

Diseño, uso y Evaluación de la Válvula Sand Check para la Reducción de Fallas por  
Arenamiento en Bombas Mecánicas de los Pozos Campo Casabe

Vicente Rincón Rodríguez

Trabajo de Aplicación para optar al título de Magister en Ingeniería de petróleo y gas

Director:

M Sc. Robinson Jiménez Díaz

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas  
Escuela de Ingeniería de Petróleos  
Maestría en Ingeniería De Petróleo y Gas  
Bucaramanga

2018

## Dedicatoria

..... **A Dios, mi Familia, al director del proyecto y a las personas que me apoyaron en este proceso.**

**Dios:** La gloria y la honra son para ti Señor. Mil gracias padre celestial por darme la oportunidad de alcanzar este objetivo, de hacer realidad este sueño, por colocar en mi vida las personas y los medios para poder alcanzar esta nueva meta en mi vida profesional.

**Mi Familia:** A mi madre Esther ( Q.e.p.d ) y mi padre Jerónimo, A mi Esposa Noralba, A mis hijos José Vicente y José Manuel por su comprensión, respaldo y voz de aliento para sacar adelante este proyecto. Mil gracias por su amor y apoyo incondicional a lo largo de este tiempo lo cual siempre fue el motor para seguir adelante. Ustedes son el mayor regalo que DIOS y la vida me han dado.

**Al director de proyecto:** Al Ing. M Sc. Robinson Jiménez Díaz. Por el acompañamiento y dirección en el desarrollo de este proyecto. Mil gracias por compartir sus conocimientos.

**A mis Compañeros de Maestría:** Por darme la oportunidad de aprender de cada uno de ustedes, por su amistad y comprensión durante este tiempo. A los profesionales de la escuela de petróleos de la UIS por su tiempo dedicado a nuestra formación, por compartir sus conocimientos y por hacer posible alcanzar nuestra meta. Mil gracias por su profesionalismo.

## Contenido

Introducción .....	15
1. Aspectos Generales del Trabajo.....	17
1.1 Planteamiento del Problema .....	17
1.2 Justificación .....	18
1.3 Alcance .....	18
1.4 Objetivos .....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 Marco de Referencia .....	19
1.5.1 Marco Teórico – Conceptual .....	19
1.5.2 Marco Práctico .....	21
2. Descripción de las Características del Campo Casabe .....	23
2.1 Aspectos Generales del Campo Casabe .....	23
2.1.1. Ubicación.....	23
2.1.2 Reseña histórica .....	24
2.1.3 Características generales del yacimiento .....	24
2.1.4 Aspectos geológicos.....	25
2.2 Sistemas De Producción .....	27

2.2.1. Bombeo por Cavidades Progresivas (PCP).....	27
2.2.2 Bombeo Mecánico .....	29
2.2.2.1. Generalidades del bombeo mecánico.....	29
2.2.2.2 Cabezal de bombeo.....	31
2.2.2.3 Motor principal. ....	32
2.2.2.4 Bomba de subsuelo. ....	33
2.2.2.5 Ciclo normal de bombeo.....	35
3. Diseño Válvula Sand Check .....	36
3.1 Diseño Válvula Sand Check 1.25”, 1.75” Y 2.25 “ .....	38
3.1.1 Válvula Sand Check 1.25” .....	38
3.1.2 Válvula Sand Check 1.75” .....	40
3.1.3 Válvula Sand Check 2.25” .....	41
3.2. Caracterización Válvula Sand Check del Sistema de Bombeo Mecánico.....	43
3.3 Resultados y Análisis.....	44
3.3.1 Análisis de Composición Química por Espectrometría de Emisión Óptica – EEO. ....	45
4. Uso de la Válvula Sand Check en los Diseños de las Bombas Mecánicas Instaladas en los Pozos del Campo Casabe .....	47
5. Evaluación de la Eficiencia del Diseño y Reducción en los Costos de Levantamiento por Fallas en Bombeo Mecánico de los Pozos del Campo Casabe .....	59

6. Conclusiones .....	62
7. Recomendaciones .....	63
Bibliografía .....	64
Apéndices.....	65

## Lista de Figuras

Figura 1. Mapa ubicación geográfica del campo Casabe. ....	23
Figura 2. Características generales del yacimiento. ....	25
Figura 3. Columna estratigráfica campo Casabe. ....	26
Figura 4. Representación de una bomba por cavidades progresivas. ....	28
Figura 5. Sistema de bombeo mecánico. ....	30
Figura 6. Bomba de subsuelo. ....	34
Figura 7. Tipos de bombas de subsuelo. ....	34
Figura 8. Ciclo normal de bombeo. ....	36
Figura 9. Sand Check. ....	37
Figura 10. Mandril ....	38
Figura 11. Buje. ....	39
Figura 12. Asiento Biselado. ....	39
Figura 13. Mandril ....	40
Figura 14. Buje. ....	40
Figura 16. Mandril ....	41
Figura 17. Buje. ....	42
Figura 18. Asiento Biselado. ....	42
Figura 19. Caracterización Válvula Sand Check del Sistema de Bombeo Mecánico ....	43
Figura 20. Requisitos de la norma API 11 AX-12 para el material del componente G-11 (Guide Valve Rods). ....	44

Figura 21. Características del diseño de la Guía de la varilla o G-11, según la norma API 11AX.	
Fuente Norma API 11 AX .....	46
Figura 22. Instalación de la Bomba al Mandril de Anclaje. ....	48
Figura 23. Conexión de la bomba a la C21.....	48
Figura 24. Pozo # 1 .....	51
Figura 25. Pozo # 2 .....	51
Figura 26. Pozo # 3 .....	52
Figura 27. Pozo # 4.....	52
Figura 28. Pozo # 5 .....	53
Figura 29. Pozo # 6.....	53
Figura 30. Pozo # 7 .....	54
Figura 31. Pozo # 8.....	54
Figura 32. Pozo # 9.....	55
Figura 33. Pozo # 10.....	55
Figura 34. Pozo # 11 .....	56
Figura 35. Pozo # 12.....	56
Figura 36. Pozo # 13 .....	57
Figura 37. Pozo # 14.....	57
Figura 38. Pozo # 15 .....	58

## Lista de Tablas

Tabla 1. Propiedades de las formaciones Colorado y Mugroso del Campo .....	27
Tabla 2. Descripción comercial de las Bombas PCP fabricadas por Weatherford .....	29
Tabla 3. Caracterización Válvula Sand Check del Sistema de Bombeo Mecánico.....	43
Tabla 4. Resultados del ensayo de Composición Química para el componente G-11 recibido. ...	45
Tabla 5. Resultados obtenidos del ensayo de dureza de la muestra de componente G-11 .....	46
Tabla 6. Información General .....	47
Tabla 7. Estadístico del Uso de la válvula sand check en campo casabe .....	49
Tabla 7. Estadístico del Uso de la válvula sand check en campo casabe .....	49
Tabla 8. Run Line Bombas Bajadas a Pozos con Válvula Sand Check Campo Casabe.....	50
Tabla 9. Producción bruta esperada vs producción bruta real por pruebas .....	58
Tabla 10. Número de intervenciones de varilleo por cambio de bomba con pistón pegado .....	59
Tabla 11. Recursos Ahorrados por el uso de la Válvula Sand Check en Pozos Bombeo Mecánico Campo Casabe .....	61

## Lista de Gráficas

Grafico 1. Reducción de Intervenciones a Pozos de Bombeo Mecánico .....	60
-------------------------------------------------------------------------	----

## Lista de Apéndices

Apéndice A. Válvula Sand Check 1.25 .....	65
Apéndice B. Válvula Sand Check 2.25 .....	68
Apéndice C. Válvula Sand Check 1.75 .....	70
Apéndice D. Caracterización componente sand check .....	72

## Resumen

**Título:** Diseño, uso y evaluación de la válvula sand check para la reducción de fallas por arenamiento en bombas mecánicas de los pozos campo casabe\*

**Autor:** Rincón Rodríguez, Vicente\*\*

**Palabras Clave:** Bombeo mecánico, pozo, bomba de subsuelo, solidos, yacimiento, tubería, diámetro.

### Descripción

La producción de crudo por el sistema de levantamiento artificial de bombeo mecánico, está sujeto a las diferentes condiciones que se presenta en fondo del pozo como la producción de sólidos y finos, lo cual trae consigo que se presenten problemas con desgaste de los componentes de las bombas de subsuelo, atascamiento del pistón dentro del barril ,taponamientos de las líneas en superficie y las facilidades de tratamiento de los fluidos.

En este trabajo se presenta una solución al manejo de sólidos en suspensión de la columna de fluidos presente en la tubería de producción; al incorporar la válvula sand check en los diseños de las bombas, se logra que en la carrera descendente, el bronce biselado que está dentro de la camisa al caer en el asiento realiza un sello ,aislando la presión hidrostática por encima de la bomba, lo que garantiza que no exista paso de fluido desde la parte superior del tubing hacía el interior de la bomba, bloqueando así la decantación de los sólidos y finos en la parte superior del pistón, cuando el ciclo de bombeo es interrumpido por fallas eléctricas, mantenimientos a la unidad de bombeo y la realización de otras actividades que requieran parar la unidad. Esta solución también puede ser usada como un accesorio para el manejo de gas en fondo o válvula antigás al liberar el peso de la columna de fluido sobre la válvula viajera.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Msc. Robinson Jiménez Díaz

## Abstract

**Title:** Design, use and evaluation of the sand check valve for the reduction of faults by sandblasting in mechanical pumps of the Casabe field wells\*

**Author:** Rincón Rodríguez, Vicente\*\*

**Key Words:** Mechanical pumping, producing well, subsoil pump, been accustomed to, deposit.

### Description

The production of crude by the system of artificial rise of mechanical pumping, is subject to the different conditions that appear in bottom of the well like the fine solid production and, which brings with himself that appear problems with wearing down of the components of the subsoil pumps, obstacle of the piston within the barrel, obstructions of the lines in surface and the facilities of treatment of the fluids

This paper presents a solution to the management of suspended solids from the column of fluid present in the production line; to incorporate the valve sand check on the designs of the pumps, is achieved in the downstroke, the bronze beveled inside the shirt to fall into the seat performs a stamp, isolating the hydrostatic pressure above the pump, which guarantees that there is no fluid passage from the top of the tubing toward the interior of the pump, thus blocking the settling of solids and thin at the top of the piston, when the pumping cycle is interrupted by power failures, maintenance to the unit Pumping and performing other activities that require stop the unit. This solution can also be used as an accessory for the management of bottom gas or gas valve by releasing the weight of the fluid column on the traveling valve.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Msc. Robinson Jiménez Díaz

## Introducción

El papel que desempeña un profesional con maestría en ingeniería de petróleo y gas, dentro de la Ingeniería de Petróleos, es proporcionar y aportar soluciones a los diferentes problemas que se presentan en los campos de producción y que permitan maximizar la producción de los pozos petroleros de una manera económicamente rentable y eficiente. Por tal razón se presenta este trabajo cuyo propósito se basa en proporcionar un accesorio validado que nos permite solucionar el atascamiento o pega de los pistones, por decantación de arena y sedimentos en las bombas mecánicas de subsuelo de los pozos con sistema de bombeo mecánico del campo Casabe.

Los pozos productores de hidrocarburos tiene un alto índice producción de arena lo cual es un problema que se presenta y anualmente los costos en gastos de limpieza y mantenimiento van en aumento, se ha evidenciado en el campo casabe que eventos de paradas de pozos ocasionadas por cortes en el fluido eléctrico, cambio de empaques, reposición de líneas de flujo ,cambio de recorridos en la unidad produce el depósito de granos de arena dentro de la bomba de subsuelo del sistema de levantamiento por bombeo mecánico y ocasiona pegas, presentándose en los últimos años un número considerable de 47 bombas con pistón atascado dentro del barril.

La anterior situación llevo a un aumento en el número de intervenciones de equipos de varilleo por cambio de bomba con Pistón pegado, aumento del índice de fallas en el sistema, aumento en los costos de levantamiento del barril en campo, por lo que fue necesario la implementación de una solución a este problema operacional; con el fin garantizar la promesa de producción del

campo y asegurar la reducción del índice de fallas. Se analizó la forma de como impedir el ingreso de los finos o sólidos decantados presentes en la columna de fluido, y se determinó modificar una G11 o guía de la varilla alargando el cuerpo de la guía, adicionándole un sello en bronce con un asiento biselado lo cual permite que la válvula sand check, proporcione un factor de seguridad durante el ciclo de bombeo, en la carrera descendente, dentro de la camisa el bronce biselado al caer en el asiento realiza un sello, aislando la presión hidrostática por encima de la bomba, lo que garantiza que no exista paso de fluido desde la parte superior del tubing hacia la bomba cuando se presenta una interrupción en el ciclo de bombeo por cortes eléctricos o mantenimientos de superficie que requieran parar la unidad.

El uso de la válvula *Sand Check* en los pozos con sistema de levantamiento mecánico en campo Casabe ha contribuido con la disminución del índice de fallas; se pasó de tener 47 fallas o atascamiento en bombas mecánicas a 2 fallas una vez implementada y usada la válvula en los nuevos diseños que los profesionales de control de producción determinaron correr en esos pozos problema, aportando así al cumplimiento de las promesas de producción de crudo del campo.

## 1. Aspectos Generales del Trabajo

### 1.1 Planteamiento del Problema

El campo Casabe es un campo de recuperación secundaria por inyección de agua. Este activo presenta varios desafíos en su operación, entre los que cabe resaltar: aumento del BSW en los pozos productores (bombeo mecánico y de cavidades progresivas, principalmente), colapsos en el revestimiento en algunos pozos, aumento del índice de fallas por cambio de bombas mecánicas con pistón pegado, presencia de influjos en pozos productores y decantación de sedimentos en la columna de fluido por cortes de energía o paradas del pozo por mantenimiento. Lo anterior se debe, entre otros factores, a fallas durante la de inyección de agua con sartas selectivas, canalización de pozos productores por altas ratas de inyección, heterogeneidad del yacimiento, diseños de bombas mecánicas sin accesorios para el control de sólidos, falta de seguimiento a los niveles de fluido en el pozo y falta de mantenimiento o trabajos de limpieza de arena a los pozos productores.

Estos desafíos operacionales tienden a incrementar la producción diferida, debido a que causan fallas en el sistema de levantamiento mecánico de los pozos y, en consecuencia, el aumento del índice de fallas en el sistema de bombeo mecánico por la causa de bombas pegadas; de igual manera se eleva el *lifting cost* (que actualmente está en 16,53 dólares/barril) al tener que realizar más trabajos de cambio de bombas con equipos de *flush by* o varilleo y se incurre en incumplimientos en los pronósticos de producción del campo.

## 1.2 Justificación

Un diseño adecuado de la bomba mecánica de subsuelo a correr en un pozo debe contener los accesorios que permitan extraer la cantidad de crudo que se espera del pozo, además de garantizar el mayor *run life* de la bomba y, por consiguiente, un menor número de intervenciones o servicios de cambio de bomba al pozo.

Con el presente trabajo de grado queda soportado y documentado el diseño, uso, desempeño y funcionamiento de este accesorio en las bombas mecánicas de subsuelo implementadas en Casabe. Adicionalmente, se deja como aporte del estudio realizado una herramienta validada y certificada que permita mejorar el desempeño de las bombas mecánicas en otros campos donde exista este tipo de levantamiento, lo que permitirá reducir el índice de fallas y la producción diferida generada por este factor de falla.

## 1.3 Alcance

Generalmente la literatura presenta tres tipos de estudios: los exploratorios trabajan un tema poco estudiado; los descriptivos buscan especificar propiedades, características y rasgos fundamentales del objeto de estudio analizado y los explicativos asocian variables y pretenden establecer causas del evento o fenómenos que se estudian.

El presente trabajo de grado tiene un alcance de tipo explicativo, en el que se presenta una evaluación del uso e implementación de la válvula *sand check* en bombas mecánicas de subsuelo

para la reducción del índice de fallas de este sistema de levantamiento en los pozos de Ecopetrol, particularmente en el campo Casabe.

## 1.4 Objetivos

**1.4.1 Objetivo General.** Presentar una alternativa de solución a los problemas de arenamiento presentados en pozos de bombeo mecánico del campo casabe, mediante el uso y evaluación de la eficiencia de la válvula *sand check* para la reducción del índice de falla.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un componente del sistema de bombeo mecánico (válvula *sand check*) que permita la mitigación de los problemas asociados a la presencia de sólidos en los fluidos de producción.
- Usar el diseño efectuado en pozos de bombeo mecánico seleccionados del campo Casabe.
- Evaluar la eficiencia del diseño implementado en términos de reducción del índice de falla en pozos de bombeo mecánico y reducción de costos de levantamiento.

## 1.5 Marco de Referencia

**1.5.1 Marco Teórico – Conceptual. Bombeo Mecánico<sup>1, 2</sup>.** El bombeo mecánico es el sistema de levantamiento artificial más usado en el mundo. Consiste fundamentalmente de una bomba de subsuelo de acción recíprocante, abastecida de energía a través de una sarta de varillas. La energía proviene de un motor eléctrico, o de combustión interna, la cual mueve una unidad de superficie

---

<sup>1</sup> ORTEGA, Clímaco. Curso Bombeo Mecánico, Bucaramanga: Publicaciones UIS

<sup>2</sup> HERNANDEZ, Florencio. Bombeo Mecánico. Bucaramanga: Publicaciones UIS.

mediante un sistema de engranajes y correas. El bombeo mecánico convencional tiene su principal aplicación en el ámbito mundial en la producción de todo tipo de crudos.

Para que ocurra la acción del bombeo, el pistón realiza un movimiento reciprocante dentro del barril, la tubería confina la sarta de varillas de succión que acciona a su vez la bomba en el subsuelo; posee válvulas fijas y viajera, las cuales son válvulas de bola y asiento de modo que solo permiten el flujo en una sola dirección hacia la superficie cuando trabajan al 100% de eficiencia.

El volumen encerrado entre estas dos válvulas constituye la denominada cámara de bombeo. Cuando el balancín está en el punto muerto inferior, la válvula fija y viajeras se encuentran cerradas. Al comenzar la carrera ascendente, la presión de fondo y el efecto de succión del pistón permiten la apertura de la válvula fija, haciendo que el fluido pase del pozo hacia el interior de la bomba.

Al mismo tiempo, la columna de fluido ejerce una presión sobre la válvula viajera la cual permanece cerrada. Durante la carrera ascendente la válvula fija continúa permitiendo el paso de fluidos hasta que el pistón llega al punto muerto superior. En este instante, la válvula fija se cierra y comienza la carrera descendente.

El espacio, tolerancia, luz o *fit* que se defina entre el barril de la bomba y el pistón es muy relevante y se debe tener en cuenta al momento de diseñar una bomba mecánica de subsuelo, ya que esto determina la cantidad de fluido requerido para lubricar el pistón dentro del barril, y evitar el desgaste de éste debido a la fricción, así como también evitar el atascamiento del pistón en la

bomba por manejo de sólidos. Determinar la cantidad de fluido que se desliza por el espacio circular entre pistón y barril de la bomba es necesario, puesto que determina la eficiencia de la bomba a fin de optimizar la producción de crudo. Los estándares de la industria han venido manejando valores entre 0.2 y 0.5 % de la producción total de los pozos los cuales se consideran aceptables.

Si la luz o tolerancia es muy pequeña, el pistón y el barril no se lubricarán debidamente, así mismo si la tolerancia es muy grande causará baja eficiencia volumétrica y por lo tanto también bajará la eficiencia del sistema de extracción. Otro factor muy importante que influye en la eficiencia del sistema de levantamiento mecánico es la presencia de sólidos que pueden afectar el desplazamiento de la bomba lo cual genera pegas en el pistón. Un pistón puede pegarse si la tolerancia entre el barril y el pistón es demasiado pequeña, y la cantidad de sólidos que se producen es alto.

**1.5.2 Marco Práctico.** En el taller de bombas mecánicas del campo se ensamblan las bombas a instalar en los pozos con este tipo de levantamiento. El diseño de las diferentes bombas están a cargo de los profesionales en ingeniería de petróleos de la coordinación de producción, quienes analizan las variables y características de cada pozo; una vez analizada esta información definen los tipos de bombas a ensamblar con los accesorios requeridos para garantizar la extracción volumétrica de crudo de acuerdo al nivel de producción de cada pozo.

En el taller se ensamblan las bombas teniendo la premisa de utilizar un espacio, fit o tolerancia entre barril y pistón adecuado para extraer del fondo del pozo los sólidos que se producen con el

fluido del yacimiento. Debido al estudio de granulometría de la arena que se produce en el campo y a la experiencia de 10 años en el taller, se ha definido usar en bombas insertas con medida del diámetro de pistón de 1-1/4 o API P21-125 tolerancias de (-4 mil de pulgada); en bombas insertas con pistón de 1.3/4 o API P21-175 (-5 mil de pulgada) y bombas con pistón de 2-1/4 o P21-225 (-6 mil de pulgada); en bombas THC se usan tolerancias de (-6 mil de pulgadas) para bombas con pistones de 2-1/4 o P21-225. En las bombas THC con pistones 2-3/4 o P21-275 se recomienda usar tolerancias entre -6 y -7 mil de pulgada, garantizando de esta forma la extracción volumétrica de cada pozo y un mayor *run life* de las mismas.

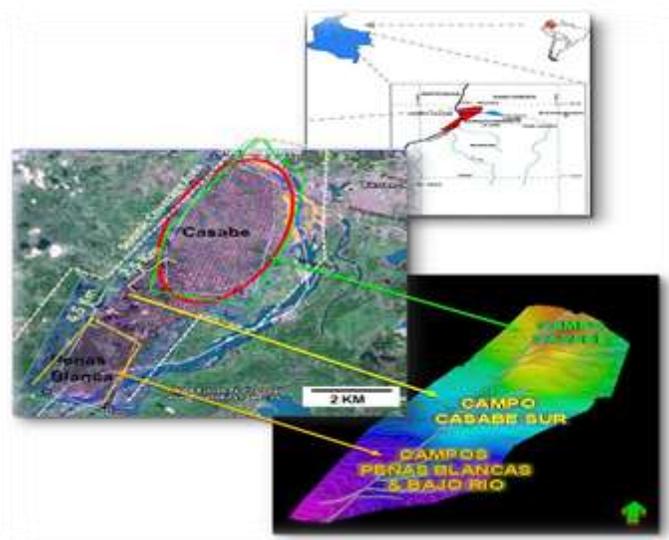
Debido al aumento del índice de fallas en el sistema de levantamiento mecánico del campo por bomba pegada o bloqueadas a raíz de los cortes de energía, los trabajos de mantenimiento a las unidades de bombeo o sabotajes a los pozos productores, fue necesario poner en marcha un plan de acción para cómo impedir que las bombas se pegaran una vez superado el evento que se presentaba y de esta forma garantizar el cumplimiento de la promesa de producción del campo.

Fue así como se llegó al rediseño de un componente básico de la bomba mecánica de subsuelo: la guía de la varilla o G11 (API): este rediseño se basó principalmente en incorporar dentro de este accesorio un conjunto de dos piezas que proporcionan un sello mecánico en la parte superior de la bomba y bloquean el ingreso a su interior de los sólidos en suspensión presentes en la columna de fluidos de la tubería de producción, los cuales ocasionan el atascamiento o pega del pistón de la bomba.

## 2. Descripción de las Características del Campo Casabe

### 2.1 Aspectos Generales del Campo Casabe

**2.1.1. Ubicación.** El campo de operación directa del activo casabe, adscrita a la Gerencia de Operaciones y Desarrollo del Río, comprende los campos Casabe, Casabe Sur, Peñas Blancas y Bajo Río. Esta área está ubicada en la cuenca del Valle Medio del Río Magdalena, en el municipio de Yondó (Departamento de Antioquia), en la margen izquierda del Río Magdalena y frente a la ciudad de Barrancabermeja (Departamento de Santander). (Figura 1).



*Figura 1.* Mapa ubicación geográfica del campo Casabe. Fuente. ECOPETROL Departamento de Ingeniería y Confiabilidad (SOR), campo Casabe, 2010

### 2.1.2 Reseña histórica

- **1938**, Se otorgó la concesión Yondó a la Compañía Colombiana de Petróleos El cóndor S.A creada por Shell.
- **1941**, Se descubre el campo con el pozo Casabe – 1.
- **1953**, Máxima producción con 46000 BPD.
- **1968**, Shell Cóndor entrega las instalaciones a la Nación.
- **1985**, Inicio de la inyección de agua.
- **2004**, Firma Alianza Casabe Ecopetrol – Schlumberger.
- **2009**, Descubrimiento del campo Casabe Sur con la perforación del Pozo CBES 1.
- **2011**, Se han instalado un total de 184 sartas (a Junio 30) para inyección selectiva en pozos nuevos y existentes.<sup>3</sup>

**2.1.3 Características generales del yacimiento** (Figura 2). La figura 2 presenta los tipos de formación presentes en las arenas del campo, allí dependiendo de la época se observa el cambio en propiedades tanto de arenas superiores como inferiores, los tipos de arenas dependiendo de las formaciones y las profundidades a las cuales se les pueden encontrar.

---

<sup>3</sup> ECOPETROL S.A , Informe técnico departamento de Ingeniería y Confiabilidad del Rio, Barrancabermeja 2010.

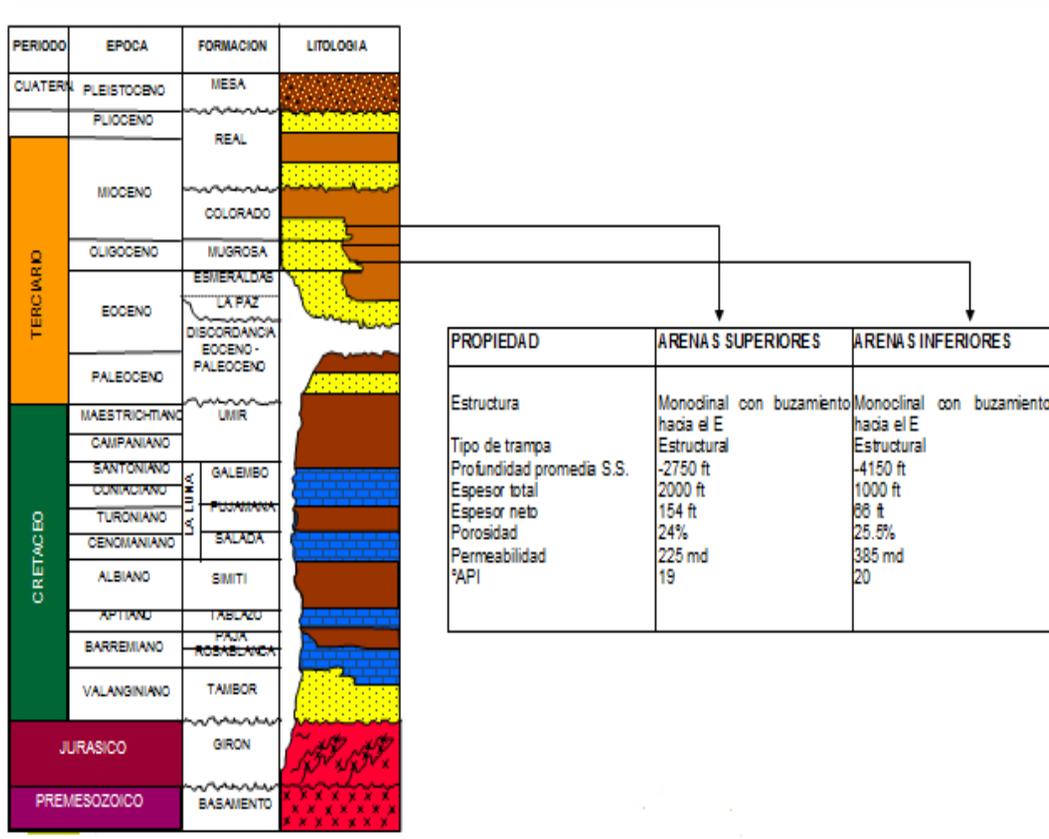


Figura 1. Características generales del yacimiento. Fuente. ECOPETROL Departamento de Ingeniería y Confiabilidad (SOR), campo Casabe, 2010.

**2.1.4 Aspectos geológicos.** Las formaciones productoras de hidrocarburos del campo Casabe son Mugrosa y Colorado pertenecientes al periodo terciario. Estas formaciones están compuesta de una serie de secuencias cíclicas, las cuales se componen de arenas del tipo A1 y A2 (Colorado) y B0, B1 y B2 (Mugrosa) en la serie del Oligoceno. La figura 3 muestra la columna estratigráfica del campo Casabe.

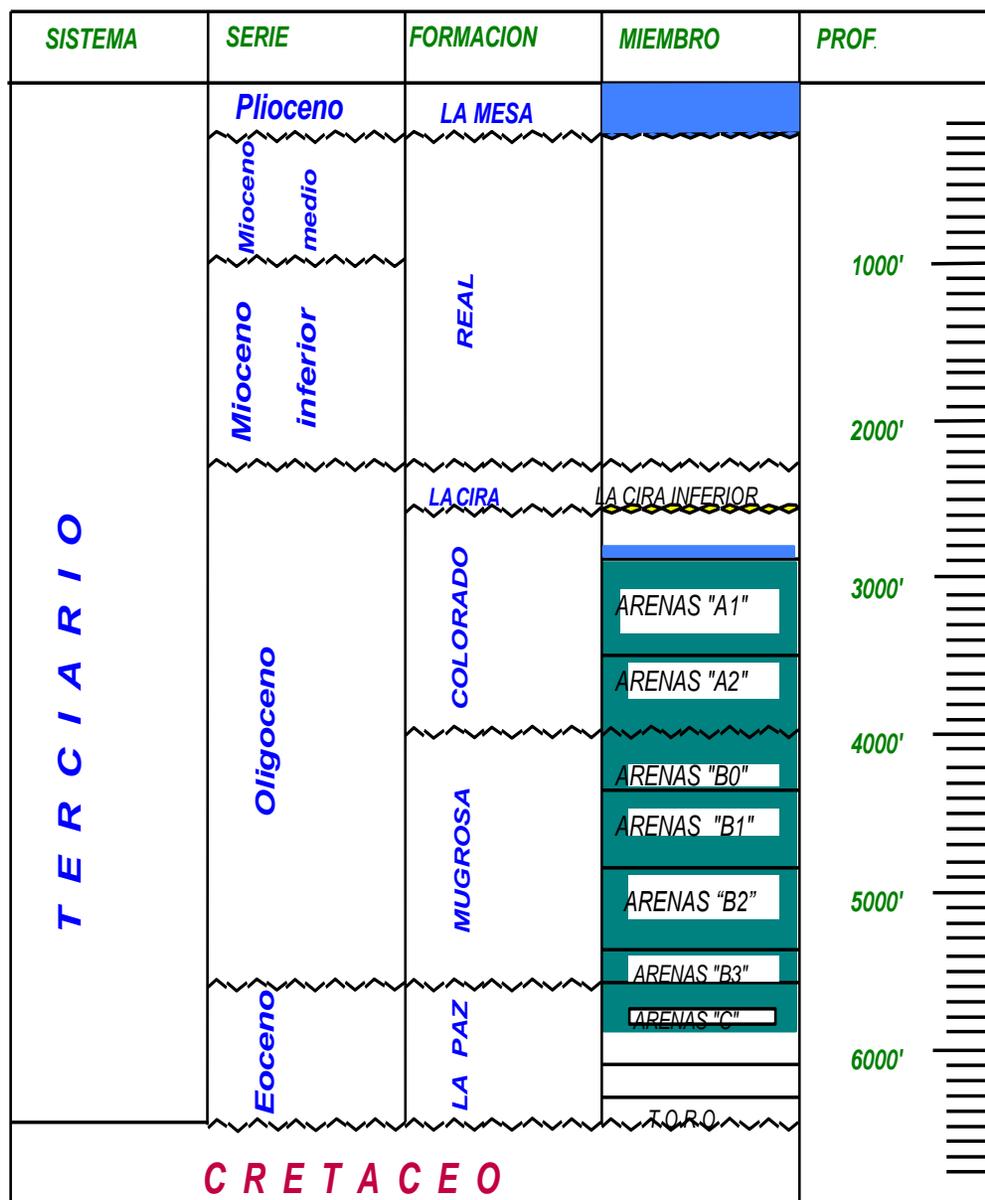


Figura 2. Columna estratigráfica campo Casabe. Fuente. ECOPETROL Departamento de Ingeniería y Confiabilidad (SOR), campo Casabe 2010.

La tabla 1 presenta algunas propiedades de importancia de cada una de estas formaciones como son la porosidad, la permeabilidad, la extensión del terreno, el tipo de crudo, la viscosidad, el GOR, la presión del punto de burbuja ( $P_b$ ), etc.

Tabla 1.

*Propiedades de las formaciones Colorado y Mugroso del Campo*

PARAMETROS	CASABE	
	FORMACIÓN COLORADO	FORMACIÓN MUGROSA
Área (Acres)	4500	2500
Profundidad promedio (ft)	2500	3500
Espesor neto (ft)	78	43
Porosidad promedio (%)	24	25
Permeabilidad promedio (md)	225	285
Swi (%)	23	23
Tipo de crudo	Asfalténico	
Mecanismo de producción	Inyección de Agua	
Gravedad API	19	20
Viscosidad a Pb (Cp)	43	21
Factor volumétrico Inicial	1.083	1.117
Factor volumétrico	1.055	1.07
GOR (Scf/Stb) inicial	187	254
Presión a Pb (PSI)	1350	2200
Presión Original de yacimiento (PSI)	1537	2003
Presión antes de inyección (PSI)	350	800
Presión Actual (PSI)	1800	1500

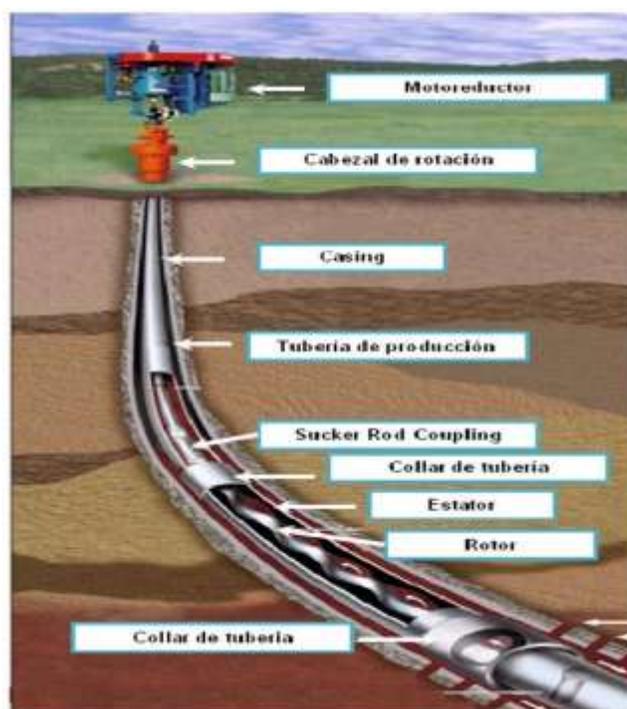
Fuente. ECOPETROL Departamento de Ingeniería y Confiabilidad (SOR), campo Casabe 2010

## 2.2 Sistemas De Producción

Los sistemas de producción existentes actualmente en el campo Casabe son:

**2.2.1. Bombeo por Cavidades Progresivas (PCP).** La operación de este tipo de bombas está basada en el giro ininterrumpido de una bomba de cavidades progresivas tipo tornillo sin fin la cual obtiene la energía para realizar sus rotaciones por medio de un motor eléctrico que puede estar ubicado en la superficie o en subsuelo. Cuando el motor se ubica en superficie la potencia es transmitida a la bomba mediante un eje o varillas que comunican el motor y la bomba desde superficie hasta subsuelo.

Entre tanto, cuando el motor se encuentra en subsuelo, la transmisión de energía se realiza por medio de un cable el cual se lleva desde superficie y le suministra potencia al motor para que opere y a la bomba para que gire. La figura 4 muestra el dispositivo de superficie y los aditamentos asociados al funcionamiento de la bomba de cavidades progresivas. Su principio de funcionamiento está basado en el principio de funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo.



*Figura 4.* Representación de una bomba por cavidades progresivas. Fuente. <http://oil-mail.blogspot.com>

Su funcionamiento se basa en colocar a la profundidad requerida el conjunto estator – rotor; esta unión forma dentro de la carcasa un conjunto de cavidades definidas y selladas. Conforme el rotor va girando las cavidades, van girando hacia la parte superior de la bomba, es decir desde la admisión hasta la descarga, llevando los fluidos de manera continua desde el pozo hasta la estación.

Este tipo de bombas cuentan con un variador de frecuencia, para el caso del presente proyecto el variador se denomina *1100* fabricado por *Weatherford*, el cual es digital, de corriente alterna y flujo vectorial diseñado para el campo Casabe.

La tabla 2, presenta la potencia, las dimensiones y el montaje de cómo se pueden encontrar este tipo de bombas comercialmente.

Tabla 2.

*Descripción comercial de las Bombas PCP fabricadas por Weatherford*

POTENCIA		DIMENSIONES			MONTAJE		Peso Aprox. lb (kg)
Torque Constante <i>hp (kW)</i>	Torque Variable <i>hp (kW)</i>	H (altura) " (mm)	W (ancho) " (mm)	D (prof.) " (mm)	a " (mm)	b " (mm)	
<b>230 V</b>							
2-7 1/2 (1.5-5.6)	3-10 (2.2-7.5)	14.25 (362)	10.50 (267)	12.25 (311)	13.25 (337)	7.00 (178)	30 (14)
10-25 (7.5-19)	15-30 (11-22)	17.75 (451)	10.50 (267)	12.25 (311)	16.75 (425)	7.00 (178)	45 (20)
<b>460 V</b>							
5 (3.7)	7 1/2 (5.6)	14.25 (362)	10.50 (267)	12.25 (311)	13.25 (337)	7.00 (178)	25 (11)
7 1/2-50 (5.6-37)	10-60 (7.5-45)	17.75 (451)	10.50 (267)	12.25 (311)	16.75 (425)	7.00 (178)	40 (18)
60-100 (45.75)	75-125 (56-93)	30.75 (781)	10.50 (267)	12.25 (311)	29.75 (756)	7.00 (178)	90 (41)

Fuente. ECOPETROL Departamento de Ingeniería y Confiabilidad (GRI), campo Casabe, 2010

## 2.2.2 Bombeo Mecánico

2.2.2.1. Generalidades del bombeo mecánico. La función de bombeo mecánico es transmitir fuerza a la bomba de subsuelo con el fin de extraer fluidos del yacimiento a superficie. Para esto convierte el movimiento rotacional del motor en un movimiento ascendente y descendente.

Existen varios tipos de unidades de bombeo mecánico que se diferencian de acuerdo a su geometría:

- a. Unidad tipo convencional.
- b. Unidad tipo Mark II.
- c. Unidad tipo balanceada por aire.

En la figura 5 se muestra un sistema de bombeo mecánico conformado por un equipo en superficie y uno en subsuelo. El equipo de superficie incluye el motor eléctrico o a gas, la unidad de bombeo, una barra lisa, una caja prensa estopas, cabezal de pozo y las líneas de flujo. El equipo de subsuelo incluye el revestimiento, tubería de producción, la sarta de varillas y la bomba de subsuelo, además de diferentes accesorios.

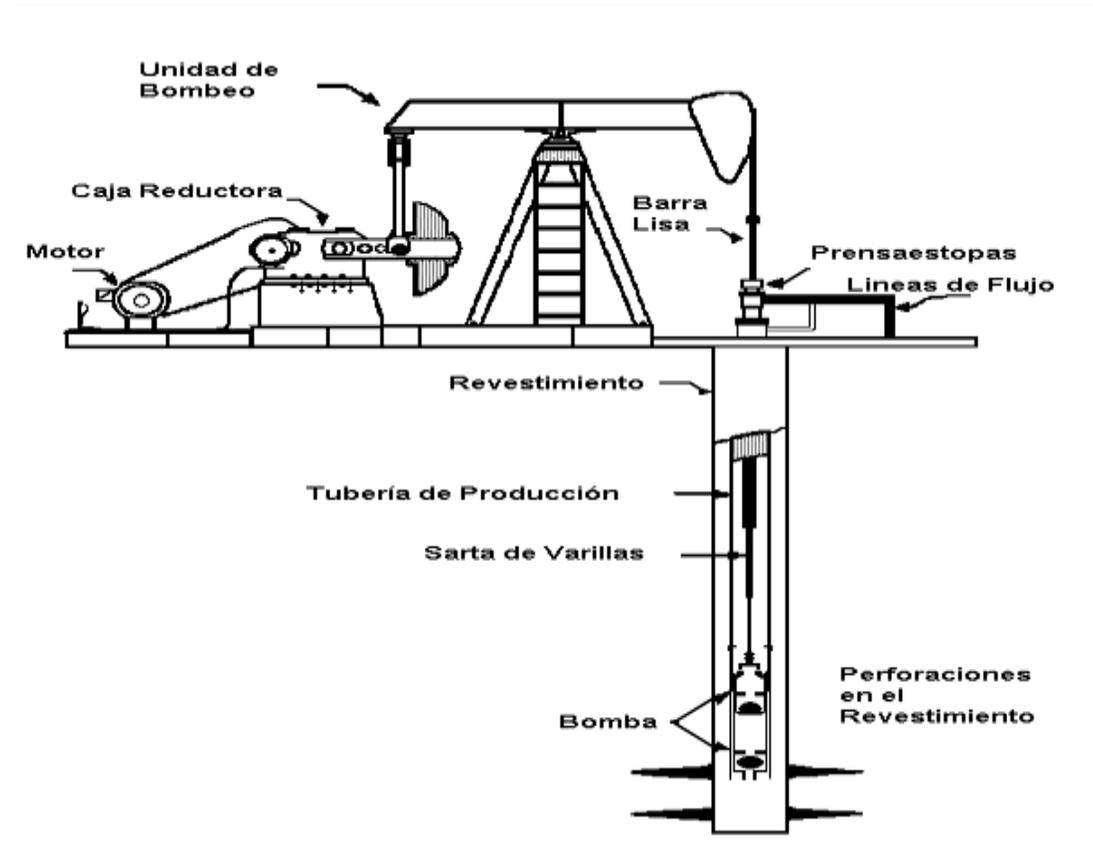


Figura 3. Sistema de bombeo mecánico. Fuente. Theta Enterprise

Existe suficiente información acerca del sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico, la cual se puede consultar de acuerdo a las referencias bibliográficas. Este trabajo se enfoca básicamente en describir el comportamiento del sistema de bombeo mecánico, encontrando las diferentes condiciones a las que se pueden obtener óptimas tasas de bombeo.

Las condiciones que tienen un impacto más significativo en la tasa de producción son los parámetros de diseño del sistema de bombeo usado (una combinación de tamaño del pistón de la bomba, longitud del recorrido de la barra lisa, velocidad de bombeo, y diseño de la sarta de varillas), además de la profundidad de asentamiento de la bomba, rotación de la unidad y la potencia del motor.

2.2.2.2 Cabezal de bombeo. El arreglo en cabeza de un sistema típico de bombeo mecánico se muestra en la (figura 5). La barra lisa en la parte más alta de la sarta de varillas, se mueve hacia arriba y hacia abajo con el movimiento recíprocante del balancín o vástago viajero, transmitido a las varillas por el *wireline hanger* o cable de soporte. La barra lisa se mueve dentro de la cabeza de la tubería de producción, instalada sobre el tope de la “T” de bombeo, que lleva los fluidos producidos desde la bomba hasta la línea de flujo.

Usualmente, la línea de flujo y la línea de venteo del revestimiento están conectadas con una corta sección de tubería, permitiendo que el gas se separe en el anular revestimiento – tubería de producción, para ser conducido a la línea de flujo. Una válvula cheque es instalada sobre esta línea para prevenir que los fluidos producidos, fluyan de regreso dentro del pozo. Sobre la “T” de

bombeo, se instala un prensa estopas para darle un sello hidráulico y los fluidos no se escapen al ambiente.

La barra lisa es una varilla de acero sólido, disponible en varios tamaños, longitudes y equipadas con conexiones de varillas en ambas puntas. Teniendo en cuenta que maneja una gran carga debido al ciclo de bombeo, la barra lisa es más resistente que cualquier varilla en la sarta. Además de transmitir el movimiento recíprocante a las varillas, otra de las funciones de la barra lisa es dar sello para contrarrestar el escape de fluidos provenientes del pozo.

2.2.2.3 Motor principal. El motor principal es normalmente un motor eléctrico o un motor a gas. La mayoría son motores eléctricos. Los motores a gas son usados en localizaciones donde no se dispone de energía eléctrica. La función del motor principal es proporcionar la potencia necesaria al sistema de bombeo.

El motor principal afecta el consumo de energía y las cargas en la caja reductora. La potencia del motor depende de la profundidad de la bomba, del nivel de fluido, la velocidad de bombeo y el balanceo de la unidad. El tamaño del motor principal está incluido dentro del diseño del sistema. Sin embargo, es importante señalar que el tamaño del motor principal tiene significativa importancia dentro de la eficiencia del sistema. En muchos campos los motores son de tamaños sobredimensionados. Esto garantiza potencia disponible suficiente para el sistema, a costa de una baja eficiencia. Los motores eléctricos son de bajo torque y altas rpm. La variación de velocidad del motor principal afecta la caja reductora, las cargas de las varillas y también la velocidad de

bombeo. Altas variaciones de velocidad del motor principal reducen generalmente el torque neto en la caja reductora.

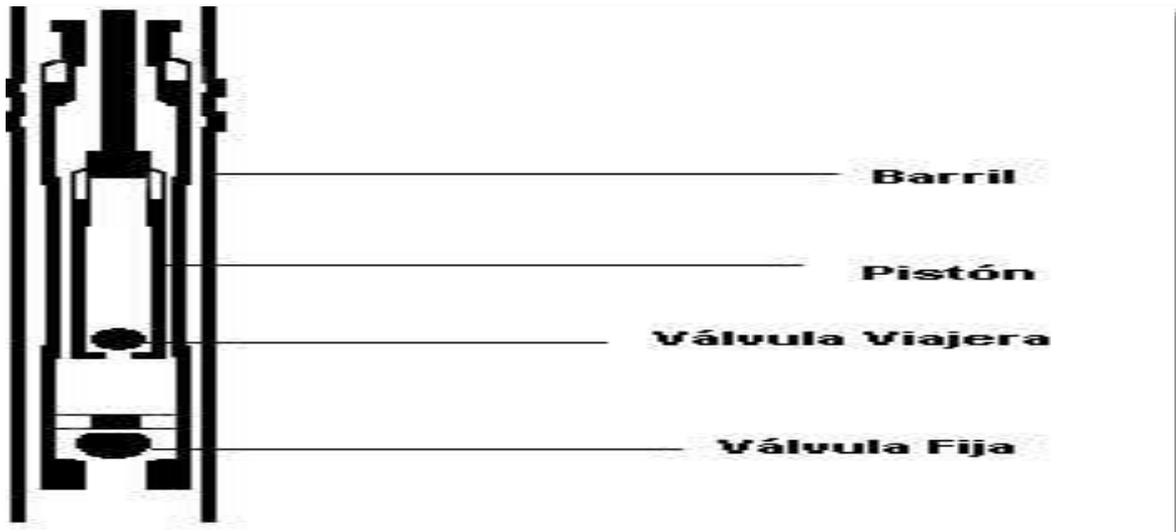
Los motores eléctricos de un sistema de bombeo con varillas son principalmente motores de inducción de tres fases. La Asociación Nacional de fabricantes de Eléctricos (NEMA, pos sus siglas en inglés) clasifican los motores de acuerdo a su deslizamiento y características de torque de inicio. NEMA D es el más usado como motor de unidades de bombeo. Sus rangos de deslizamientos son desde 5 % hasta 13 %. Otros campos manejan NEMA C con un máximo deslizamiento de 5 % y NEMA B con un máximo de 3 %.

2.2.2.4 Bomba de subsuelo. Es uno de los componentes básicos del sistema por bombeo mecánico. La conforman: el barril, el pistón (que se mueve verticalmente en el interior del barril), la válvula fija y la válvula viajera. El tamaño del pistón de la bomba determina la rata de producción, la carga en las varillas y de los componentes del sistema.

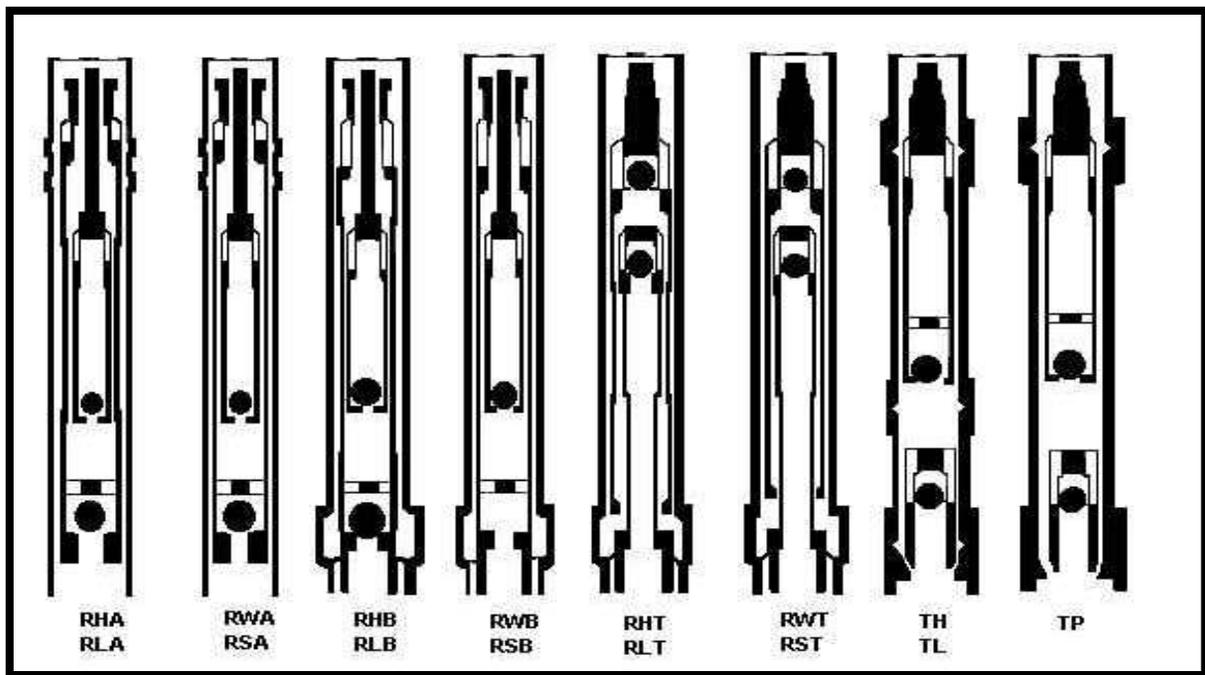
La figura 6 es un esquema básico de una bomba de subsuelo<sup>4</sup>. Hay tres tipos de bombas básicamente que se resumen a continuación y se ilustran en la figura 7:

---

<sup>4</sup> ECOPEL S.A Manual Bombeo Mecánico Básico



*Figura 4.* Bomba de subsuelo. Fuente. TAKÁCS, Gabor. Modern Sucker Rod Pump. Miskolc: Pennwell Books, 1992. p. 230



*Figura 5.* Tipos de bombas de subsuelo. Fuente. Theta Enterprise

2.2.2.5 Ciclo normal de bombeo. De acuerdo a la (figura 8), a continuación se describe el ciclo de bombeo en condiciones normales.

- **Punto A:** Comienzo de la carrera ascendente, la válvula viajera está cerrada y la carga de columna del fluido la soporta la sarta de varillas; la válvula fija se encuentra abierta permitiendo el paso del fluido gracias al diferencial de presión presente en su parte inferior y superior correspondiente a la cámara o espacio entre las válvulas.
- **Punto B:** Desplazamiento del pistón en la parte superior de la carrera ascendente presentándose la máxima carga de todo el sistema.
- **Punto C:** Inicio de la carrera descendente; la apertura de la válvula viajera va a depender del porcentaje de gas libre en el líquido ubicado en la cámara de compresión; la carga de fluido lo soporta la válvula fija que se encuentra cerrada.
- **Punto D:** Desplazamiento del pistón en el fondo de la carrera descendente; la válvula viajera continúa abierta permitiendo el paso del fluido hasta que la presión en la cámara sea inferior a la presión presente en el pistón, y así en este instante, la válvula fija se abre para permitir la entrada del fluido proveniente de la formación.

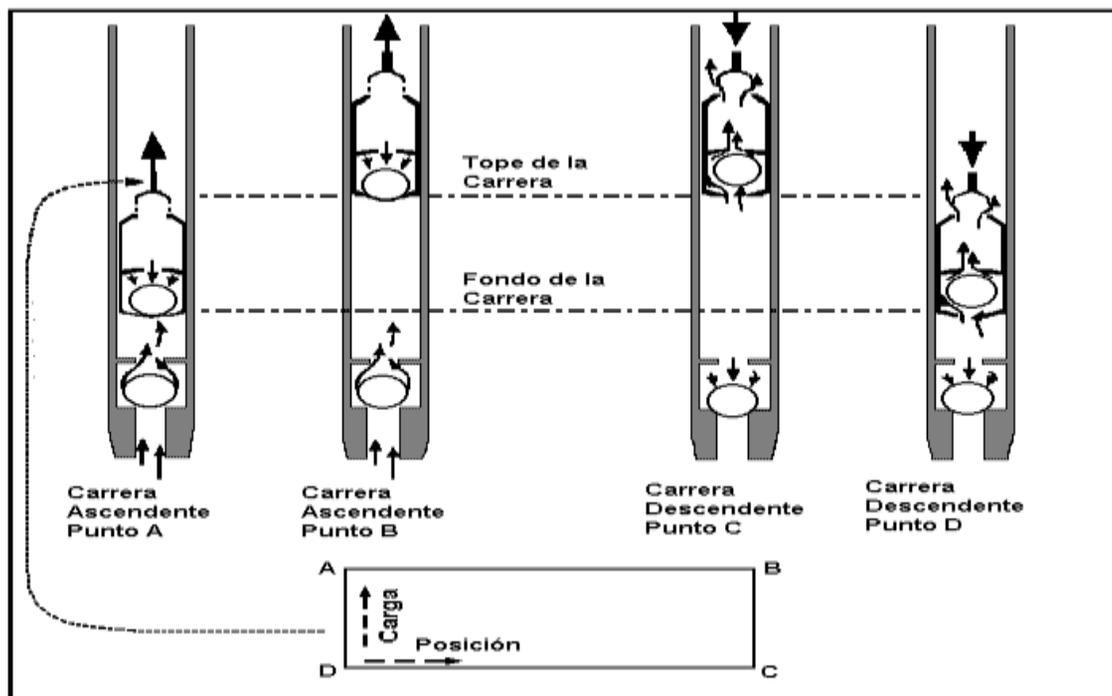


Figura 6. Ciclo normal de bombeo. Fuente. Theta Enterprise

### 3. Diseño Válvula Sand Check

Debido a la producción permanente de arena en los pozos productores del campo Casabe y a las “pegas” de las bombas de subsuelo del sistema de levantamiento por bombeo mecánico ocasionadas por la depositación de los granos de arena dentro de la bomba durante los eventos de paradas de pozos, ocasionadas por cortes eléctricos en el campo o actividades programadas, se evidenció la necesidad de utilizar un accesorio en la bomba para evitar o disminuir la probabilidad que se pegue la bomba.

El diseño consta de la adaptación y modificación de una G11 (accesorio API) que sirve como guía a la varilla del pistón de la bomba. Se modifica el cuerpo de la G11 incorporándole un buje en broce con borde biselado para lograr un sello hidráulico en la parte superior de la bomba, evitando así que los sólidos en suspensión ingresen al barril de la bomba cuando se presenten paradas en la unidad de bombeo, ya sean por cortes de energías, mantenimiento a la unidad, cambio de empaques o cambios de recorrido.

De esta necesidad se originó el diseño de la “sand check” la cual consta de tres partes:

1. Mandril (G-11 rediseñada)
2. Asiento biselado
3. Bronce biselado



*Figura 9.* Sand Check. Fuente: Taller de Bombas Mecánicas de Subsuelo.

### 3.1 Diseño Válvula Sand Check 1.25”, 1.75” Y 2.25 “

La sand check es usado en bombas mecánicas de subsuelo de tipo inserta RH, RW, RX de 1 ¼, 1 ¾ , 2 ¼ de diámetro.

Una vez obtenidos los prototipos a prueba y error se realizó el levantamiento de los planos de los tres componentes de la bomba en los tres diámetros nominales usados en los diseños propuestos por el personal de control de producción.

#### 3.1.1 Válvula Sand Check 1.25”

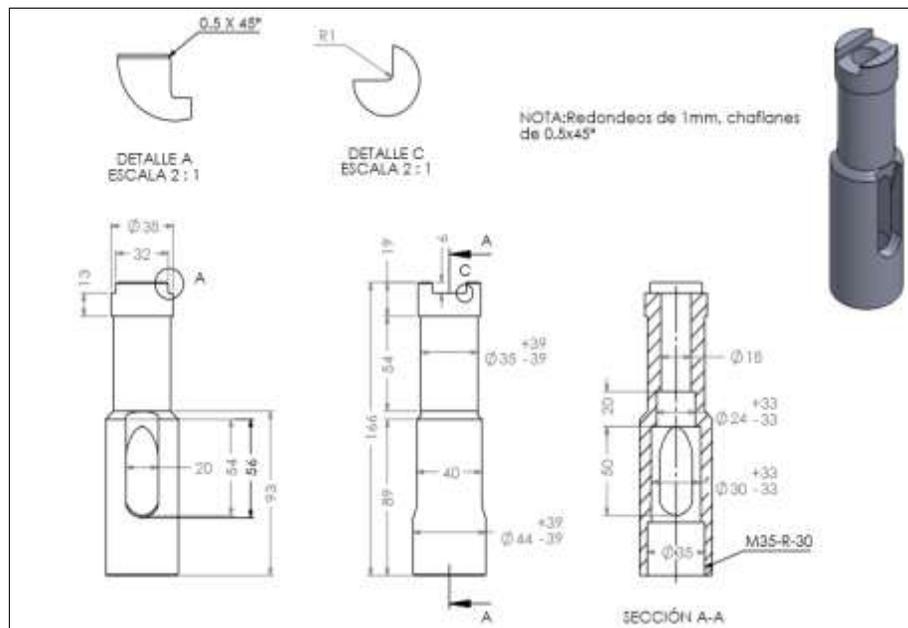
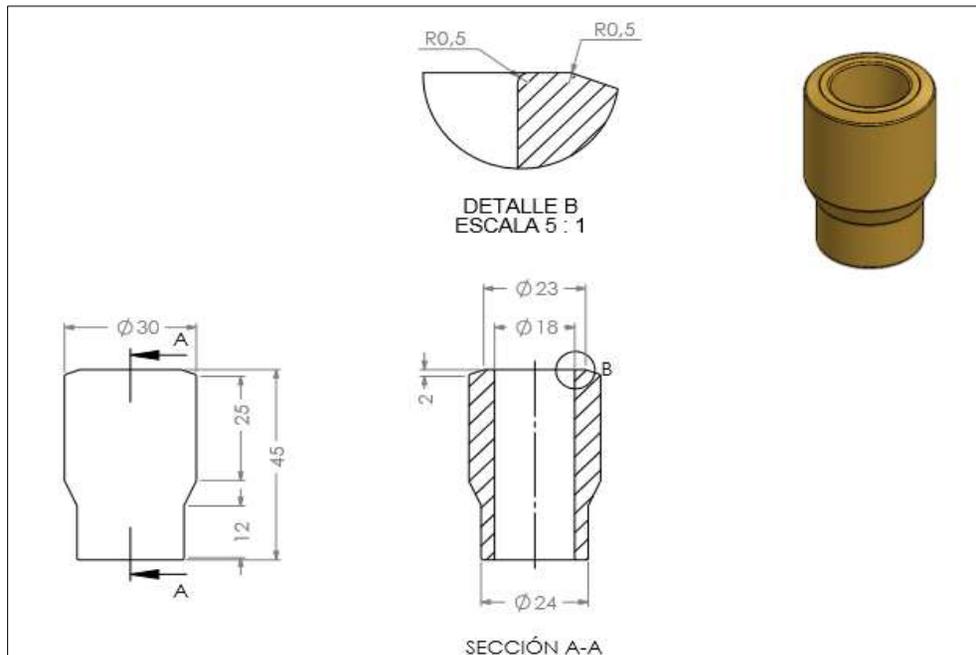
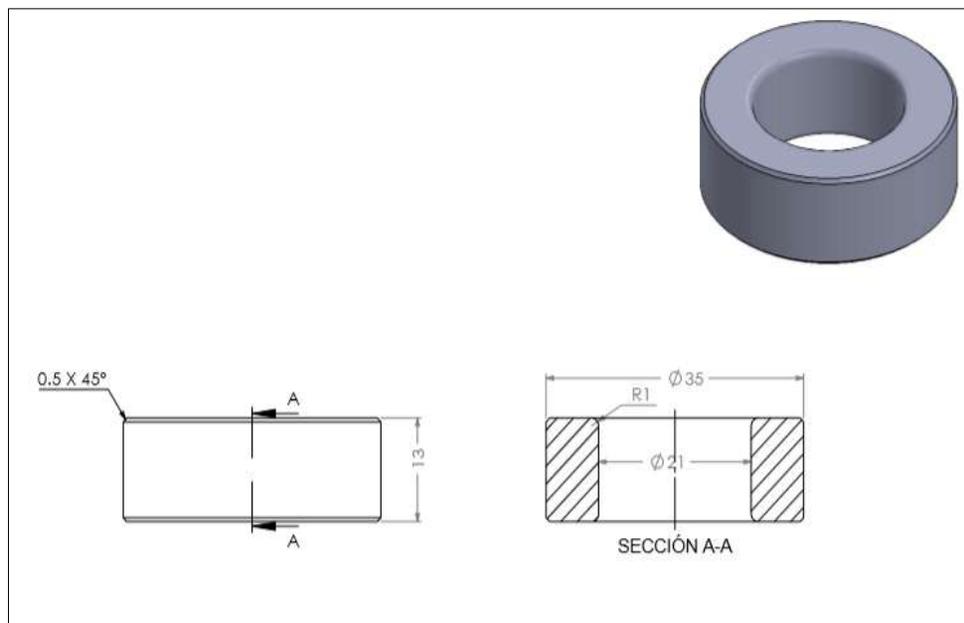


Figura 10. Mandril. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017

–de todas las Figuras



*Figura 11.* Buje. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 – de todas las Figuras



*Figura 12.* Asiento Biselado. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 – de todas las Figuras

### 3.1.2 Válvula Sand Check 1.75"

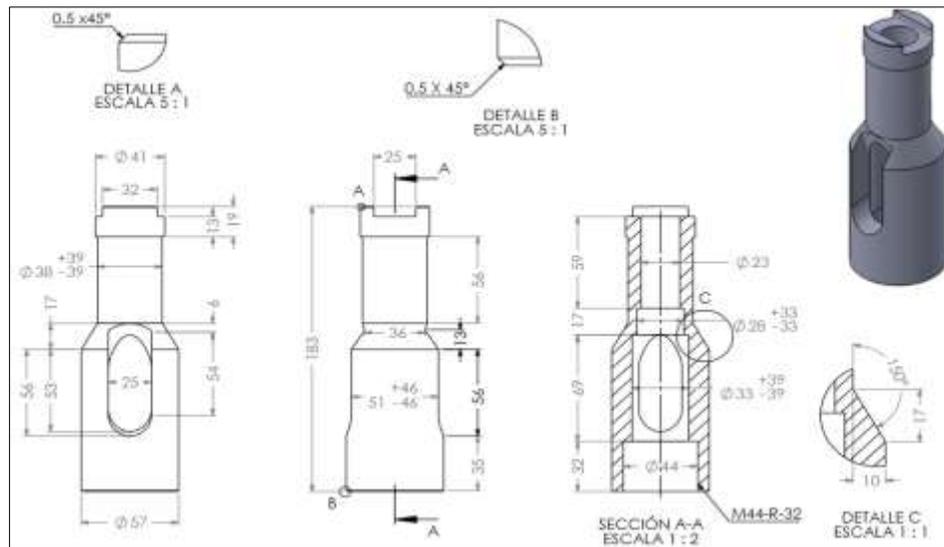


Figura 13. Mandril. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017

–de todas las Figuras

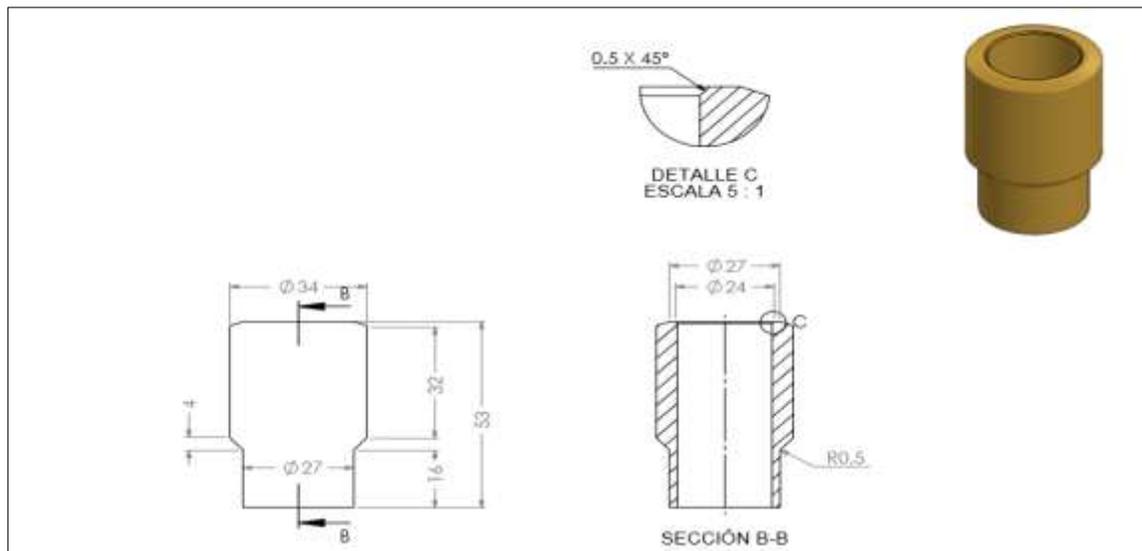
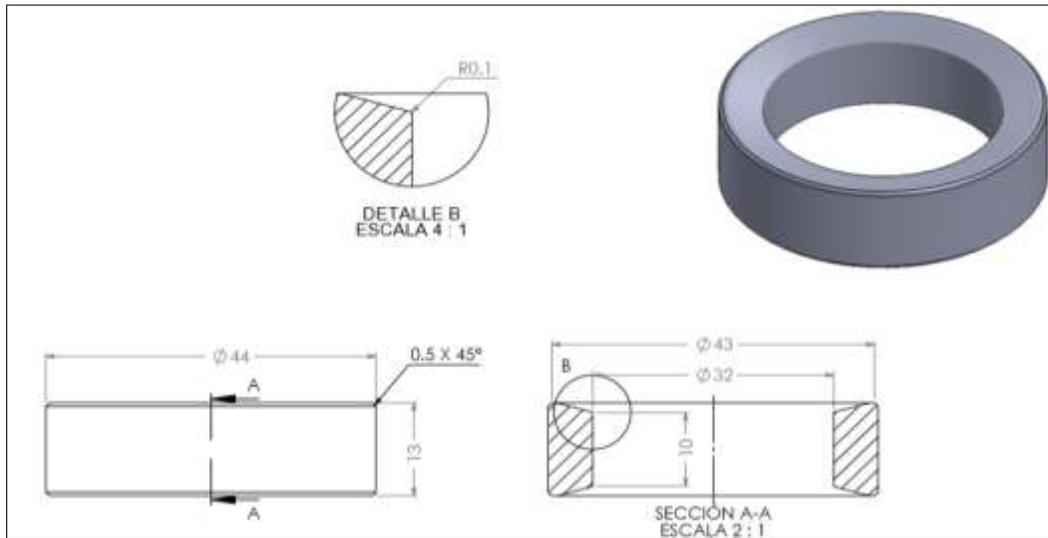


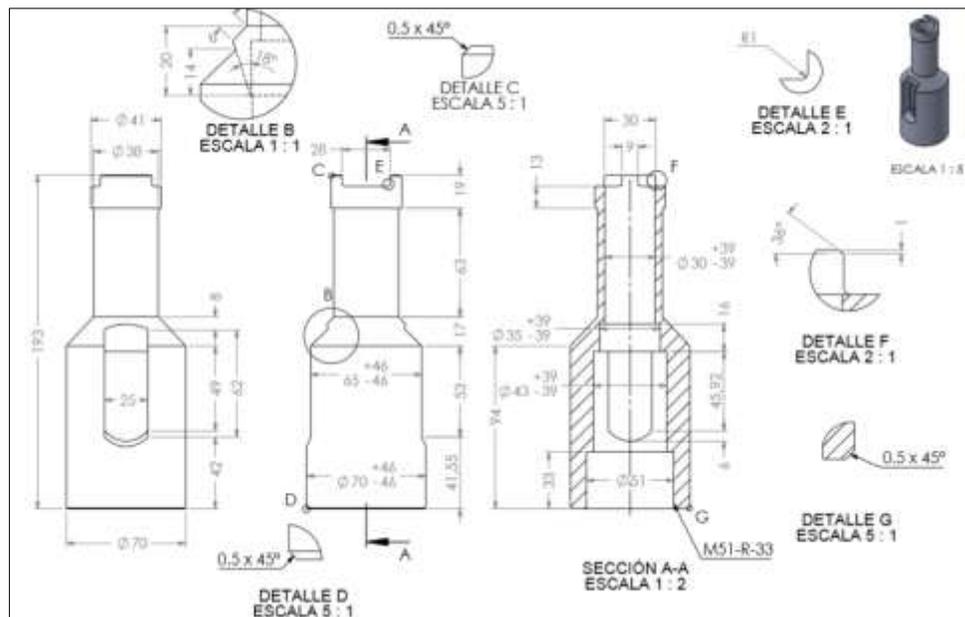
Figura 14. Buje. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 –

de todas las Figuras

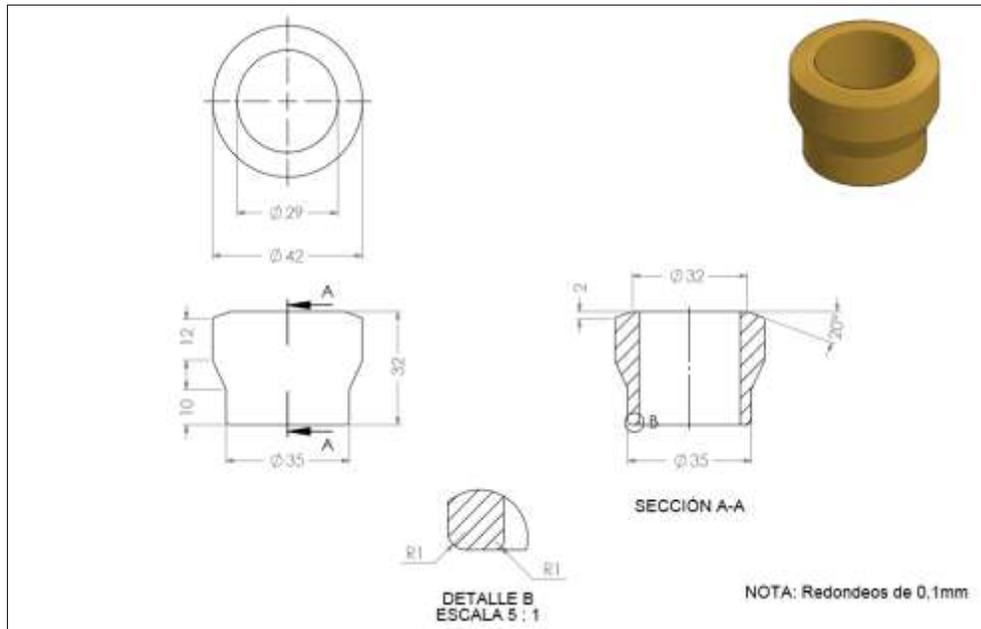


*Figura 15.* Asiento Biselado. Fuente: Solidworks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 –de todas las Figuras

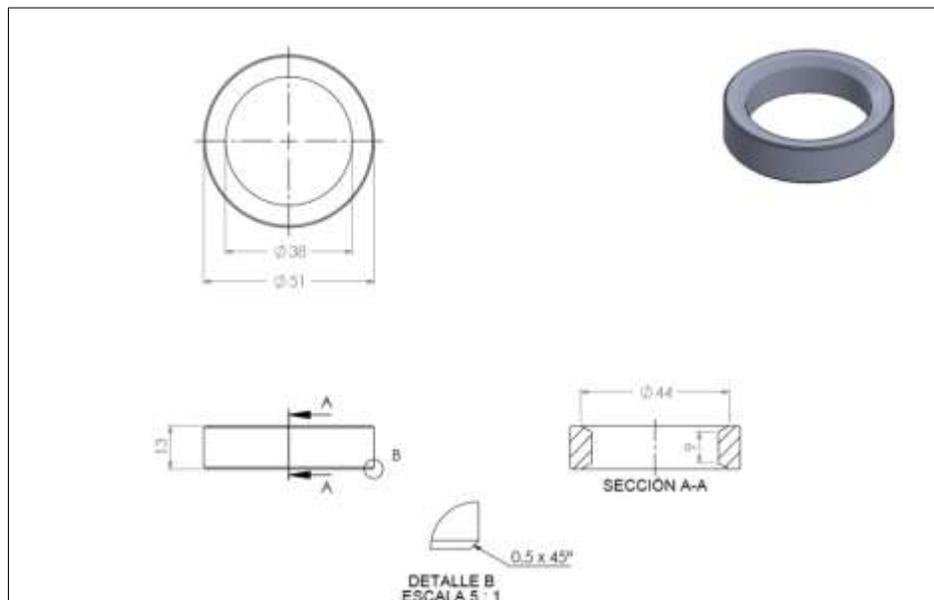
### 3.1.3 Válvula Sand Check 2.25”



*Figura 16.* Mandril. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 –de todas las Figuras



*Figura 17.* Buje. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 – de todas las Figuras



*Figura 18.* Asiento Biselado. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 –de Todas las Figuras

### 3.2. Caracterización Válvula Sand Check del Sistema de Bombeo Mecánico



*Figura 19.* Caracterización Válvula Sand Check del Sistema de Bombeo Mecánico. Fuente: SolidWorks Programa Usado – David Duarte Peña Diseñador – 2017 –de todas las Figuras

Tabla 3.

*Caracterización Válvula Sand Check del Sistema de Bombeo Mecánico*

N	NOMBRE	MATERIAL
1	Mandril	AISI 4140 PABONADO
2	Buje De Deslizamiento	Bronce
3	Asiento Biselado	Acero Inoxidable

El análisis de la válvula sand check respecto a su composición y metalurgia se realizó en laboratorio de Ingeniería de Materiales del ICP que tiene implementado un sistema de gestión de calidad donde cumple los requisitos establecidos en la norma NTC ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

Se realizaron los siguientes análisis:

- Se realizó análisis de Composición Química por Espectrometría de Emisión Óptica – EEO
- Se realizó ensayo de dureza Rockwell, Con los siguientes resultados:

### 3.3 Resultados y Análisis

Se recibió para caracterización una muestra de componente G-11 de la válvula sand check, componente de bomba del sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico, con el objeto de evaluar sus propiedades de composición química y su dureza para ser comparada dentro de los requisitos de la norma API 11 AX-12 “SPECIFICATION FOR SUBSURFACE SUCKER ROD PUMPS AND FITTINGS”.

Los requisitos propuestos por la norma API 11 AX-12 relacionados con las especificaciones del material para el componente G -11 de la bomba, se especifican en la figura 1.

SPECIFICATION FOR SUBSURFACE SUCKER ROD PUMPS AND FITTINGS				57
Table F—Pump Materials for Pull Tubes, Valve Rods, and Fittings				
Identification Symbol	Description	Hardness	Material	Base Material Minimum Yield Strength, ksi
A1	Steel	55 to 62 HRA	UNS G1XXX0 steel	50
A2	Low alloy steel	55 to 62 HRA	UNS G41XX0 - UNS G43XX0 low alloy steel	50
A3	Low alloy steel	55 to 62 HRA	UNS G86XX0 low alloy steel	50
A4	Ni/Cu Alloy	52 to 62 HRA	Ni/Cu Alloy	50
A5	Brass	43 to 55 HRA	UNS C36000–UNS C46400 free cutting brass	40
A6	Stainless Steel	46 to 62 HRA	Austenitic stainless steel, UNS S3XXX0	35

Note: “L” grades of material are acceptable for A1, A2, A3, and A6.

Figura 20. Requisitos de la norma API 11 AX-12 para el material del componente G-11 (GuideValve Rods).

### 3.3.1 Análisis de Composición Química por Espectrometría de Emisión Óptica – EEO. En

la Tabla 1 se presentan los resultados promedio obtenidos del ensayo de composición química para el metal base del componente G-11 y los valores límites establecidos por la norma API 11AX-12.

Tabla 4.

*Resultados del ensayo de Composición Química para el componente G-11 recibido.*

Elemento %	Componente G-11	Norma API 11AX-12. UNS G4140
<b>C</b>	0.379±0.005	<b>0.38 – 0.43</b>
<b>Mn</b>	0.863±0.012	<b>0.75 – 1.00</b>
<b>P</b>	0.023±0.002	<b>0.035 Máx.</b>
<b>S</b>	0.026±0.002	<b>0.040 Máx.</b>
<b>Si</b>	0.153±0.002	<b>0.15 – 0.35</b>
<b>Ni</b>	0.130±0.001	-----
<b>Cr</b>	0.980±0.012	<b>0.80 – 1.10</b>
<b>Mo</b>	0.160±0.004	-----
<b>Al</b>	0.027±0.001	-----
<b>Ti</b>	0.002±0.000	-----
<b>Cu</b>	0.077±0.002	-----
<b>V</b>	0.004±0.000	-----
<b>Fe</b>	<b>Balance</b>	-----

La composición química revelada por el material de fabricación del componente G-11 evaluado, está acorde a lo establecido por la norma API 11AX-12 para un material tipo A2 (acero de baja aleación) de la serie UNS G4140.

### Ensayo de dureza en escala Rockweel A - HRA

De la muestra recibida se preparó una probeta extraída de la sección transversal para la toma de dureza en escala Rockwell A. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de dureza de la muestra de componente G-11 y los valores de referencia establecidos por la norma API 11AX-12.

Tabla 5.

Resultados obtenidos del ensayo de dureza de la muestra de componente G-11

Muestra	Valores de Dureza en Escala Rockwell A - HRA					Promedio
Componente G-11 analizado	66.0	69.0	68.0	65.0	65.4	<b>66.68 ±1.74</b>
Valores de referencia API	<b>55 a 62 HRA</b>					

### 11AX-12

Los valores de dureza arrojados por el material del componente G-11 caracterizado, están por encima de lo establecido por la norma API 11AX-12, sin embargo, este exceso en el valor de dureza no representa mayor alteración en las propiedades mecánicas, ni operacionales del componente.

En la siguiente grafica se detalla Las características del diseño de la Guía de la varilla o G-11, según la norma API 11AX, la cual tomamos como referencia al momento de diseñar la válvula sand check, usada en las bombas mecánicas para evitar el atascamiento de la bomba por pistón pegado dentro del barril por efecto de la decantación de sólidos presentes en la columna de fluido.

Dimensional Symbol	Part Number		
	G11-20	G11-25	G11-30
F32, F42	1.4704-14 (37.348-14)	1.8024-14 (45.781-14)	2.1095-11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (53.581-11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> )
ID±0.062 (±1.57)	0.766 (19.46)	0.953 (24.21)	1.141 (28.98)
L <sub>1</sub> ±0.031 (±0.79)	3/4 (19.1)	3/4 (19.1)	3/4 (19.1)
L <sub>2</sub> +0.062/-0.000 (+1.57/-0.00)	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (54.0)	2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> (60.3)	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (63.5)
OD <sub>1</sub> ±0.005 (±0.13)	1.500 (38.10)	1.625 (41.28)	1.625 (41.28)
OD <sub>2</sub> +0.000/-0.031 (+0.00/-0.79)	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> (34.9)	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (38.1)	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (38.1)
OD <sub>3</sub> ±0.031 (±0.79)	1.750 (44.45)	2.250 (57.15)	2.750 (69.85)
WB+0.062 /-0.000 (+1.57/-0.00)	0.812 (20.62)	1.000 (25.40)	1.000 (25.40)
WC+0.062/-0.000 (+1.57/-0.00)	0.250 (6.35)	0.250 (6.35)	0.250 (6.35)
PL±0.031 (±0.79)	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> (139.7)	6 (152.4)	6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> (158.8)

Note: All dimensions in inches (followed by equivalent in millimeters).

Figura 21. Características del diseño de la Guía de la varilla o G-11, según la norma API 11AX.

Fuente Norma API 11 AX

Tabla 6.

*Información General*

<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	
<b>Responsable de Laboratorio</b>	Ludwing Alfonso López Carreño
<b>Fecha de Recepción muestras</b>	
<b>Fecha/rango de fechas de Ejecución de análisis</b>	01 al 10 de Agosto de 2017
<b>Fecha generación del Informe</b>	10 de Agosto de 2017

#### **4. Uso de la Válvula Sand Check en los Diseños de las Bombas Mecánicas Instaladas en los Pozos del Campo Casabe**

En el campo Casabe se ha instalado la válvula *sand check* en varios pozos donde se venían presentando continuos trabajos por bomba “pegada” después de cortes eléctricos o paradas programadas de los pozos y daños repetitivos en muy corto tiempo del pistón de la bomba.

##### **Principio de funcionamiento válvula Sand Check**

Durante el ciclo de bombeo en la carrera descendente, dentro de la camisa, el bronce biselado al caer en el asiento realiza un sello, aislando la presión hidrostática por encima de la bomba, lo que garantiza que no exista paso de fluido desde la parte superior del *tubing* hacia la bomba cuando se presenta una interrupción en el ciclo de bombeo por cortes eléctricos o mantenimientos de superficie que requieran parar la unidad.

Esta acción obtenida con la *sand check* unida con un *clearance* (espacio entre pistón y barril) adecuado para la producción de arena que se tiene en el pozo, permite que durante paradas del pozo la bomba no se pegue por atascamiento del pistón dentro del barril de la bomba.

En la carrera ascendente la mezcla de fluido (liquido/gas) encima del pistón es comprimida hasta que el bronce biselado se deslice y abra, permitiendo el paso del fluido para ser descargado en la tubería de producción encima de la bomba.

La sand check se utiliza solo en las bombas tipo insertas y se instala en la parte superior de la bomba. Para bombas con anclaje superior (RHA o RWA) se conecta en la parte superior de la bomba al mandril del anclaje como se observa en las siguientes imágenes:



*Figura 22.* Instalación de la Bomba al Mandril de Anclaje. Fuente: Taller de bombas mecánicas de subsuelo Ecopetrol S.A

Para las bombas con anclaje inferior (RHB o RWB) se conecta en la parte superior de la bomba a la C21 como se observa en las siguientes imágenes:



*Figura 23.* Conexión de la bomba a la C21. Fuente: Taller de bombas mecánicas de subsuelo Ecopetrol S.A

Aunque existen muchos factores que influyen en el aporte de arena de los pozos productores del campo Casabe y que son cambiantes en el tiempo por las continuas variaciones del sistema de recuperación secundaria (inyección preferencial en los pozos del modelo de inyección, falta de soporte de inyección, daños en el revestimiento de los pozos, entre otros) en varios pozos se ha logrado una disminución significativa en el número de intervenciones por cambio de bomba, posterior a la instalación de la válvula sand check como se observa en el siguiente cuadro.

En total se han usado en los pozos con bombeo mecánico de la coordinación del campo Casabe 233 válvulas Sand check

Tabla 7.

*Estadístico del Uso de la válvula sand check en campo casabe*

SANDCHECK						
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
51	82	18	17	13	24	28

Fuente: Reportes salidas de bombas taller de bombeo mecánico campo Casabe.

En la siguiente tabla se relacionan las bombas corridas en 15 pozos del campo Casabe con la válvula *sand check* incorporada en su diseño y se relacionan los días efectivos de trabajo en fondo de pozo sin presentar fallas en la extracción de fluidos

Tabla 8.

*Run Life Bombas Bajadas a Pozos con Válvula Sand Check Campo Casabe*

POZO	FECHA INSTALACION BOMBAS CON SAND-CHECK	DESCRIPCION API DE LA BOMBA	RUN LINE (dias)
1	27/08/2010	25-175-RHAC-16-3-2-2-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	395
2	29/10/2010	30-225-RHAC-20-3-0,5-0,5- DVF-VV-V.SANDCHECK-F,STRAINER	448
3	8/07/2014	30-225-20-3-0.5-0.5-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	1103
4	17/10/2014	25-175-RHAC-16-3-2-2- DVF-VV-V.SANDCHECK-F,STRAINER	211
5	30/09/2014	25-150-RWAC-16-3-0-0-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	370
6	23/03/2011	25-175-RHAC-16-3-2-2-DVF-VV-V.SANDCHECK-F,STRAINER	1365
7	7/03/2013	25-175-RHAC-12-3-2-2-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	739
8	7/03/2013	25-175-RHAC-12-3-2-2-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	739
9	24/12/2010	25-200-RWAC-20-3-0-0-VF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	241
10	5/11/2012	25-200-RWAC-16-3-0-0-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	696
11	18/09/2010	25-175-RHAC-12-3-2-2-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	317
12	7/12/2011	25-175-RHAC-12-3-2-2-VF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER-V.DARDO	279
13	4/10/2011	25-175-RHAC-16-3-2-2-VF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	383
14	23/11/2010	25-125-RHAC-12-3-2-2-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	836
15	2/08/2011	25-125-RHAC-12-3-2-2-DVF-VV--V.SANDCHECK-F,STRAINER	1089

Fuente: Control de producción campo Casabe - Diseños de bombas mecánicas de subsuelo.

Para soportar el óptimo funcionamiento de la válvula, una vez instalada en la bomba a correr en los pozos identificados con problemas de atascamiento y pegas de pistón en campo Casabe, se tomaron registros de dinagrama a cada uno de ellos, observando que la *válvula sand check* no interfiere ni afecta la eficiencia de llenado de la bomba corrida en estos pozos.

Se toman 15 pozos como referencia para este trabajo, y se extrae la carta del registro de dinagramas tomado a cada pozo con la *válvula sand check* instaladas en la bomba, donde se logra evidenciar que el accesorio no interfiere con la eficiencia de llenado de la bomba.

Es necesario tener en cuenta que la eficiencia de la bomba depende de varios factores como los strokes por minuto, longitud del recorrido de la unidad y el diámetro del pistón, siendo así la eficiencia de extracción puede variar entre un 80 a 100 %

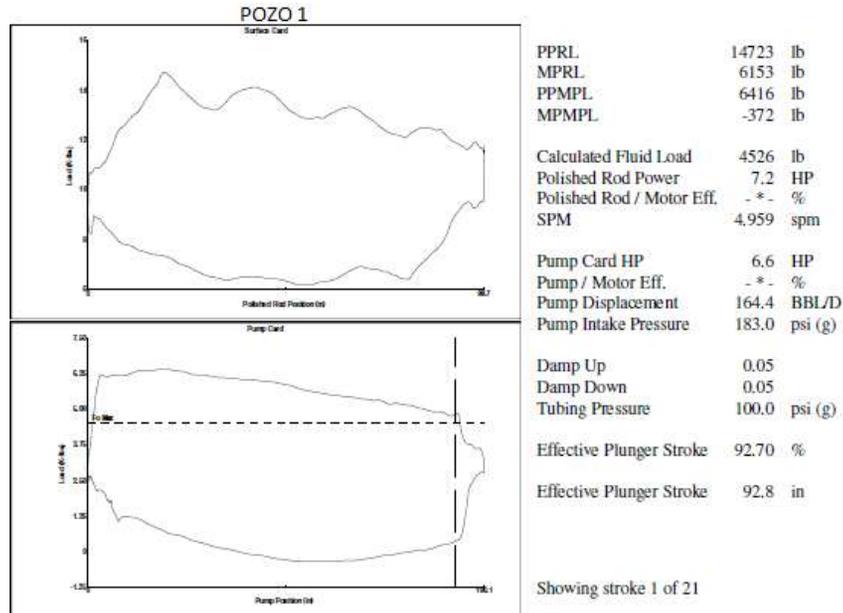


Figura 24. Pozo # 1

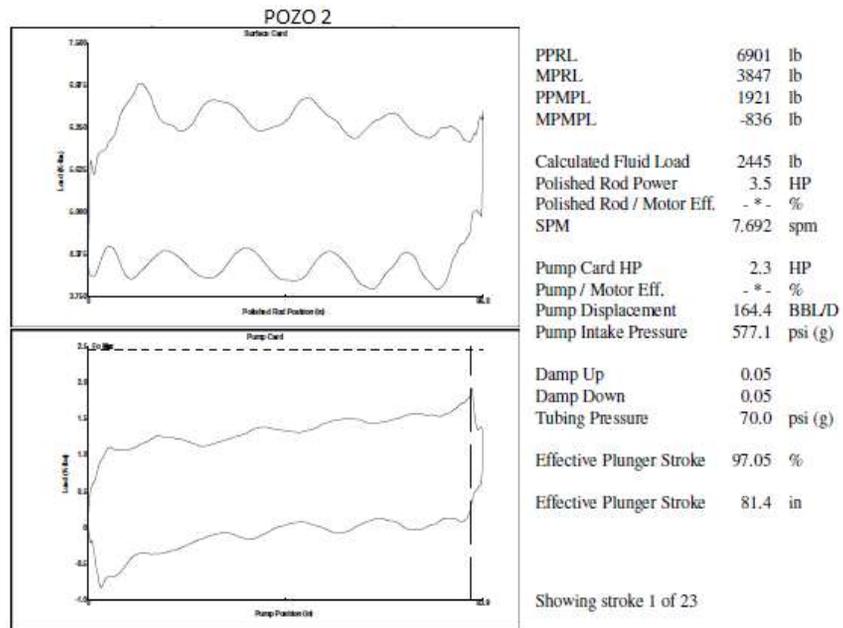


Figura 25. Pozo # 2

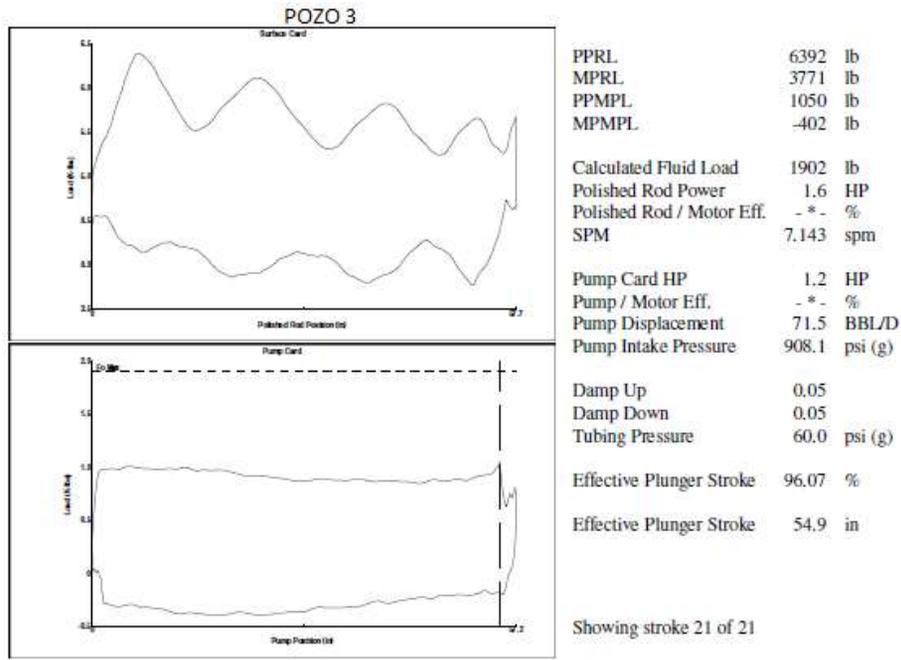


Figura 26. Pozo # 3

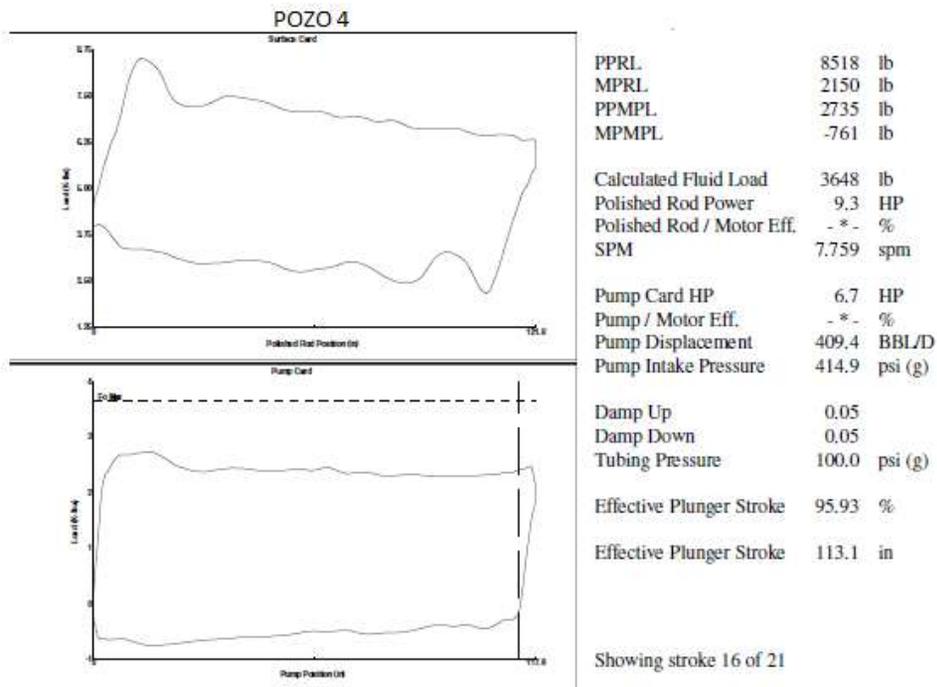


Figura 27. Pozo # 4

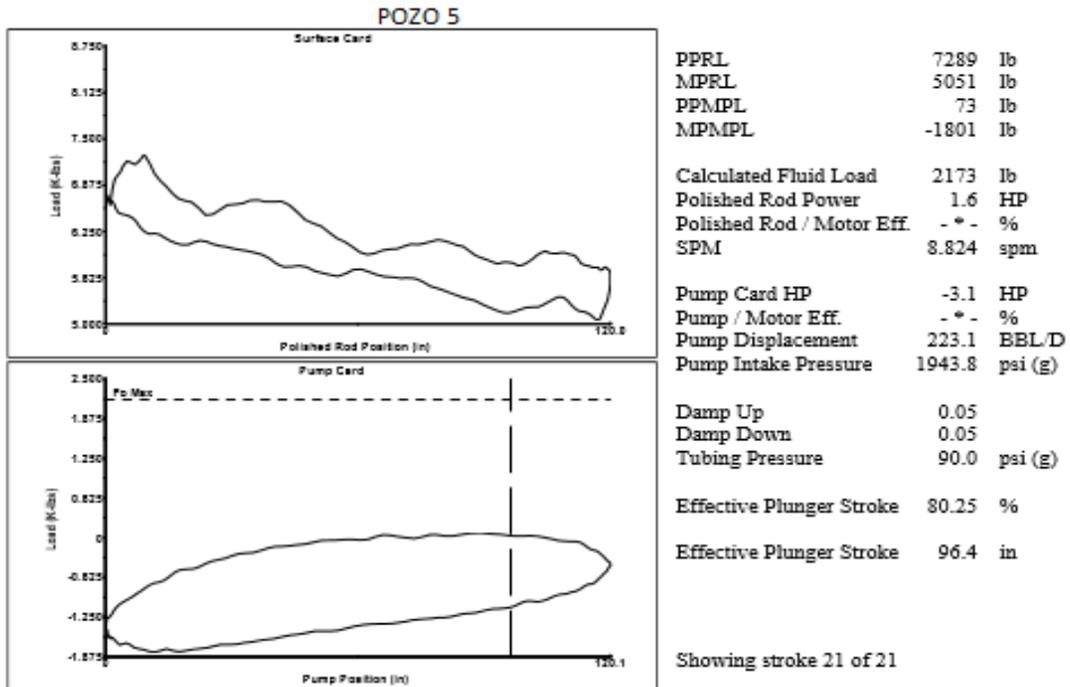


Figura 28. Pozo # 5

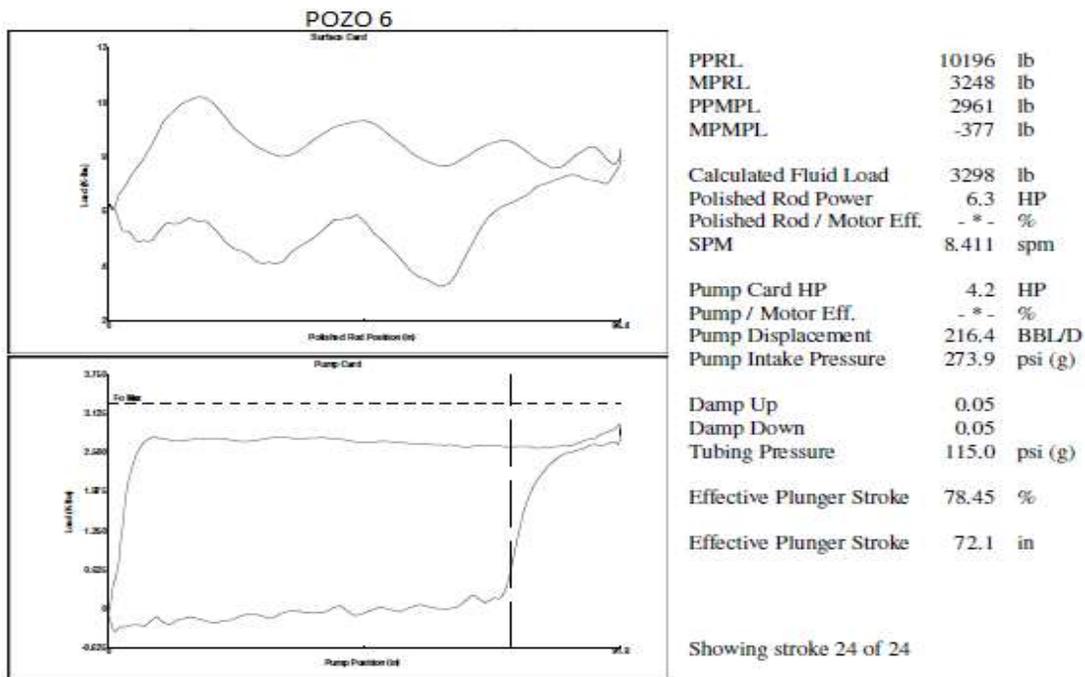


Figura 29. Pozo # 6

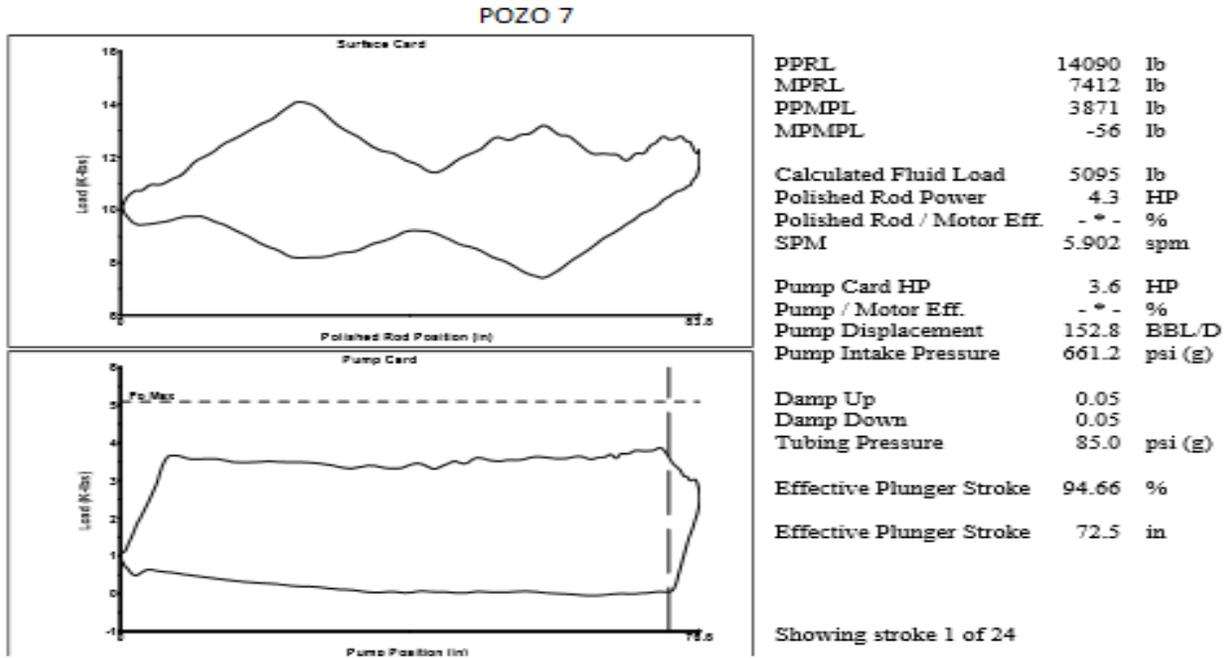


Figura 30. Pozo # 7

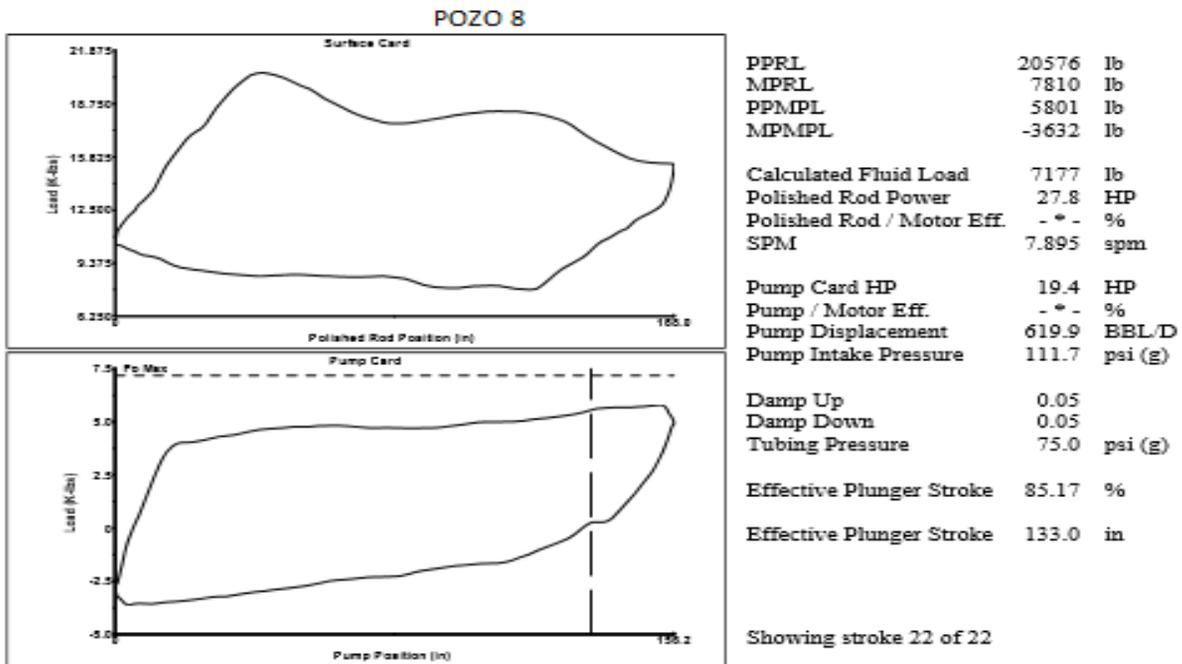


Figura 31. Pozo # 8

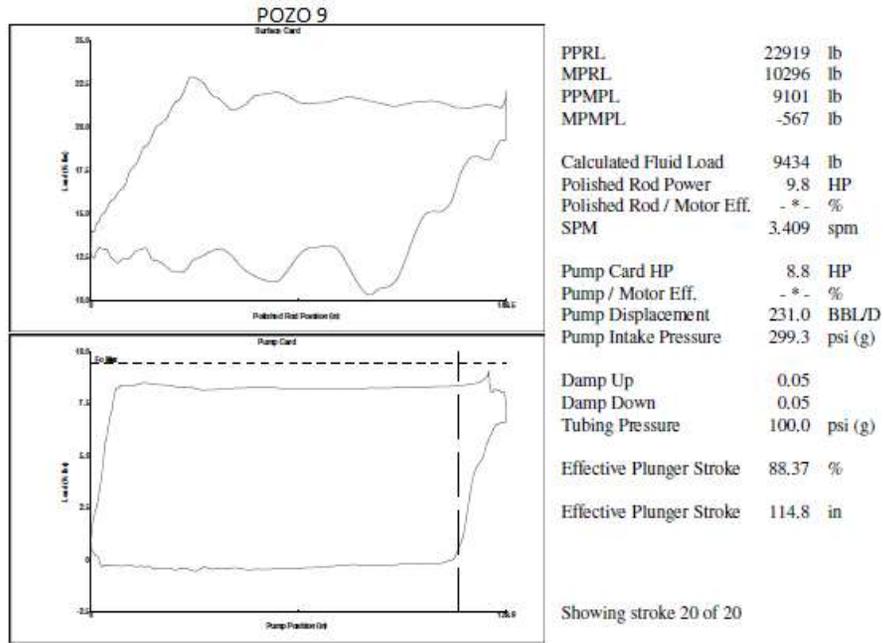


Figura 32. Pozo # 9

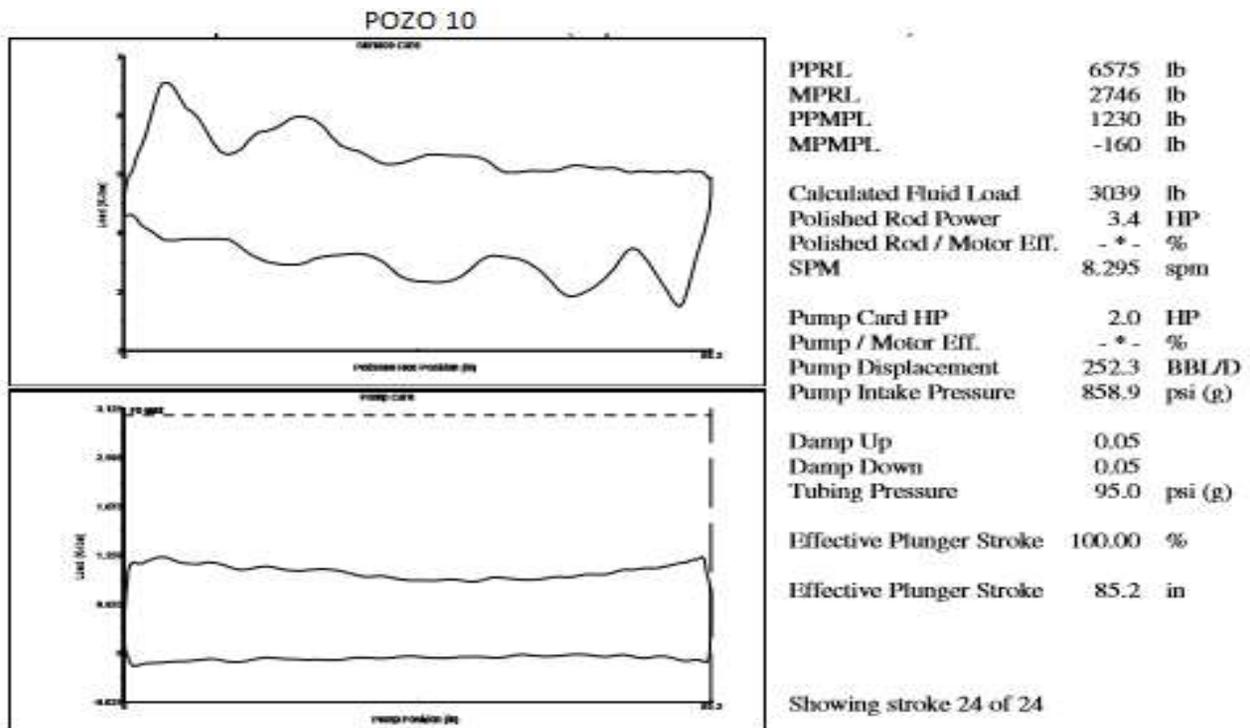


Figura 33. Pozo # 10

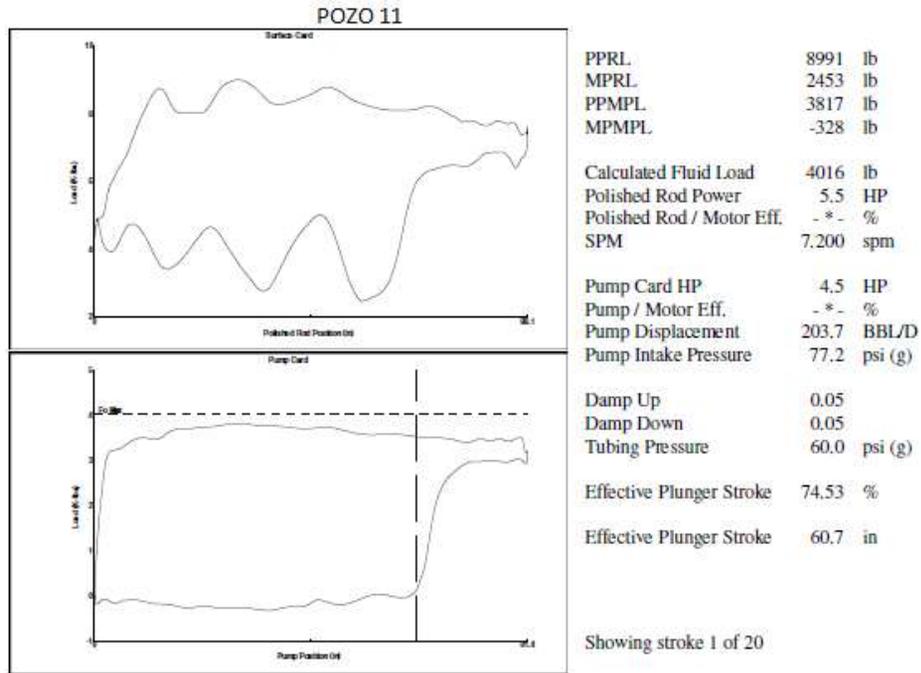


Figura 34. Pozo # 11

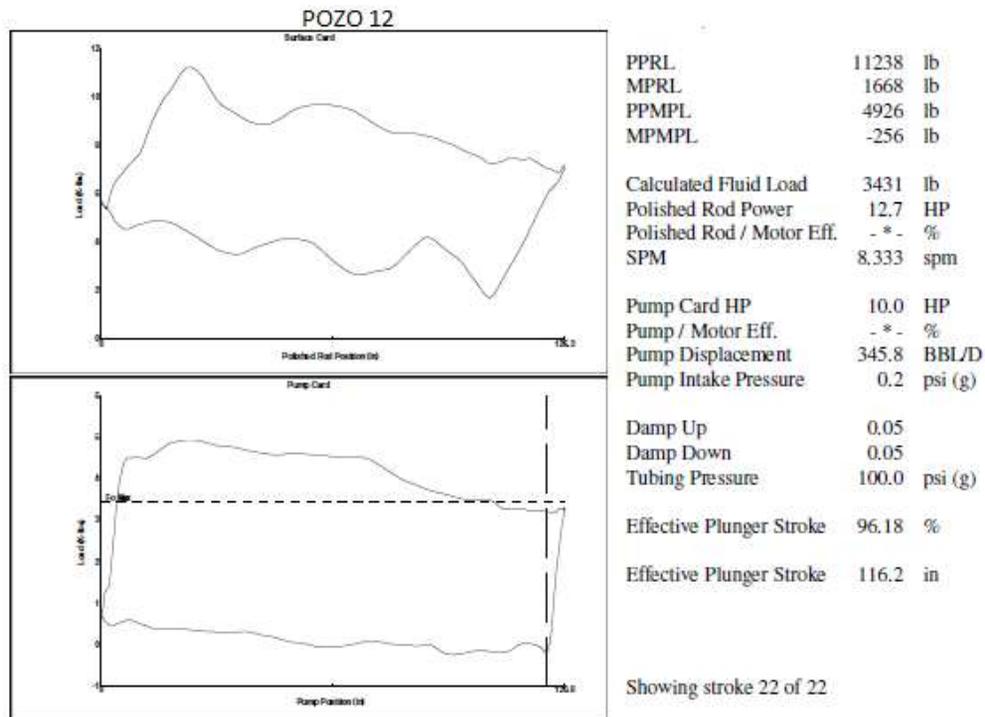


Figura 35. Pozo # 12

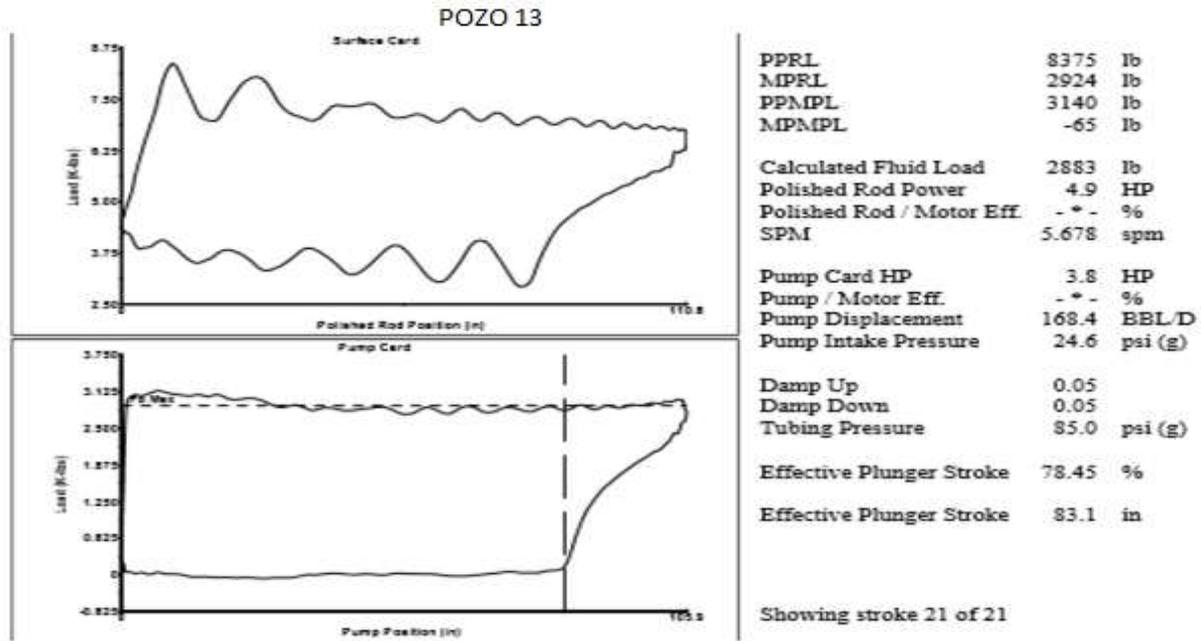


Figura 36. Pozo # 13

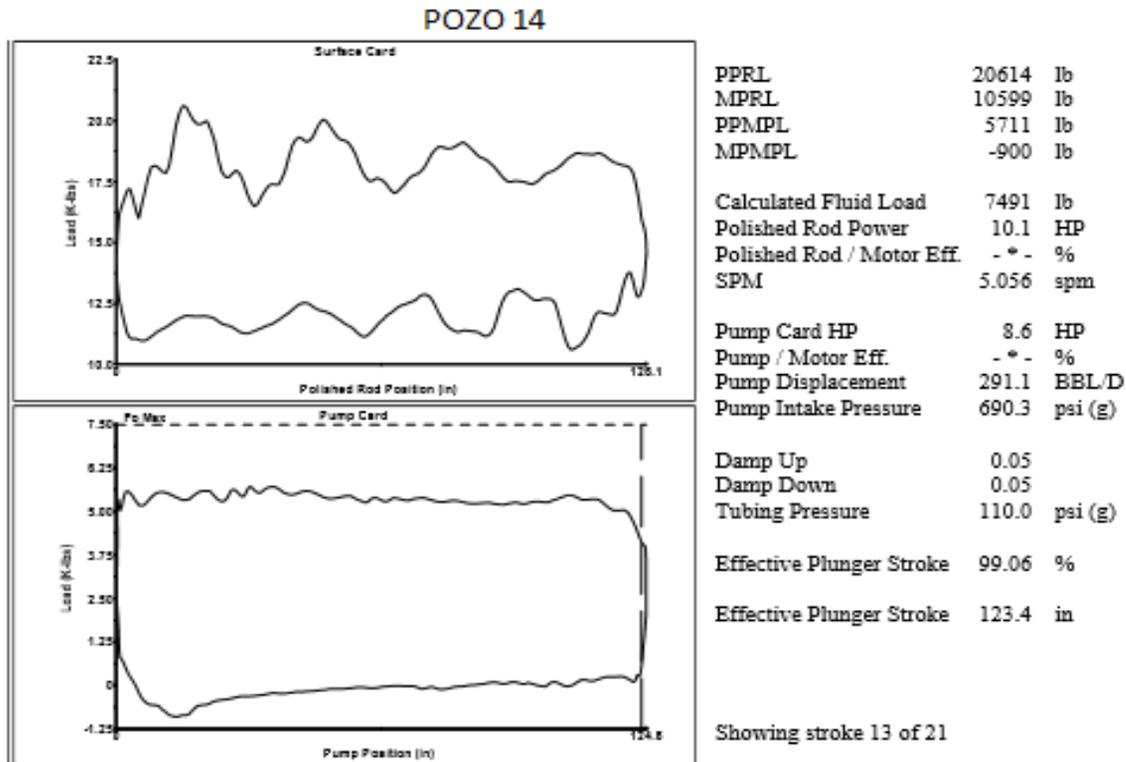


Figura 37. Pozo # 14

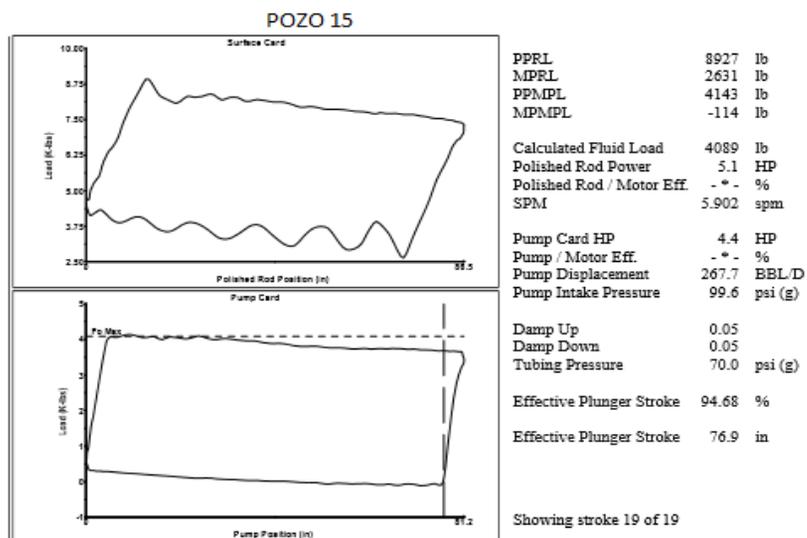


Figura 38. Pozo # 15

En la tabla 9 se puede soportar que el uso de la válvula sand check no te interviene en la eficiencia de las bombas instaladas en los pozos al realizar el comparativo entre la producción bruta esperada por potenciales vs la producción bruta real obtenida al probar los pozos en las estaciones de recolección

Tabla 9.

*Producción bruta esperada vs producción bruta real por pruebas*

POZO	FECHA INSTALACION BOMBAS	RUN LINE (días)	PRODUCCION BRUTA ESPERADA	PRODUCCION BRUTA REAL POR PRUEBAS
1	25/08/2010	323	14	39
2	17/04/2012	744	62	100
3	2/08/2011	1089	70	71
4	23/11/2010	836	179	324
5	30/09/2014	370	239	223
6	7/03/2013	739	89	216
7	17/10/2014	211	36	89
8	8/07/2014	1103	195	434
9	29/10/2010	448	391	393
10	23/03/2011	1365	118	180
11	5/11/2012	696	235	252
12	24/12/2010	241	278	345
13	3/08/2011	405	22	53
14	18/09/2010	317	200	291
15	7/12/2011	279	74	78
16	27/08/2010	395	105	108
17	4/10/2011	383	97	100

## 5. Evaluación de la Eficiencia del Diseño y Reducción en los Costos de Levantamiento por Fallas en Bombeo Mecánico de los Pozos del Campo Casabe

En la tabla 10 se observa una reducción del 95.7 % en el número de servicios de varilleo y cambio de bombas a los pozos analizados del sistema de levantamiento mecánico del campo Casabe, una vez se implementó el uso de la válvula *sand check* en los diseños corridos en los pozos en mención.

Se tomaran las fallas presentadas en los 15 pozos en el año número 3, es decir, 47 intervenciones por año y una vez instalada la válvula sand check se reducen los servicios en estos pozos a 2 fallas

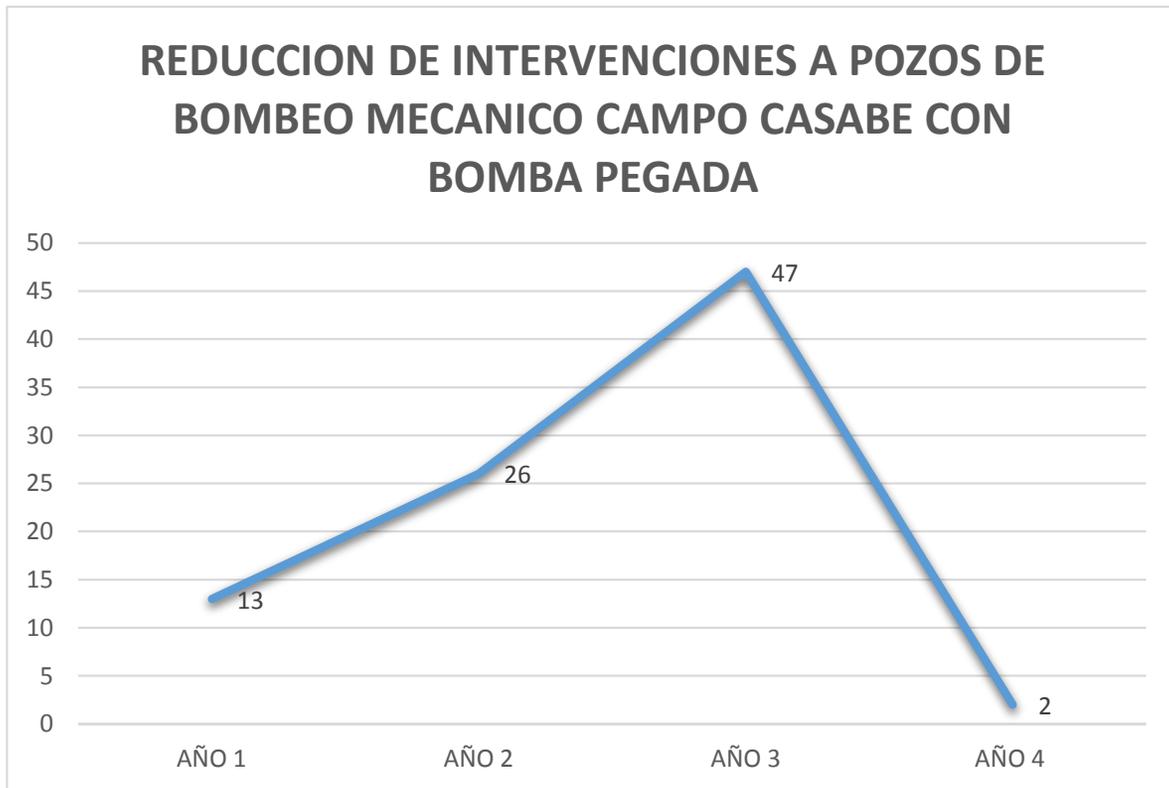
Tabla 10.

*Número de intervenciones de varilleo por cambio de bomba con pistón pegado*

POZO	Numero de intervenciones de varilleo por cambio de bomba con Piston pegado			
	Bomba mecanica sin valvula SandCheck			(Instalacion valvula SandCheck)
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
1	3	2	3	0
2	0	2	2	0
3	0	0	6	1
4	2	2	0	0
5	1	3	1	0
6	0	2	0	0
7	0	1	3	0
8	2	0	3	0
9	2	0	2	0
10	1	4	4	0
11	0	1	7	1
12	1	2	2	0
13	1	3	2	0
14	0	3	5	0
15	0	1	7	0
TOTAL INTERVENCIONES POR AÑO	13	26	47	2

Fuente: Coordinación de producción campo Casabe

En los quince pozos relacionados en la tabla siguiente se observa una disminución en 45 servicios de equipos de *flush by* por cambio de bomba después de haber sido utilizada la válvula *sand check*.



*Grafico 1.* Reducción de Intervenciones a Pozos de Bombeo Mecánico

Los recursos económicos ahorrados por la No intervención a pozos con bombas mecánicas pegadas con equipos de varilleo o *flush by* está alrededor de los US 145.260 al año sin tener en cuenta la producción diferida de cada pozo por cambio de bomba realizado, como se presenta en la tabla (#)

Tabla 11.

*Recursos Ahorrados por el uso de la Válvula Sand Check en Pozos Bombeo Mecánico Campo Casabe*

ANALISIS DE REDUCCION DE LIFTING COST EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE CAMPO CASABE CON EL USO DE LA VALVULA SAND CHECK				
NUMERO DE POZO	AÑO 3.Diseño Sin Sand Check	AÑO 4 .Diseño con Sand Check	SERVICIOS DE EQUIPOS DE VARILLO O FLUSH BY AHORRADOS	COSTO 3228 US POR 16 HORAS DE FLUSH BY PARA CAMBIO DE BOMBA POZOS PROMEDIOS 100 VARILLAS
1	3	0	3	9684
2	2	0	2	6456
3	6	1	5	16140
4	0	0	0	0
5	1	0	1	3228
6	0	0	0	0
7	3	0	3	9684
8	3	0	3	9684
9	2	0	2	6456
10	4	0	4	12912
11	7	1	6	19368
12	2	0	2	6456
13	2	0	2	6456
14	5	0	5	16140
15	7	0	7	22596
TOTAL INTERVENCIONES POR AÑO	47	2	45	US 145260

Fuente: Estadísticas taller de bombas y control de producción campo casabe

## 6. Conclusiones

El diseño y uso de la válvula sand check como parte integral de la bomba mecánica de subsuelo ha sido una solución eficaz para el manejo de sólidos en suspensión presentes en los fluidos del pozo, aguas arriba de la bomba.

La válvula sand check se ha usado en más de doscientos treinta diseños de bombas mecánicas en campo casabe y los resultados han sido satisfactorios; permitiendo una reducción significativa en las intervenciones a pozos por cambio de bomba con pistón atascado o pegado.

Los aportes del uso de este accesorio en relación a la disminución del índice de fallas es relevante al pasar de 47 servicios de cambio de bomba con pistón pegado a Dos servicios una vez implementada la válvula en el diseño de las bomba a bajar en los pozos que presentan esta falla operacional.

La válvula sand check a aportado a la reducción del índice de falla del campo casabe que actualmente está en 0.96 y al lifting cost del campo por permitir un mayor run life de la bomba; una menor producción diferida, y menor número intervenciones con equipo.

## 7. Recomendaciones

Por su diseño la válvula sand check también puede ser usada como válvula antigás al liberar el peso de la columna sobre la válvula viajera, haciendo que ésta baje libremente y por la acción de la diferencia de presión en el barril se abra, lo cual permite el paso de fluido a la superficie.

De acuerdo al estudio y caracterización de la válvula realizado en el laboratorio de materiales del ICP, se recomienda elaborar este accesorio en acero 4140 de fabricación nacional ya que cumple y supera con lo establecido en la norma API 11AX-12 al superar los 55-62 HRA allí establecidos.

Este accesorio se puede usar en bombas tipo insertas con anclaje tanto superior como inferior, y su valor agregado es que hace parte integral de la bomba y no cuenta como un accesorio adicional lo cual reduce la eficiencia de llenado de la bomba.

## Bibliografía

CONTRERAS TORRES, Daniel Felipe y DOMINGUEZ CARDONA, Iván Darío. Propuesta metodológica para la selección de filtros para control de sólidos en pozos de bombeo mecánico en la Cira-Infantas. Proyecto de grado (Ingeniero de Petróleos) Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, facultad de ingenierías fisicoquímicas, 2016.

DOC PLAYER Métodos prácticos de manejo de la producción de arena [en línea] disponible en:  
<http://docplayer.es/14276592-Metodos-practicos-de-manejo-de-la-produccion-de-arena.html>

HERNANDEZ, Florencio. Bombeo Mecánico. Bucaramanga: Publicaciones UIS; p. 1-14.

MESA PIMIENTO, Argemiro Andrés; LOPEZ MANRIQUE, Nohora Isabel; DURAN SERRANO, Javier. Análisis y determinación del volumen de deslizamiento de fluido en bombas mecánicas de subsuelo con pistón concéntrico. Proyecto de grado (Ingeniero de Petróleos) Bucaramanga, Universidad industrial de Santander, Facultad de ingenierías fisicoquímicas, 2010.124 p

ORTEGA, Clímaco. Curso Bombeo Mecánico. Bucaramanga: Publicaciones UIS; p. 101-140.

## Apéndices

### Apéndice A. Válvula Sand Check 1.25

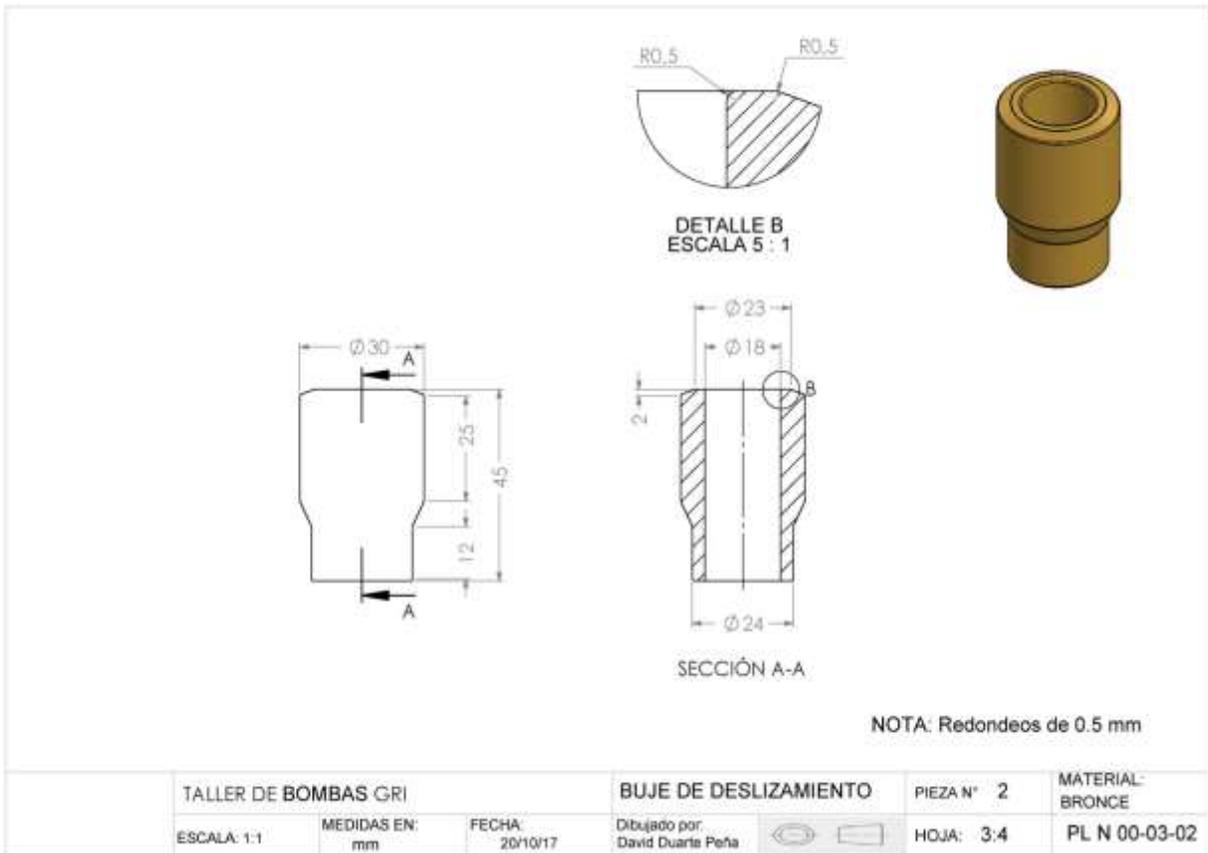
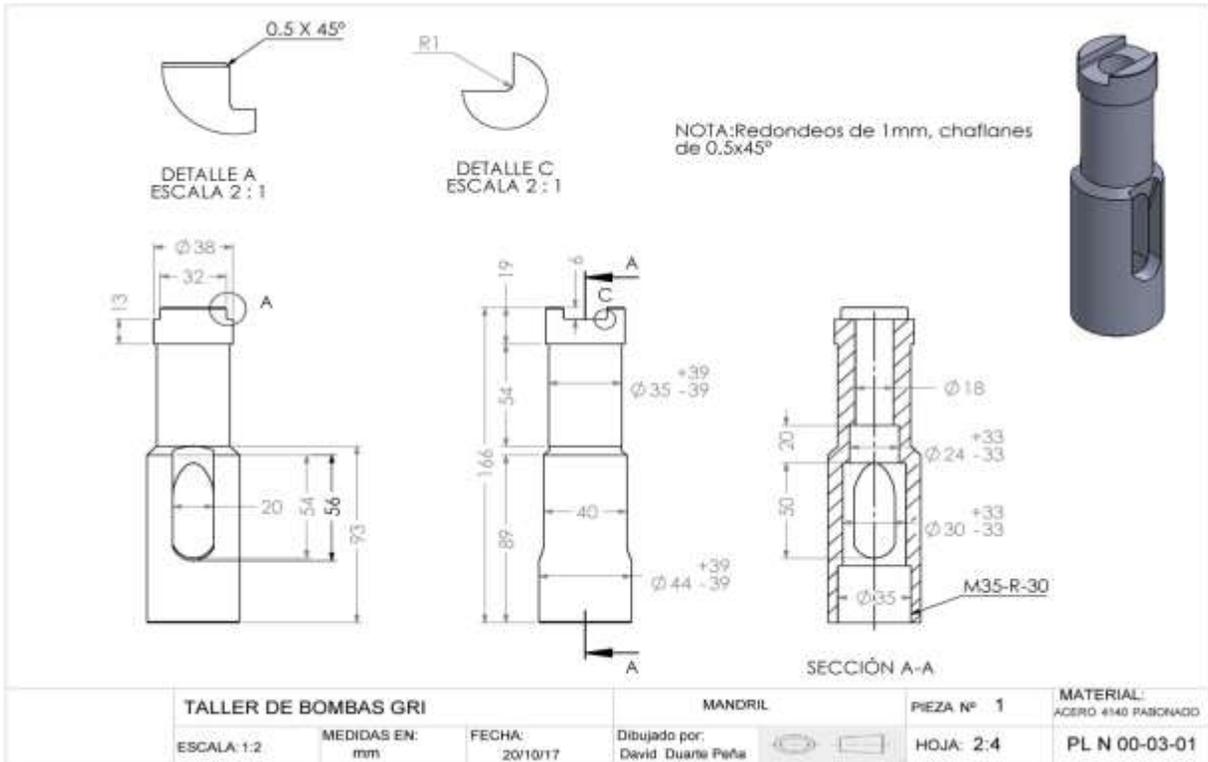


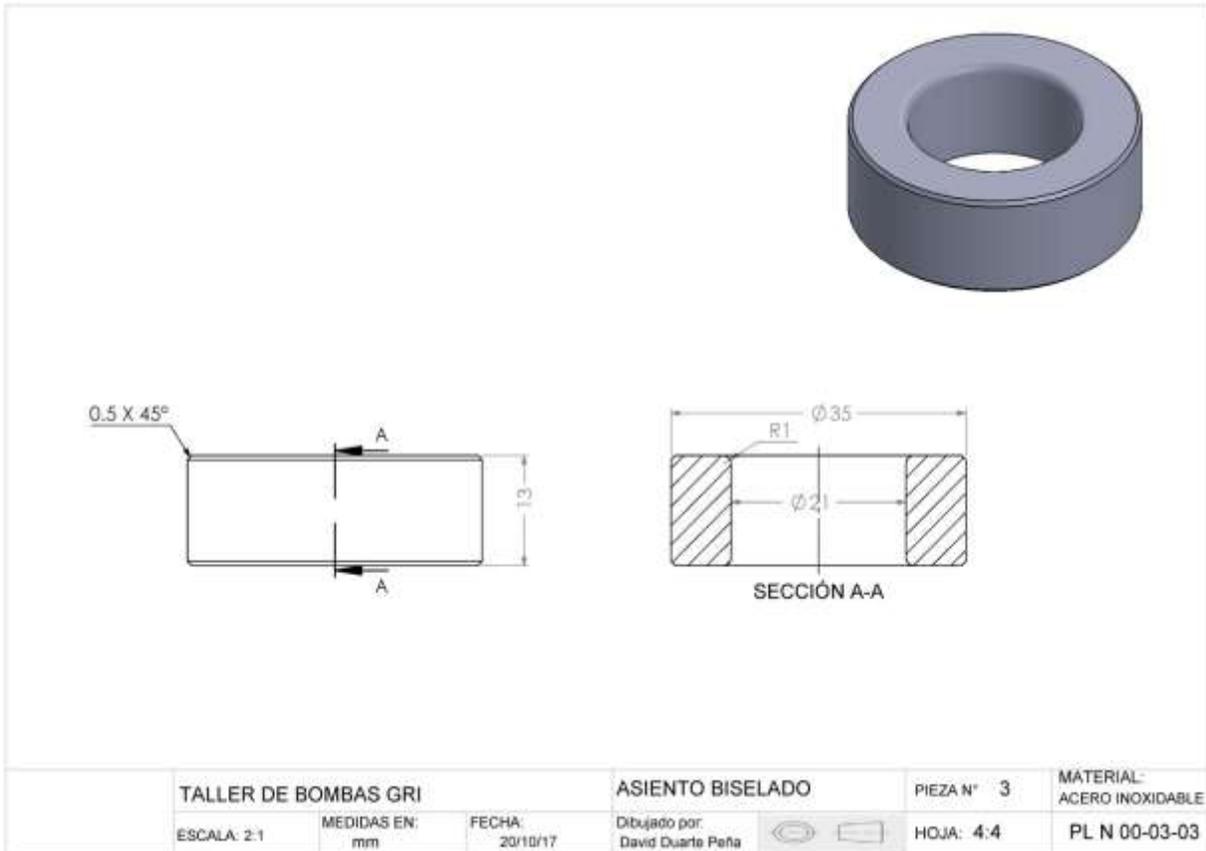
ESCALA 1:2

3	asiento biselado	1	ACERO INOXIDABLE
2	buje de deslizamiento	1	BRONCE
1	mandril	1	AISI 4140 PABONADO
N	NOMBRE	CANT	MATERIAL

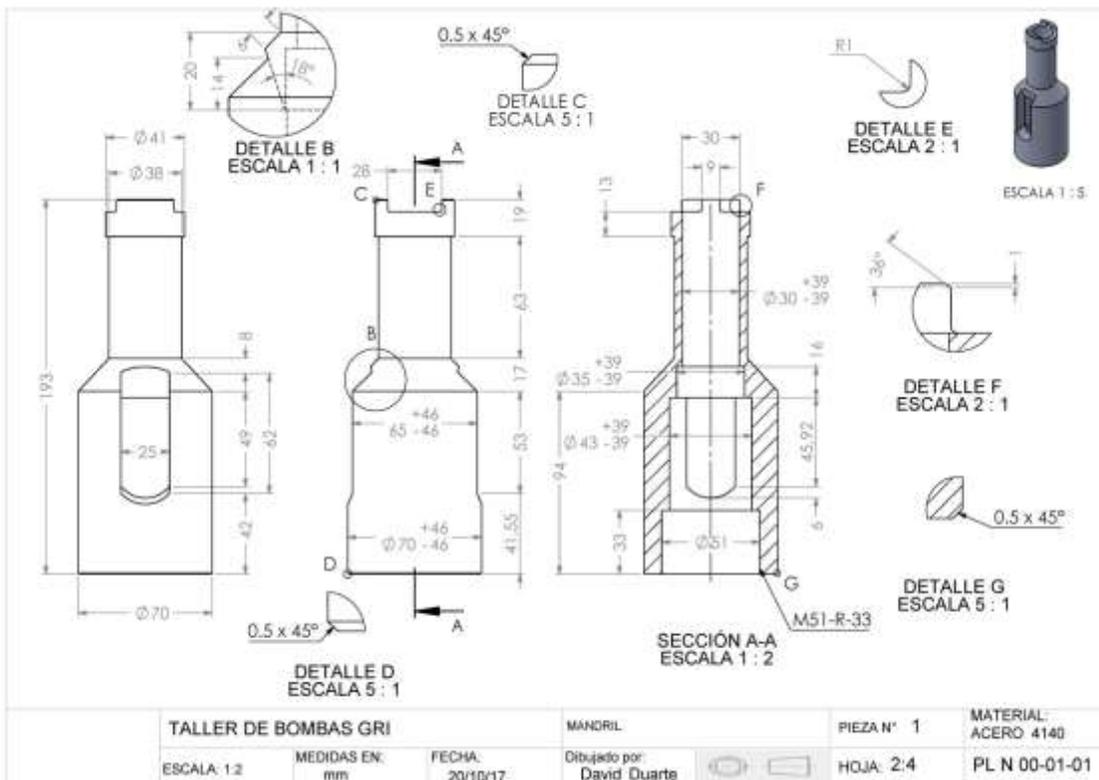
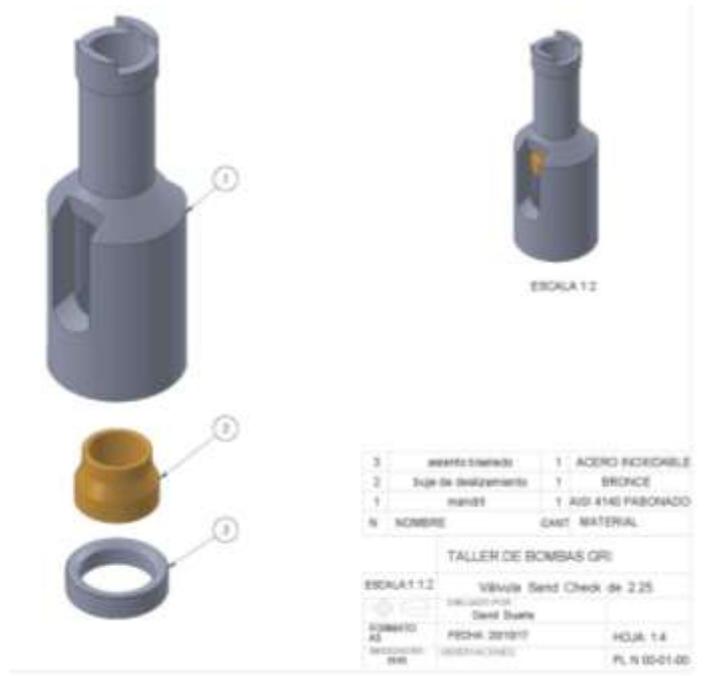
TALLER DE BOMBAS GRI

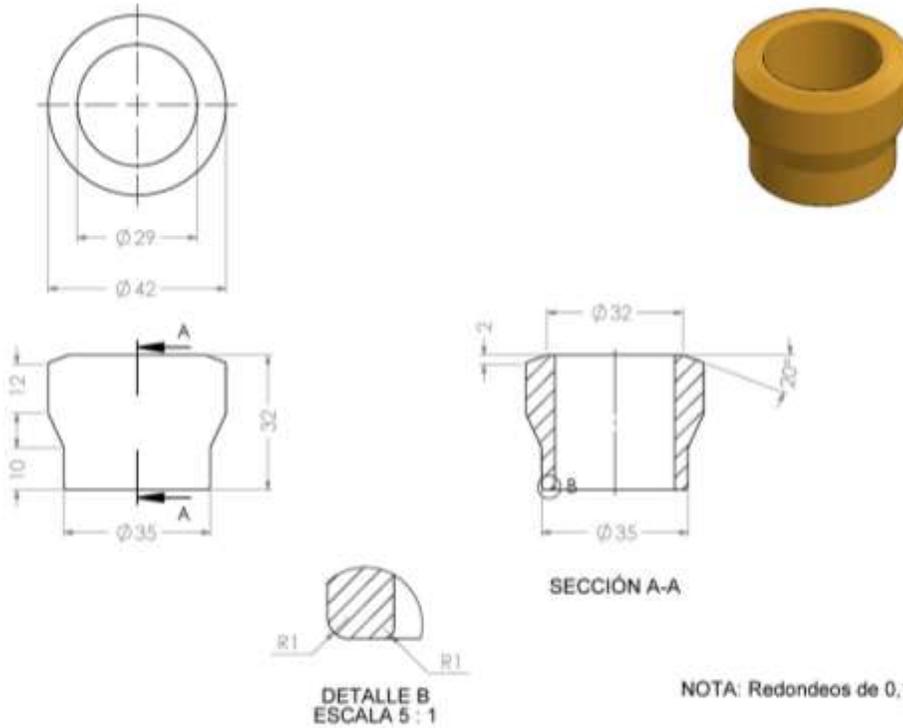
ESCALA: 1:1	VÁLVULA SAND CHECK 1.25	
	DIBUJADO POR: David Duarte Peña	
FORMATO A3	FECHA: 20/10/17	HOJA: 1:4
MEDIDAS EN: mm	OBSERVACIONES:	PL N 00-03-00



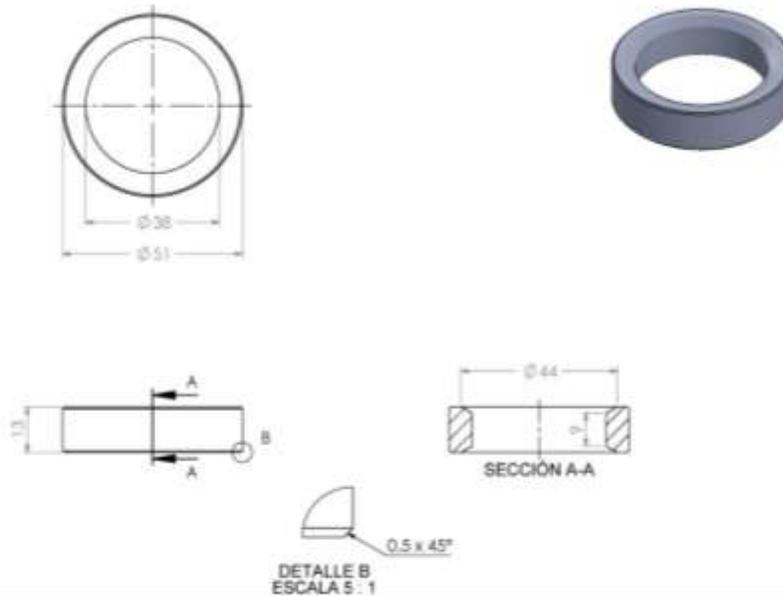


### Apéndice B. Válvula Sand Check 2.25



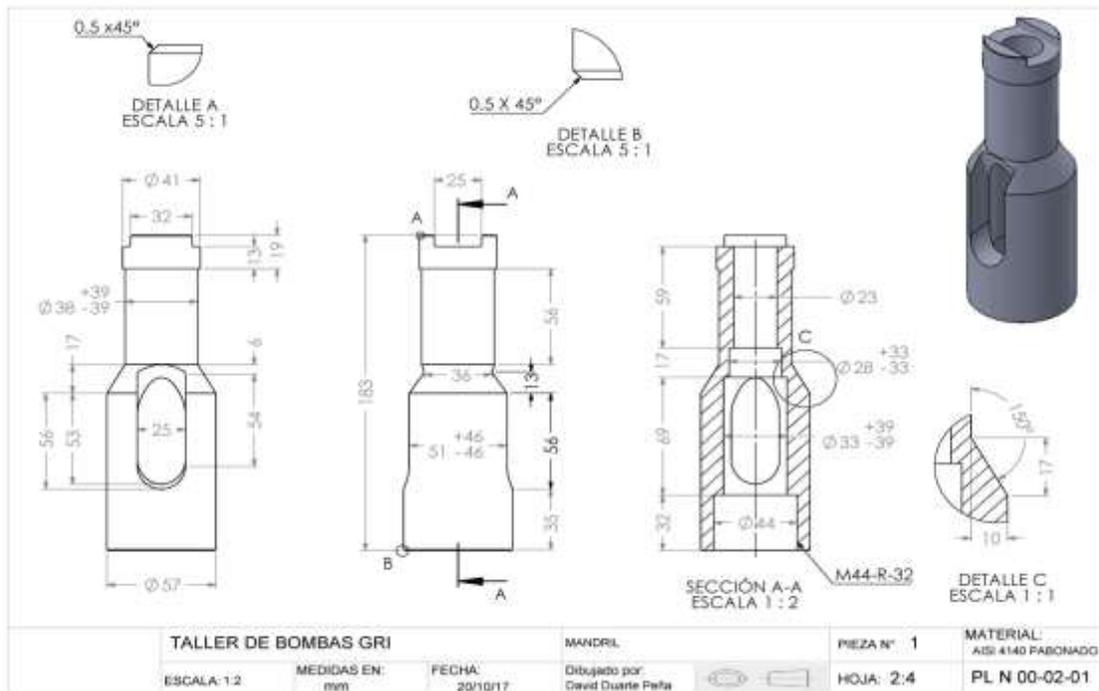


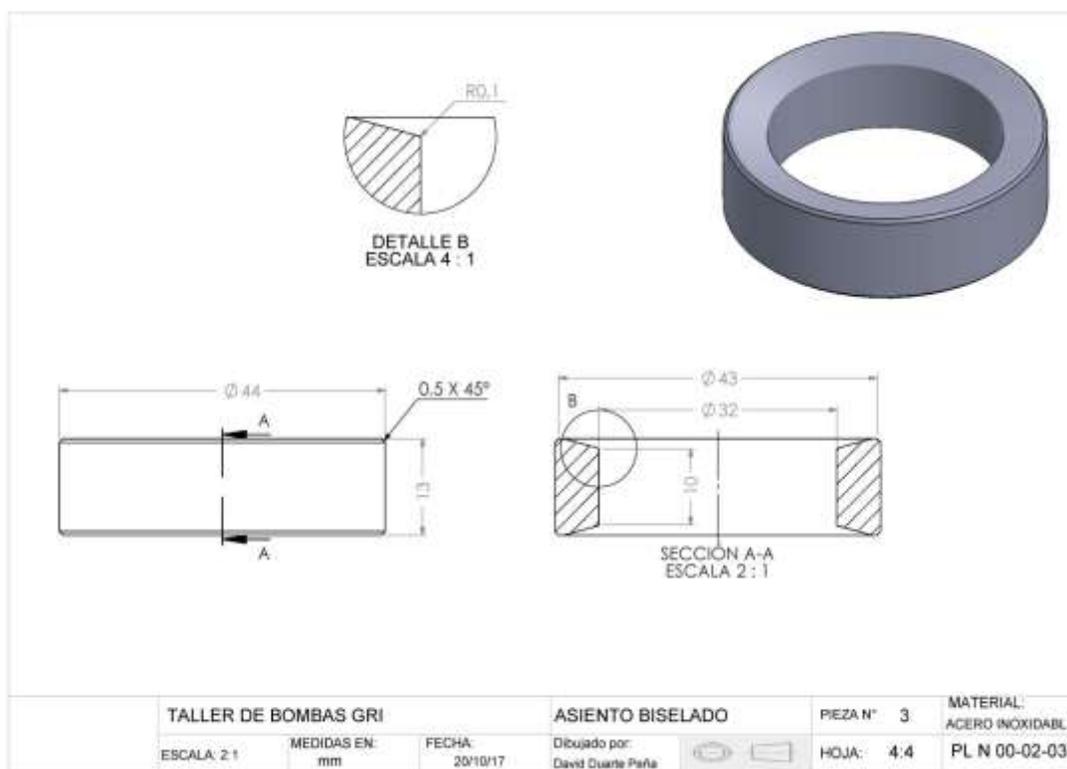
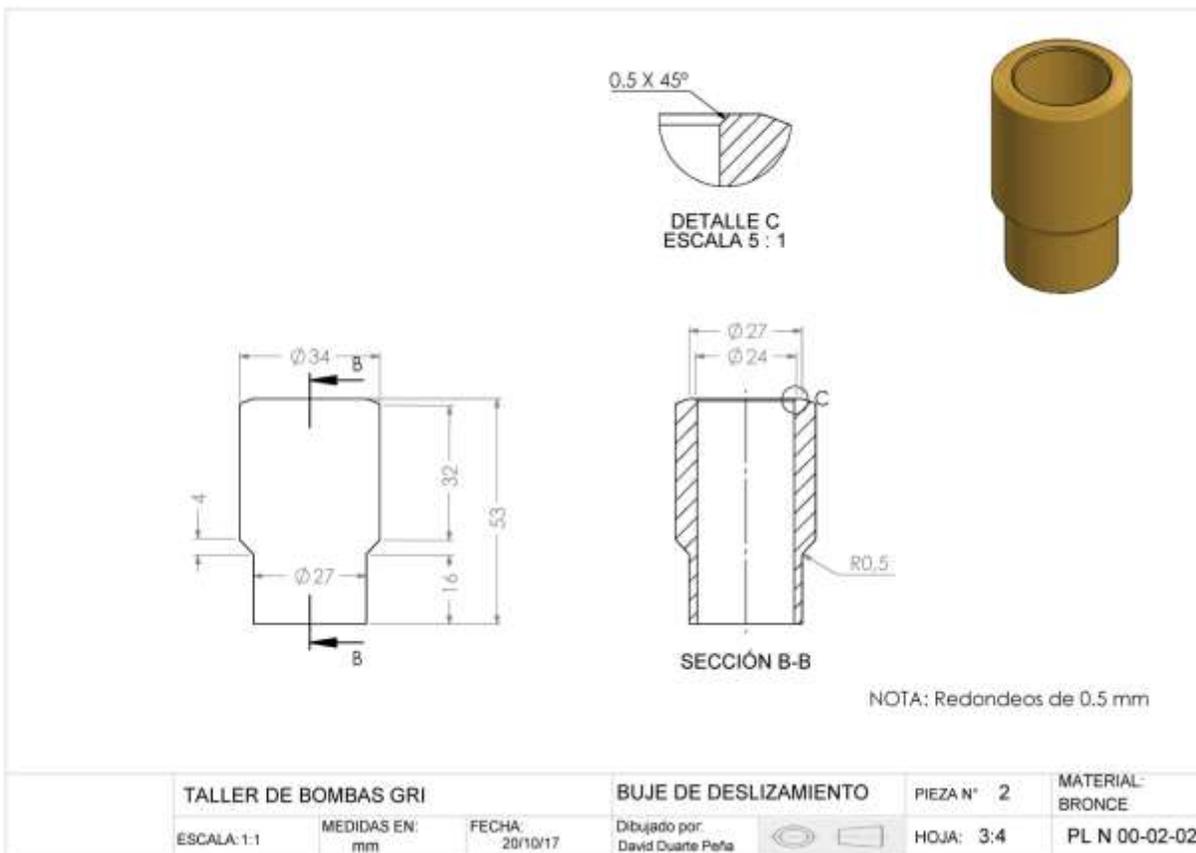
TALLER DE BOMBAS GRI		BUJE DE DESLIZAMIENTO		PIEZA N° 2	MATERIAL: BRONCE
ESCALA: 1:1	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 20/10/17	Dibujado por: David Duarte	HOJA: 3:4	PL N 00-01-02



TALLER DE BOMBAS GRI		ASIENTO BISELADO		PIEZA N° 3	MATERIAL: ACERO INOXIDABLE
ESCALA: 1:1	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 20/10/17	Dibujado por: David Duarte	HOJA: 4:4	PL N 00-01-03

### Apéndice C. Válvula Sand Check 1.75





## Apéndice D. Caracterización componente sand check

	<b>FORMATO PARA INFORME DE ENSAYO PARCIAL O CORTO DE PRUEBAS DE LABORATORIO ICP</b>		
	<b>GESTIÓN DE TECNOLOGÍA DE NEGOCIO INSTITUTO COLOMBIANO DE PETROLEO</b>		
	GTN-F-216	Elaborado 15/01/2015	Versión 1

### CARACTERIZACIÓN COMPONENTE G-11 (*GUIDE VALVE RODS*) DE SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO

1. INFORMACIÓN GENERAL	
Consecutivo informe –UST y/o /SCCPL/submission	17 06-023
Responsable de Laboratorio	Ludwing Alfonso López Carreño
Fecha de Recepción muestras	
Fecha/rango de fechas de Ejecución de análisis	01 al 10 de Agosto de 2017
Fecha generación del Informe	10 de Agosto de 2017

2. INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
Cliente	Interno ICP <input checked="" type="checkbox"/> Distrito ECP <input type="checkbox"/> Tercero <input type="checkbox"/>
Nombre del Proyecto/Servicio	Caracterización componente G-11 ( <i>Guide Valve Rods</i> ) de Sistema de Bombeo Mecánico
Nombre del Contacto	Robinson Jimenez
Dirección	Profesional de proyectos – Recobro mejorado - ICP
Teléfono	47152
Correo Electrónico	Robinson.jimenez@ecopetrol.com.co

### 3. CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN

El laboratorio de Ingeniería de Materiales del ICP tiene implementado un sistema de gestión de calidad que cumple los requisitos establecidos en la norma NTC ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

### 4. INFORMACIÓN EXPERIMENTAL Y/O METODOLOGÍA EMPLEADA

#### 4.1 Descripción de los ensayos

A continuación se describen los ensayos realizados para la elaboración del presente informe:

##### 4.1.a Análisis de Composición Química por Espectrometría de Emisión Óptica – EEO

Este análisis está basado en la técnica de emisión atómica, la cual, depende de los átomos de los elementos que pueden ser energizados (excitados) para emitir energía radiante cuando son expuestos a una fuente de excitación. Cuando esta energía radiante se dispersa, por medio de un prisma de difracción o de una rejilla, ésta emerge como un espectro de luz característica de la estructura del átomo que ha sido excitado. Átomos de elementos diferentes poseen diferentes

	<b>FORMATO PARA INFORME DE ENSAYO PARCIAL O CORTO DE PRUEBAS DE LABORATORIO ICP</b>		
	<b>GESTIÓN DE TECNOLOGÍA DE NEGOCIO INSTITUTO COLOMBIANO DE PETRÓLEO</b>		
	<b>GTN-F-216</b>	<b>Elaborado 15/01/2015</b>	<b>Versión 1</b>

configuraciones de electrones y por lo tanto, cada elemento posee un espectro característico de radiación, con líneas espectrales características. En análisis cuantitativo, la intensidad de radiación representa la concentración del elemento en la muestra. La intensidad de radiación se convierte en energía eléctrica por intermedio de fotomultiplicadores. La señal eléctrica de salida del detector es procesada y registrada en un sistema periférico de impresión o video.

La composición química se determinó por medio de la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica - EEO, de acuerdo a las especificaciones técnicas de la norma ASTM E 415-14 "Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry" y los instructivos de ensayo GTN-I-362 "Instructivo de Ensayo para el Análisis de Composición Química de Aleaciones Metálicas del Laboratorio Ingeniería DE Materiales", UST-LIM-I-054 "Instructivo de Ensayo Preparación de Probetas para Composición Química".

#### **4.1.b Ensayo de dureza Rockwell de Materiales Metálicos**

El ensayo de dureza Rockwell consiste en la determinar la profundidad de penetración del indentador dentro del material bajo ciertas condiciones de ensayo. Se aplica una carga menor o precarga de 10 Kg para evitar el retroceso de la carga y haciendo que el indentador atraviese la superficie rugosa y posibles depósitos o material extraño. Después se aplica la carga de 60 Kg, con un indentador de punta de diamante con un ángulo de 120°, durante 30s. Sin mover la pieza, la carga mayor es removida y el número de dureza Rockwell A es automáticamente indicando en la pantalla del equipo.

Este ensayo se realiza de acuerdo a las especificaciones técnicas ASTM E 18-14a "Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials" y el instructivo de ensayo UST-LIM-I-061 "Instructivo de Ensayo Dureza Rockwell"

El ensayo de dureza Rockwell se realiza bajo las condiciones de operación como se muestra en la Tabla 2.

	<b>FORMATO PARA INFORME DE ENSAYO PARCIAL O CORTO DE PRUEBAS DE LABORATORIO ICP</b>	
	<b>GESTIÓN DE TECNOLOGÍA DE NEGOCIO INSTITUTO COLOMBIANO DE PETROLEO</b>	
	<b>GTN-F-216</b>	<b>Elaborado 15/01/2015</b>

**Tabla 1.** Condiciones de operación ensayo de dureza Rockwell C - HRC.

<b>Equipo</b>	Durómetro Gnehm 160 Rodi
<b>Tipo de indentador</b>	Punta de diamante de 120°
<b>Carga</b>	60 kgf
<b>Tiempo</b>	30 segundos
<b>Patrón utilizado</b>	73.9 HRA
<b>Serial del patrón</b>	101201
<b>Verificación del patrón</b>	
<b>Temperatura</b>	22°C
<b>Incertidumbre de la medición</b>	0.2

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

Se recibió para caracterización una muestra de componente G-11 de la bomba del sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico, con el objeto de evaluar sus propiedades de composición química y su dureza para ser comparada dentro de los requisitos de la norma API 11 AX-12 "SPECIFICATION FOR SUBSURFACE SUCKER ROD PUMPS AND FITTINGS".

Los requisitos propuestos por la norma API 11 AX-12 relacionados con las especificaciones del material para el componente G-11 de la bomba, se especifican en la figura 1.

SPECIFICATION FOR SUBSURFACE SUCKER ROD PUMPS AND FITTINGS 57

---

Table F—Pump Materials for Pull Tubes, Valve Rods, and Fittings

Identification Symbol	Description	Hardness	Material	Base Material Minimum Yield Strength, ksi
A1	Steel	55 to 62 HRA	UNS G1XXXX0 steel	50
A2	Low alloy steel	55 to 62 HRA	UNS G41XX0 - UNS G43XX0 low alloy steel	50
A3	Low alloy steel	55 to 62 HRA	UNS G86XX0 low alloy steel	50
A4	Ni/Cu Alloy	52 to 62 HRA	Ni/Cu Alloy	50
A5	Brass	43 to 55 HRA	UNS C36000-UNS C46400 free cutting brass	40
A6	Stainless Steel	46 to 62 HRA	Austenitic stainless steel, UNS S3XXXX0	35

Note: "L" grades of material are acceptable for A1, A2, A3, and A6.

**Figura 1.** Requisitos de la norma API 11 AX-12 para el material del componente G-11 (Guide Valve Rods).

	<b>FORMATO PARA INFORME DE ENSAYO PARCIAL O CORTO DE PRUEBAS DE LABORATORIO ICP</b>		
	<b>GESTIÓN DE TECNOLOGÍA DE NEGOCIO INSTITUTO COLOMBIANO DE PETROLEO</b>		
	<b>GTN-F-216</b>	<b>Elaborado 15/01/2015</b>	<b>Versión 1</b>

### 5.1 Análisis de Composición Química por Espectrometría de Emisión Óptica – EEO

En la Tabla 1 se presentan los resultados promedio obtenidos del ensayo de composición química para el metal base del componente G-11 y los valores límites establecidos por la norma API 11AX-12.

**Tabla 1.** Resultados del ensayo de Composición Química para el componente G-11 recibido.

Elemento %	Componente G-11	Norma API 11AX-12. UNS G4140
C	0.379±0.005	0.38 - 0.43
Mn	0.863±0.012	0.75 - 1.00
P	0.023±0.002	0.035 Máx.
S	0.026±0.002	0.040 Máx.
Si	0.153±0.002	0.15 - 0.35
Ni	0.130±0.001	-----
Cr	0.980±0.012	0.80 - 1.10
Mo	0.160±0.004	-----
Al	0.027±0.001	-----
Ti	0.002±0.000	-----
Cu	0.077±0.002	-----
V	0.004±0.000	-----
Fe	Balance	-----

La composición química revelada por el material de fabricación del componente G-11 evaluado, está acorde a lo establecido por la norma API 11AX-12 para un material tipo A2 (acero de baja aleación) de la serie UNS G4140.

### 5.2 Ensayo de dureza en escala Rockwell A - HRA

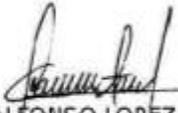
De la muestra recibida se preparó una probeta extraída de la sección transversal para la toma de dureza en escala Rockwell A. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de dureza de la muestra de componente G-11 y los valores de referencia establecidos por la norma API 11AX-12.

**Tabla 2.** Resultados del ensayo de dureza. Escala Rockwell A - HRA

	<b>FORMATO PARA INFORME DE ENSAYO PARCIAL O CORTO DE PRUEBAS DE LABORATORIO ICP</b>		
	<b>GESTIÓN DE TECNOLOGÍA DE NEGOCIO INSTITUTO COLOMBIANO DE PETROLEO</b>		
	<b>GTN-F-216</b>	<b>Elaborado 15/01/2015</b>	<b>Versión 1</b>

Muestra	Valores de Dureza en Escala Rockwell A - HRA					Promedio
Componente G-11 analizado	66.0	69.0	68.0	65.0	65.4	66.68 ±1.74
Valores de referencia API 11AX-12	55 a 62 HRA					

Los valores de dureza arrojados por el material del componente G-11 caracterizado, están por encima de lo establecido por la norma API 11AX-12, sin embargo, este exceso en el valor de dureza no representa mayor alteración en las propiedades mecánicas, ni operacionales del componente.

AUTORIZADO POR
 LUDWING ALFONSO LOPEZ CARREÑO LABORATORIO INGENIERIA DE MATERIALES SN 231-40930 <b>ECOPETROL S.A.</b>