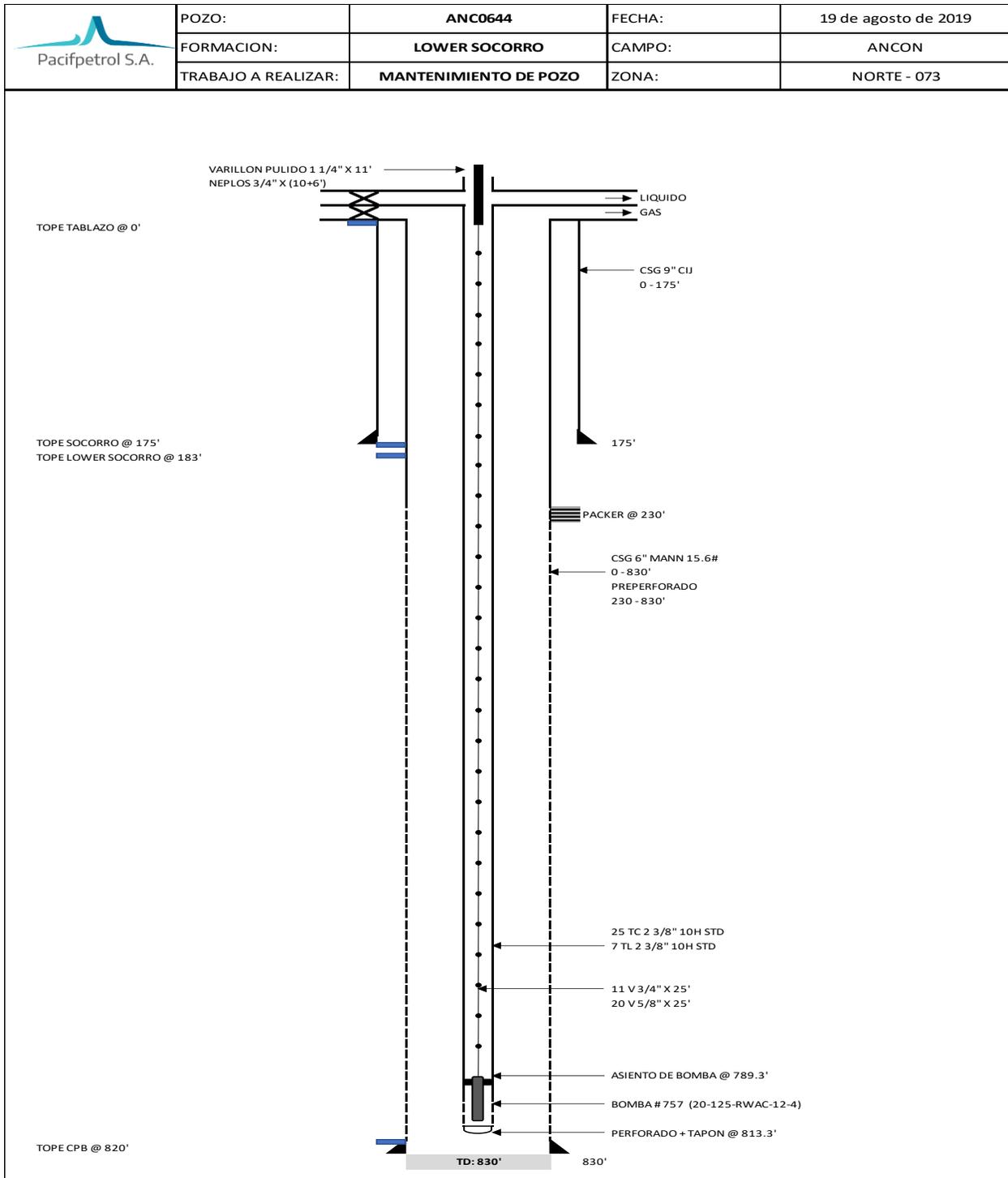
# Anexo C

## Completación del Pozo ANC0694



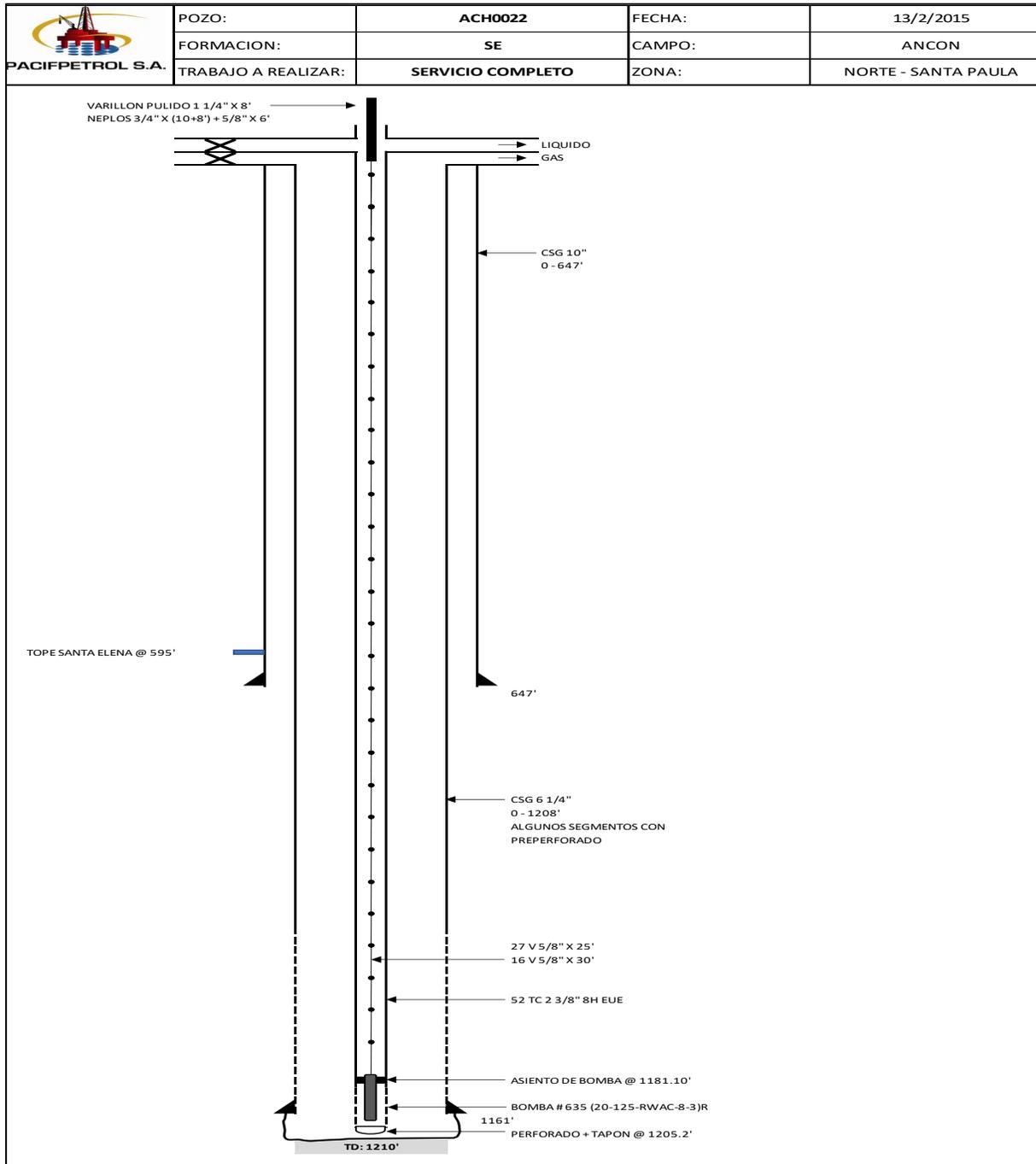
# Anexo D

## Completación del Pozo ANC0644



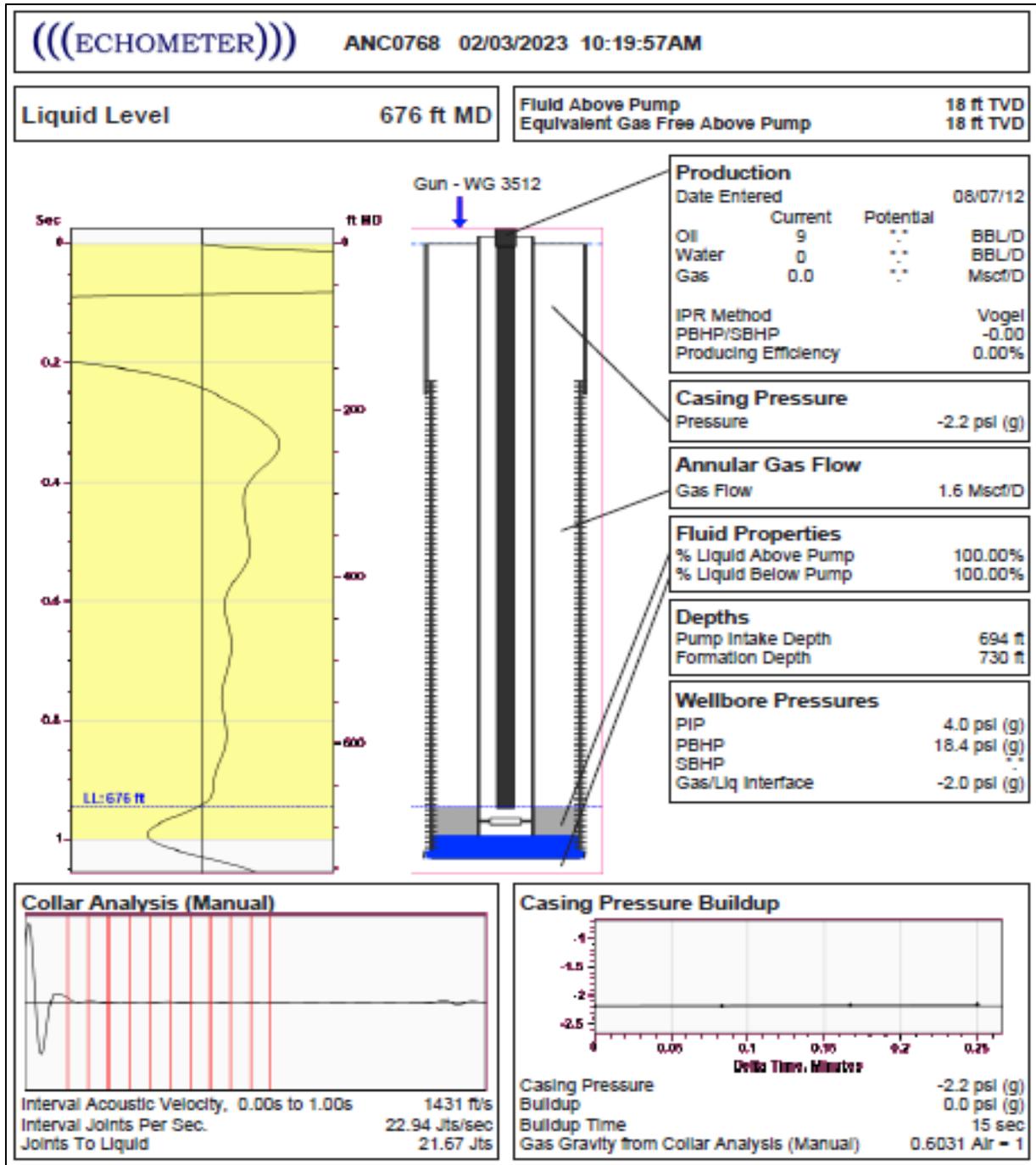
# Anexo E

## Completación del Pozo ACH0022



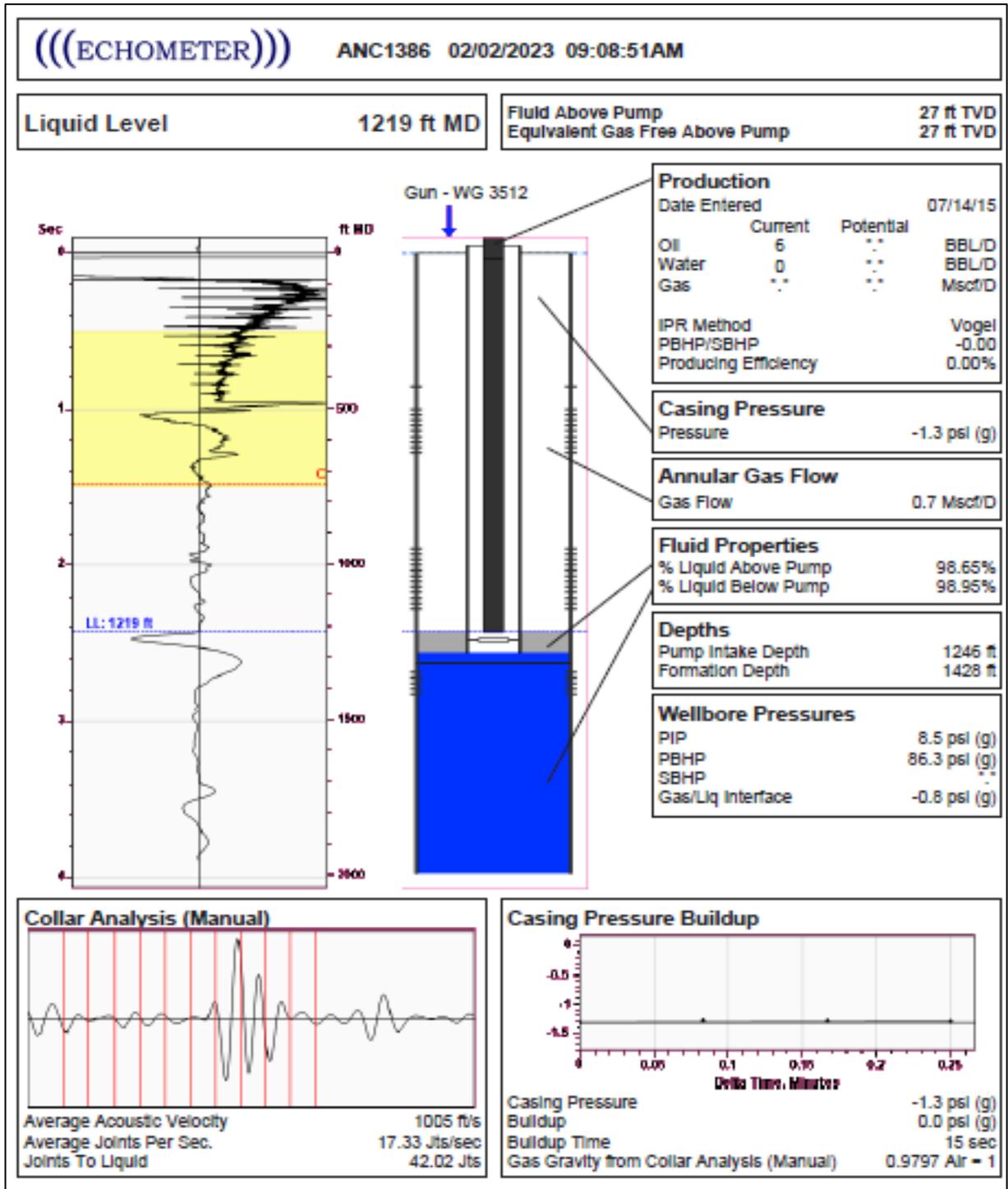
# Anexo F

## Resultado de prueba acústica de nivel dinámico del Pozo ANC0768



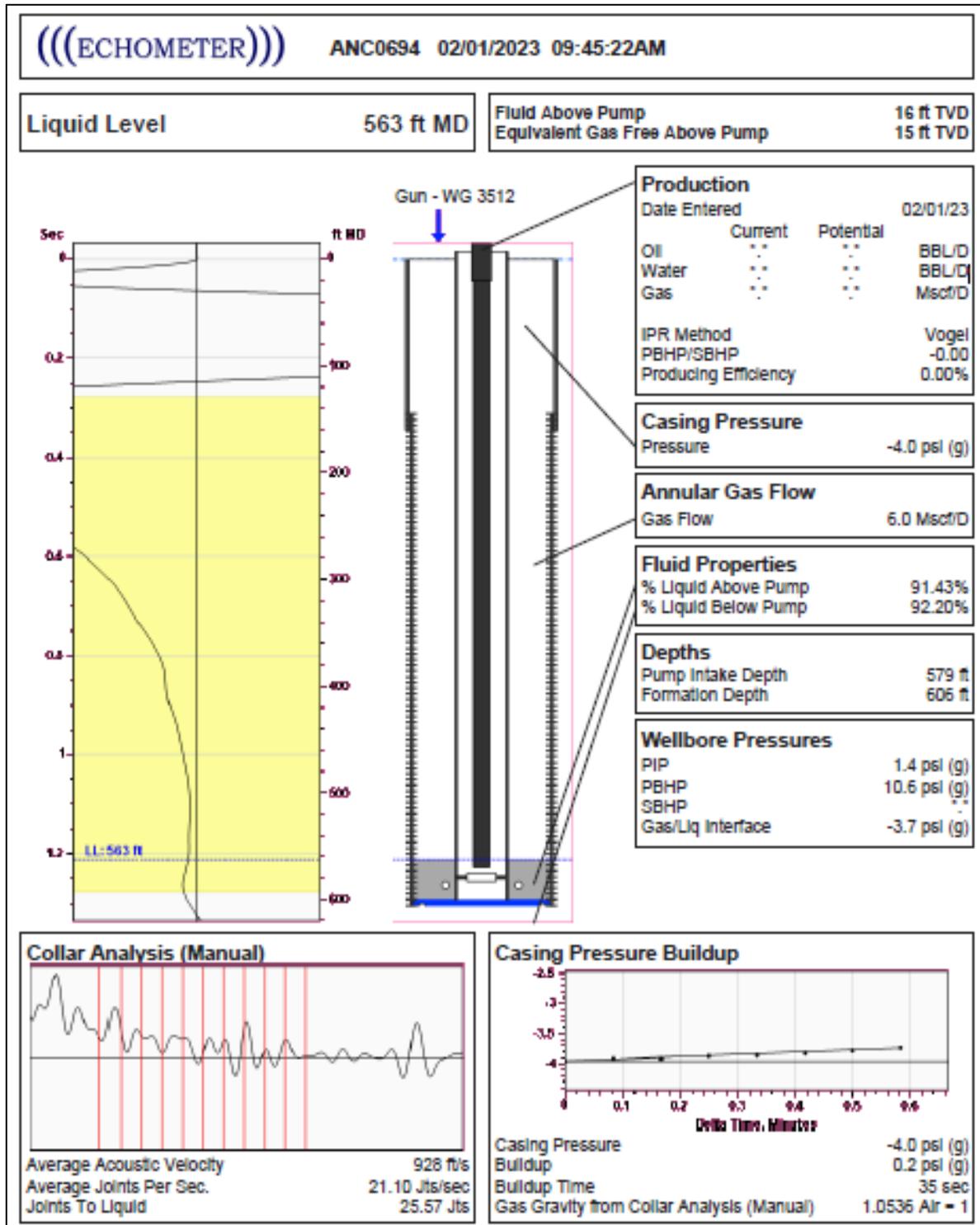
# Anexo G

## Resultado de prueba acústica de nivel dinámico del Pozo ANCI368



# Anexo H

## Resultado de prueba acústica de nivel dinámico del Pozo ANC0694



# Anexo I

## Resultado de prueba acústica de nivel dinámico del Pozo ANC0644

