

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACION DE ESPCP EN POZOS
CRITICOS DE CAMPO TELLO

OSCAR OLMEIDER ORTIZ RAMÍREZ
SERGIO FELIPE FLOREZ PERDOMO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA - HUILA
2008

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACION DE ESPCP EN POZOS
CRITICOS DE CAMPO TELLO**

**OSCAR OLMEIDER ORTIZ RAMÍREZ
SERGIO FELIPE FLOREZ PERDOMO**

**Proyecto de Grado para optar el titulo de:
Ingeniero de Petróleos**

**Director: ERVIN ARANDA ARANDA
Ingeniero de Petróleos**

**Asesor: RODRIGO GUZMÁN
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA - HUILA
2008**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

NEIVA 22 DE MAYO DE 2008

La responsabilidad de los conceptos
Emitidos en este documento es
Exclusivamente de los autores.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a Dios por haberme dado la tranquilidad, sabiduría y entendimiento para poder haber cumplido uno de mis grandes logros, llegar a ser un profesional. Quiero dedicar también este proyecto a mi madre María y mi hermana Maritza, que a pesar que no se encuentran conmigo, aun siguen siendo fuente de fortaleza, amor e inspiración en mí. A mi padre Hernando Ortiz por su gran apoyo y motivación; a mis hermanos Carlos y Adriana por sus consejos; a la alegría y dulzura que me inspiraron mis sobrinos Johnatan y Sebastián; a Carito que gracias a su dedicación y responsabilidad me mostró como mejorar continuamente. Por último, a amigos y profesores ya que sin su motivación y continuo apoyo y esfuerzo en todo el transcurso de la carrera no hubiese sido posible lograr todas las metas trazadas durante mi vida.

OSCAR O. ORTIZ RAMIREZ

Primero que todo le agradezco a Dios por darme la sabiduría y permitirme alcanzar una de las metas mas importantes en mi vida, a mis padres Edgar y Amparo quienes me dieron la oportunidad hermosa de vivir, además me han apoyado en todas las decisiones que he tomado en la vida, a mis hermanos Mauricio y Diego quienes me ofrecen su apoyo incondicional, a mi novia la tatica Heidy por su persistencia en mostrarme las cosas que me convienen, a mis familiares que me recuerdan lo importante que soy para ellos y para las demás personas, al profe Ervin Aranda por su constante interés para que esto fuera posible, a todas aquellas personas que hicieron parte de mi formación académica, disciplinaria, religiosa y moral, finalmente a mis amigos Oscar Muñoz y Oscar Ortiz parceros incondicionales que son parte importante en mi vida.

SERGIO FELIPE FLOREZ PERDOMO

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestros mas sinceros agradecimientos a la Universidad Surcolombiana que ha inculcado a sus estudiantes principios éticos que sirve como pilares para formar profesionales excelsos, teniendo como base la educación que hacen dentro de la institución.

Queremos dar gracias a los profesores que de una u otra manera aportaron al desarrollo del proyecto, entre ellos están: Ervin Aranda Aranda, Carmen Pinzón Solano, Hernando Ramírez, Haydee Morales y cada uno de los que participaron en el transcurso de nuestra vida universitaria, ya que sin la guía brindada por ellos no se hubiese podido lograr la consecución de los objetivos del documento.

Igualmente damos gracias a la gran familia Baker Hughes división Centrillift, por su gran ayuda y soporte técnico para el proceso del documento, principalmente a los ingenieros y amigos: Rodrigo Guzmán, Fred Talavera, Darío Lana y Juan Carlos Blanco, ya que sin ellos no se hubiese tenido los resultados esperados.

Por ultimo, agradecemos a Ecopetrol SOH campo Tello por su gran colaboración mediante los ingenieros Bernardo Forero y Wilson Martínez.

CAPÍTULOS

	Pag.
INTRODUCCION.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
1. GENERALIDADES	16
1.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	17
1.2. GENERALIDADES DEL CAMPO	18
1.2.1. Ubicación geográfica	19
1.2.2. Modelo estructural.....	19
1.2.3. Proceso de crudo, gas y agua	20
1.3. CONDICIONES PROBLEMA	21
1.3.1. Arenamiento	21
1.3.2. Scale	21
1.4. BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS COMO METODO DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	23
1.5. TECNOLOGÍA ESP – ESPCP – PCP.....	24
1.6. GENERALIDADES DEL EQUIPO ESPCP.....	26
1.6.1. Equipos de Subsuelo.....	26
1.6.1.1. Bombas de cavidades progresivas (CP)	26
1.6.1.2. Eje flexible (flex shaft) & intake	31
1.6.1.3. Sello.....	32
1.6.1.4. Reductor de engranajes	32
1.6.1.5. Motor electrosumergible	33
1.6.1.6. Cable de potencia.....	34
1.6.2. Equipo de superficie	35
1.6.2.1. Controladores	35
1.6.3. Cualidades del sistema ESPCP.....	36
1.6.3.1. Aplicaciones	36
1.6.3.2. Ventajas de ESPCP.....	36
1.6.3.3. Desventajas de ESPCP.....	37
1.6.3.4. Fallas comunes	37
2. SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS POZO PROBLEMA	38
2.1. POZOS DE INTERES	38
2.2. TELLO-10	39
2.2.1. Generalidades.....	39
2.2.2. Propiedades del fluido	39
2.2.3. Impurezas del gas	39
2.2.4. Información del pozo y reservorio	39
2.2.5. Problemas especiales	39

2.2.6.	Estado mecánico	39
2.2.7.	Antecedentes de levantamiento artificial	40
2.3.	TELLO-19	41
2.3.1.	Generalidades.....	41
2.3.2.	Propiedades del fluido	41
2.3.3.	Impurezas del gas	41
2.3.4.	Información del pozo y reservorio	41
2.3.5.	Problemas especiales	41
2.3.6.	Estado mecánico.....	41
2.3.7.	Antecedentes de levantamiento artificial	42
2.4.	TELLO-34.....	42
2.4.1.	Generalidades.....	42
2.4.2.	Propiedades del fluido	42
2.4.3.	Impurezas del gas	42
2.4.4.	Información del pozo y reservorio	42
2.4.5.	Problemas especiales	43
2.4.6.	Estado mecánico.....	43
2.4.7.	Antecedentes de levantamiento artificial	43
2.5.	TELLO-35A	44
2.5.1.	Generalidades.....	44
2.5.2.	Propiedades del fluido	45
2.5.3.	Impurezas del gas	45
2.5.4.	Información del pozo y reservorio	45
2.5.5.	Problemas especiales	45
2.5.6.	Estado mecánico.....	45
2.5.7.	Antecedentes de levantamiento artificial	45
2.6.	TELLO-54ST.....	46
2.6.1.	Generalidades.....	46
2.6.2.	Propiedades del fluido	47
2.6.3.	Impurezas del gas	47
2.6.4.	Información del pozo y reservorio	47
2.6.5.	Problemas especiales	47
2.6.6.	Estado mecánico.....	47
2.6.7.	Antecedentes de levantamiento artificial.....	47
3.	DISEÑO DEL EQUIPO ESPCP.....	49
3.1.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑOS DEL SISTEMA ESPCP	49
3.2.	DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO ESPCP RECOMENDABLE POR POZO	51
3.2.1.	Diseño Tello-10.....	52
3.2.2.	Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-10.....	78
3.2.3.	Diseño Tello-19.....	79
3.2.4.	Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-19.....	80
3.2.5.	Diseño Tello-34.....	82
3.2.6.	Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-34.....	83
3.2.7.	Diseño Tello-35A.....	85

3.2.8. Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-35A	85
3.2.9. Diseño Tello-54ST	87
3.2.10. Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-54ST	88
4. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA	90
5. ANALISIS	92
6. CONCLUSIONES	96
7. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1.	Localización campo Tello	19
Figura 2.	Mapa del proceso de agua crudo y gas para campo Tello.....	20
Figura 3.	Ejemplo de taponamiento de la tubería por scale	22
Figura 4.	Bomba CP.....	23
Figura 5.	Eficiencia de sistemas de Levantamiento Artificial.....	24
Figura 6.	Gráfico general de ESP, ESPCP y PCP	25
Figura 7.	Equipo ESPCP en subsuelo	26
Figura 8.	Componentes de las bombas CP.....	27
Figura 9.	Mecanismo de desplazamiento	27
Figura 10.	Ranking según cualidades de los tipos de elastómero.....	29
Figura 11.	Configuraciones de bombas PC	30
Figura 12.	Ubicación del rotor en diferentes puntos para una bomba de lóbulo simple	30
Figura 13.	Desarrollo tridimensional de las envolventes con 1, 2 y 3 lóbulos	31
Figura 14.	Movimiento del rotor en corte transversal para bomba 1/2 a 0°, 90°, 180° y 270°	31
Figura 15.	Flex Shaft	31
Figura 16.	Conversión de rotación del Flex Shaft	32
Figura 17.	Sello	32
Figura 18.	Caja reductora.....	33
Figura 19.	Componentes del motor	34
Figura 20.	Modelos de Cable de Potencia	35
Figura 21.	Controladores de velocidad	36
Figura 22.	Presencia de arena y Desgaste severo de los difusores en downthrust, corrida 4 del pozo Tello-10.....	40
Figura 23.	Presencia de scale severa en la base intake, corrida 5 del pozo Tello-10	40
Figura 24.	Estado del equipo ESP por presencia de arena en la corrida del pozo Tello-34	44
Figura 25.	Contenido de scale dentro de la bomba usada en la corrida 1 del pozo Tello-34.....	44
Figura 26.	Estado de las etapas de la bomba debido a la presencia de scale y sólidos en la corrida 4 del pozo Tello-34	44
Figura 27.	Faldón del impulsor con desgaste moderado, corrida 10 del pozo Tello-35A.....	46
Figura 28.	Agujeros con desgastes moderados por presencia de sólidos, corrida 10 del pozo Tello-35A.....	46
Figura 29.	Estado de la bomba centrífuga debido a presencia de scale y sólidos en la corrida 1 del pozo Tello-54ST.....	48
Figura 30.	Comportamiento de contenido de sólidos de acuerdo con la frecuencia de operación de la bomba centrífuga; pozo Tello-54ST.....	48
Figura 31.	Flujograma para un diseño apropiado de sistema con bomba CP.....	49
Figura 32.	Pantalla de información del pozo para Tello-10 (<i>AutographPC</i>)	53
Figura 33.	Curva del comportamiento del pozo Tello-10	54

Figura 34.	Gráfica de pérdidas por fricción.....	56
Figura 35.	Comportamiento de la presión versus longitud del rotor con su ecuación.....	60
Figura 36.	Comportamiento de la presión versus peso del rotor con su ecuación.....	61
Figura 37.	Comportamiento de la presión versus peso del estator con su ecuación.....	61
Figura 38.	Test de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	62
Figura 39.	Pantalla de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	63
Figura 40.	Eficiencias cualitativas entre los modelos de elastómeros en condiciones de abrasión.....	63
Figura 41.	Eficiencias cualitativas entre los modelos de elastómeros en condiciones de altos cortes de agua.....	64
Figura 42.	Eficiencias cualitativas entre los modelos de elastómeros en condiciones de alta temperatura.....	64
Figura 43.	Diagrama de fuerzas en la bomba CP.....	65
Figura 44.	Gráfica para la selección del modelo de caja reductora (recomendable).....	66
Figura 45.	Ubicación para la selección de la caja reductora y las posibles alarmas de advertencia. Pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	67
Figura 46.	Alarma de advertencia de la caja reductora seleccionada para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	68
Figura 47.	Potencia adicional debido al sello serie 513.....	68
Figura 48.	Pantalla del sello seleccionado para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	69
Figura 49.	Alarma de advertencia del sello seleccionado para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	70
Figura 50.	Pantalla del motor seleccionado para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	71
Figura 51.	Gráfica de pérdidas de voltaje en el cable de potencia Vs Amperaje.....	73
Figura 52.	Gráfica de temperatura Vs Corriente para el cable No 2.....	74
Figura 53.	Pantalla del cable seleccionado para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	75
Figura 54.	Pantalla del controlador seleccionado para el pozo Tello-10 (<i>AutographPC</i>).....	76
Figura 55.	Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-10.....	78
Figura 56.	Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-19.....	81
Figura 57.	Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-34.....	84
Figura 58.	Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-35A.....	86
Figura 59.	Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-54ST.....	89
Figura 60.	Ejemplo del efecto del ΔP en el deslizamiento de la bomba CP.....	93
Figura 61.	Ejemplo del efecto del TDH en el deslizamiento de la bomba CP.....	93
Figura 62.	Reporte ejemplo realizado en un banco de pruebas.....	95

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Pozos perforados a Julio de 2007 en campo Tello.....	18
Tabla 2. Tipos de levantamiento artificial en campo Tello	18
Tabla 3. Depositaciones inorgánicas mas comunes.....	22
Tabla 4. Tipos de elastómeros y características.....	28
Tabla 5. Relación RPM Motor-Bomba debido a la caja reductora Centrilift	33
Tabla 6. Relación Torque Motor-Bomba debido a la caja reductora Centrilift	33
Tabla 7. Completamiento del pozo Tello-10.....	39
Tabla 8. Histórico ESP en pozo Tello-10.....	40
Tabla 9. Completamiento del pozo Tello-19.....	41
Tabla 10. Completamiento del pozo Tello-34.....	43
Tabla 11. Histórico ESP en pozo Tello-34.....	43
Tabla 12. Completamiento del pozo Tello-35A	45
Tabla 13. Histórico ESP en pozo Tello-35A.....	46
Tabla 14. Completamiento del pozo Tello-54ST	47
Tabla 15. Histórico ESP en pozo Tello-54ST.....	48
Tabla 16. Equipo ElectroPCP recomendable según algunos tipos de Casing.....	57
Tabla 17. Listado Bombas CP LIFTEQ series B y G con sus especificaciones	58
Tabla 18. Características de la bomba CP diseñada para el pozo T-10	62
Tabla 19. Características de los tipos de cajas reductoras	66
Tabla 20. Características de los tipos de motores disponibles en inventario.....	70
Tabla 21. Propiedades del motor seleccionado para el pozo Tello-10	70
Tabla 22. Características de los tipos de Variadores de velocidad.....	76
Tabla 23. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-10	77
Tabla 24. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-19	80
Tabla 25. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-34	82
Tabla 26. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-35A	85
Tabla 27. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-54ST	87
Tabla 28. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-10.....	90
Tabla 29. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-19.....	90
Tabla 30. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-34.....	91
Tabla 31. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-35A	91
Tabla 32. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-54ST.....	91
Tabla 33. Diferencial de presión en los pozos de estudio seleccionados	92

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria petrolera, las empresas operadoras buscan continuamente productos y servicios que demuestren ser efectivos y que presenten diversidad de aplicaciones. Las bombas de cavidades progresivas (CPs) son uno de estos productos; y se están convirtiendo más y más populares debido a su flexibilidad para producir fluidos viscosos y abrasivos; pero como en todos los productos, hay ventajas y desventajas en los sistemas. Las bombas CP conducidas con varillas no es la excepción. Uno de los problemas principales de dicho sistema son las fallas en la continuidad de las varillas y tubing en aplicaciones para pozos desviados y horizontales.

Un nuevo método de levantamiento artificial actualmente se encuentra disponible, el cual combina las ventajas del sistema de bombeo eléctrosumergible con las ventajas de la bomba de cavidades progresivas. El sistema eléctrosumergible con bombas de cavidades progresivas (ESPCP) ofrece una mejor flexibilidad a las empresas operadoras al ampliar las aplicaciones de bombas CP manteniendo el nivel de confiabilidad y eficacia necesaria.

Este proyecto de investigación busca diseñar los elementos necesarios para dar a conocer la gran eficiencia y rentabilidad de la implementación del sistema ESPCP, realizando un estudio técnico-económico para algunos pozos del campo Tello con ciertas características a tener en cuenta. Gracias a información suministrada por parte de la Universidad Surcolombiana como fuente de información teórica; Baker Hughes división Centrilift como empresa contratista con disponibilidad de información técnica; y ECOPETROL SOH como operadora del campo de interés. Se diseñará el conjunto completo del equipo con base con el inventario que cuenta Baker Hughes base neiva; cálculo de viabilidad técnica y económica.

RESUMEN

La industria petrolera en su afán para adaptar la mas optima forma de producción ha desarrollado técnicas innovadoras que incrementan los caudales considerablemente de una forma segura y económica; pero que nó en todos los casos pueden ser aplicables o rentables ya que encuentra su limitación por las características y condiciones del mismo pozo. Una nueva tecnología en nuestro país es el levantamiento ESPCP el cual consta de bombas de gran eficiencia y reducen costos en la producción de petróleo.

Sin embargo, a pesar del comportamiento a favor del uso de las Bombas CP, la releva la falta de conocimiento y diversas limitaciones asociadas principalmente con limitadas capacidades volumétricas y de levantamiento, y la sensibilidad del elastómero ante la presencia de ciertas y determinadas condiciones, inducen a que se considere que este método es de los más riesgosos desde el punto de vista operativo. Evidentemente, a medida que se entienda mejor el sistema, será posible optimizarlo a través de mejores prácticas operacionales, desarrollos tecnológicos apropiados y mejor criterio para la selección de componentes adecuados. Y es precisamente éste uno de los objetivos principales del actual proyecto: transmitir los conocimientos básicos de la operación de las bombas CP en sistemas de ESPCP, sus fundamentos teóricos y las consideraciones a tener en cuenta al momento de realizar un diseño apropiado del mismo.

Baker Centrilift haciendo caso omiso al comportamiento del mercado ha diseñado todo lo que requiere la puesta en marcha de un Banco de Pruebas para Bombas CP en los talleres de Centrilift en la ciudad de Neiva; para poder desarrollar sistemas de trazabilidad que permitan medir la confiabilidad de sus productos y así poder brindar a sus clientes equipos certificados mediante la prestación del servicio de pruebas en territorio Colombiano. Por lo tanto parte del avance de este proyecto es el de impulsarlo en el mercado, y así, sea viable y factible para dicha Empresa.

Igualmente Ecopetrol SOH como empresa operadora de campo Tello, ha demostrado el interés para experimentar con el nuevo sistema de levantamiento y ver sus condiciones de uso, ha solicitado abiertamente hace algún tiempo a Baker Hughes Centrilift el estudio de la posibilidad de poder utilizar este sistema en aquellos pozos que tienen inconvenientes con los sistemas que actualmente utilizan, y ver la posibilidad que se pueda implementar si fuese el caso.

El compromiso de los autores del documento final, como investigadores y creadores del proyecto va desde diseñar y seleccionar los elementos necesarios para la implementación del sistema de levantamiento artificial ESPCP en campo Tello, hasta demostrar la viabilidad o nó, de su uso en los pozos de interés para Ecopetrol.

ABSTRACT

The oil industry in its eagerness to adapt the best way of production has developed innovating techniques which increase the volume of water considerably in an economic and safe form; but they can't be applied nor profitable in all the cases since they have their limitation by the characteristics and conditions of the well. A new technology in our country is ESPCP rising which consists of pumps of great efficiency and reduce costs in the petroleum production.

However, in spite of the efficiency of the CP Pumps, leads to lack of knowledge and diverse limitations associated mainly with limited volumetric capacities and rising, and the sensitivity of the elastometer in rough conditions. Due to these reasons, it is induced to consider that this method is one of the most dangerous since the operative point of view. Evidently, as long as the system is known better, it will be possible to optimize it through better operational practices, accurate and innovative technological developments and optimized selection of the appropriate components. Indeed this is the main objective of the present project: to give the basic knowledge of the uses of CP pumps in systems based on ESPCP, the theoretical fundamentals and the considerations to know at the time of making the appropriate design.

Baker Centrilift going backward the behavior of the present market has designed everything needed to build a tests bench of CP pumps in the Centrilift section in Neiva; in order to be able to develop traceability systems that allow to measure the accuracy of the products and thus to be able to offer to the customers certified equipment by means of field testing services all over the Colombian geography. Therefore, part of the advance of this project is to impel it in the market, and this way, to make it profitable and viable to the Company.

Also ECOPETROL SOH such as an operating company of Tello field, has demonstrated the interest to experiment with the new system of rising and to see its conditions of use. It has requested many times before to Baker Hughes Centrilift the possibility of being able to use this system in those wells that have disadvantages with the current systems used, and get the possibility to implement it if it were the case.

The commitment of the authors of the final document, as researchers and creators of the project, is to design and select the necessary elements for the implementation of the system of artificial rising ESPCP in Tello field, and demonstrating whether the viability is accurate and profitable, on the wells pumped by ECOPETROL.

1. GENERALIDADES

No cabe ninguna duda de que en los últimos 80 años, el campo del levantamiento artificial de hidrocarburos ha cambiado significativamente. Desde los años 20's, donde el bombeo mecánico surgía como único método de producción por bombeo, hasta hace unos años se han desarrollado diversas tecnologías eficientes de levantamiento adaptables a áreas específicas de producción, las cuales han atentado en contra de la supremacía del "balancín" como "caballo de batalla" en la producción de petróleo.

Dentro de los principales desarrollos deben destacarse los cuatro métodos de bombeo masificados a nivel mundial, quienes conjuntamente con el levantamiento por inyección de gas o "Gas Lift", se presentan como puntos importantes de referencia en lo que a levantamiento artificial se refiere. Obviamente, debemos empezar por el bombeo mecánico que representa el método preferido de bombeo con un estimado de instalaciones a nivel mundial actual, mayor a 450.000 equipos (85,23% del total de pozos activos con equipos de bombeo) lo que representa un crecimiento interanual promedio de 1,27% a partir de 1920. En segundo lugar se ubica el Bombeo Electrosumergible, con un total estimado de 45.000 Instalaciones (8,52%) con crecimiento interanual promedio de 2,44% si se considera que este método empezó a utilizarse en año 1958. El Bombeo Hidráulico, incluyendo sus dos variantes Reciprocante y Jet cuenta con un estimado de 2.500 instalaciones (0,47% del total) representando un incremento promedio interanual de 3,23% desde 1978. Por último, las Bombas de Cavidad Progresiva (PCP – ESPCP) cuentan con un total aproximado de 30.500 instalaciones que representan un 5,78% del total de equipos de bombeo, con un crecimiento interanual de 5,26% desde sus inicios en el año de 1980.

Tal como puede apreciarse, las Bombas CP representan el método con mayor índice de crecimiento interanual, lo que da una clara idea de la aceptación que ha tenido desde su implementación. En tan solo 20 años ha logrado demostrar su excelente eficiencia para realizar el trabajo de levantamiento en diferentes aplicaciones que van desde la producción de crudos altamente pesados y viscosos hasta la extracción de gas metano proveniente de acuíferos en yacimientos carboníferos, convirtiéndose, en muchos casos, en la única alternativa de producción en condiciones que para otros métodos se calificarían de exigentes, ineficientes y de alto costo y riesgo. Tal es el caso de los crudos pesados, quienes representan más del 70% de las instalaciones de Bombas CP a nivel mundial, concentrándose especialmente en Canadá (18.000 instalaciones), Rusia (más de 1.000), China (más de 1.000) y en la Faja Petrolífera del Orinoco en Venezuela (actualmente 250 instalaciones con prospecto de alcanzar más de 1.000 en menos de 5 años).

Sin embargo, a pesar de todas estas estadísticas positivas a favor de las Bombas CP, en nuestro país no se ha tenido en cuenta en situaciones que son ideales para su aplicación; además hay que aclarar que en Colombia en mas del 95% de los pocos pozos en que se usan las bombas CP se

realizan en sistemas de PCP. No se tiene en conocimiento las condiciones de uso del sistema ESPCP, el cual siendo una evolución del PCP, su aplicabilidad ocupa un rango más amplio.

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

BAKER HUGHES DIVISION CENTRILIFT.

La compañía Baker Hughes inicio sus Operaciones desde principios del siglo XX, es líder en los servicios que presta a la industria petrolera, no solo por la diversidad de ellos, sino por la alta tecnología que desarrolla en sus centros de investigación que posee en USA, Europa, Latinoamérica y Asia. Opera en Campos Petroleros de USA, Canadá, Golfo de México, Latinoamérica, Mar del Norte, Rusia; África, Medio Oriente y Asia.

Actualmente Baker Hughes cuenta con siete divisiones con las cuales atiende las necesidades de la industria en los sitios donde opera. Los principales servicios y productos que suministra algunas divisiones se enuncian a continuación:

Atlas: Herramientas para la adquisición de datos petrofísicos y geofísicos, registros en hueco abierto y hueco revestido, análisis de datos para perforación, producción y Administración de Yacimientos. Ayudan a productores de aceite y gas a evaluar sus yacimientos y producirlos eficientemente. Cañoneo de las zonas posiblemente productoras de crudo y/o gas.

Inteq: Evaluación de formaciones, adquisición de datos, servicios y tecnología de perforación direccional y vertical.

Oil Tools: Líderes en la industria de tecnologías de completamiento de pozos, pesca y workover. Suministra herramientas completamientos inteligentes, y completamientos para control de arena en pozos horizontales.

Christensen: Diseño, fabricación, y distribución de brocas para la perforación de pozos. Tales como brocas tricónicas, brocas con incrustaciones de diamante, brocas PDC.

Petrolite: Proporciona químicos para perforación de pozos, para estimulación de pozos, para transporte de petróleo por oleoductos, para remediaciones ambientales, y para tratamientos de petróleo y agua.

Drilling Fluids: Proporciona Fluidos para Perforación de Pozos (Lodos de Perforación), Fluidos para Completamiento de pozos y Aditivos especiales para soluciones de problemas durante la Perforación.

CENTRILIFT: Fundado en 1957, su principal función es proveer sistemas de "Bombeo Electrosumergible" y complementarios específicos por medio de sus filiales alrededor del mundo. Para brindar una mejor calidad y tranquilidad a los clientes, Centrilift se certificó bajo las normas ISO 9001 y 9002 en las zonas donde opera; apalancados en la experiencia y alta ingeniería en los sistemas de

bombeo, Centrilift diseña, construye y comercializa equipos tales como: Bombas, Motores, Sellos, Separadores, Cable, entre otros cuya finalidad es bombear a la superficie los fluidos que producen los pozos y que por la baja presión de los yacimientos no pueden ser extraídos por medio de flujo natural.

Dentro de las bombas producidas están los tipos PCP y ESP. Las bombas CP (Progressing Cavity Pumps), están compuestas de dos elementos principales: rotor y estator. Dichos componentes hacen parte del principio básico de funcionamiento que se origina en la succión del fluido generando así una característica propia de este sistema. Este principio de funcionamiento, genera cabezas negativas sobre la columna hidrostática del pozo.

1.2 GENERALIDADES DEL CAMPO

CAMPO TELLO Y LA JAGUA

Firma de la Concesión: Septiembre 29 de 1971 (35 años)
 Reversión a la ANH: Febrero 13 de 2006
 Área de la Concesión: 24988 Hectáreas.
 Concesionario: HOCOL S.A.
 Campo Tello: Descubierta en 1972 (Pozo Tello-1).
 Operador actual: ECOPETROL S.A.

Tabla 1. Pozos perforados a Julio de 2007 en campo Tello.

CANTIDAD DE POZOS	ESTADO DE LOS POZOS
34	Activos
9	Inyectores
22	Abandonados
2	Productores de agua dulce
67 pozos totales	

Fuente: Tesistas

Se tienen 12 pozos con BM (10 en Campo Tello y 2 en La Jagua), de los cuales 9 son con unidad convencional y 3 con Rotaflex. Y 24 pozos con ESP en Campo Tello de los cuales 2 son productores de agua (Aguas 1 y Aguas 2).

Tabla 2. Tipos de levantamiento artificial en campo Tello.

CANTIDAD DE POZOS	TIPO DE LEVANTAMIENTO
12	Bombeo Mecánico
22	ESP
2	ESP (agua)

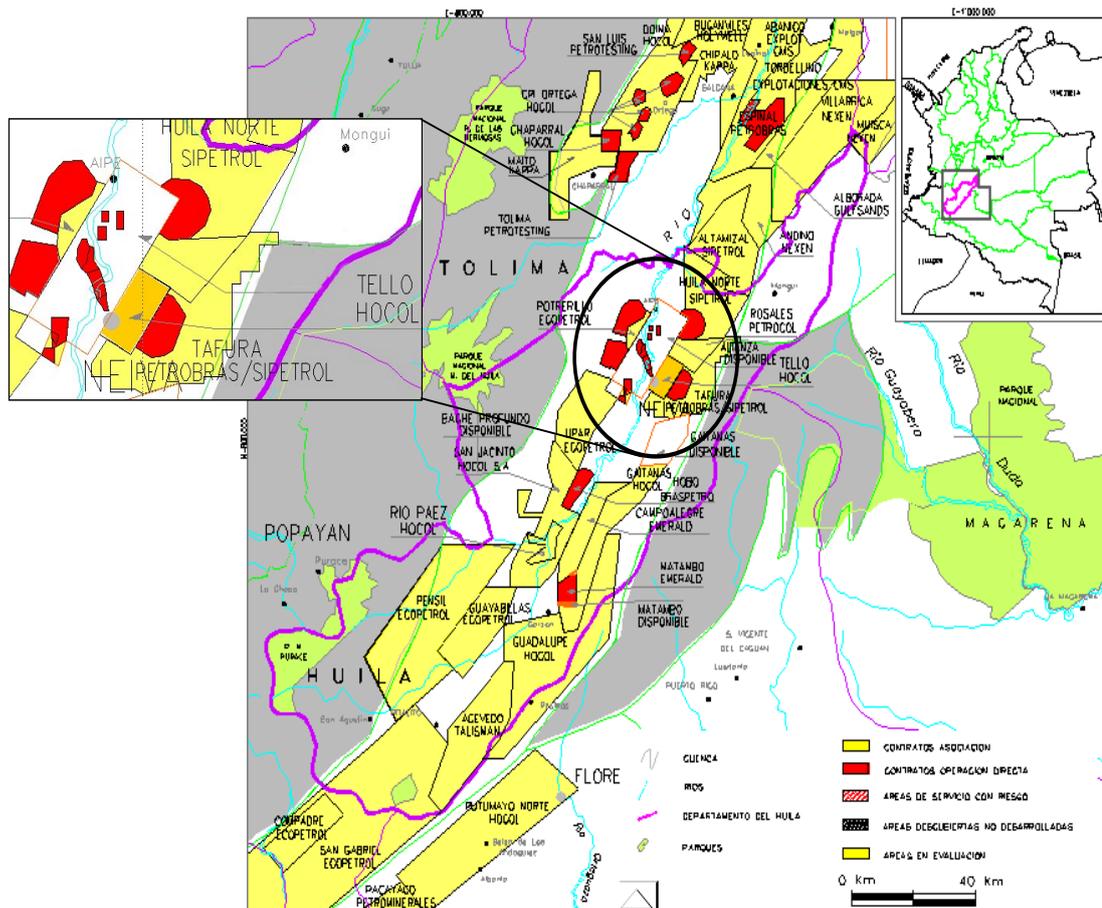
Fuente: Tesistas

1.2.1 Ubicación geográfica.

Los Campos Tello y La Jagua están ubicados al noreste de la ciudad de Neiva en el departamento del Huila, a tres kilómetros aproximadamente del casco urbano de la ciudad de Neiva, en la subcuenca del Valle Superior del Magdalena (Figura 1).

La Subcuenca de Neiva se extiende desde el sur del arco de Natagaima hasta la población de Pitalito (Huila), entre las cordilleras Central y Oriental.

Figura 1. Localización campo Tello.



Fuente: Ecopetrol

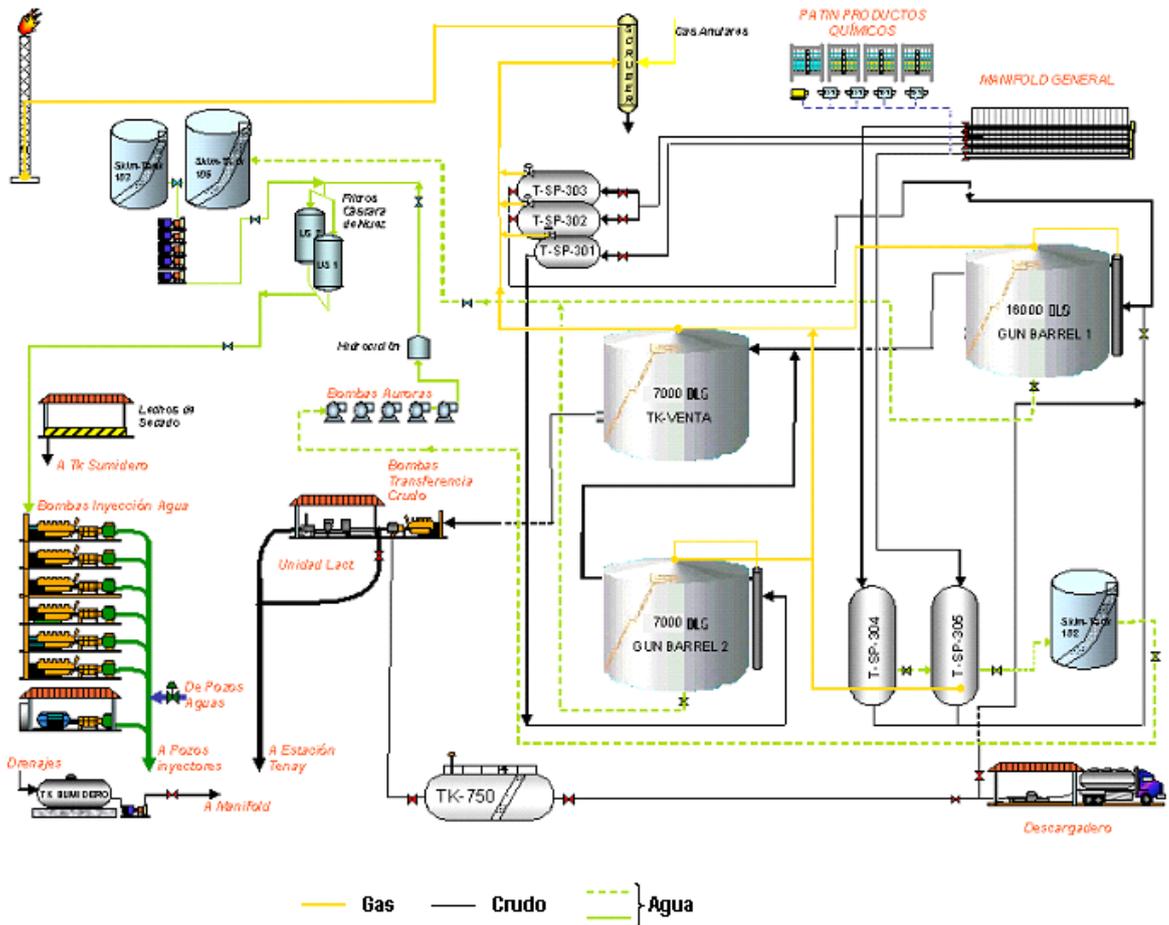
1.2.2 Modelo estructural

El campo está constituido por 5 láminas productoras de la Formación Monserrate (A, B, C, D y E) delimitadas al oriente por la discordancia del Eoceno.

En el Anexo A se encuentran los modelos estructurales, además de la ubicación de los pozos en cada lámina productora.

1.2.3 Proceso de crudo, gas y agua.

Figura 2. Mapa del proceso de agua crudo y gas para campo Tello.



Fuente: Ecopetrol

Sistemas de líneas de entrada del campo Tello:

- Líneas de gas de los anulares de los pozos Campo Tello en la entrada del Scrubber principal.
- Crudo de La Jagua, La Hocha y agua de La Hocha por el descargadero.
- Crudo de Río Ceibas en la Unidad LACT del mismo Campo.
- Agua de los pozos Aguas 1 y Aguas 2 en el colector de succión de las bombas de inyección.
- Gas de Ecogas y tiene instalación para la entrada del Gas de Río Ceibas

1.3 CONDICIONES PROBLEMA.

Ante este cambio progresivo de los métodos de levantamiento artificial se debe plantear bajo que situaciones éstos son mas óptimos, prácticos y económicos ya que existen ciertas variables en que los métodos convencionales de levantamiento se encuentran en desventaja; dichas condiciones críticas especiales a las que realizaremos los análisis correspondientes son:

- *Altos costos de mantenimiento y optimización,*
- *Caudal máximo de 4000 BPD.*
- *pozos con desviación,*
- *presencia de arena*
- *y problemas de embotellamiento (presencia de scale).*

Este proyecto de investigación busca mejorar la vida útil de los equipos de levantamiento artificial encontrando un punto ideal entre costos y beneficios de las empresas operadoras.

En el histórico que cuenta Baker Hughes Centrilift, en campo Tello se tienen 31 pozos que tienen o han tenido instalado equipo ESP, con un total de 175 corridas; se ha registrado que cerca de 34 de estas corridas o instalaciones de 17 pozos diferentes han terminado su vida útil debido al efecto abrasivo de arenas y del taponamiento debido a presencia de scale. Aunque el contrato que cuenta Ecopetrol-Backer, éste último da un tiempo de garantía dependiendo del tiempo de vida útil del equipo que se estime; Ecopetrol tiene pérdidas importantes, ya que el pozo parará su producción a cerca de unos 5 días como mínimo, mientras se vuelva a poner en marcha el pozo; implicando así un monto considerable dependiendo del caudal que se tenga.

1.3.1 Arenamiento.

La producción de arena es uno de los problemas más antiguos en la industria del petróleo, generalmente asociado a la producción de crudo proveniente de formación de areniscas estructuralmente débiles e incapaces de resistir las fuerzas que se generan al fluir el petróleo. Que generan efectos adversos sobre la producción y el equipo de los pozos.

La causa de la producción de arena es debida al movimiento del fluido a través de la roca; dicho movimiento ejerce sobre los granos de arena esfuerzos que tienden a moverlos y arrastrarlos junto con el fluido. Estos efectos son ocasionados por diferenciales de presión, fricción del fluido y el peso de la formación. Simultáneamente existen otros efectos esfuerzos que tienden a mantener los granos de la formación en su sitio: cementación grano a grano, fricción intergranos, fuerzas de gravedad y fuerzas capilares. La resultante de estos esfuerzos "positivos y negativos" hará que la formación sea estable o produzca arena dentro del pozo.

1.3.2 Scale.

La industria petrolera desde sus inicios ha venido padeciendo problemas en sus sistemas de flujo, básicamente en las tuberías de producción debido a la depositación de agentes orgánicos e inorgánicos. Estos últimos conocidos con el nombre de SCALE, los cuales son depósitos adherentes

y duros, formados principalmente por minerales disueltos en agua, cuando se excede el punto de solubilidad, debido a cambios de presión, temperatura y otras variables que permiten que estos salgan de la solución y precipiten.

La deposición de inorgánicos es uno de los problemas más importantes y serios de los sistemas de producción de hidrocarburos. Algunas veces las incrustaciones limitan o bloquean la producción de petróleo o gas debido al taponamiento de la formación productora o de las fracturas e intervalos perforados. Las deposiciones también ocurren en bombas de subsuelo, tubería de producción, líneas de flujo, tratadores térmicos, tanques y otros equipos en las facilidades de producción; es decir, en todo punto en el sistema de producción que genere una sobresaturación de los compuestos inorgánicos presentes en el fluido. La sobresaturación se puede generar por cambios en las condiciones de presión y temperatura, o en otros casos, en mezclas de aguas incompatibles.

Tabla 3. Deposiciones inorgánicas más comunes.

NOMBRE	FORMULA QUIMICA	PRINCIPALES VARIABLES
Carbonato de calcio	CaCO_3	Presión parcial de CO_2 , temperatura, sólidos disueltos totales, pH.
Sulfato de calcio	CaSO_4	Temperatura, sólidos disueltos totales, presión.
Sulfato de bario	BaSO_4	Temperatura, presión.
Sulfato de estroncio	SrSO_4	Temperatura, sólidos disueltos totales, presión.
Compuestos de hierro	$\text{FeCO}_3 - \text{FeS} - \text{Fe(OH)}_2$	Corrosión, gases disueltos, pH

Fuente: Tesistas

Las deposiciones mas comunes en los campos petroleros son carbonato calcio (CaCO_3), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sulfato de bario (BaSO_4) y cloruro de sodio (NaCl). Un depósito poco común es el de sulfato de estroncio (SrSO_4). Estas deposiciones causan un gran número de trabajos costosos de workover, daño de bombas de subsuelo, fracturamiento y otros trabajos remediales cada año.

Figura 3. Ejemplo de taponamiento de la tubería por scale.



Fuente: USCO

1.4 BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS COMO MÉTODO DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL



En sus inicios, la tecnología de cavidades progresivas fue dedicada para el desarrollo de sistemas de transmisión y bombas de transferencia para aplicaciones industriales (alimentos, papel, agricultura, petróleo, etc.). Para la industria petrolera, la primera aplicación data de mediados de los años 50, cuando se desarrollaron los primeros motores hidráulicos con mecanismo de doble rotor helicoidal para ser utilizados en la perforación de pozos direccionales. Sin embargo, con excepción de algunas pruebas clandestinas, no fue sino hasta finales de los años 70 cuando se realizaron esfuerzos considerables para utilizarlas como método de levantamiento artificial para pozos productores de hidrocarburos en sistemas PCP.

Las bombas CP son bombas de desplazamiento positivo que consisten en un rotor de acero helicoidal y un estator de elastómero sintético pegado internamente a un tubo de acero. El movimiento giratorio del rotor dentro del estator lo cual permite que el fluido se desplace verticalmente hacia la superficie del pozo.

Los sistemas que usan Bombas CP tienen algunas características únicas que los hacen ventajosos con respecto a otros métodos de levantamiento artificial. Una de sus cualidades más importantes es su alta eficiencia total. Típicamente se obtienen eficiencias entre 50 y 60% la cual es mayor que cualquier otro método de levantamiento, ver figura 5.

Figura 4. Bomba CP

Fuente: Baker Hughes

Otras ventajas adicionales de las bombas CP son:

- ◆ Habilidad para producir fluidos altamente viscosos (crudos menores o igual a 12 °API);
- ◆ Habilidad para producir con altas concentraciones de arena (hasta del 50% en peso);
- ◆ Habilidad para tolerar altos porcentajes de gas libre;
- ◆ Muy buena resistencia a la abrasión;

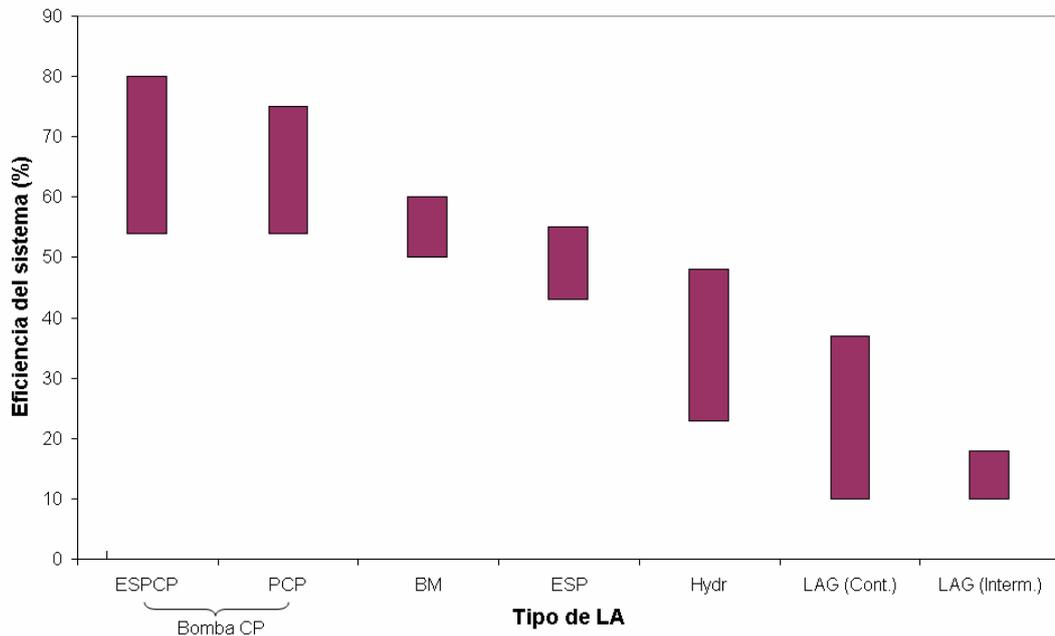
Los Bombas CP también tienen algunas desventajas en comparación con los otros métodos. La más significativa de estas limitaciones se refiere a las capacidades de desplazamiento y levantamiento de la bomba, así como la incompatibilidad de los elastómeros con ciertos fluidos producidos, especialmente con el contenido de componentes aromáticos. A continuación se presentan varias de las desventajas:

- ◆ Capacidad de desplazamiento real de hasta 2000 Bls/día o 320 m³/día (máximo de 4000 Bls/día o 640 m³/día en sistemas ESPCP);
- ◆ Capacidad de levantamiento real de hasta 6000 pies o 1854 metros (máximo de 10500 pies o 3500 metros en sistemas ESPCP);
- ◆ Resistencia a la temperatura hasta 280 °F o 138 °C (máximo de 350 °F o 178 °C).

- ◆ Sensibilidad a los fluidos producidos (los elastómeros pueden hincharse o deteriorarse con el contacto de ciertos fluidos por periodos prolongados de tiempo).

Sin embargo estas limitaciones están siendo superadas cada día con el desarrollo de nuevos productos y el mejoramiento de los materiales y diseños de equipos. En su aplicación correcta, los sistemas con bombas de cavidad progresiva proveen el más económico (y en muchos casos el único) método de levantamiento artificial si se configura y opera rápidamente.

Figura 5. Eficiencia de sistemas de Levantamiento Artificial



Fuente: Baker Hughes

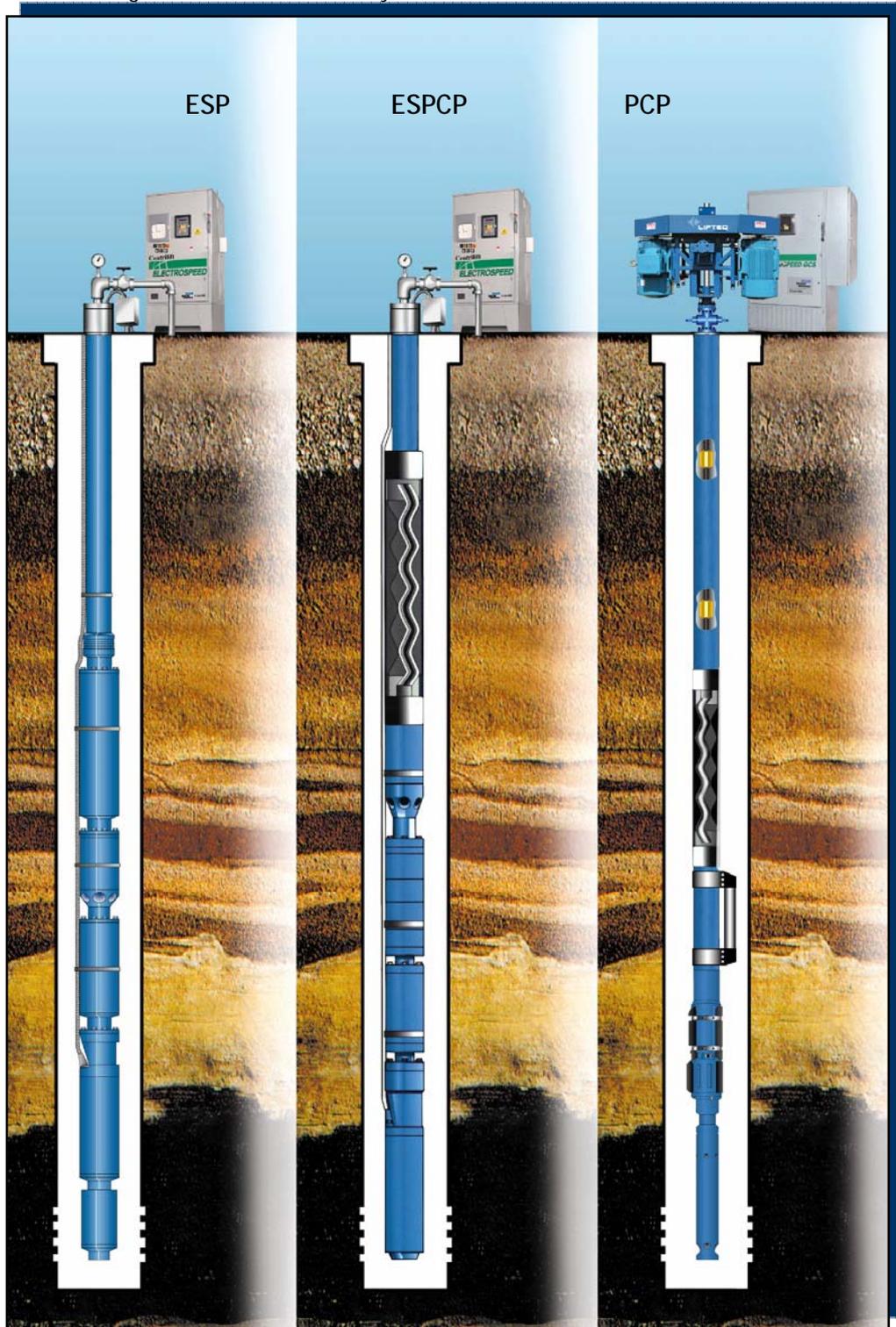
1.5 TECNOLOGIA ESP – ESPCP – PCP

Los dos sistemas de levantamiento demás que hacemos llamado es debido al aporte que éstos presentan en el diseño y funcionamiento del ESPCP.

En la figura siguiente muestra la configuración de los equipos para tres tipos de levantamiento artificial. Como podemos observar el sistema de levantamiento ESPCP, presenta similitud con los 2 tipos de levantamiento; pero su diferencia radica en el ambiente de operación, es decir, los tres métodos tienen rangos de trabajo diferentes, dando como resultado que éstos tres sistemas abarquen gran parte de las condiciones y propiedades que se puedan tener en pozos.

En el Anexo B se describe ampliamente información de cada uno de estos tipos de levantamiento por separado.

Figura 6. Gráfico general de ESP, ESPCP y PCP

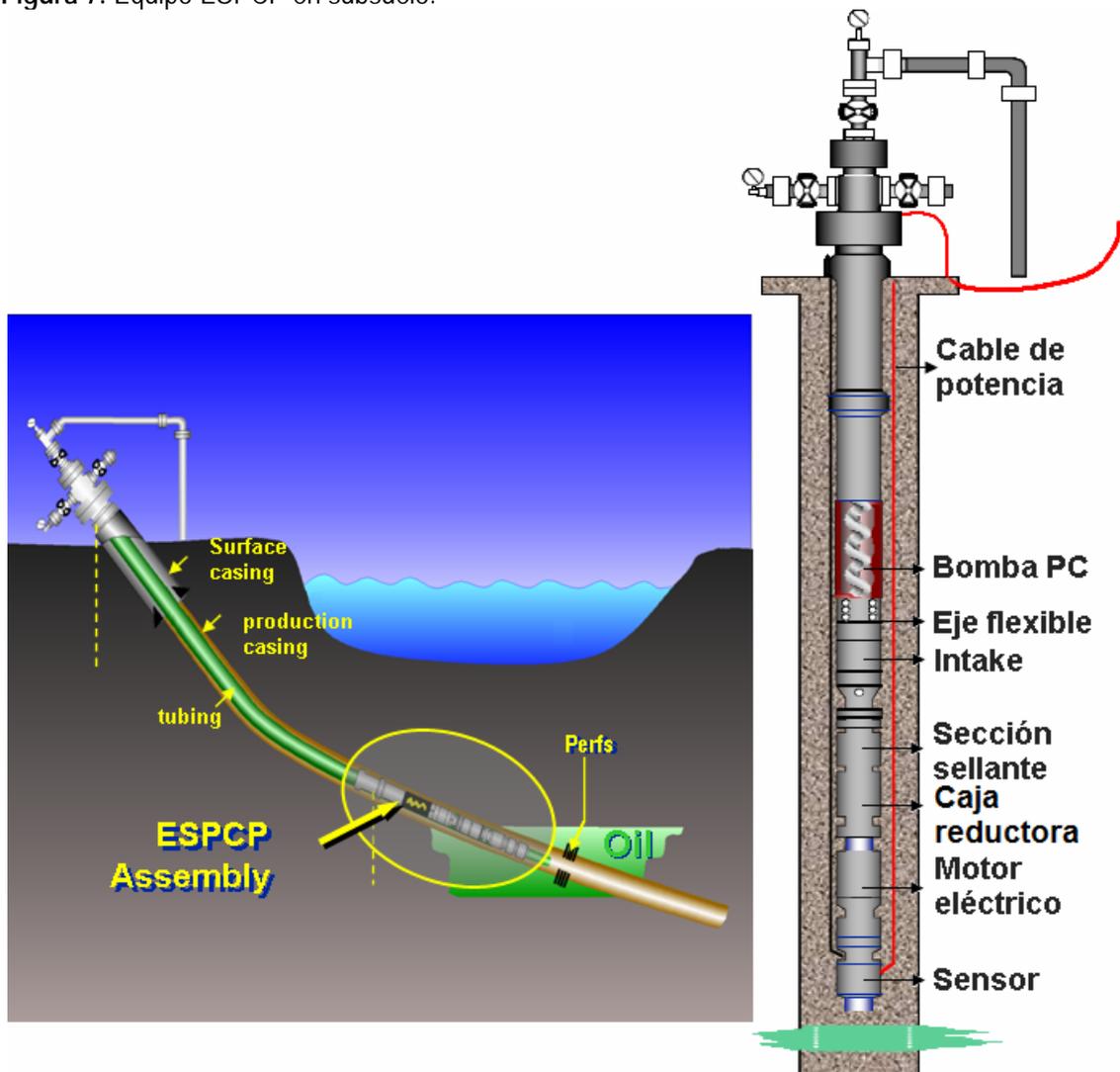


Fuente: Baker Hughes

1.6 GENERALIDADES DEL EQUIPO ESPCP

1.6.1 Equipos de Subsuelo

Figura 7. Equipo ESPCP en subsuelo.

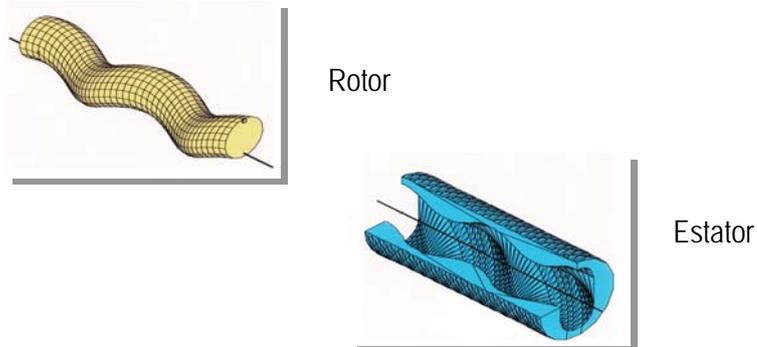


Fuente: Baker Hughes

1.6.1.1 Bombas de cavidades progresivas (CP).

Las bombas CP están compuestas por un rotor helicoidal de una sola hélice que gira dentro de un estator de doble hélice. El estator está moldeado con un elastómero resistente que le va a brindar sello mecánico durante su funcionamiento.

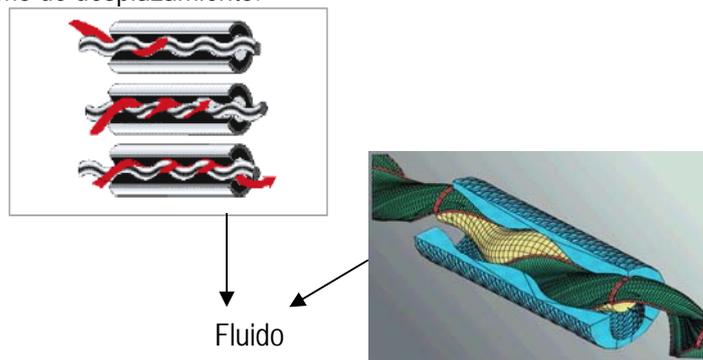
Figura 8. Componentes de las bombas CP.



Fuente: Baker Hughes

Al funcionar el rotor con el estator se forman dos cadenas de cavidades progresivas, lo cual quiere decir que al girar el rotor, las cavidades selladas entre sí se mueven espiralmente en sentido ascendente, transportando el fluido hacia la superficie.

Figura 9. Mecanismo de desplazamiento.



Fuente: Baker Hughes

Rotor.

El rotor es minuciosamente torneado con acero de alta resistencia obteniéndose externamente una forma helicoidal; maquinado según las tolerancias exactas para obtener un ajuste por compresión consistente para el estator y resistente a la abrasión.

Estator.

Los estatores consisten en tubos de acero con cuerpos de elastómeros pegados internamente. Los elastómeros son torneados como hélices de dos o más lóbulos (depende de la geometría, ver figura 9).

Elastómeros.

Los elastómeros son la base de las bombas CP en él que está moldeado el perfil de doble hélice del estator. De su correcta determinación y su interferencia depende la vida útil de la bomba. El elastómero que complementa el armado de la bomba ayuda a soportar las partículas abrasivas

como la arena presente en el fluido del pozo, las cuales son comprimidas dentro de la pared elástica que forma este elastómero.

El elastómero es un compuesto que posee propiedades "visco-elásticas", dicho en otras palabras, en un proceso de deformación cíclica el elastómero tiene la habilidad única de almacenar y disipar energía simultáneamente. Las gomas sintéticas, en la mayoría de sus aplicaciones, son sometidas a cierto grado de deformación cíclica o absorción de cargas, situación típica observada en la operación de la bomba CP.

Los elastómeros en la bomba CP son generalmente alguna goma de "Nitrilo". Otro nombre común es **Buna N** o **N.B.R.** Y es un co-polímero de Acrilonitrilo(ACN) y Butadieno. Variando el % de ACN, las propiedades del elastómero también cambiarán. Otro compuesto de elastómero frecuentemente usado en la bomba son los **Fluoroelastómeros**. Este componente es comercialmente conocido como **Viton™**.

En el siguiente cuadro se muestran 2 tipos de elastómeros que se emplea en Baker Hughes dependiendo de las características físicas y químicas del pozo.

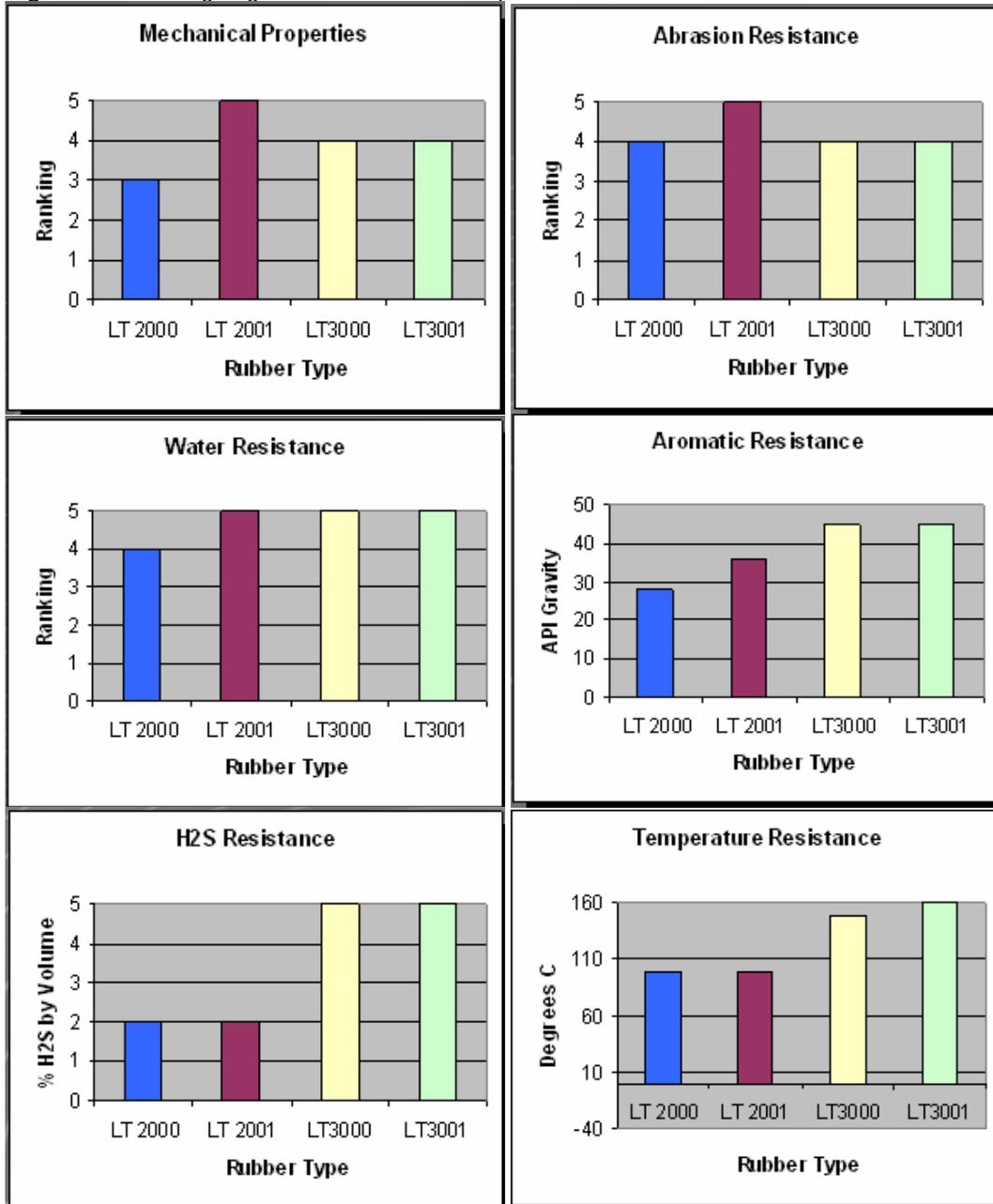
Tabla 4. Tipos de elastómeros y características.

<u>ELASTÓMERO</u>	<u>Aplicaciones y Características</u>
LT2000 - High Nitrile	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Alto contenido de ACN ◆ Resistencia a aceites y solventes ◆ Buena Resistencia a la Abrasión ◆ Buenas Propiedades Mecánicas ◆ Temp Máx 210° F (100° C)
LT3000 - Hydrogenated Nitrile (Highly Saturated Nitrile or HSN)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Alto contenido de ACN ◆ Resistencia a aceites y solventes ◆ Resistente al H₂S y al FeS ◆ Buena Resistencia a la Abrasión ◆ Buenas Propiedades Mecánicas ◆ Temp Máx 300° F (149° C)
LT 3001 — Hydrogenated Nitrile (Highly Saturated Nitrile or HSN)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Alto contenido de ACN ◆ Resistencia a aceites y solventes ◆ Resistente al H₂S y al FeS ◆ Buena Resistencia a la Abrasión ◆ Buenas Propiedades Mecánicas ◆ Temp Máx 320° F (160° C)

Fuente: LIFTEQ

En los siguientes cuadros se ubican en ranking de 1 a 5 dependiendo de la efectividad del tipo de elastómero; LT2000, LT2001 (aun no disponible), LT3000 y LT3001.

Figura 10. Ranking según cualidades de los tipos de elastómero.



Fuente: LIFTEQ

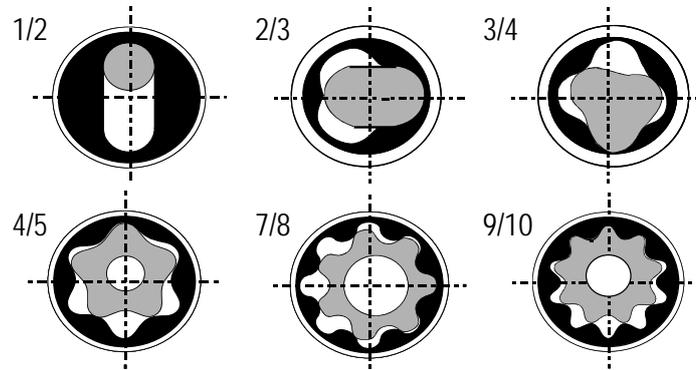
Ranking:

5: Excelente 4: Muy bueno 3: Bueno 2: Regular 1: Pobre

Geometría de la bomba CP

La geometría de la bomba viene definida fundamentalmente por la relación de lóbulo entre el rotor y estator. Por ejemplo, la geometría de una bomba con rotor externamente helicoidal simple y estator internamente helicoidal doble se conoce como "bomba 1:2".

Figura 11. Configuraciones de bombas CP.

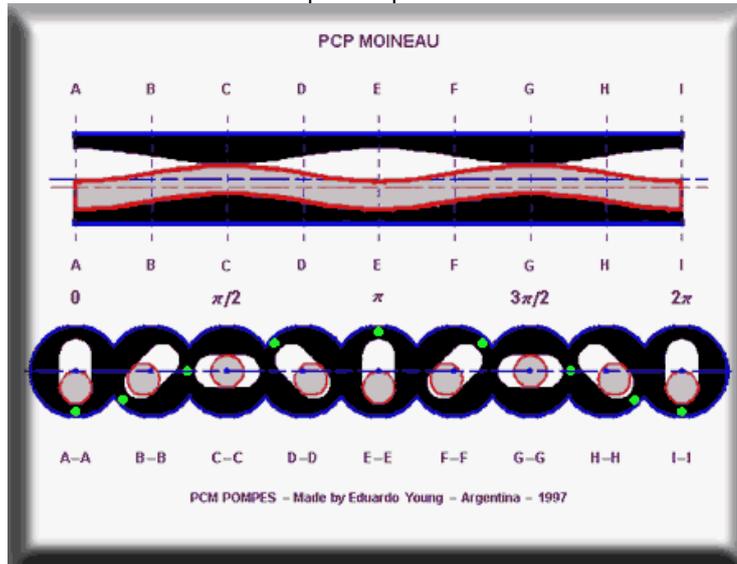


Fuente: Baker Hughes

El rotor no es concéntrico con el estator. Por tanto, el movimiento del rotor dentro del estator resulta en la combinación de dos movimientos:

- La rotación alrededor de su propio eje en una dirección (en sentido de las agujas del reloj), y
- La rotación en sentido contrario de su eje longitudinal alrededor al eje del estator.

Figura 12. Ubicación del rotor en diferentes puntos para una bomba de lóbulo simple.



Fuente: Baker Hughes

Para garantizar un sello total y efectivo en la bomba, la longitud ajustada del rotor dentro del estator debe ser al menos igual al paso de este último. Esta relación dependerá directamente de la relación de lóbulos entre ambas piezas. La línea continua de contacto entre rotor y estator es lo que se conoce como "línea de sello" y su eficiencia dependerá de la presión diferencial existente entre las dos cavidades consecutivas separadas por dicha línea. En la figura 13 se muestran las formas tridimensionales de diversas piezas helicoidales generadas a partir de envolventes de las curvas hipocicloides.

Figura 13. Desarrollo tridimensional de las envolventes con 1, 2 y 3 lóbulos.

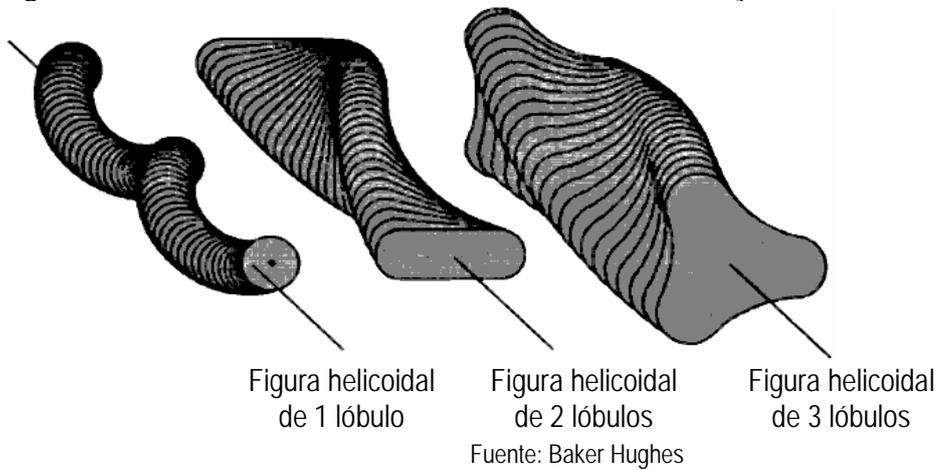
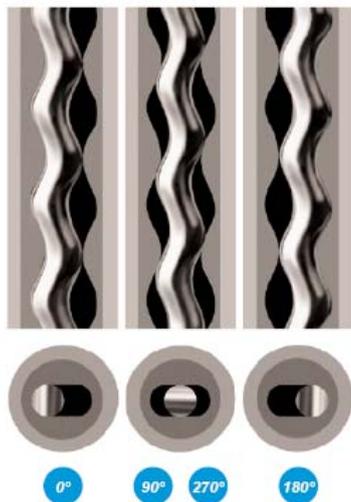


Figura 14. Movimiento del rotor en corte transversal para bomba 1/2 a 0°, 90°, 180° y 270°.



Las cavidades selladas se forman de manera tal que están separadas 180 grados una de otra y avanzan desde la succión hasta el extremo de la descarga de la bomba. Estas cavidades se abren y se cierran simultáneamente dando como resultado un flujo constante no pulsatorio. El flujo en el área de la sección transversal se mantiene igual sin importar la posición del rotor en el estator.

Las partículas abrasivas son expulsadas de la bomba a medida que el rotor se desplaza por las cavidades progresivas de la bomba.

Fuente: R&M Energy System

1.6.1.2 Eje flexible (flex shaft) & intake

El montaje del eje de flexión se diseña para convertir la rotación concéntrica del eje de la sección del sello a la rotación excéntrica requerida por la bomba CP.

- El montaje del eje de flexión transfiere el empuje de la bomba al cojinete de empuje situado en la sección sellante.
- Flujos anulares del líquido libremente a través del intake en el PCP.
- Usa cojinetes resistentes a la abrasión en el Intake para reducir desgaste por sólidos presentes.
- Al igual que el Intake se pueden adaptar separadores de gas

Figura 15. Flex Shaft

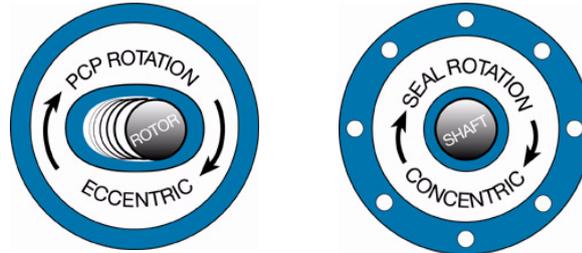


Fuente: Reda

para aplicaciones en donde el nivel de gas que se quiera tener en superficie junto con el petróleo sea lo deseado.

- Soportan altos torques, cargas axiales y radiales.

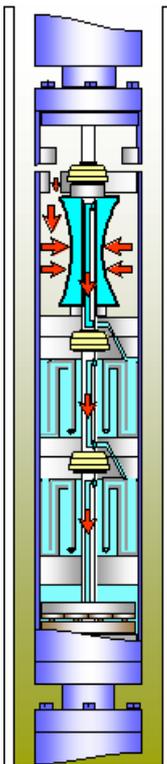
Figura 16. Conversión de rotación del Flex Shaft



Fuente: Baker Hughes

1.6.1.3 Sello

El sello o sección sellante está diseñado para proteger al motor por medio de cuatro funciones básicas, las cuales son:



- 1) Proveer el volumen necesario para permitir la expansión del aceite dieléctrico contenido en el motor. La expansión se debe al incremento de temperatura del motor cuando la unidad está en operación y a la temperatura del fondo del pozo.
- 2) Igualar la presión en la cavidad del pozo con el fluido dieléctrico del motor. Esta igualación de presiones a lo largo del motor evita que el fluido del pozo pueda infiltrarse en las uniones selladas del motor, causando así una falla dieléctrica prematura.
- 3) Proteger al motor de la contaminación de los fluidos del pozo. La sección sello tiene múltiples sellos mecánicos montados en el eje que evitan que el fluido del pozo ingrese por el eje. Las bolsas elastoméricas proporcionan una barrera positiva para el fluido del pozo. Las cámaras laberínticas proporcionan separación del fluido en base a la diferencia de densidades entre el fluido del pozo y el aceite del motor.
- 4) Absorber el empuje axial descendente de la bomba. Esto se lleva a cabo por medio de un cojinete de empuje deslizante. El cojinete utiliza una película hidrodinámica de aceite para proporcionarle lubricación durante la operación. El empuje descendente es el resultado de la presión desarrollada por la bomba CP sobre el área del rotor de la bomba por la fuerza de oposición a todo movimiento (fricción) y el empuje debido al peso de fluido.

Figura 17. Sello

Fuente: Baker Hughes

1.6.1.4 Reductor de engranajes

Debido a que la velocidad a la que gira la bomba CP dependiendo del caudal que se desee tener, puede alcanzar cerca de 450 rpm y en cambio el motor ESP gira en un rango de 1500 a 4000 rpm aproximadamente; el reductor de engranajes o caja reductora cumple la función de adaptar las

condiciones de velocidad del motor a las que la bomba necesita, es decir, proporciona una velocidad que sea aceptable a un PCP. La gama normal del PCP es 100 a 500 RPM.

Ejemplo de equipo centrífugo.

Tabla 5. Relación RPM Motor-Bomba debido a la caja reductora Centrífuga.

Frecuencia (Hz)	Velocidad de motor (rpm)	Relación de engranaje	Velocidad de la bomba (rpm)
30	1750	11,5:1	152
40	2333	11,5:1	203
50	2917	11,5:1	254
60	3500	11,5:1	304
70	4083	11,5:1	355

Fuente: Baker Hughes

La función secundaria del reductor del engranaje es aumentar el esfuerzo de torsión disponible a la bomba.

Ejemplo de equipo centrífugo.

Tabla 6. Relación Torque Motor-Bomba debido a la caja reductora Centrífuga.

Torque salida Motor ft lbs)	Relación de engranaje	Torque salida Caja reductora
50	11,5:1	575
100	11,5:1	1150
150	11,5:1	1725
200	11,5:1	2300

Fuente: Baker Hughes

Figura 18. Caja reductora



Fuente: Baker Hughes

1.6.1.5 Motor electrosumergible

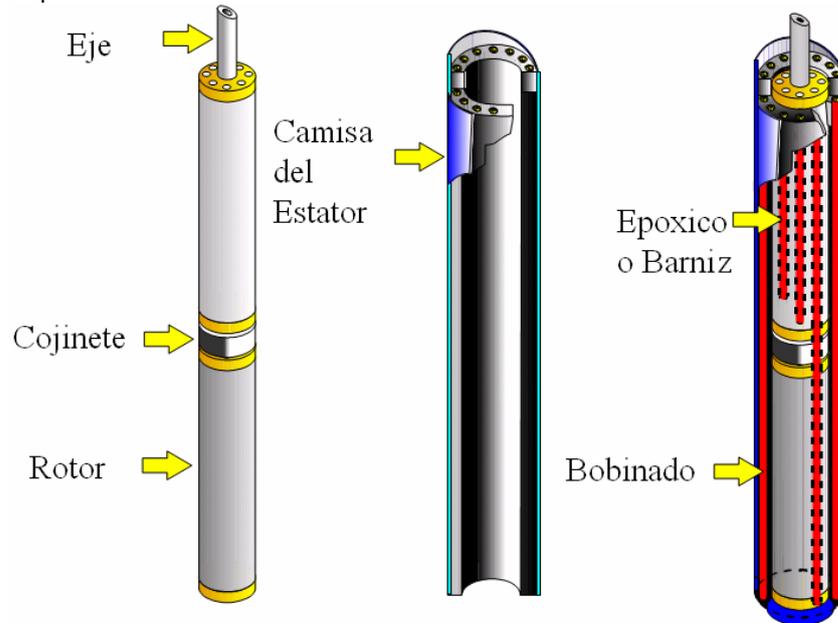
Motor típico de ESP, es un motor eléctrico de inducción bipolar trifásico, tipo jaula de ardilla el cual opera a una velocidad típica de 3600 revoluciones por minuto "RPM" a una frecuencia de 60 Hz. La parte interior del motor es llenada con un aceite mineral altamente refinado el cual posee una considerable rigidez dieléctrica. El voltaje de operación puede ser tan bajo como 230 voltios o tan

alto como 4000 voltios. Los requerimientos de amperaje están en un rango de 22 a 123 amperios. La potencia (HP) desarrollada por un motor es proporcional al largo y al diámetro del mismo.

El motor electrosumergible opera mediante el uso de una corriente alterna de tres fases la cual crea un campo magnético que gira en el estator. Este campo magnético rotativo induce un voltaje en los conductores de la jaula de ardilla del rotor lo cual genera una corriente que fluye en las barras del rotor. Esta corriente de inducción en el rotor establece un segundo campo magnético el cual es atraído al campo magnético rotativo del estator induciendo al rotor y al eje a girar dentro del estator.

Estos motores poseen varios rotores que generalmente son de 12 a 18 pulgadas de largo, los cuales se encuentran montados sobre un eje y localizados en un campo magnético (estator) ensamblado dentro de una carcasa de acero. En motores sencillos más grandes de serie 562 diseñados por Centrifliff, pueden desarrollar una potencia de 506 HP. Mientras motores ensamblados en tandem pueden proporcionar 920 HP de potencia a una frecuencia de 60 Hz.

Figura 19. Componentes del motor

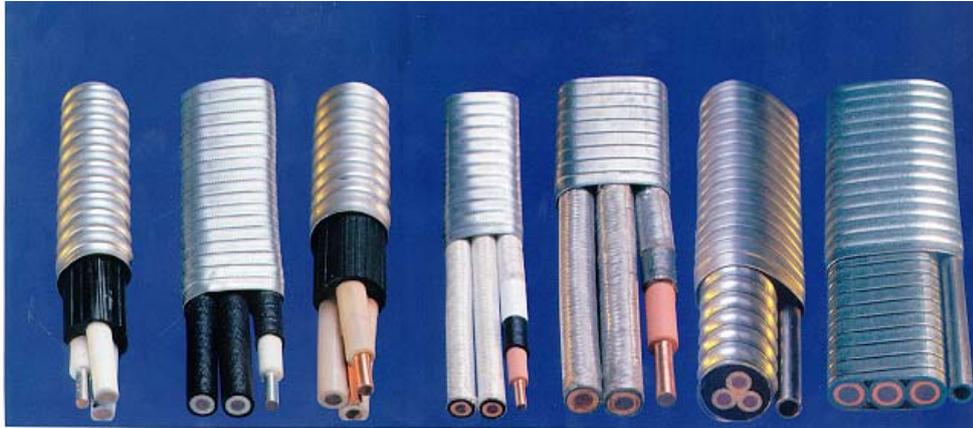


Fuente: Baker Hughes

1.6.1.6 Cable de potencia

Es el elemento que transmite la energía eléctrica desde la superficie hasta el motor; todo el sistema debe estar constituido por el cable de potencia y la extensión de motor; éste puede ser redondo o plano dependiendo de el diámetro del casing. El cable tiene tres conductores de cobre aislados y encaquetados contenidos por una armadura metálica como se muestra en la figura 20. Una aplicación típica debe sopesar los requerimientos eléctricos, dimensión física y de temperatura exigidos.

Figura 20. Modelos de Cable de Potencia



Fuente: Baker Hughes

En la actualidad Baker Centrilift en Colombia suministra 3 tipos de cable; cable de potencia plano, cable de potencia plano con capilar y cable de potencia redondo.

1.6.2 Equipo de Superficie

1.6.2.1 Controladores

Algunos controladores de motor son simples en su diseño, mientras que otros pueden ser extremadamente sofisticados y complejos, ofreciendo numerosas opciones que fueron diseñadas para aumentar los métodos de control, protección, y monitoreo del equipo. La selección de un tipo a comparación de otro depende de la aplicación, la economía y el método preferido de control.

Paneles de Control (Velocidad Fija)

El panel de control (arrancador directo a la línea) consiste de un arrancador de motor, sistemas de circuito de estado sólido para la protección de sobrecarga o baja carga, un interruptor de desconexión manual o automático, un circuito temporizador y un amperímetro registrador.

Algunos sistemas de control poseen equipos de superficie para uso con equipo de detección y registro de la presión y la temperatura en el fondo del pozo, instalados dentro del gabinete del controlador del motor. Se proveen fusibles para la protección por corto circuito.

Los dispositivos de control externos deben estar en interfase con el controlador según recomendación y/o aprobación el fabricante de la bomba para proveer un funcionamiento seguro y libre de problemas. Todos los dispositivos de control externos están conectados a un temporizador el cual activa o desactiva el controlador después de un cierto intervalo de tiempo. Los dispositivos de control externo normalmente utilizados son controles de nivel de tanque o interruptores de presión de línea.

La mayoría de los controladores de estado sólido ofrecen protección de baja carga en las tres fases, protección por sobrecarga, y protección automática contra desbalances de corriente o voltaje. Es necesaria una protección por baja carga o agotamiento de nivel del pozo dado que un flujo pasante por el motor a baja velocidad no proporcionaría un enfriamiento adecuado. Se incluyen generalmente circuitos diseñados para arranques automáticos.

Figura 21. Controladores de velocidad.



Fuente: Baker Hughes

Baker Hughes Centrilift.

Utiliza Tableros ElectroStart, el cual es un panel diseñado para un amplio rango de voltajes y ser usado con equipos ESPCP o ESP. El Tablero ElectroStart consiste en un interruptor, un contactor de vacío, y un transformador de control de amplio rango de voltaje, todo en un gabinete tipo Nema3R. Los cuales se usan a frecuencia fija y proveen arranque directo. Para lograr la versatilidad que requiere el uso de una bomba CP en cuanto a la posibilidad de variar su caudal con la velocidad, se hace indispensable el uso de un variador de frecuencia (VSD). El VSD provee también un arranque suave a una frecuencia definida, y una amplia gama de seteos y protecciones.

1.6.3 Cualidades del sistema ESPCP

1.6.3.1 Aplicaciones

- Pozos desviados y horizontales
 - Elimina varillas & desgaste de tubería
- Bajo API / Fluidos altamente viscosos
- Fluidos abrasivos
- Producción desde 100 BPD (16m³) hasta 4500 BPD (716m³)
- Bajo perfil de requerimientos

1.6.3.2 Ventajas de ESPCP

- Diseño simple
- Bajo costo de operación en aplicaciones complejas
- Funciona bien en pozos horizontales o desviados.
- Altamente eficiente en la producción de líquidos viscosos
- Capaz de manejar sólidos
- Disminuye la emulsificación de líquidos

- No presenta de bloqueo por gas (gas lock).
- Evita fallas en tubería y varillas asociadas al desgaste en el sistema rotatorio de la varillas (sistema rodless o PCP).
- Reduce las pérdidas friccionales (sistema rodless o PCP) y permiten aplicaciones en tuberías de diámetros pequeños.
- Evita problemas de backspin (sistema rodless o PCP)
- Ambientalmente seguro. No se necesita stuffing box
- Evita el espaciamiento incorrecto del rotor
- Se tiene alto torque en la bomba al arranque
- La temperatura desarrollada por el Motor ayuda extraer mejor los fluidos viscosos
- Reduce el consumo de energía en muchos casos
- Permite que en el sistema no se invierta en backflushing.
- Se reduce al mínimo el mantenimiento de equipo en superficie
- No existen derrames de fluidos del pozo en superficie
- Eliminación de peligros mecánicos en superficie
- Permite la operación del equipo en reversa

1.6.3.3 Desventajas de ESPCP

- Limitada a 40 HP en el casing más pequeño
- Limitaciones de Temperatura
- Incompatibilidades del elastómero con altos contenidos de:
 - Aromáticos.
 - Gas.
 - Acido sulfhídrico H₂S
 - Bióxido de carbono CO₂.
- Predecir el hinchamiento del elastómero puede ser complicado
- Se requiere un Variador de Frecuencia para conseguir bajos caudales
- Requiere suministro de energía eléctrica trifásico.

1.6.3.4 Fallas comunes

- Alta producción de gas (>40%) (temperatura e hinchamiento). Se puede eliminar mediante el uso de separador de gas en lugar de intake.
- Achicamiento (temperatura)
- Válvulas de superficie cerradas (Sobrepresión)
- Manejo de excesiva cantidad de sólidos (Bomba taponada)

A pesar de todo lo expuesto anteriormente la configuración ESPCP ha sido muy bien aceptada por usuarios a nivel mundial con preferencia en los casos específicos de pozos con severidades de curvatura mayor a 12°/100' (Dog Leg). Los suministradores de esta tecnología han insistido en la difusión de este método logrando incrementar el numero de instalaciones, abriendo con esto un nuevo campo potencial a futuro, sobre todo en aquellos casos donde se han venido utilizando bombas electrosumergibles en pozos con producciones menores a 1500 bfpd.

2. SELECCIÓN Y EVALUACION DE POZOS DE INTERES

Para impulsar la utilización del sistema ESPCP se eligió campo Tello debido a 3 razones; la primera, es debido a que actualmente no emplean ESPCP, cuentan solamente con 2 tipos de levantamiento artificial con bombeo mecánico y ESP, prestándose así un ambiente nuevo para explorar para ECOPETROL SOH.

Una segunda razón es la confiabilidad de la operadora en el equipo y servicio de centrilift, basados en los parámetros del contrato que cuentan dichas empresas desde hace más de 1 año; este juicio se ve reflejado en el hecho que Centrillift es el único que presta el servicio de ESP.

Por último motivo se debe a que ECOPETROL Campo Tello con los ingenieros de campo han manifestado abiertamente a Baker Hughes Centrillift el estudio de nuevas aplicaciones en pozos donde el sistema ESP no ha sido muy eficiente, (por el momento) y se han tenido paradas y daños debido al bajo nivel de manejo de arena que presenta la bomba centrífuga.

Dependiendo de cómo sea el resultado del estudio con pozos ESP, se tomarán en cuenta pozos nuevos para posible instalación de ESPCP.

2.1 POZOS DE INTERES.

De acuerdo con la base de datos que cuenta Baker Hughes Centrillift, de un total de 17 pozos diferentes, 31 instalaciones han terminado antes de lo estimado debido a daño en la bomba centrífuga (efecto abrasivo en las etapas) por arenamiento; y 3 instalaciones debido al taponamiento por efecto del scale.

Según lo mencionado anteriormente se obtuvo un listado de pozos, seleccionado por los ingenieros de ECOPETROL SOH y Baker Hughes Centrillift:

POZOS:

- Tello-10
- Tello-19
- Tello-34
- Tello-35A
- Tello-54ST

2.2 TELLO-10

2.2.1 Generalidades:

- ◆ Fecha Perforación : Dic 16, 1977
- ◆ Fecha Completamiento : Ene 15, 1978
- ◆ TD : 8802 ft, pero se sentó tapón a 7920 ft para aislar zonas de agua.

2.2.2 Propiedades del fluido

OIL GRAVITY	20.1	°API	
WATER CUT	93.44	%	
WATER SPECIFIC GRAVITY	1.004	REL. TO FRESH WATER	
GAS SPECIFIC GRAVITY	0.8	REL. TO AIR	
PRODUCING GAS-OIL RATIO	168	SCF/BBL	
SOLUTION GAS-OIL RATIO	110	SCF/BBL @ BUBBLE PRESSURE	
BUBBLE POINT PRESSURE	861	PSIG	
DEAD OIL VISCOSITY	97.68	CPS @ TEMPERATURE	100
DEAD OIL VISCOSITY	9.155	CPS @ TEMPERATURE	180
BOTTOM HOLE TEMPERATURE	180	°F	
SURFACE TEMPERATURE	100	°F	

2.2.3 Impurezas del gas

N₂ % H₂S % CO₂ %

2.2.4 Información del pozo y reservorio.

WELL TYPE	VERT	(VERT, HORIZ, MULTILAT)
STATIC PRESSURE	1400	PSIG
DATUM TVD	7476	FT
PERFORATIONS TVD	7470	FT
LIQUID PRODUCTIVITY INDEX	1.618	BBL/D/PSI
BOTTOM HOLE FLOWING PRES. (BHP)	443	PSIG
LIQUID FLOW RATE AT BHP	1538	BBL/D
MAX DOG LEG	4.720	DEG/100 FT

2.2.5 Problemas especiales (presencia de):

SAND SCALE CORROSION

2.2.6 Estado Mecánico

El estado mecánico actual de los pozos de interés, propiedades del completamiento, desviación y demás información al respecto se encuentran ampliadas en el Anexo C.

Tabla 7. Completamiento del pozo Tello-10.

Tipo de Cañón	Díámetro	Densidad	Carga	Balance	Fluido	Formación	Intervalo
Scallop Gun	2.125	4	Unit	0	Aceite	K4	8190-8202
Scallop Gun	2.125	4	Unit	0	Aceite	K4	8092-8108, 8044-8060
Scallop Gun	2.125	4	Unit	0	Aceite	B2	7474-7482, 7486-7496

Fuente: ECOPETROL

2.2.7 Antecedentes de levantamiento artificial.

- ◆ **Bombeo Mecánico.** Se utilizó en febrero de 1978 hasta febrero del 2000 y en julio de 2001 hasta enero del 2005, como sistema de levantamiento artificial, con aproximadamente 100 servicios por daños en diferentes partes del equipo (principalmente en la sarta de varillas).
- ◆ **ESP.** A partir de febrero del 2000 hasta julio del 2001 se instala el sistema ESP en reemplazo del bombeo mecánico, con 5 intervenciones debido a problemas de scale y arenamiento. A finales de enero del 2005 hasta la actualidad nuevamente se utiliza ESP; y desde entonces se ha realizado 1 intervención. En la siguiente tabla se muestra en resumen las corridas con el "runlife" y las causas del daño del equipo.

Tabla 8. Histórico ESP en pozo Tello-10.

Pozo	Run#	Fecha Inst	Fecha Pull	Runlife (días)	Causa raíz	Particularización de la Causa	Equipo afectado
Tello-10	1	22-feb-00	01-mar-00	8			
Tello-10	2	02-mar-00	18-jul-00	138	Scale	Desconocido	Bomba
Tello-10	3	21-jul-00	07-ene-01	170	Arena / Abrasiva	Formación de arena	Sello
Tello-10	4	09-ene-01	17-jul-01	189	Arena / Abrasiva	Formación de arena	Bomba
Tello-10	5	30-ene-05	05-abr-06	430	Scale	Carbonato de calcio	MLE - Pothead
Tello-10	6	07-abr-06		504			

Fuente: Baker Hughes

Vemos que en efecto el pozo Tello-10, el bombeo electrosumergible desde su primera corrida nunca ha superado el tiempo de vida útil estimado. Algunas evidencias de los daños en el equipo por las condiciones de operación son expuestas en las siguientes figuras.

Figura 22. Presencia de arena y Desgaste severo de los difusores en downthrust, corrida 4 del pozo Tello-10.



Fuente: Baker Hughes

Figura 23. Presencia de scale severa en la base del intake, corrida 5 del pozo Tello-10.



Fuente: Baker Hughes

2.3 TELLO-19

2.3.1 Generalidades:

- ◆ Fecha Perforación: **Sep 03, 1981**
- ◆ Fecha de Completamiento: **Sep 24, 1981**
- ◆ TD: **8820 ft** . TVD: **8915.24 ft**. DLS máx: **4.79**, a una profundidad de 8812 ft.
- ◆ Pozo **Vertical**, con una leve desviación al final del pozo. Se ve demostrado en la poca diferencia entre TD y TVD, además del máximo DLS que presenta.
- ◆ Perforó zona de interés 8130-8380' con lodo: CLS - CMC. Profundidad (ft): 8175-8220-8350.

2.3.2 Propiedades del fluido

OIL GRAVITY	20.1	°API	
WATER CUT	65.5	%	
WATER SPECIFIC GRAVITY	1.02	REL. TO FRESH WATER	
GAS SPECIFIC GRAVITY	1.025	REL. TO AIR	
PRODUCING GAS-OIL RATIO	344	SCF/BBL	
SOLUTION GAS-OIL RATIO	185	SCF/BBL @ BUBBLE PRESSURE	
BUBBLE POINT PRESSURE	897	PSIG	
DEAD OIL VISCOSITY	40.17	CPS @ TEMPERATURE	122
DEAD OIL VISCOSITY	17.39	CPS @ TEMPERATURE	180
BOTTOM HOLE TEMPERATURE	180	°F	
SURFACE TEMPERATURE	122	°F	

2.3.3 Impurezas del gas

N₂ **2.6** % H₂S **0** % CO₂ **2.88** %

2.3.4 Información del pozo y reservorio.

WELL TYPE	VERT	(VERT, HORIZ, MULTILAT)
STATIC PRESSURE	734	PSIG
DATUM TVD	8279	FT
PERFORATIONS TVD	8130	FT
LIQUID PRODUCTIVITY INDEX	1.973	BBL/D/PSI
BOTTOM HOLE FLOWING PRES. (BHP)	359	PSIG
LIQUID FLOW RATE AT BHP	650	BBL/D
MAX DOG LEG	4.79	DEG/100 FT

2.3.5 Problemas especiales (presencia de):

SAND **SI** SCALE **NO** CORROSION **NO**

2.3.6 Estado Mecánico

Tabla 9. Completamiento del pozo Tello-19.

Sep 14, 1981

Tipo de Cañón	Diámetro	Densidad	Carga	Balace	Fluido	Formación	Intervalo
Casing Gun	4	4	Densy	0	Salmuera de KCl	B1	8120-8122
Casing Gun	4	4	Densy	0	Salmuera de KCl	B3	8270-8296,830
Casing Gun	4	4	Densy	0	Salmuera de KCl	B2/B3	8222-8260
Casing Gun	4	4	Densy	0	Salmuera de KCl	B2	8157-8180,819
Casing Gun	4	4	Densy	0	Salmuera de KCl	B1	8130-8143,8147-8152

Cañoneo 8120-22 a 2TPP para realizar squeeze.

Fuente: ECOPETROL

2.3.7 Antecedentes de levantamiento artificial.

- ◆ **Bombeo Mecánico.** Desde Febrero de 1982 hasta marzo del 2007 se instala unidad de Bombeo mecánico como sistema de levantamiento artificial, con un total aproximado de 120 intervenciones por fallas de varilla y servicios de bomba.
- ◆ **ESP.** Desde marzo y hasta la fecha el sistema ESP esta actualmente corriendo.

2.4 TELLO-34

2.4.1 Generalidades:

- ◆ Fecha Perforación: **Mar 20, 1983**
- ◆ Fecha de Completamiento: **Abr 21, 1983**
- ◆ TD: **8262 ft.** TVD: **8259.53 ft.** DLS máx : **0.82** a una profundidad de 8100 ft.
- ◆ Pozo **Vertical.**
- ◆ Perforó zona de interés 7698-7926ft con lodo: Semidisperso/polímero. Profundidad (ft): 7645-7928-8046. Peso (lb/gal): 9.1-9.1-9.1. Viscosidad (SEG.): 45-44-46. Filtrado (cc): 5.0-5.2-5.0. pH: 9.5-9.5-9.5. Cloruros (ppm): 300-320-320. Calcio (ppm): 60-50-50. Contenido de sólidos: 9% (retorta). Contenido de arena: 1/4 %. Hueco de superficie 12 1/4plg a 2014ft.

2.4.2 Propiedades del fluido

OIL GRAVITY	19.5	°API	
WATER CUT	55.18	%	
WATER SPECIFIC GRAVITY	1.04	REL. TO FRESH WATER	
GAS SPECIFIC GRAVITY	0.8	REL. TO AIR	
PRODUCING GAS-OIL RATIO	435	SCF/BBL	
SOLUTION GAS-OIL RATIO	113	SCF/BBL @ BUBBLE PRESSURE	
BUBBLE POINT PRESSURE	874	PSIG	
DEAD OIL VISCOSITY	31.72	CPS @ TEMPERATURE	146
DEAD OIL VISCOSITY	22.71	CPS @ TEMPERATURE	170
BOTTOM HOLE TEMPERATURE	170	°F	
SURFACE TEMPERATURE	146	°F	

2.4.3 Impurezas del gas

N₂ % H₂S % CO₂ %

2.4.4 Información del pozo y reservorio.

WELL TYPE	VERT	(VERT, HORIZ, MULTILAT)
STATIC PRESSURE	518	PSIG
DATUM TVD	7400	FT
PERFORATIONS TVD	7400	FT
LIQUID PRODUCTIVITY INDEX	2.58	BBL/D/PSI
BOTTOM HOLE FLOWING PRES. (BHP)	NA	PSIG
LIQUID FLOW RATE AT BHP	NA	BBL/D
MAX DOG LEG	0.82	DEG/100 FT

2.4.5 Problemas especiales (presencia de):

SAND SI SCALE SI CORROSION NO

2.4.6 Estado Mecánico

Tabla 10. Completamiento pozo Tello-34.

Apr 14 ,1983							
Tipo de Cañón	Diámetro	Densidad	Carga	Balance	Fluido	Formación	Intervalo
Casing Gun	4	4	0	Salmuera 3% KCL		B3	7816-7823
Casing Gun	4	4	0	Salmuera 3% KCL		B2,B3	7748-7794
Casing Gun	4	4	0	Salmuera 3% KCL		B2	7698-7734
Casing Gun	4	4	0	Salmuera 3% KCL		TE-C	7902-7926
Casing Gun	4	4	0	Salmuera 3% KCL		UNCBH	7584-7890

Fuente: ECOPETROL

2.4.7 Antecedentes de levantamiento artificial.

- ◆ **Bombeo Mecánico.** En abril de 1983 hasta agosto del mismo año se instala unidad de Bombeo mecánico como sistema de levantamiento artificial, con ningún tipo de servicio entre este lapso de tiempo, pero al realizar el "pulling" del equipo se encuentra con la bomba y válvulas en mal estado. Nuevamente se utiliza este sistema desde el 21 de octubre de 1984 hasta agosto de 2001; con un total aproximado de 95 intervenciones principalmente por falla en varillas.
- ◆ **Gas lift.** El 5 de agosto de 1983 se realiza cambio de levantamiento artificial de bombeo mecánico a gas lift con un total de 11 mandriles. Pero en octubre de 1984 se cambia nuevamente a bombeo mecánico. Se realizaron solamente 2 intervenciones debido a fallas en las válvulas de inyección del gas.
- ◆ **ESP.** A partir de agosto de 2001 hasta la actualidad se cambia de bombeo mecánico a ESP, donde se han tenido 5 intervenciones por fallas en el equipo por problemas en su operación causada por las condiciones en que fué expuesto. En la siguiente tabla se muestran las fechas en que se realizaron dichas intervenciones con su respectiva causa, pero lo primordial que se quiere expresar, es el tiempo en que duró el equipo funcionando.

Tabla 11. Histórico ESP en pozo Tello-34.

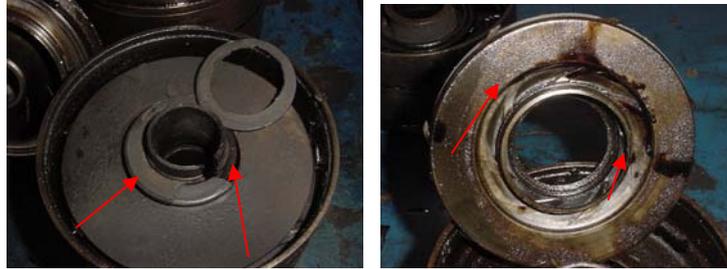
Pozo	Run#	Fecha Inst	Fecha Pull	Runlife (días)	Causa raíz	Particularización de la Causa	Equipo afectado
Tello-34	1	05-ago-01	15-jul-02	344	Arena / Abrasiva	Formación de arena	Bomba
Tello-34	2	17-jul-02	08-jun-03	326			
Tello-34	3	13-jun-03	18-ago-05	797	Bajo aislamiento	Bajo aislamiento	NA
Tello-34	4	23-ago-05	21-ene-07	515	Scale	Desconocido	Bomba
Tello-34	5	21-ene-07	10-jul-07	169	Workover		NA
Tello-34	6	13-jul-07		40			

Fuente: Baker Hughes

Se puede observar que ningún conjunto de equipos ha estado funcionando más del tiempo estimado de vida útil (860 días). En las siguientes fotografías de los equipos de la corrida 1 y 4, la causa raíz de la falla fue debida a la abrasión por presencia de arena y por scale, se muestran las condiciones en que el equipo quedó después de un tiempo prematuro en su uso.

Corrida 1

Figura 24. Estado del equipo ESP por presencia de arena en la corrida 1 del pozo Tello-34.



Fuente: Baker Hughes

Se pueden ver claramente las etapas cubiertas de scale y el desgaste severo en upthrust, algunas etapas muy afectadas y otras prácticamente intactas debido a la acumulación de scale en ellas.

Figura 25 Contenido de scale dentro de la bomba usada en la corrida 1 del pozo Tello-34.



Fuente: Baker Hughes

Corrida 4

Figura 26. Estado de las etapas de la bomba debido a la presencia de scale y sólidos en la corrida 4 del pozo Tello-34.



Fuente: Baker Hughes

Difusor con gran cantidad de scale y sólidos compactados en su superficie

2.5 TELLO-35A

2.5.1 Generalidades:

- ◆ Fecha Perforación : Mayo 31, 1998
- ◆ Fecha Completamiento: Jun. 14, 1998
- ◆ TD : 9571 ft. TVD: 8792.75 ft.

- ◆ DLS máx : 4.41 a una profundidad de 9214 ft
- ◆ Pozo **Vertical**, con desviación al final del pozo (ver sección vertical del pozo). Por tal motivo algún tipo de levantamiento artificial que utilice sarta de varillas será inapropiado.

2.5.2 Propiedades del fluido

OIL GRAVITY	19.8	°API	
WATER CUT	77.5	%	
WATER SPECIFIC GRAVITY	1.04	REL. TO FRESH WATER	
GAS SPECIFIC GRAVITY	0.8	REL. TO AIR	
PRODUCING GAS-OIL RATIO	134	SCF/BBL	
SOLUTION GAS-OIL RATIO	134	SCF/BBL @ BUBBLE PRESSURE	
BUBBLE POINT PRESSURE	853	PSIG	
DEAD OIL VISCOSITY	33.93	CPS @ TEMPERATURE	137
DEAD OIL VISCOSITY	18.66	CPS @ TEMPERATURE	180
BOTTOM HOLE TEMPERATURE	180	°F	
SURFACE TEMPERATURE	137	°F	

2.5.3 Impurezas del gas

N₂ % H₂S % CO₂ %

2.5.4 Información del pozo y reservorio.

WELL TYPE	VERT	(VERT, HORIZ, MULTILAT)
STATIC PRESSURE	1100	PSIG
DATUM TVD	8050	FT
PERFORATIONS TVD	7925	FT
LIQUID PRODUCTIVITY INDEX	1.395	BBL/D/PSI
BOTTOM HOLE FLOWING PRES. (BHP)	NA	PSIG
LIQUID FLOW RATE AT BHP	NA	BBL/D
MAX DOG LEG	4.41	DEG/100 FT

2.5.5 Problemas especiales (presencia de):

SAND SCALE CORROSION

2.5.6 Estado Mecánico

Tabla 12. Completamiento del pozo Tello-35A.

Jun. 14 ,1998

Tipo de Cañón	Diámetro	Densidad	Carga	Balance	Fluido	Formación	Intervalo
TCP	4.625	6	0		Crudo Filtrado	B2	8390- 8338
TCP	4.625	6	0		Crudo Filtrado	B3	8430- 8400
TCP	4.625	6	0		Crudo Filtrado	C	8550- 8535
TCP	4.625	6	0		Crudo Filtrado	C	8643- 8600
TCP	4.625	6	0		Crudo Filtrado	B3	8681- 8655

Fuente: ECOPETROL

2.5.7 Antecedentes de levantamiento artificial.

- ◆ **ESP.** Desde el 19 de junio de 1998 el sistema ESP ha sido el único tipo de levantamiento artificial utilizado en este pozo; y desde entonces se han realizado 11 intervenciones para el arreglo o rediseño del equipo. En tabla 13, se muestran en resumen dichas intervenciones y con sus respectivas fechas, razones y "runlife".

Tabla 13. Histórico ESP en pozo Tello-35A.

Pozo	Run#	Fecha Inst	Fecha Pull	Runlife (días)	Causa raíz	Particularización de la Causa	Equipo afectado
Tello-35A	1	19-jun-98	09-oct-98	112	Arena / Abrasiva	Formación de arena	Pump
Tello-35A	2	11-oct-98	04-ene-99	85	Scale	Carbonato de calcio	
Tello-35A	3	06-ene-99	02-mar-99	55	Arena / Abrasiva	Formación de arena	Power Cable
Tello-35A	4	04-mar-99	22-sep-99	202	Workover	Formación de arena	NA
Tello-35A	5	25-sep-99	02-nov-99	38			Válvula check
Tello-35A	6	04-nov-99	10-abr-00	158	Workover	Carbonato de calcio	NA
Tello-35A	7	29-abr-00	24-jul-00	86	Workover	Tratamiento Squeeze	NA
Tello-35A	8	26-jul-00	28-feb-02	582	Baja producción	Squeeze causa daño	Casing/Tubing/Piping
Tello-35A	9	02-mar-02	06-may-03	430			
Tello-35A	10	07-may-03	04-jul-06	1152	Arena / Abrasiva	Formación de arena	Gas Separator
Tello-35A	11	06-jul-06		412			

Fuente: Baker Hughes

Figura 27. Faldón del impulsor con desgaste moderado, corrida 10 del pozo Tello-35A.



Fuente: Baker Hughes

El desgaste fue causado por la operación de la bomba en Downthrust severo debido al peso que adicionó el contenido de arena en la bomba

Figura 28. Agujeros con desgastes moderados por presencia de sólidos, corrida 10 del pozo Tello-35A.



Fuente: Baker Hughes

Desgaste en la entrada del Intake, debido al flujo de partículas erosivas.

2.6 TELLO-54ST

2.6.1 Generalidades:

- ◆ Fecha Inicio Perforación : Mayo 10, 2000
- ◆ Fecha nueva perforación: Septiembre 8, 2000

- ◆ Fecha Completamiento: **Septiembre 28, 2000**
- ◆ TD : **9594 ft.** TVD: **7694.33 ft.** DLS máx : **8.03** a una profundidad de 8342 ft
- ◆ Pozo **Vertical**, con poca desviación al final del pozo (ver sección vertical del pozo). Por tal motivo algún tipo de levantamiento artificial que utilice sarta de varillas será inapropiado.

2.6.2 Propiedades del fluido

OIL GRAVITY	20.4	°API	
WATER CUT	77.5	%	
WATER SPECIFIC GRAVITY	1.04	REL. TO FRESH WATER	
GAS SPECIFIC GRAVITY	0.742	REL. TO AIR	
PRODUCING GAS-OIL RATIO	110	SCF/BBL	
SOLUTION GAS-OIL RATIO	102	SCF/BBL @ BUBBLE PRESSURE	
BUBBLE POINT PRESSURE	845	PSIG	
DEAD OIL VISCOSITY	24.79	CPS @ TEMPERATURE	133
DEAD OIL VISCOSITY	9.612	CPS @ TEMPERATURE	175
BOTTOM HOLE TEMPERATURE	175	°F	
SURFACE TEMPERATURE	133	°F	

2.6.3 Impurezas del gas

N₂ % H₂S % CO₂ %

2.6.4 Información del pozo y reservorio.

WELL TYPE	VERT	(VERT, HORIZ, MULTILAT)
STATIC PRESSURE	895	PSIG
DATUM TVD	7233	FT
PERFORATIONS TVD	7256	FT
LIQUID PRODUCTIVITY INDEX	3.0	BBL/D/PSI
BOTTOM HOLE FLOWING PRES. (BHP)	NA	PSIG
LIQUID FLOW RATE AT BHP	NA	BBL/D
MAX DOG LEG	8.03	DEG/100 FT

2.6.5 Problemas especiales (presencia de):

SAND SCALE CORROSION

2.6.6 Estado Mecánico

Tabla 14. Completamiento del pozo Tello-54ST.

Sep 28 ,2000							
Tipo de Cañón	Diámetro	Densidad	Carga	Balance	Fluido	Formación	Intervalo
TCP	3.375	6	RDX	400	Crudo	B1	8090-8360
TCP	3.375	6	RDX	400	Crudo	B1	8415-8490
TCP	3.375	6	RDX	400	Crudo	B2	8720-8990
TCP	3.375	6	RDX	400	Crudo	B2	9060-9290

Fuente: ECOPETROL

2.6.7 Antecedentes de levantamiento artificial.

- ◆ **ESP.** A partir del 2 de octubre de 2000 el sistema ESP ha sido el único tipo de levantamiento artificial utilizado en este pozo. En la tabla siguiente se muestra en resumen dichas intervenciones y con sus respectivas fechas, razones y "runlife".

Tabla 15. Histórico ESP en pozo Tello-54ST.

Pozo	Run#	Fecha Inst	Fecha Pull	Runlife (días)	Causa raíz	Particularización de la Causa	Equipo afectado
Tello-54ST	1	02-oct-00	24-abr-02	569	Arena / Abrasiva	Scale	Motor
Tello-54ST	2	29-abr-02	18-feb-04	659	Rediseño	Well changed	NA
Tello-54ST	3	21-feb-04		1278			

Fuente: Baker Hughes

Evidencia de las fallas prematuras en la bomba centrífuga causadas por presencia de arena y de scale se muestran en las siguientes fotos, las cuales fueron tomadas 30 de abril de 2002, para el reporte de fallas entregada por Baker Hughes a la empresa operadora.

Corrida 1

Figura 29. Estado de la bomba centrífuga debido a scale y sólidos en corrida 1 del pozo Tello-54ST



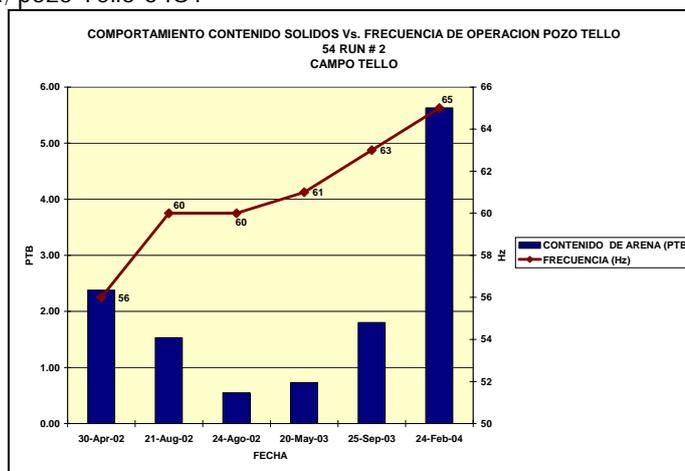
Fuente: ECOPETROL

Las bombas presentan taponamiento en un 100% de su área de flujo disponible.

Para evitar que sucediera lo mismo con el siguiente equipo a instalar, se tuvo que disminuir la velocidad de la bomba centrífuga para impedir que el arrastre de arena fuese mayor y como consecuencia se sacrificó parte del caudal de producción.

Este es un problema típico que presenta la bomba centrífuga, para demostrarlo el siguiente grafico muestra con valores este comportamiento, el cual fue realizado con el equipo correspondiente de la corrida 2. A pesar que se realizó dicho estudio y prevenciones, nuevamente hubo falla prematura de la bomba.

Figura 30. Comportamiento del contenido de sólidos de acuerdo con la frecuencia de operación de la bomba centrífuga; pozo Tello-54ST



Fuente: ECOPETROL

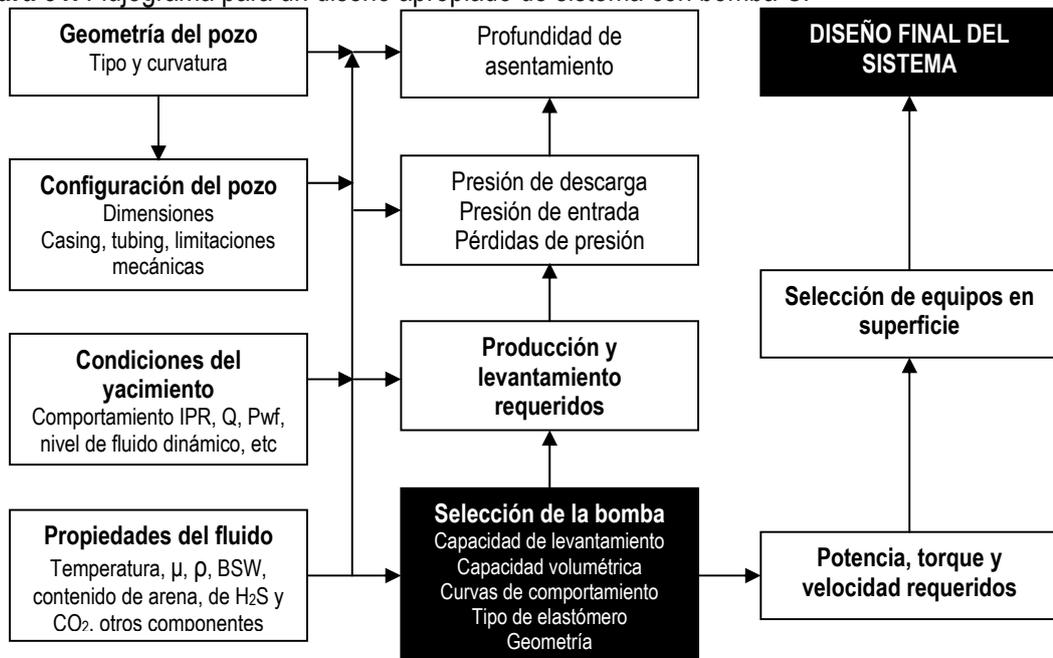
3. DISEÑO DEL EQUIPO ESPCP

El diseño de una instalación de bombeo ESPCP, con motor electrosomergido y bomba de cavidades progresivas, al igual que otros métodos de levantamiento artificial, no es una ciencia exacta e involucra un gran número de factores. El procedimiento varía considerablemente con las condiciones del pozo y con los fluidos que van a ser bombeados. Es muy importante obtener información detallada acerca del estado mecánico del pozo, la historia de la producción y las condiciones del yacimiento. La obtención de buenos datos acerca de estas condiciones antes de realizar el diseño es esencial para un diseño exitoso.

3.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS ESPCP.

Los sistemas con bombas de cavidades progresivas son extremadamente flexibles en términos de su habilidad para trabajar efectivamente en diversos rangos de operación. Sin embargo, su éxito en cada aplicación particular requiere que los componentes del sistema sean compatibles con las condiciones del pozo y con el ambiente de operación. Un procedimiento de diseño que tome en cuenta ambos grupos de consideraciones, tendrá mayor probabilidad de éxito si se utiliza un criterio de selección de componentes acorde a las limitaciones que ellas ofrecen. En la figura 31 se muestra un flujograma general para el diseño apropiado de sistemas ESPCP.

Figura 31. Flujograma para un diseño apropiado de sistema con bomba CP



Fuente: Autores

Una vez que el equipo ESPCP ha sido diseñado correctamente y su operación ha sido monitoreada adecuadamente, el equipo instalado empieza a ser relativamente económico y libre de problemas. Muy frecuentemente se utilizan los datos de otros pozos en el mismo campo o en un área cercana, suponiendo que los pozos del mismo horizonte de producción tendrán características similares. Desafortunadamente para el ingeniero que debe diseñar, los pozos de petróleo son como huellas digitales, es decir, no hay dos que sean iguales. A continuación se halla la lista de datos requeridos para un buen diseño de un equipo ESPCP:

Datos del Pozo.

- ◆ Tamaño de la tubería de revestimiento y su peso.
- ◆ Profundidad de asentamiento de la tubería de revestimiento (vertical y medida).
- ◆ Tamaño, tipo y conexión de la tubería de producción (nueva o usada).
- ◆ Intervalo de perforaciones del pozo, con disparos o abierto.
- ◆ Profundidad de asentamiento de la bomba, (medida y vertical).

Datos de Producción.

- ◆ Presión de la tubería de producción en la cabeza del pozo.
- ◆ Presión en la tubería de revestimiento en la cabeza de pozo.
- ◆ Nivel de producción de ensayo del pozo.
- ◆ Nivel de fluido y/o presión de fondo fluyente.
- ◆ Nivel de fluido estático y/o presión estática de fondo de pozo.
- ◆ Profundidad de referencia.
- ◆ Temperatura en el fondo del pozo.
- ◆ Caudal de flujo deseado.
- ◆ Relación gas - aceite (prod GOR y Rs).
- ◆ Presión del punto de burbuja.
- ◆ Corte de agua.

Condiciones del Fluido del Pozo.

- ◆ Gravedad específica del agua.
- ◆ Gravedad específica o API del petróleo.
- ◆ Gravedad específica del gas.
- ◆ Presión del punto de burbuja del gas.
- ◆ Viscosidad del petróleo.
- ◆ Datos PVT.

Fuente de Energía.

- ◆ Voltaje primario disponible.
- ◆ Frecuencia.
- ◆ Capacidad de la fuente de potencia.

Posibles Problemas.

- ◆ Arena.
- ◆ Carbonatos.
- ◆ Corrosión.
- ◆ Parafina.

- ◆ Emulsión.
- ◆ Gas.
- ◆ Alta temperatura.

3.2 DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO ESPCP RECOMENDABLE, POR POZO.

Ahora, teniendo en cuenta los parámetros y condiciones anteriormente mencionadas y otras mas que se mencionarán en el momento indicado, las cuales son definidas debido al inventario y/o tecnología con que cuenta Baker Hughes Centrilift a disposición en Colombia; se diseñará la mejor combinación de equipos a instalar para cada pozo con la ayuda del software **AutroraphPC**, herramienta utilizada para la selección de equipos para sistemas PCP, ESPCP y ESP.

Procedimiento para el diseño.

Para el diseño manual del equipo, el medio de selección es simple y directo; donde el siguiente procedimiento se puede utilizar paso a paso:

- I. Obtener y analizar los datos disponibles.
- II. Determinar la capacidad de producción, la profundidad de asentamiento de la bomba y la presión en la entrada de la bomba requeridas para el pozo. Si se conocen el caudal de flujo deseado y la profundidad de asentamiento de la bomba, la presión de entrada a la bomba para el caudal de flujo deseado puede ser calculada en base a la relación del comportamiento de afluencia del pozo. Por otro lado, se puede establecer el caudal óptimo para una profundidad de asentamiento de la bomba dada, graficando la presión de fondo del pozo fluyente (o el nivel del fluido) en función del caudal de flujo.
A menos que haya condiciones de operación especiales, la bomba al igual que las bombas electrocentrífugas; se sitúa generalmente cerca de las perforaciones, en la parte superior. La reducción de la presión en el pozo puede estar limitada a un punto en donde la presión de fondo de pozo fluyente a la profundidad de entrada de la bomba sea mayor que la presión del punto de burbuja del fluido; esto se podrá hacer para evitar la interferencia de gas. En algunos casos (por ejemplo: en pozos de agua de alta producción), los requerimientos de presión de entrada a la bomba pueden llegar a ser el factor limitante. En pozos con alta producción de gas, la presión de entrada a la bomba puede ser limitada por la cantidad de gas y la presión de burbuja del fluido.
- III. Calcular la altura de columna dinámica total requerida (TDH, de las siglas en Inglés), que es igual a la sumatoria del levantamiento neto (la distancia vertical desde el nivel del fluido producido hasta la superficie), la pérdida por fricción en la tubería de producción medida en pies y la presión de descarga en el tubing, en la cabeza del pozo, todo expresado en términos de altura de columna del fluido que está siendo producido.
- IV. Basándose en las curvas de desempeño de la bomba, seleccionar un tipo de bomba de manera tal que el diámetro exterior del mismo quepa dentro de la tubería de revestimiento

del pozo y que la tasa de producción deseada se ubique dentro del rango de capacidad recomendado de la bomba.

- V. Con base en la información técnica proporcionada por el proveedor, se debe seleccionar el tamaño adecuado y el modelo de la caja reductora y la sección sello; determinando sus requerimientos de potencia. Posteriormente se debe seleccionar un motor que sea capaz de entregar los requerimientos de potencia total para la bomba y la sección sello. El motor seleccionado debe ser lo suficientemente grande para soportar la carga máxima sin sobrecargarse.
- VI. Utilizando los datos técnicos proporcionados por el fabricante de la bomba de cavidades progresivas determinar si se ha excedido alguna limitación de carga.
- VII. Seleccionar el tipo y tamaño del cable de potencia en base a la corriente del motor, la temperatura del conductor y las limitaciones de espacio. Calcular el voltaje de superficie y los requerimientos de KVA.
- VIII. Equipo de superficie.

3.2.1 Diseño Tello-10

I. Recolección y Análisis de los Datos Disponibles

Este es el primer paso y el más importante en la selección del equipo de bombeo de cavidades progresivas la información obtenida del análisis tendrá un efecto significativo en la selección, lo mismo que en el rendimiento real del equipo. Por lo tanto, la importancia de éste paso no puede ser limitada; y desafortunadamente, es común que se le preste poca atención a la recolección y análisis adecuado de los datos.

Datos del Pozo:

Tubería de Revestimiento -- 7 pulgadas de diámetro exterior, peso 23 lbs/pie

Tubería de producción -- 3.5 pulg. de diámetro exterior, peso 9.3 lbs/pie

Intervalo de perforaciones -- 7474 a 7482 pies de profundidad (vertical).

Profundidad de asentamiento de la bomba -- 7370 pies (medido y vertical).

Datos de Producción:

Presión de tubería. de producción en cabeza de pozo -- 110 psi

Caudal de ensayo -- $Q = 1583$ BPD

Prof. de referencia (Datum) -- 7476 pies.

Presión de fondo fluyente de ensayo -- $P_{wf} = 443$ psi

Presión de fondo estática -- $P_r = 1400$ psi

Temperatura de fondo de pozo -- BHT = 180 °F

Relación gas petróleo -- 168 scf/STB

Corte de agua -- W.C. = 93.44%

Producción deseada -- 1456 stb/d (tanque)

Condiciones del Fluido del Pozo:

Peso específico del agua -- 1.004

Gravedad API del aceite -- 20.1° (0.933)

Peso específico del gas -- 0.8

Punto de burbuja del gas -- No se conoce
 Viscosidad del aceite -- No se conoce

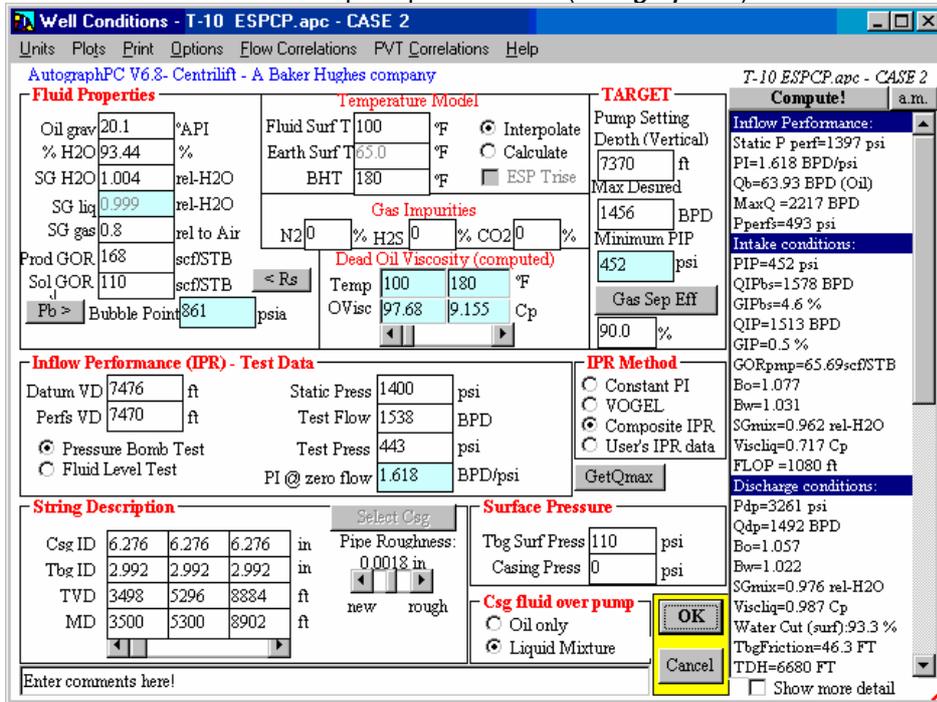
Suministro de Energía Eléctrica:

Voltaje primario disponible – 7,200 / 12,470 volts de 13,4 Kv @ 34,5 Kv
 Frecuencia -- 60 Hz
 Capacidad de la fuente de energía -- Sistema estable

Análisis

Como el corte de agua es muy alto (alrededor del 94%), no se esperan problemas de emulsión. Además, se pueden utilizar tablas de pérdida por fricción para el agua (se pueden ignorar los efectos de la viscosidad del aceite). La pantalla de condiciones del pozo extraída del AutographPC (figura 32) muestra la forma en la que los datos del pozo son ingresados al programa y los resultados de los cálculos necesarios para seleccionar la bomba adecuada para la información del pozo. A continuación seguiremos el proceso manual para diseñar un equipo electrosumergible.

Figura 32. Pantalla de información del pozo para Tello-10 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

II. Determinar la Presión de Entrada de la Bomba (PIP):

En este caso, el caudal de flujo deseado y la profundidad de asentamiento de la bomba son dados. La presión de entrada de la bomba al flujo deseado puede ser calculada a partir de las condiciones de producción presentes. Como el corte de agua es muy alto, el índice de productividad constante dará, muy probablemente, resultados satisfactorios. Cálculo del Índice de productividad (PI constante)

$$PI = \frac{Q}{P_r - P_{wf}}$$

Donde:

Q = Caudal de prueba

P_r = Presión Estática del yacimiento

P_{wf} = Presión Fluyente o Dinámica al caudal Q

$$PI = \frac{1538 \text{ bpd}}{1400 \text{ psi} - 443 \text{ psi}} \quad PI = 1.607 \text{ bpd / psi}$$

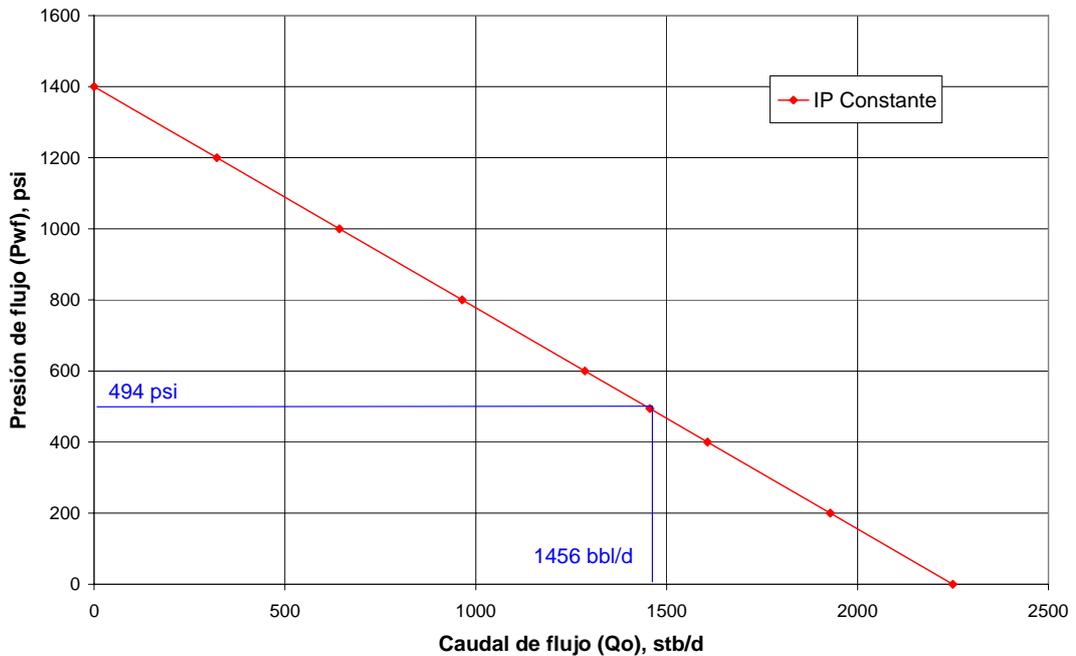
El caudal máximo de producción del pozo (a P_{wf} = 0 psi) es el siguiente:

$$Q_{\text{max}} = PI * (\bar{P}_r - 0) \quad Q_{\text{max}} = 1.607 * (1400 \text{ psi} - 0) \quad Q_{\text{max}} = 2250 \text{ bbl/d}$$

Luego, hallar la presión fluyente del pozo (P_{wfd}) al caudal deseado 1456 bpd (Q_d):

$$P_{\text{wf}} = \bar{P}_r - \left(\frac{Q_d}{PI} \right) \quad P_{\text{wf}} = 1400 \text{ psi} - \left(\frac{1456 \text{ bpd}}{1.607 \text{ bpd/psi}} \right) \quad P_{\text{wf}} = 494 \text{ psi}$$

Figura 33. Curva del comportamiento del pozo Tello-10



Fuente: Autores

La presión de entrada de la bomba se puede determinar corrigiendo la presión de fondo fluyente del pozo por la diferencia entre la profundidad de asentamiento de la bomba y la profundidad de referencia y considerando la pérdida por fricción en el espacio anular de la tubería de revestimiento.

Como la bomba está asentada sobre las perforaciones, la pérdida por fricción debido al flujo en el revestimiento desde las perforaciones hasta la profundidad de asentamiento de la bomba será despreciable en comparación con la presión dinámica y puede ser ignorada. Además, como hay

agua y aceite en el fluido producido, es necesario calcular la gravedad específica compuesta de los fluidos producidos. La gravedad del fluido es:

$$(SG_L) = (SG_{\text{Petróleo}} * \% \text{Petróleo}) + (SG_{\text{Agua}} * \% \text{Agua})$$

$$(SG_L) = (0.933 * 0.0656) + (1.004 * 0.9344) = 0.999$$

La diferencia entre la profundidad de referencia (7470') y la profundidad de asentamiento de la bomba (7370') es de 100 pies. Para calcular la presión de entrada de la bomba (PIP) podemos convertir esta diferencia de 100 pies a psi y restarla de la presión de flujo del pozo (P_{wf}), calculada anteriormente para el caudal deseado de 1456 bpd:

$$PIP = P_{wf} - \left(\frac{(\text{Prof. de referencia} - \text{Prof. de la bomba}) * SG_L}{2.31 \text{ ft/psi}} \right)$$

$$PIP = 171.8 \text{ psi} - \left(\frac{(7470 \text{ ft} - 7370 \text{ ft}) * 0.999}{2.31 \text{ ft/psi}} \right)$$

$$PIP = 450.76 \text{ psi}$$

III. Columna Dinámica Total (TDH)

Es la altura total requerida para bombear la capacidad de fluido deseada. Esta altura hace referencia al trabajo requerido para levantar una columna vertical de fluido determinada, desde la descarga de la bomba hasta la superficie. La columna dinámica total se calcula de la siguiente forma:

$$TDH = H_d + F_t + P_d$$

- H_d . Distancia vertical entre la cabeza del pozo y nivel estimado de producción.

$$H_d = \text{Prof. vertical de la bomba} - \left(\frac{PIP * 2.31 \text{ ft/psi}}{SG_L} \right)$$

o también:

$$H_d = \text{Prof. vertical de referencia} - \left(\frac{P_{wf} * 2.31 \text{ ft/psi}}{SG_L} \right)$$

$$H_d = 7470 \text{ ft} - \left(\frac{494 * 2.31 \text{ ft/psi}}{0.999} \right) \quad H_d = 6328.1 \text{ ft}$$

- F_t . Pérdida por fricción en la tubería. Se determina usando la fórmula Hazen - Williams o la figura 34 para T.P. usada de 3.5 " a 1456 BPD (12 ft/1.000).

$$F_t = \frac{7370 \text{ ft} * 12 \text{ ft}}{1000 \text{ ft}} \quad F_t = 88.44 \text{ ft}$$

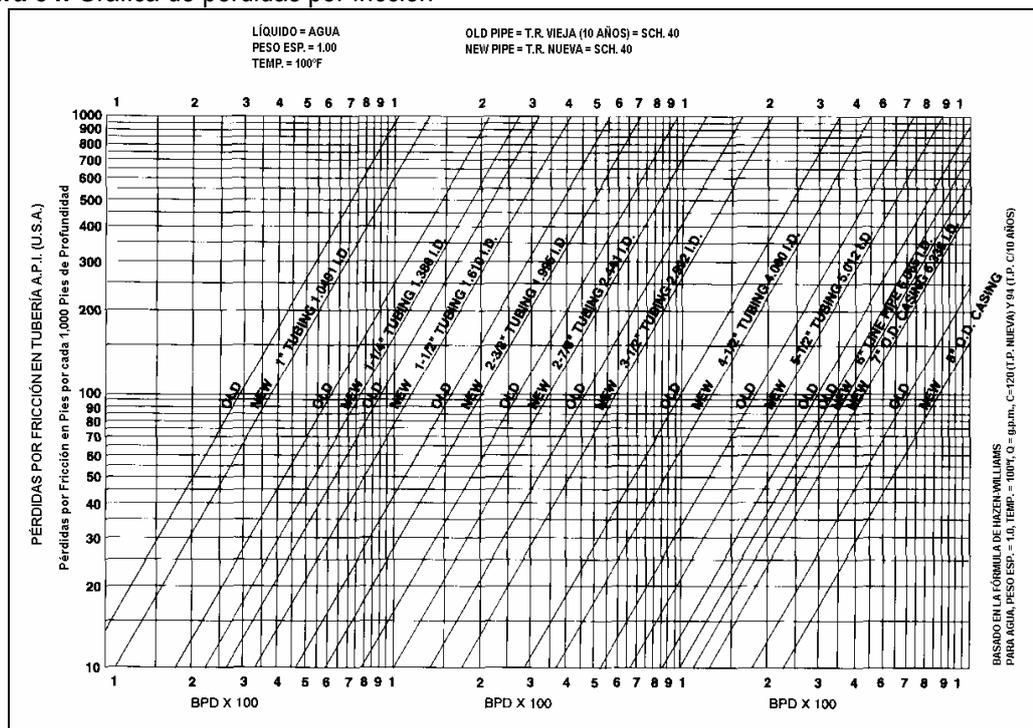
- P_d . Presión necesaria para superar la presión existente en la línea de flujo (presión deseada en la cabeza del pozo).

La presión de tubería en la cabeza de pozo requerida es 110 psi. Convirtiendo a altura de columna (pies):

$$P_d = \frac{\text{Presión (psi)} * 2.31 \text{ ft/ps}}{SG_L}$$

$$P_d = \frac{110 \text{ psi} * 2.31 \text{ ft/psi}}{0.999} \qquad P_d = 254.26 \text{ ft}$$

Figura 34. Gráfica de pérdidas por fricción



Fuente: Baker Hughes

En resumen: $H_d = 6328.1 \text{ ft}$
 $F_t = 88.44 \text{ ft}$
 $P_d = 254.26 \text{ ft}$

Columna Dinámica Total (TDH) = 6328.1 ft + 88.44 ft + 254.26 ft

TDH = 6670.78 pies

Con equivalencia en psi de

$$\text{Presión (psi)} = \frac{\text{TDH (ft)} * SG_L}{2.31 \text{ ft/psi}}$$

$$\text{Presión (psi)} = \frac{6670.78 \text{ ft} * 0.999}{2.31 \text{ ft/psi}} \qquad \text{Presión (psi)} = 2885.96 \text{ psi}$$

Tabla 16. Equipo ElectroPCP recomendable según algunos tipos de Casing.

T.R. APT DIÁM. EXT.	PESO		SERIE DE EQUIPO QUE ADAPTA				TAMAÑO MÁXIMO RECOMENDADO PARA CABLE REDONDO CON VARIOS TAMAÑOS DE T.P.									
	LB/PIE	KG/M	MOTOR	SECCIÓN SELLO	CAJA REDUCTORA	BOMBA CP LIFTEQ	API EXTERNAL			API						
							UPSET			NON-UPSET						
							2 /	2 /	3 /	2 /	2 /	3 /	4 /	5 /	7	
4 1/2" (114.3MM)	9.5 10.5 11.6	14.1 15.6 17.3	375	338	----	287	***			***						
5 1/2" (139.7MM)	* 20.0 17.0 15.5 14.0	29.9 25.3 23.0 20.7	375,450	338,400	425, 440	287,375	1	-	-	1	**6	-	-	-	-	-
							1	6	-	1	**4	-	-	-	-	-
							1	6	-	1	**2	-	-	-	-	-
							1	6	-	1	**2	-	-	-	-	-
6 5/8" (168.3MM)	28.0 26.0 24.0 20.0	41.7 38.7 35.8 29.9	375,450	338,400	440	375	1	1	6	1	1	**4	-	-	-	-
							1	1	**4	-	1	-	-	-	-	-
							1	1	**4	1	1	1	-	-	-	-
							1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
7" (177.8MM)	32.0 29.0 26.0 23.0 20.0 17.0	47.6 43.3 38.7 34.1 29.9 25.3	450,544, 562	400,513	525, 538	375, 513	1	1	2	1	1	1	-	-	-	-
							1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
							1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
							1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
							1	1	1	1	1	1	-	-	-	-

* PUEDE INSTALARSE CABLE PLANO TAMAÑO #1, #2 Y #4 CON T.P. DE TAMAÑO MAYOR EN T.R. DE 5-1/2", 6-5/8" Y 7" PARA REDUCIR TANTO LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA COMO LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN.

** SE RECOMIENDA INSTALAR ESTE TAMAÑO DE CABLE REDONDO CON 4 TUBOS DE MENOR DIÁMETRO SOBRE LA BOMBA.

*** SOLAMENTE CON CABLE PLANO SALVO SE UTILICE T.P. DE 2" CON CUERDA INTEGRAL.

IV. Tipo de Bomba:

Para la selección de una bomba CP se deben tener en cuenta ciertas variables que restringirán dicha selección. Entre ellas podemos nombrar a:

- Caudal a extraer
- Profundidad de la bomba
- Diámetro del casing
- Tipo de fluido (viscosidad, aromáticos, arena, % de agua)

La combinación de estas variables determinará:

- Diámetro, longitud, geometría (lóbulo simple, lóbulo múltiple)
- Tipo de elastómero

Otra variable de diseño y selección es la interferencia entre el rotor y estator (ajuste entre rotor y estator). Una apropiada selección de la interferencia puede ser considerada como una de las variables más importantes de la selección de una bomba CP, siendo esta en muchos casos la variable a mejorar para aumentar la vida útil del sistema.

Selección de la bomba CP

Como las bombas de cavidades progresivas son diseñadas para el manejo de un determinado caudal por RPM y una presión, por ejemplo:

130 – D – 1300

130 Indica que la bomba CP brinda 130 bfpd por cada 100 RPM

1300 Provee una presión de 1300 psi

D Serie de la bomba (indica diámetro)

Por lo tanto para los datos a considerar son:

- ◆ Diámetro exterior del mismo que quepa dentro de la tubería de revestimiento del pozo, Casing de 7" de OD, 26 lb/ft y 6.276" de ID.
- ◆ el caudal deseado, **1456 bbl/d**
- ◆ y la columna dinámica total (TDH), **6670.78 ft ó 2885.96 psi.**

Tabla 17. Listado Bombas de cavidades progresivas LIFTEQ series B y G con sus especificaciones.

Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	Bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
130-D-1300	21-D-90	1.30	0.21	1300	90	3170	1.000	37.9	83.6	2792	3.75	55.2	121.7	3.5 EUE 8rd ext
130-D-1800	21-D-124	1.30	0.21	1800	124	4082	1.000	48.8	107.7	3704	3.75	73.6	162.3	3.5 EUE 8rd ext
130-D-2300	21-D-158	1.30	0.21	2300	158	4994	1.000	59.8	131.8	4616	3.75	92.0	202.8	3.5 EUE 8rd ext
200-D-1300	32-D-90	2.00	0.32	1300	90	3778	1.000	41.2	90.8	3400	3.75	67.2	148.2	3.5 EUE 8rd ext
200-D-1800	32-D-124	2.00	0.32	1800	124	4918	1.000	53.6	118.2	4540	3.75	90.1	198.7	3.5 EUE 8rd ext
200-D-2300	32-D-158	2.00	0.32	2300	158	6058	1.000	66.0	145.6	5680	3.75	113.0	249.2	3.5 EUE 8rd ext
270-D-1300	43-D-90	2.70	0.43	1300	90	4898	1.000	53.4	117.7	4520	3.75	89.7	197.8	3.5 EUE 8rd ext
270-D-1800	43-D-124	2.70	0.43	1800	124	6458	1.000	70.4	155.3	6080	3.75	121.0	266.9	3.5 EUE 8rd ext
270-D-2300	43-D-158	2.70	0.43	2300	158	8373	1.000	91.3	201.3	7995	3.75	158.4	349.3	3.5 EUE 8rd ext
350-D-1300	56-D-90	3.50	0.56	1300	90	6018	1.000	65.6	144.7	5640	3.75	112.2	247.4	3.5 EUE 8rd ext
350-D-1800	56-D-124	3.50	0.56	1800	124	7998	1.000	87.2	192.3	7620	3.75	152.0	335.1	3.5 EUE 8rd ext
350-D-2300	56-D-158	3.50	0.56	2300	158	10333	1.000	112.7	248.4	9955	3.75	197.8	436.2	3.5 EUE 8rd ext
450-D-1300	72-D-90	4.50	0.72	1300	90	7618	1.000	83.1	183.1	7240	3.75	144.4	318.3	3.5 EUE 8rd ext
450-D-1800	72-D-124	4.50	0.72	1800	124	10553	1.000	115.1	253.7	10175	3.75	202.2	445.9	3.5 EUE 8rd ext
450-D-2300	72-D-158	4.50	0.72	2300	158	13133	1.000	143.2	315.7	12755	3.75	254.1	560.2	3.5 EUE 8rd ext
550-D-1300	87-D-90	5.50	0.87	1300	90	9413	1.000	102.6	226.3	9035	3.75	179.3	395.4	3.5 EUE 8rd ext
550-D-1800	87-D-124	5.50	0.87	1800	124	12533	1.000	136.6	301.3	12155	3.75	241.9	533.3	3.5 EUE 8rd ext
550-D-2300	87-D-158	5.50	0.87	2300	158	16008	1.000	175.0	386.0	15630	3.75	310.0	683.0	3.5 EUE 8rd ext
500-G-1300	80-G-90	5.00	0.79	1300	90	4563	1.125	78.9	173.9	4245	5.13	152.0	335.2	4.5 EUE 8rd ext
500-G-1800	80-G-124	5.00	0.79	1800	124	5983	1.125	103.9	229.0	5685	5.13	204.5	450.9	4.5 EUE 8rd ext
500-G-2300	80-G-158	5.00	0.79	2300	158	7423	1.125	128.9	284.2	7125	5.13	257.0	566.6	4.5 EUE 8rd ext
700-G-1300	111-G-90	7.00	1.11	1300	90	6063	1.125	105.3	232.1	5765	5.13	207.4	457.3	4.5 EUE 8rd ext
700-G-1800	111-G-124	7.00	1.11	1800	124	7905	1.125	137.3	302.6	7607	5.13	274.7	605.7	4.5 EUE 8rd ext
700-G-2300	111-G-158	7.00	1.11	2300	158	10483	1.125	182.0	401.3	10185	5.13	365.9	806.7	4.5 EUE 8rd ext
900-G-1300	143-G-90	9.00	1.43	1300	90	7583	PAC	131.7	290.3	7285	5.13	262.8	579.5	4.5 EUE 8rd ext
900-G-1800	143-G-124	9.00	1.43	1800	124	10563	PAC	183.4	404.4	10265	5.13	368.8	813.2	4.5 EUE 8rd ext
900-G-2300	143-G-158	9.00	1.43	2300	158	13143	PAC	228.2	503.2	12845	5.13	462.8	1020.4	4.5 EUE 8rd ext
1100-G-1300	175-G-90	11.00	1.75	1300	90	5934	PAC	162.9	359.1	5564	5.13	195.6	431.4	4.5 EUE 8rd ext
1100-G-1800	175-G-124	11.00	1.75	1800	124	7878	PAC	216.2	476.8	7508	5.13	264.7	583.7	4.5 EUE 8rd ext
1100-G-2300	175-G-158	11.00	1.75	2300	158	10196	PAC	279.8	617.0	9858	5.13	345.1	760.8	4.5 EUE 8rd ext
1400-G-1300	223-G-90	14.00	2.23	1300	90	11727	PAC	203.6	448.9	11429	5.13	411.2	906.7	4.5 EUE 8rd ext

Fuente: LIFTEQ

La series 375 y 513 son las bombas CP (marca LIFTEQ) de diámetros más grandes que entran en el revestimiento de 7", 26 libras/pies, con ID: 6.276". Las unidades de mayor diámetro serán generalmente la primera opción, ya que éstas para un determinado caudal son de una extensión menor.

El hecho de seleccionar las unidades de diámetro más grande tiene tres ventajas, estas son:

1. Con el diámetro del equipo disminuye su longitud.
2. Las unidades más grandes normalmente son menos costosas y
3. El fluido recorre el motor a más velocidad y la unidad funciona mejor refrigerada.

Basándose en la tabla 16, es recomendable utilizar bombas serie 375 y 513, es decir, con un OD de 3.75 " t 5.13" respectivamente. En la tabla 17 se encuentra la cantidad de bombas LIFTEQ que se tiene a disposición.

Como se ha mencionado con anterioridad, que las bombas de cavidades progresivas pueden trabajar entre 100 y 500 RPM; y como el caudal a manejar es de 1456 bfpd/RPM, las bombas para el diseño deben estar entre:

$$Q/RPM = \frac{1456 \text{ bfpd}}{100 \text{ RPM}} \approx 15 \text{ bfpd/RPM}$$

Ó

$$Q/RPM = \frac{1456 \text{ bfpd}}{500 \text{ RPM}} \approx 3 \text{ bfpd/RPM}$$

Es decir, como máximo de 15 bfpd/RPM y mínimo de 3 bfpd/RPM. Por lo tanto las bombas que no están dentro de dicho rango de diseño son (Ver características en Tabla 17):

130-D-XXXX
200-D-XXXX
270-D-XXXX

A continuación se entra a considerar cual de las que están dentro del rango del caudal tiene la menor longitud. Al volver a la tabla 17 vemos que no se encuentra ninguna que pueda brindar por encima el TDH de 2885.96 psi, las mas cercanas son de 2300 psi. Por lo tanto hay que determinar una nueva longitud a estos modelos para que pueda ofrecer el THP que se necesita. Es decir, un modelo de bomba a mayor longitud brinda una mayor presión.

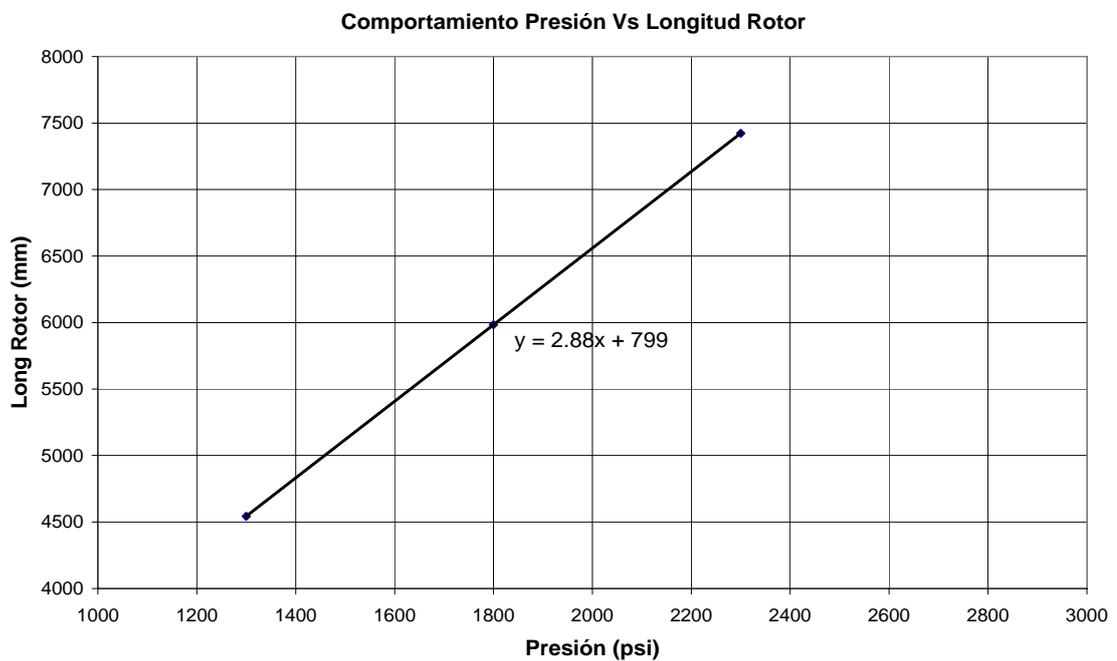
Comparando la longitud de todos los modelos de bombas CP LIFTEQ restantes, con presión de 2300, se tiene que la bomba **500-G-2300** posee la menor longitud del estator y rotor (7125 mm y 7423 mm respectivamente), por lo tanto si se desea aumentar su longitud para obtener los 2885.96 psi que se requiere, esta será la que tendrá la menor extensión.

Ya elegido el modelo de bomba mas indicada, se determinan las nuevas características para dicha bomba pero que soporte una presión mayor ya que no se cuenta con ella en el catálogo de bombas LIFTEQ; en este caso se evaluará para una presión de *3500 psi*, es decir, la bomba final será:

500 – G – 3500

Para tener una idea de las posibles extensiones del equipo ya que no se cuentan con especificaciones de este modelo de bomba y además el software no permite por ninguna forma extraer dicha información; se grafica el comportamiento de la Presión Vs Longitud Rotor, agregamos una línea de tendencia con su respectiva formula que me indique su comportamiento, y así determino las características para la nueva presión de manejo (3500 psi).

Figura 35. Comportamiento de la presión versus longitud del rotor con su ecuación.



Fuente: Autores

Extrapolando la el comportamiento del rotor versus presión; o con la ecuación que la rige, calculamos la Longitud del Rotor:

$$y = 2.88x + 799$$

$$y = 2.88\text{mm/psi} * (3500\text{psi}) + 799\text{mm} \quad \text{Longitud Rotor} = 10879\text{mm}$$

Para la longitud del Estator solo basta con restarle 298 mm a la longitud del rotor (esta cantidad adicional del rotor sólo corresponde para este modelo de bomba):

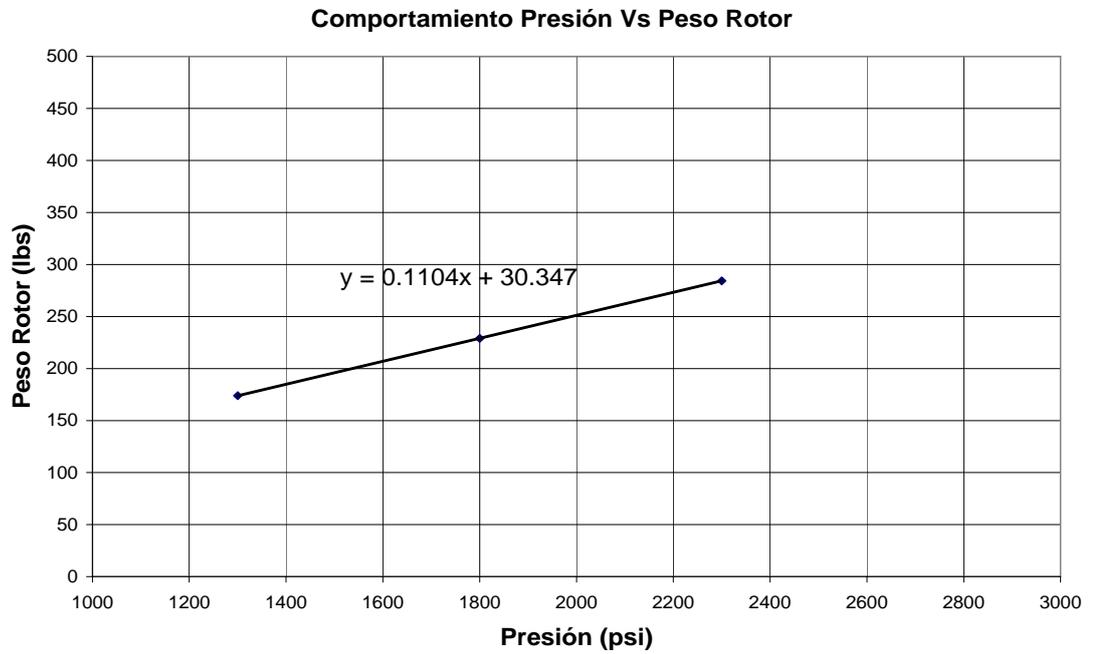
$$\text{Longitud Estator} = 10879\text{mm} - 298\text{mm} \quad \text{Longitud Estator} = 10581\text{mm}$$

Por consiguiente las longitudes de las partes del motor son:

$$\text{Longitud Rotor: } 10879 \text{ mm} \quad \text{Longitud Estator: } 10581 \text{ mm}$$

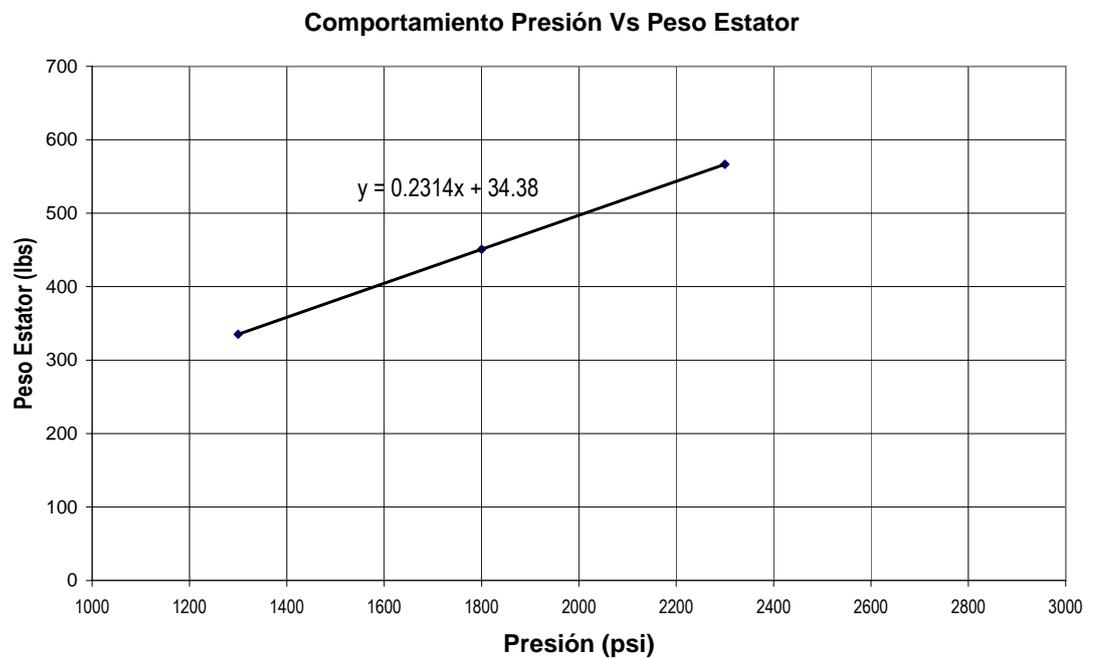
Se realiza el mismo procedimiento con el peso del rotor y estator.

Figura 36. Comportamiento de la presión versus peso del rotor con su ecuación.



Fuente: Autores

Figura 37. Comportamiento de la presión versus peso del estator con su ecuación.



Fuente: Autores

En conclusión la bomba indicada presenta aproximadamente las siguientes características:

Tabla 18. Características de la bomba CP diseñada para el pozo T-10.

Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
500-G-3500	80-G-241	5.00	0.79	3500	241	10879	1.125	190	419	10581	5.13	383	844.28	4.5 EUE 8rd ext

Fuente: LIFTEQ

Cálculo de la eficiencia volumétrica de la bomba y RPM de operación.

Para estimar la eficiencia volumétrica de la bomba 500-G-3500 se analiza la curva test, (ver figura 38) la línea de 300RPM se aproxima al caudal que queremos producir (Q = 1456bbl/d). Se puede observar que en cabeza de 6670.78 ft el caudal a 300RPM es de 1400bbl/d. Por otro lado el caudal a 300 RPM y 0 ft en cabeza es de 1500.

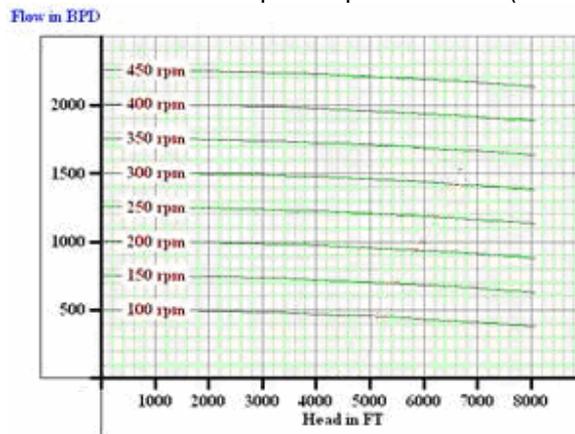
Si consideramos este último como caudal al 100% de eficiencia volumétrica, se podría estimar la eficiencia en las condiciones reales de operación:

$$\text{Efic}(\%) = \frac{1400 \text{ bfpd}}{1500 \text{ bfpd}} * 100 = 93 \%$$

Por lo tanto para estimar los RPM de operación es:

$$\text{RPM} = \frac{Q \text{ (bfpd)}}{C \text{ (bfpd/RPM)} * \text{Eficiencia}} = \frac{1456 \text{ (bfpd)}}{5,0 \text{ (bfpd/RPM)} * 0,93} = 313,11 \text{ RPM}$$

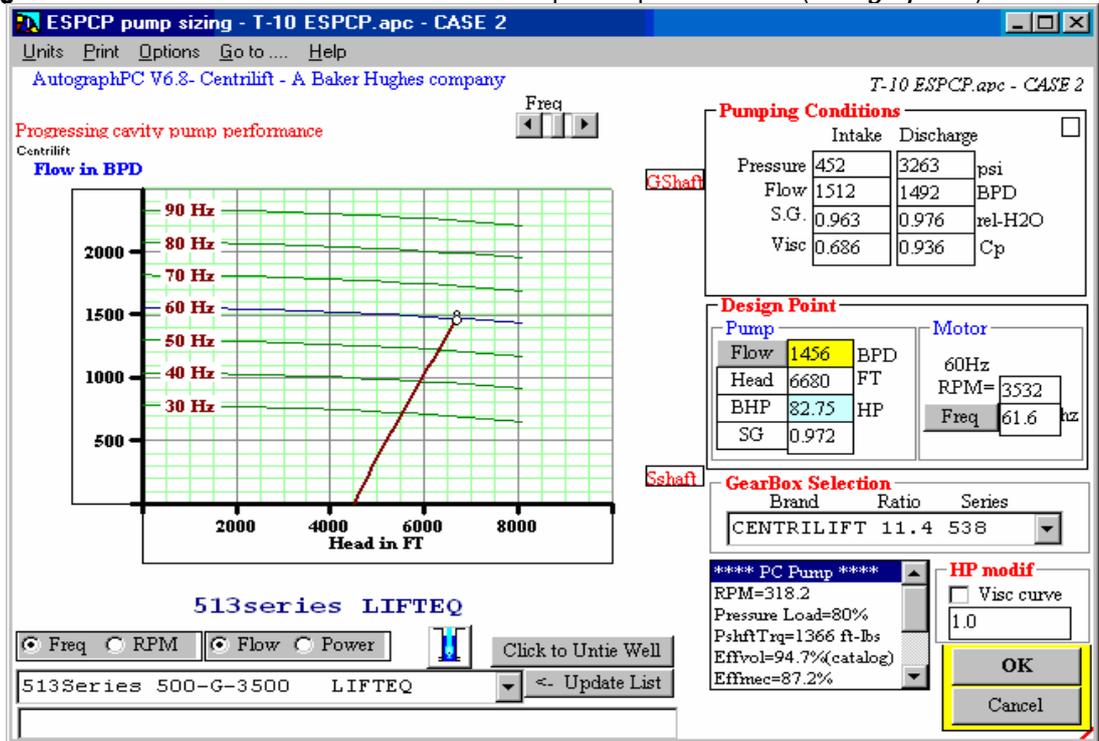
Figura 38. Test de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

En la siguiente figura extraída del autographPC, además de la curva de operación de la bomba y la ubicación de los Hz necesarios (61.6Hz); esta pantalla determina otros valores necesarios para completar el diseño. En la esquina superior derecha de la pantalla de la bomba se pueden observar las condiciones de entrada y descarga de la bomba (Presión, Caudal de flujo, gravedad específica y viscosidad).

Figura 39. Pantalla de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).



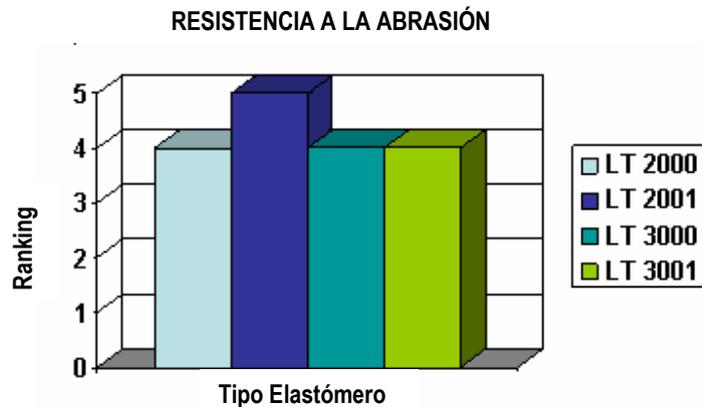
Fuente: AutographPC

Igualmente en la parte derecha inferior podemos observar que las RPM de operación son 318.2, es decir, difiere del cálculo manual en 5 RPM debido a la mayor exactitud que presenta el AutographPC.

Selección del elastómero.

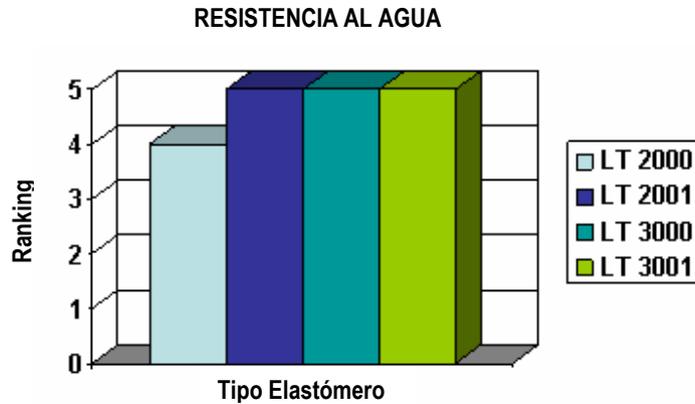
En la elección del elastómero de la bomba de cavidades progresivas para el caso actual, los factores más relevantes son el corte agua, la producción de arena y la alta temperatura.

Figura 40. Eficiencias cualitativas entre los modelos de elastómeros en condiciones de abrasión.



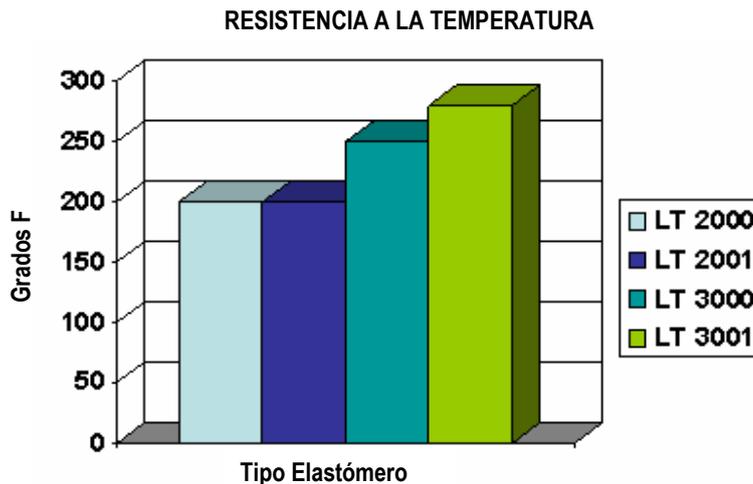
Fuente: Baker Hughes

Figura 41. Eficiencias cualitativas entre los modelos de elastómeros en condiciones de altos cortes de agua.



Fuente: Baker Hughes

Figura 42. Eficiencias cualitativas entre los modelos de elastómeros en condiciones de alta temperatura.



Fuente: Baker Hughes

Evaluando el ranking de comportamiento de cada tipo de elastómero mediante las figuras 40, 41 y 42; los elastómeros recomendables son LT3001, como el mejor; y LT3000 en segundo lugar; pero debido al inventario que cuenta Baker Hughes Centrilift en Colombia; el elastómero recomendable seleccionado para la bomba es:

LT 3000

Una vez seleccionada la bomba a usar, se prosigue a determinar el tipo de caja reductora, sello y motor que se usaran en combinación con la bomba. La pantalla del motor se puede integrar a la información del pozo y de la bomba por medio del botón "Click to tie" (ligar), permitiendo una solución iterada para el punto operativo de la bomba.

V. Caja reductora, sección sello y motor.

Cálculo de la potencia consumida.

Para el cálculo de la potencia consumida por la bomba de cavidades progresivas los datos a tener en cuenta son el caudal deseado y el TDH, es decir: es la potencia hidráulica necesaria para que se tenga en cabeza la presión requerida para el caudal deseado

Por tal razón se tiene que:

$$HHp = Q(\text{bfpd}) * \text{Presión}(\text{psi}) * \text{Factor de conversión}$$

Reemplazando:

$$HHp = 1456 \text{ bfpd} * 2885.96 \text{ psi} * 1.7014 \times 10^{-5}$$

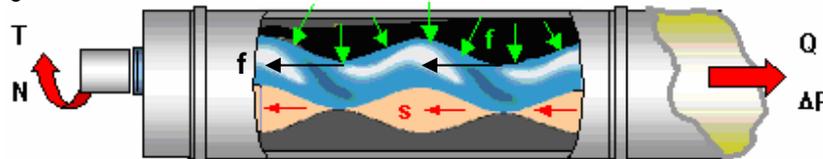
$$HHp = 71.49 \text{ Hp}$$

Cálculo del torque

- La rotación del rotor fuerza el movimiento del fluido de cavidad en cavidad, a cambio de un diferencial de presión Δp
- La energía requerida para rotar el rotor y mover el fluido a cambio de presión, es dada en forma de torque.
- El torque de la bomba es medido por la compresión del eje en componentes hidráulicos y de fricción:

T_h y T_f

Figura 43. Diagrama de fuerzas en la bomba CP.



Fuente: LIFTEQ

Parámetros cuando la bomba está funcionando:

f	Fricción interna
Q	Caudal
S	Fuga
Q _{th}	Q _{th} = Q + s o flujo teórico (Q _{th} = N · δ), donde δ es fluido desplazado
Δp	Diferencial de presión

Parámetros cuando la bomba está funcionando:

T - Torque Total @ Eje de la bomba (requerido para facilitar la acción de bombeo), comprende de:

T_f	Torque requerido para vencer la fricción
T_h	Torque hidráulico

$$T = T_h + T_f$$

Torque Hidráulico - T_h

El torque hidráulico depende solamente de la geometría de la bomba y del diferencial de presión.

Torque friccional - Tf

El torque por fricción es calculado cuando el diferencial de presión es 0 ($\Delta p = 0$). Fricción entre el rotor y estator; este parámetro se puede obtener de las mediciones realizadas en un test de banco.

Para nuestro caso solo consideremos el torque hidráulico debido a su incidencia. Si bien el torque por fricción posee un valor relativamente bajo, el mismo se puede incrementar al producir fluidos con arena o si el elastómero del estator comienza a endurecerse o hincharse.

Por lo tanto se tiene que:

$$\text{Torque} = \frac{K * \text{Hp}}{\text{RPM}} \quad \text{donde } K = \text{Cte} = 5252 \text{ para torque (lbf * ft)}$$

Reemplazando:

$$\text{Torque (lbf * ft)} = \frac{5252 * 71.49\text{Hp}}{313.11\text{RPM}}$$

$$\text{Torque} = 1199.15 \text{ lb * ft} \quad \text{ó} \quad \text{Torque} = 1617.76 \text{ N * m}$$

Selección de la caja reductora (GearBox).

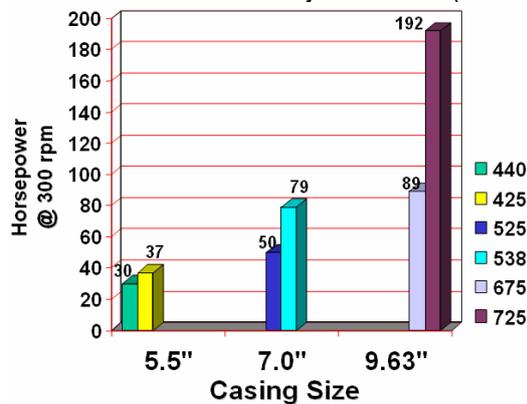
La selección depende de la velocidad final de operación de la bomba (313 RPM), del torque requerido por dicha bomba para su operación (1200 lb*ft) y del diámetro disponible para poder alojar ese equipo. Los distintos modelos de caja reductoras (GearBox) son indicados en la siguiente tabla con sus características para una fácil selección:

Tabla 19. Características de los tipos de cajas reductoras.

Modelos	Serie	OD (in)	Torque (lbs-ft)
9:1	440	4.40	540
	525	5.25	810
	675	6.75	1400
11.4:1	425	4.25	650
	<u>538</u>	<u>5.38</u>	<u>1400</u>
	725	7.25	3000

Fuente: Baker Hughes

Figura 44. Gráfica para la selección del modelo de caja reductora (recomendable).



Fuente: Baker Hughes

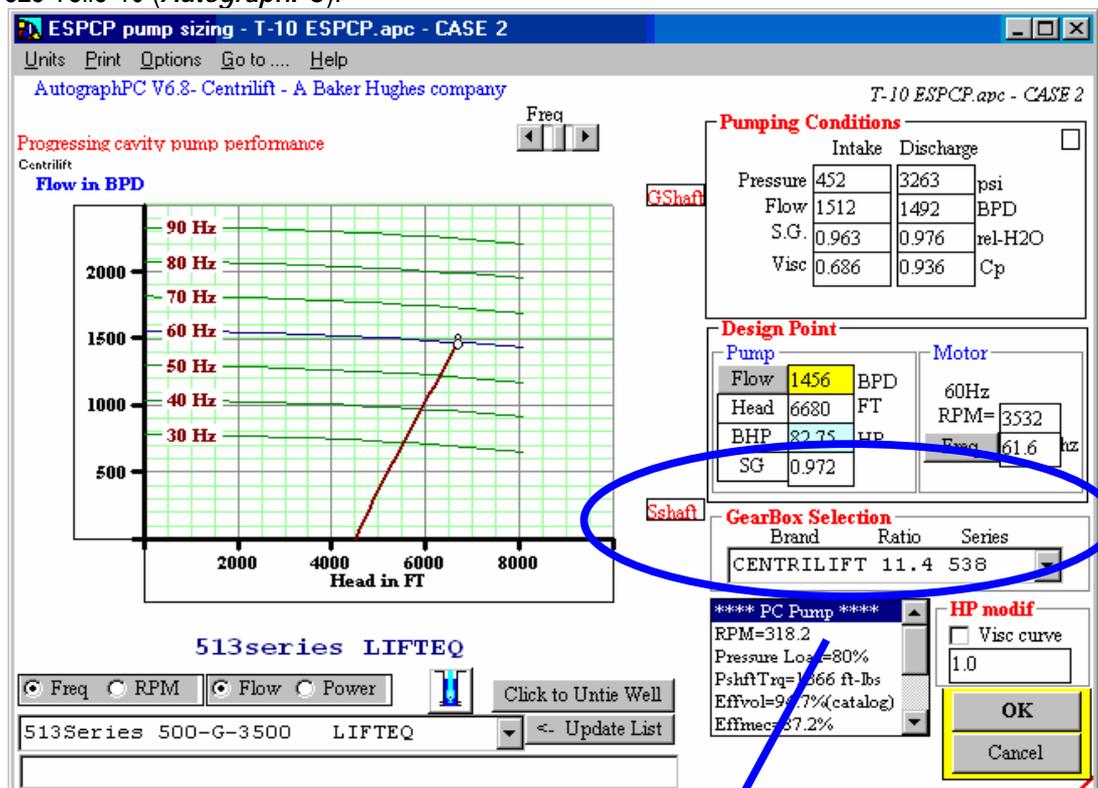
Según lo definido anteriormente y con la ratificación que indica la gráfica siguiente (figura 44); el modelo de caja reductora más cercana a las condiciones deseadas es:

Modelo 11.4:1 Serie 538

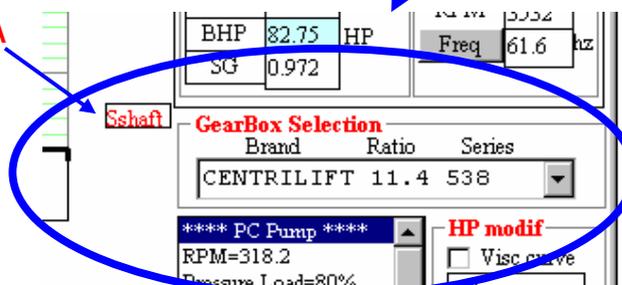
Alarmas de advertencia de la caja reductora:

Con la ayuda del AutographPC, en la misma pantalla correspondiente de la bomba CP (figura 45) en la parte inferior derecha aparece la opción para la selección de la caja reductora (GearBox) y a su lado se indica la posible alarma que puede presentarse cuando los parámetros de operación sean excedidos.

Figura 45. Ubicación para la selección de la caja reductora y las posibles alarmas de advertencia. Pozo Tello-10 (AutographPC).



ALARMA



Fuente: AutographPC

En el caso de Tello-10 la mejor opción de la caja reductora presenta inconvenientes según el software, ya que la carga sobre el eje de ésta, se encuentra al 101% (figura 46). La causa es debida a que el torque total (1199.15 lb*ft) es muy cercano a los parámetros establecidos para la caja reductora (1400 lb*ft), además, hay que considerar que por el procedimiento manual no se tuvo en cuenta el torque friccional ni tampoco un porcentaje de eficiencia de dicho equipo.

El motivo de las diferencias entre el calculo manual y del software es debido a que este punto esta abierto a discusión. Por ello se estima en este documento (al igual que en el AutographPC), que la carga sobre el equipo no exceda el 85% de lo establecido, es decir, que no supere 1190 lb*ft.

Figura 46. Alarma de advertencia de la caja reductora seleccionada para el pozo Tello-10 (AutographPC).

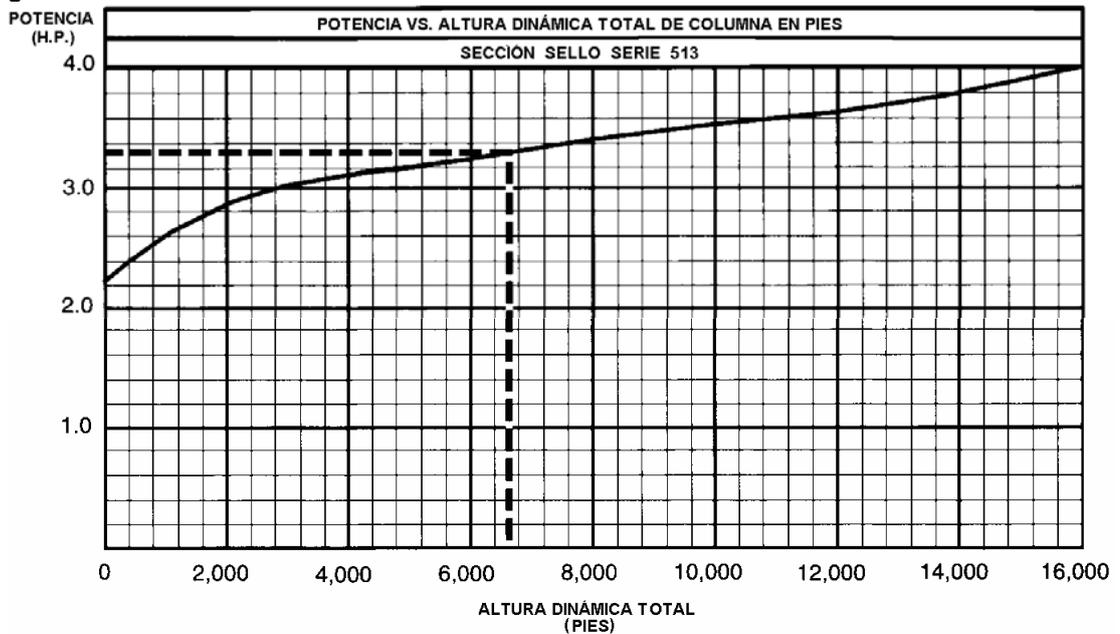


Fuente: AutographPC

Selección del sello.

Normalmente la serie de la sección sello es la misma que la de la bomba; sin embargo existen excepciones pero que no implican ningún inconveniente gracias a la versatilidad del flex shaft. En este caso lo mas conveniente es utilizar sello serie 513 que la serie 400, como es propuesto en la tabla 16, ya que la primera brinda mayor eficiencia (resistencia).

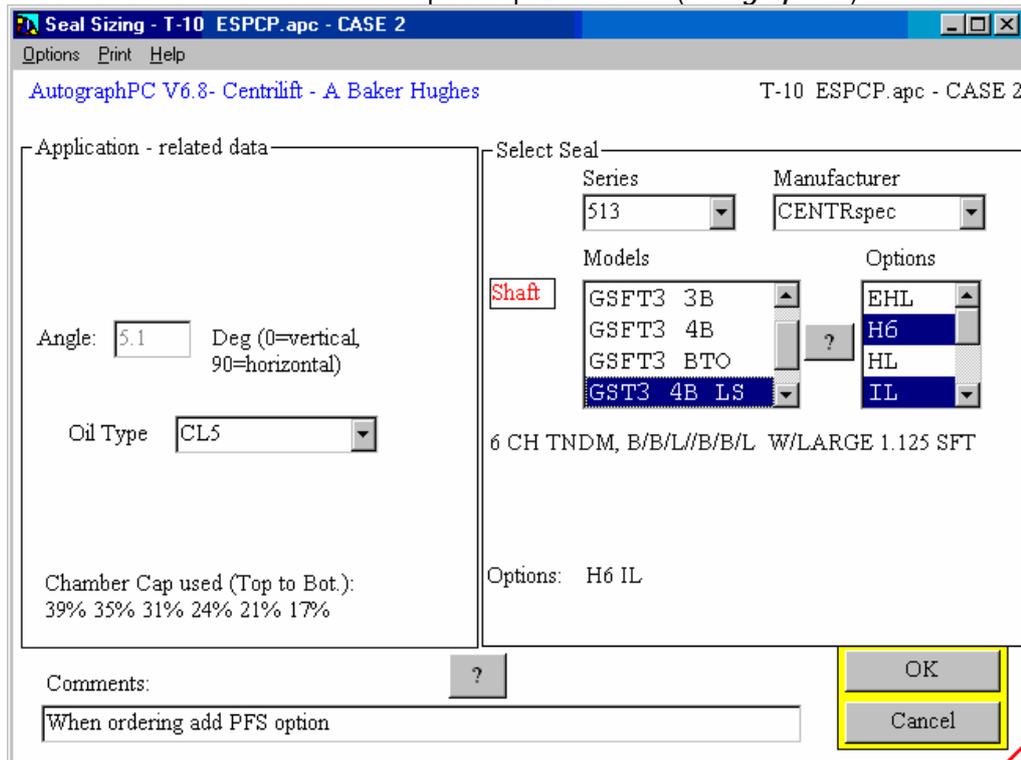
Figura 47. Potencia adicional debido al sello serie 513.



Fuente: Baker Hughes

El requerimiento de potencia para la sección sello es función de la cabeza dinámica total producida por la bomba. La figura anterior, representativa para ESP pero debido a similitud con ESPCP se puede utilizar para este último; indica un requerimiento ligeramente superior a tres caballos de fuerza para la sección sello de la serie 513 en base a un TDH de 6670.78 pies. Por lo tanto, el requerimiento de potencia total para esta aplicación es de 71.49 HP para la bomba, más 3 HP para el sello, o sea 75 HP aproximadamente.

Figura 48. Pantalla del sello seleccionado para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

En la pantalla del sello de AutographPC (figura 48), se selecciona la serie y el tipo de sello a usar: sencillo o doble, una bolsa o dos, etc.... También, se pueden incluir diferentes opciones para prevenir corrosión (X), o incluir cojinetes de empuje de alta carga (HL), etc. En nuestro caso el sello seleccionado es tipo tandem, es decir, se tiene sello upper y sello lower, cada sello doble bolsa (6 cámaras: bolsa/bolsa/lab/bolsa/bolsa/lab); y con eje inconel, Al igual que en las otras pantallas de AutographPC, diferentes alarmas de advertencia se accionaran cuando los parámetros de operación sean excedidos:

- Tlimit** Temperatura limite del aceite ha sido excedida.
- Exp Cap** Capacidad de expansión de las cámaras excedida.
- Shaft** Eje cargado a más del 100%.
- Thrust** Empuje axial excesivo.
- No fit** Sello no cabe en el pozo.

Alarmas de advertencia del sello:

La alarma de advertencia que se indica en la pantalla del sello y además en la pantalla de la bomba, revela una carga del eje del 94.3%. Aunque no existe sobrecarga, no se debe pasar por alto.

Figura 49. Alarma de advertencia del sello seleccionado para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

Selección del motor.

La selección depende únicamente de la potencia consumida (74.49 HP) y obviamente del diámetro disponible para que pueda entrar el equipo. En este caso los modelos disponibles (Tabla 20) no presentan ningún problema para ser alojados dentro del casing (ID: 6.276”), por tal razón la potencia será el factor determinante.

Tabla 20. Características de los tipos de motores disponibles en inventario.

Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)
450	FMHG	93	1165	53	17.1	843	4.50
	FMHG	132	1370	64	23.4	1161	4.50
562	KMHG	152	1340	69	14.0	1003	5.62
	KMHG	228	1425	98	19.7	1415	5.62
	KMHG	304	1900	98	25.4	1828	5.62
	KMHG	342	1695	123	28.2	2035	5.62
	KMHG	380	1881	123	31.1	2242	5.62

Fuente: Baker Hughes

Como se había mencionado con anterioridad los equipos entre mayor sea el diámetro mas eficientes y económicos serán, debido a las características de las piezas que lo conforman; en conclusión se recomienda motor serie 562.

Nuevamente se tiene que realizar un filtro ya que todos los modelos serie 562 brindan el HP necesario, por consiguiente para no entrar en sobredimensionamiento; además de que a mayor potencia, mayor será su longitud y mayor será la restricción debido a la deflexión del pozo (Dog Leg).

En definitiva la opción mas completa es:

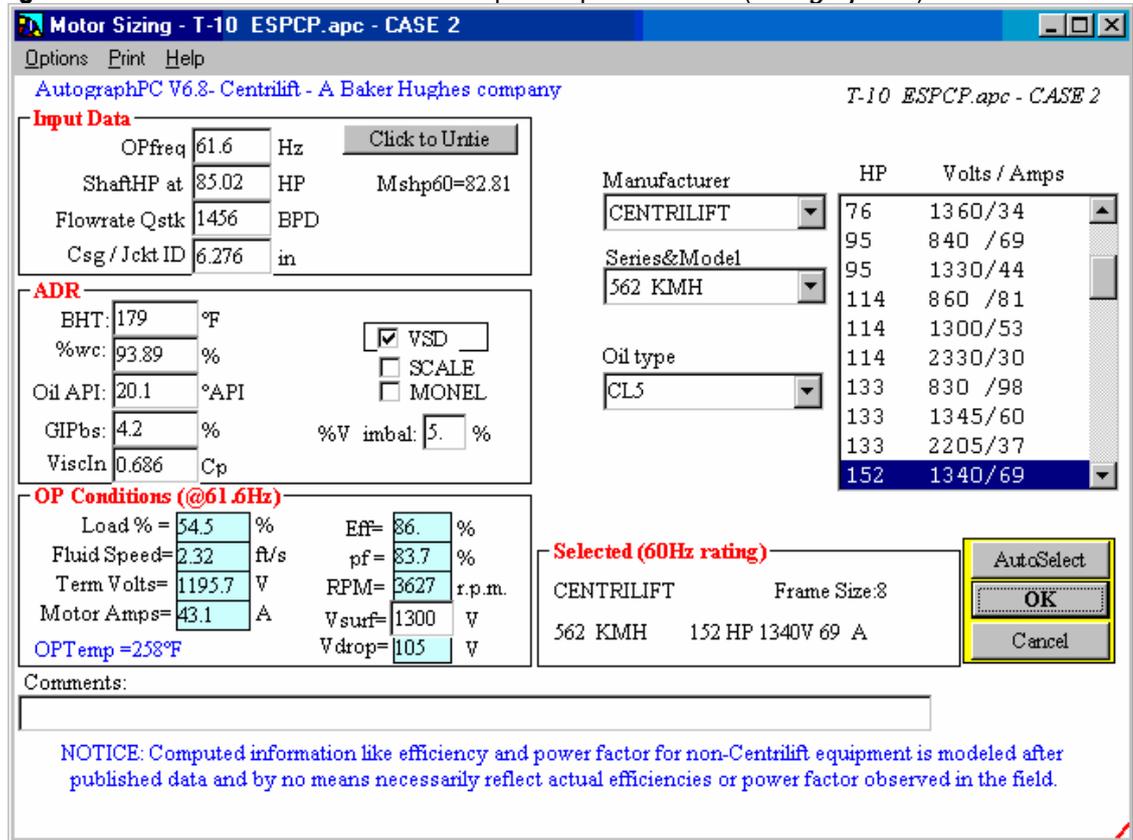
562 KMHG 152 HP / 1340 V / 69 A

Tabla 21. Propiedades del motor seleccionado para el pozo Tello-10.

Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)
562	KMHG	152	1340	69	14.0	1003	5.62

Fuente: Autores

Figura 50. Pantalla del motor seleccionado para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

En el autographPC, la pantalla del motor indica el porcentaje de carga del motor con respecto a la potencia de placa, la velocidad del fluido que pasa alrededor del motor, voltaje y amperaje reales, entre otros.

Las siguientes alarmas de advertencia se accionaran cuando los parámetros de operación excedan los del diseño del motor:

- Tlimit** La temperatura de operación del motor seleccionado excede el diseño del mismo.
- HP** El motor esta sobrecargado.
- ft/s** La velocidad del fluido alrededor del motor es menor que 1 ft/s.
- nostrt** El motor no arranca a esas condiciones.
- Shft** El eje está cargado a más del 100%.

VI. Limitaciones en la carga

En el transcurso del punto V se hizo referencia a las alarmas de advertencia debido a las sobrecargas en los diferentes equipos, dando un resultado de:

- Alarma de sobrecarga del eje de la caja reductora del 101%
- Alarma de carga del eje del sello del 94.3%

VII. Selección del cable de potencia

La selección de un cable requiere de una solución de compromiso entre el tamaño del cable, las pérdidas y el costo del cable. El tamaño adecuado del cable depende de factores combinados de caída en el voltaje, amperaje y espacio disponible entre las uniones de la tubería de producción y la tubería de revestimiento.

La figura 51 correspondiente para ESP, puede ser utilizado para el diseño de ESPCP, debido que cable de potencia es de igual configuración para los dos tipos de sistemas. Dicha gráfica muestra la caída de voltaje por cada mil pies, en diferentes tamaños de cable (tipo #6, #4, #2 y #1); dependiendo de la cantidad de amperios que esta pasando por el.

Se recomienda que, para el amperaje del motor seleccionado y la temperatura de fondo de pozo dada, la selección de un tamaño de cable sea tal de asegurar una caída de voltaje de menos de 30 voltios por 1000 pies para asegurar la capacidad de transporte de corriente del cable. Sin embargo, para los pozos profundos se recomienda buscar una caída de voltaje en el cable menor que el 15% del voltaje de placa del motor. Si la caída de voltaje es entre el 15% y el 19% se podrá requerir de un controlador de velocidad variable. Por encima del 19% comunicarse con el fabricante de la bomba para realizar un estudio especial. Si la caída del voltaje es demasiado baja, el par de arranque puede resultar en la rotura del eje. Considerar el uso de un VSD si la caída del voltaje en el cable es menos del 5%.

La selección del tipo de cable se basa principalmente en las condiciones del fluido y la temperatura de operación; donde esta última puede ser determinada utilizando la figura 52 (EEE - RP 1019). Se ingresa la corriente de operación del motor: 43.1 Amperios (ver figura 50) y la temperatura de fondo de pozo: 180° F; se encuentra que la temperatura máxima de funcionamiento del cable es de 200° F aproximadamente. Seleccionar el cable en base a esta temperatura de operación.

Ahora, según el criterio anteriormente expuesto, los cables recomendables son N° 1 y 2 ya poseen una caída de voltaje menor a 19 voltios por cada 1000 pies (9 volts/1000 y 12 volts/1000 pies a 68°F, respectivamente). Pero como el cable N° 1 es más ancho y más costoso, el cable N° 2 es el ideal para el diseño (ver figura 51 para la caída del voltaje).

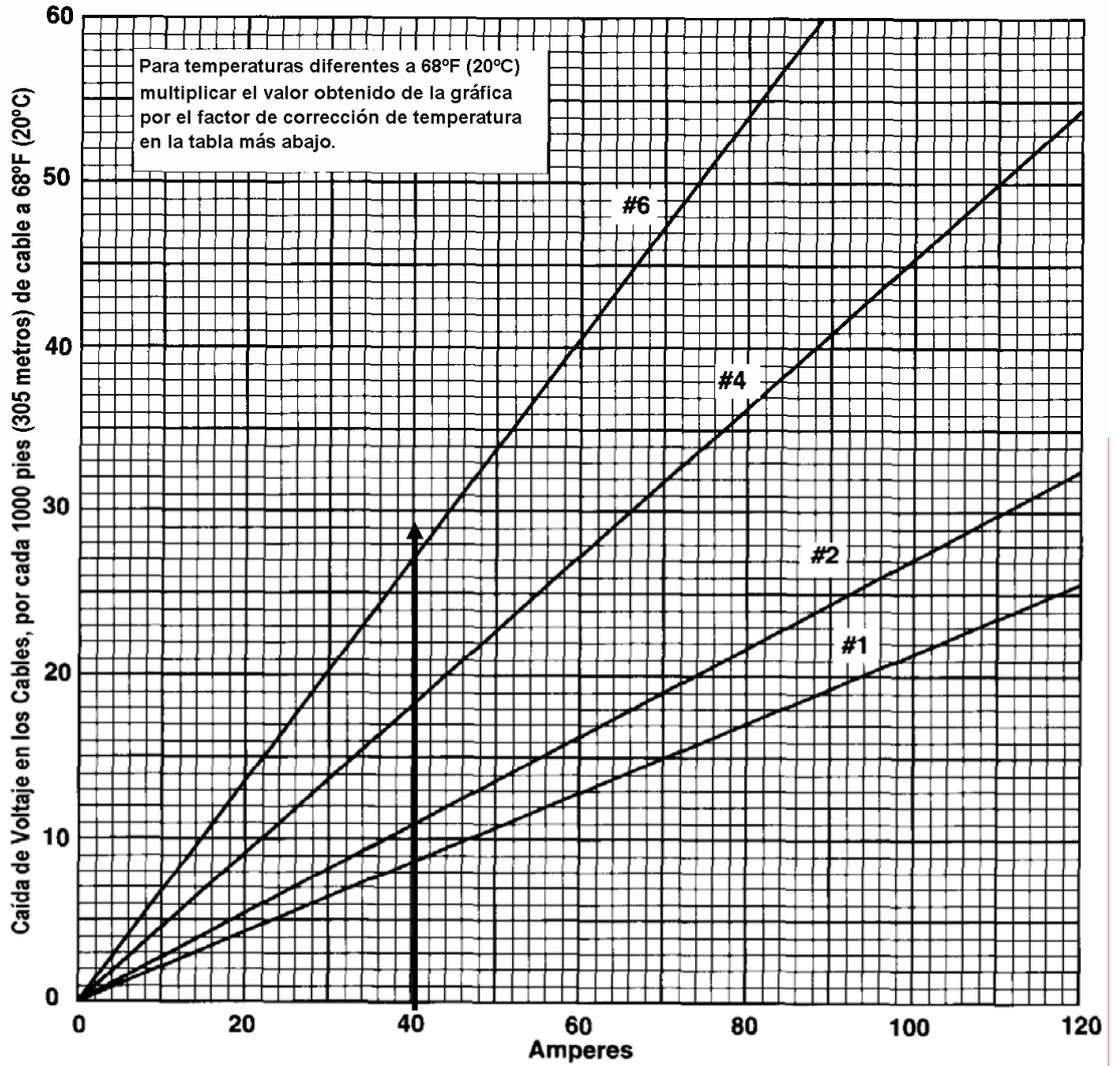
Con las lecturas anteriores, con la profundidad de asentamiento de la bomba más 200 pies de cable para las conexiones de superficie (el AutographPC estima 50ft de cable), y corrigiendo para 200°F de temperatura en el conductor, la caída de voltaje será:

$$\text{Caída de Voltaje} = \frac{12 \text{ volts} * (7370 + 200) \text{ ft} * 1.288}{1000 \text{ ft}} ; \quad \text{Caída de Voltaje} = 117 \text{ Volts}$$

La caída de voltaje calculada es mayor al 5% del voltaje de placa, por lo tanto no es seguro decir que la unidad arrancará utilizando un panel de control estándar.

$$\% = \frac{117 \text{ Volts}}{1340 \text{ Volts}} * 100 \quad \% = 8.54$$

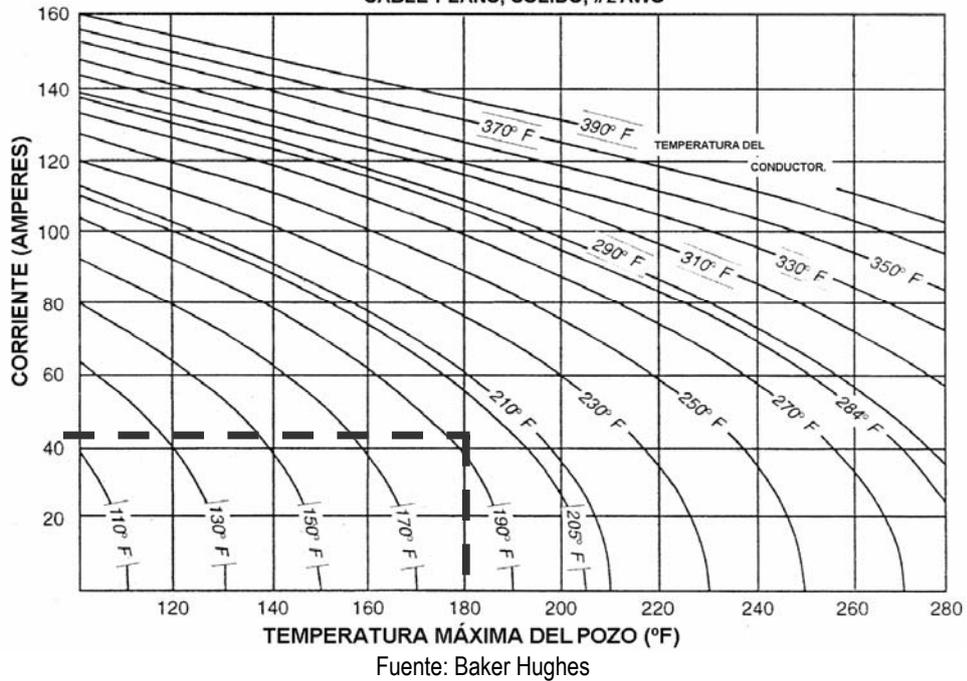
Figura 51. Gráfica de pérdidas de voltaje en el cable de potencia Vs Amperaje.



Temp. °F (°C)	Factor de Multiplicación	Temp. °F (°C)	Factor de Multiplicación	Temp. °F (°C)	Factor de Multiplicación
100 (38)	1.070	170 (77)	1.223	240 (116)	1.376
110 (43)	1.092	180 (82)	1.245	250 (121)	1.398
120 (49)	1.114	190 (88)	1.267	260 (127)	1.420
130 (54)	1.136	200 (93)	1.288	270 (132)	1.441
140 (60)	1.157	210 (99)	1.310	280 (138)	1.463
150 (66)	1.179	220 (104)	1.332	290 (143)	1.485
160 (71)	1.201	230 (110)	1.354	300 (159)	1.507

Fuente: Baker Hughes

Figura 52. Gráfica de temperatura Vs Corriente para el cable No 2
TEMPERATURA DEL POZO vs. CORRIENTE
CABLE PLANO, SÓLIDO, #2 AWG



Luego, podemos determinar el voltaje de superficie requerido, que es igual al voltaje de operación del motor más la caída del voltaje:

$$\text{Voltaje de superficie} = 1195.7 \text{ volts} + 117 \text{ volts} = 1312.7 \text{ volts}$$

Ahora se puede calcular los KVA del sistema con la ecuación:

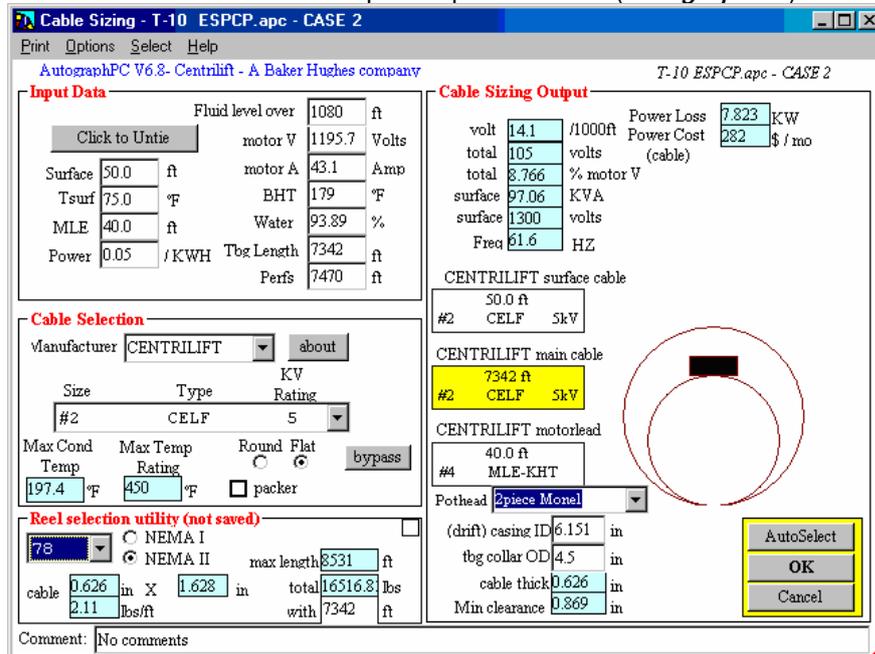
$$\text{KVA} = \frac{\text{Voltaje en superficie} * \text{Amperios del motor} * 1.73}{1000}$$

$$\text{KVA} = \frac{1312.7 \text{ volts} * 43.1 \text{ amps} * 1.73}{1000} \qquad \text{KVA} = 97.88 \text{ KVA}$$

En la pantalla de la figura 53, se pueden seleccionar tres tipos de cable diferente: el cable de extensión del motor (MLE), el cable de potencia y el cable de superficie. En este caso se seleccionó un cable No 2 de 5 KV Rating - CELF, para el cable de potencia de 7342 ft; el cable de superficie de 50 ft de longitud; y por último el cable de extensión del motor es un cable plano # 4 MLE-KHT de 40 ft de largo. El modelo de cable es un CELF de configuración plana.

La pantalla también indica la caída total de voltaje en el cable y calcula el voltaje requerido en la superficie, el cual fueron deducidos con anterioridad en el procedimiento manual, pero que debido a la forma de calcularse internamente en el software, no se presentan valores exactamente iguales entre los dos métodos; pero sí aproximados. E igualmente, en forma gráfica se indica el espacio disponible entre la tubería de producción, el cable y el casing de producción.

Figura 53. Pantalla del cable seleccionado para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

En caso que las condiciones de operación del pozo sean superiores a las del diseño del cable, diferentes alarmas de advertencia se accionarán cuando los parámetros de operación sean excedidos, por ejemplo:

Temp - La temperatura de operación del cable ha sido excedida.

KV Rating - Se requiere un cable de mayor tamaño (KV)

VIII. Equipo de superficie:

Los tipos de transformadores seleccionados dependerán del voltaje disponible en el suministro eléctrico, el voltaje de superficie requerido (1312,7 volts) y la potencia (97.88 KVA). Para bajar el voltaje primario (hasta 88 KVA), antes de llegar al VSD, se tiene la necesidad de un transformador SDT con un total de 97.88 KVA o mayor.

La selección del variador de frecuencia "Variable Speed Drive VSD" del motor para su selección se basa en el voltaje de superficie, la magnitud de la corriente del motor y la potencia total en KVA. En este ejemplo supondremos que el voltaje para el panel del control será el voltaje de la superficie.

A pesar que muchos de los modelos de los controladores o variadores de velocidad que aparecen en la tabla 22 pueden operar correctamente, el recomendable para el diseño es:

Modelo 4350-VT / 390 KVA / 469 Amps

Que tiene una carga del 25%

$$\% \text{ Carga} = \frac{97.88 \text{ KVA}}{390 \text{ KVA}} * 100 = 25\%$$

Por consiguiente, en última estancia se tendrá un transformador SUT quien brindara la carga indicada en el VSD.

Tabla 22. Características de los tipos de Variadores de velocidad.

WEATHER PROOF ENCLOSURE, NEMA 3 (IP 54)

MODEL	OUTPUT		INPUT	
	KVA*	AMPS	VOLTS*	AMPS
2060-3VT	66	79	480	80
2075-3VT	83	100	480	111
2100-3VT	111	133	480	135
2125-3VT	130	156	480	160
2150-3VT	163	196	480	200
2200-3VT	200	241	480	245
2250-3VT	260	313	480	315
4300-3VT	325	391	480	400
4350-3VT	390	469	480	470
4400-3VT	454	546	480	550
4500-3VT	518	624	480	625
8600-3VT	625	750	480	750
8700-3VT	750	900	480	900
8800-3VT	875	1050	480	1050
8900-3VT	1000	1203	480	1200

Fuente: Baker Hughes

Figura 54. Pantalla del controlador seleccionado para el pozo Tello-10 (*AutographPC*).

The screenshot displays the 'Controller Sizing' software interface. Key sections include:

- Input Data:** Control Vin (480 V), Surface (1301 V), Motor (43.09 Amps), Surface (97.09 KVA), Frequency (61.6 Hz), Power Cost (\$ 0.05 /KWH). Radio buttons for VSD (selected) and Switchboard.
- Variable Speed Drive Model List:** A table listing models from 2100-VT to 4350-VT with their respective KVA and Amp ratings. The 4350-VT model is highlighted.
- Controller Calculated Data:** Output Current = 116.8 Amps, Output Voltage = 480 Volts, Controller Load = 24.89%, Controller in = 38 KVA, System Power = 84.3 KW, Power Cost = 3036 \$/mo.
- Selected Equipment:** CENTRILIFT 4350-VT Variable Speed Drive, SUTrafo ratio=2.71.
- Transformer Info:** A schematic diagram showing a transformer between 'Supply' and 'Load'.
- Starting Frequency:** Set to 20.0 Hz, Starting Vboost set to 28 V.
- Buttons:** AutoSelect, OK, and Cancel.

Fuente: AutographPC

Efecto de la frecuencia en el transformador SUT

El GCS Electrospeed VSD opera a un voltaje de diseño máximo de 480 volts+/- . Un transformador step-up SUT debe proporcionar el voltaje de superficie calculado. Este transformador también tiene un número de diseño de voltios por hertz. En el VSD para un motor sumergible se arranca a un bajo hertz y por consiguiente el voltaje es bajo. Para superar la caída del voltaje del cable, el voltaje de arranque puede necesitar ser impulsado “boosted” (ver figura 54 inferior derecha). Para permitir este empujón o impulso de voltaje sin saturar el transformador, el VSD transformador SUT es diseñado para una frecuencia de la entrada de 40 hertz a 480 voltios. $V/Hz = 12$.

Para el diseño del pozo Tello-10, el VSD 4350-VT para las condiciones de arranque es de: frecuencia de 20 Hz y VBoost de 20 voltios. Por consiguiente el motor empezará a trabajar con 189 voltios y 140 amperios; después, se tendrá que subir la frecuencia para terminar en las condiciones deseadas de operación.

CONCLUSION EQUIPO RECOMENDADO A INSTALAR EN TELLO-10:

Tabla 23. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-10.

BOMBA DE CAVIDADES PROGRESIVAS														
Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m³/d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
500-G-3500	80-G-241	5.00	0.79	3500	241	10879	1.125	190	419	10581	5.13	383	844.28	4.5 EUE 8rd ext
CAJA REDUCTORA														
<i>Modelo</i>		<i>Serie</i>		<i>OD (in)</i>		<i>Torque (ft-lbs)</i>								
11.4:1		538		5.38		1400								
SELLO														
<i>Modelo</i>		<i>Serie</i>		<i>Options</i>				<i>OD (in)</i>						
GST3 4B LS		513		H6 – IL				5.13						
MOTOR														
<i>Serie</i>	<i>Modelo</i>	<i>HP</i>	<i>Voltaje</i>	<i>Amperaje</i>	<i>Longitud (ft)</i>	<i>Peso (Lbs)</i>	<i>OD (in)</i>							
562	KMHG	152	1340	69	14.0	1003	5.62							
CABLE														
<i>Size</i>	<i>Tipo</i>	<i>Rating (Kv)</i>	<i>Longitud (ft)</i>	<i>Dimensiones (in²)</i>	<i>Peso (Lbs/ft)</i>									
# 2	CELF	5	7570	0.626 x 1.628	2.11									
VARIADOR DE FRECUENCIA														
<i>Modelo</i>		<i>Ouput</i>		<i>Input</i>										
		<i>KVA</i>	<i>Amperaje</i>	<i>Voltios</i>		<i>Amperaje</i>								
4350-VT		390	469	480		470								

Fuente: Autores

3.2.2 Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-10

Para las condiciones de operación se expondrán las calculadas por el AutographPC que presentan una mayor exactitud. Se aclara que el cálculo manual no presentó gran diferencia con respecto a este.

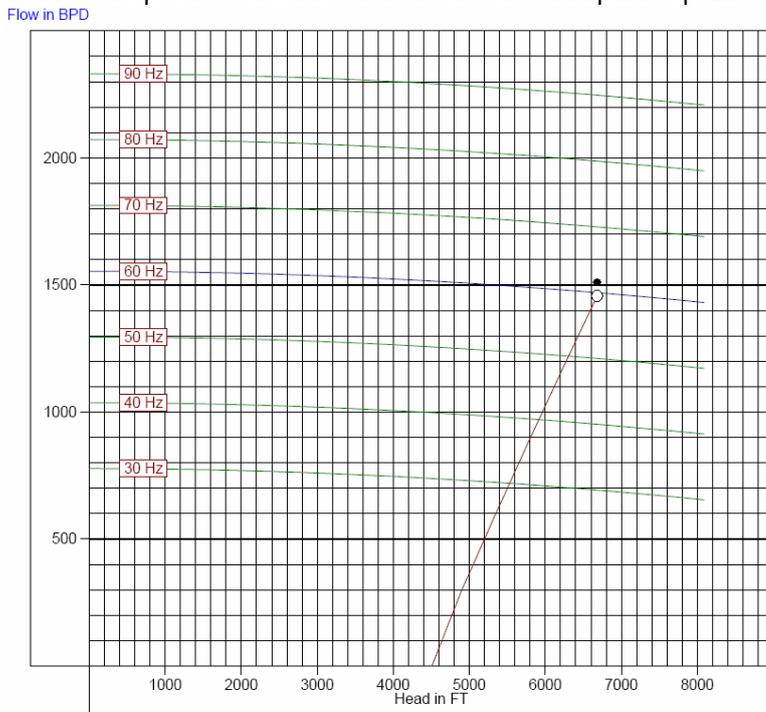
✓ Parámetros de operación del diseño

Caudal deseado: 1456 BPD
 % Agua: 93.3%
 % Gas en la bomba: 4.2%bs / 0.4%
 Frecuencia: 61.6 Hz
 GOR en la bomba: 65.69 scf/STB
 TDH: 6680 ft
 Pérdidas por fricción: 46.3 ft

✓ Parámetros de operación de la **BOMBA CP. 500-G-3500 LIFTEQ** (serie 513)

	Intake	Descarga
Presión:	452 psi	3263 psi
Rata de flujo	1512 BPD	1492 BPD
Gravedad específica:	0.963 rel-H ₂ O	0.976 rel-H ₂ O
Viscosidad:	0.686 Cp	0.936 Cp
Carga de presión en la bomba:	80%	
Volumen de eficiencia de la bomba:	95%	
HP del eje de la bomba a 61.6 Hz:	82.75	

Figura 55. Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-10.



Fuente: AutographPC

✓ Parámetros de operación del **SELLO** CENTRspec GST3 4B LS (serie 513)

Angulo del pozo: 5.1° a partir de la vertical
 Tipo de aceite: CL5
 Opciones: H6 IL
 Uso de las cámaras: 39% 35% 31% 24% 21% 17%
 Carga del eje: 94%

✓ Parámetros de operación del **MOTOR** KMHG 152HP 1340V 69A (serie 562)

Voltaje Terminal: 1195.7 V
 Corriente del motor: 43.1 A
 Carga del motor: 54.5%
 Carga del eje: 5.9%
 Velocidad del fluido: 2.32 ft/s
 Temperatura interna: 258° F

✓ Parámetros de operación del **CABLE** CELF #2 sólido plano

Longitud superficie: 50.0 ft
 Longitud en tubing: 7342 ft
 Longitud MLE: 40.0 ft
 Temperatura superficie: 75° F
 Voltaje en cabeza: 1300.5 V
 kVA en cabeza: 97.1 kVA
 Caída de voltaje: 104.8 V
 Temperatura del cable: 198° F

✓ Parámetros de operación del **CONTROLADOR** 4350-VT 390kVA / 480V / 469A

Input kVA: 87.8 kVA
 kW del sistema: 84.3 kW
 Max corriente: 116.8 A
 Voltaje Input: 480 V
 Volts max en cabeza: 1301V
 Frecuencia máxima: 61.6 Hz (7.79V/Hz)
 Frecuencia arranque: 20.0 Hz
 Transformador SUT: 2.71 Hz

3.2.3 Diseño Tello-19

Para el diseño de los equipos de los pozos Tello-19, Tello-34, Tello-35A y Tello-54ST, se realizó con la ayuda del software AutogrphPC, el cual se puede encontrar en el Anexo D.

En la siguiente tabla se muestran las características de los equipos mas indicados para las condiciones en que se encuentra el pozo Tello-19, cumpliendo las especificaciones deseadas de caudal y presión.

CONCLUSION EQUIPO RECOMENDADO A INSTALAR EN TELLO-19:

Tabla 24. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-19.

BOMBA DE CAVIDADES PROGRESIVAS														
Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
270-D-3500	43-D-241	2.70	0.43	3500	241	12484	1.0	136.3	300.55	12106	3.75	240	528.88	3.5 EUE 8rd ext
CAJA REDUCTORA														
Modelo		Serie				OD (in)		Torque (ft-lbs)						
11.4:1		538				5.38		1400						
SELLO														
Modelo		Serie				Options		OD (in)						
GSB3 DB		513				H6 – IL		5.13						
MOTOR														
Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)							
450	FMH	93	965	64	17.1	830	4.50							
CABLE														
Size	Tipo	Rating (Kv)	Longitud (ft)	Dimensiones (in ²)	Peso (Lbs/ft)									
# 4	CELF	5	7975	0.572 x 1.167	1.71									
VARIADOR DE FRECUENCIA														
Modelo		Output				Input								
		KVA	Amperaje	Voltios	Amperaje									
4350-VT		390	469	480	470									

Fuente: Autores

3.2.4 Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-19

- ✓ Parámetros de operación del diseño

Caudal deseado: 650 BPD
 % Agua: 71.3%
 % Gas en la bomba: 44.7%bs / 7.5%
 Frecuencia: 56.2 Hz
 GOR en la bomba: 91.85 scf/STB
 TDH: 7713 ft
 Pérdidas por fricción: 17.95 ft

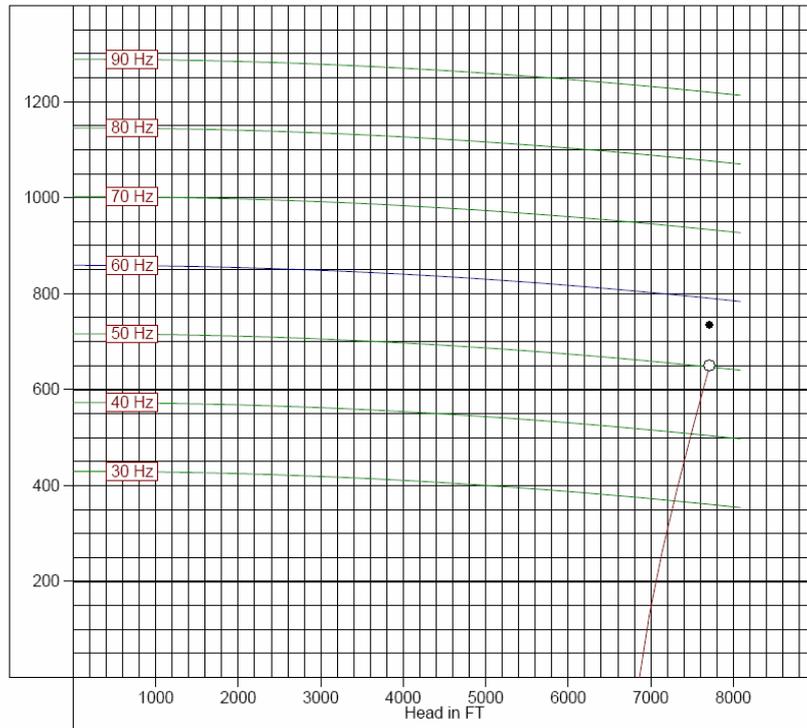
- ✓ Parámetros de operación de la **BOMBA CP. 270-D-3500 LIFTEQ (serie 375)**

	Intake	Descarga
Presión:	274 psi	3455 psi
Rata de flujo	737 BPD	679 BPD
Gravedad específica:	0.884 rel-H ₂ O	0.96 rel-H ₂ O
Viscosidad:	3.776 Cp	4.659 Cp
Carga de presión en la bomba:	91%	

Volumen de eficiencia de la bomba: 91%
 HP del eje de la bomba a 56.2 Hz: 44.56

Figura 56. Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-19.

Flow in BPD



Fuente: AutographPC

✓ Parámetros de operación del **SELLO CENTRILIFT GSB3 DB** (serie 513)

Angulo del pozo: 0.9° a partir de la vertical
 Tipo de aceite: CL6
 Opciones: H6 IL
 Uso de las cámaras: 34% 27% 20%
 Carga del eje: 78%

✓ Parámetros de operación del **MOTOR FMHG 93HP 965V 64A** (serie 450)

Voltaje Terminal: 781.6 V
 Corriente del motor: 42.9 A
 Carga del motor: 52.3%
 Carga del eje: 8.0%
 Velocidad del fluido: 0.732 ft/s
 Temperatura interna: 295° F

✓ Parámetros de operación del **CABLE CELF #4** sólido plano

Longitud superficie: 50.0 ft
 Longitud en tubing: 7975 ft
 Longitud MLE: 40.0 ft

Temperatura superficie: 75.0° F
 Voltaje en cabeza: 970.9 V
 kVA en cabeza: 72.1 kVA
 Caída de voltaje: 189.3 V
 Temperatura del cable: 216° F

✓ Parámetros de operación del **CONTROLADOR 4350-VT 390kVA / 480V / 469A**

Input kVA: 62.6 kVA
 kW del sistema: 60.1 kW
 Max corriente: 86.8 A
 Voltaje Input: 480 V
 Volts max en cabeza: 971 V
 Frecuencia máxima: 56.2 Hz (8.54 V/Hz)
 Frecuencia arranque: 20.0 Hz
 Transformador SUT: 2.024 ratio

3.2.5 Diseño Tello-34

CONCLUSION EQUIPO RECOMENDADO A INSTALAR EN TELLO-34:

Tabla 25. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-34.

BOMBA DE CAVIDADES PROGRESIVAS														
Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
270-D-3600	43-D-248	2.70	0.43	3600	241	12831	1.0	140.12	308.91	12453	3.75	246.77	544.03	3.5 EUE 8rd ext
CAJA REDUCTORA														
Modelo		Serie		OD (in)		Torque (ft-lbs)								
11.4:1		538		5.38		1400								
SELLO														
Modelo		Serie		Options		OD (in)								
GSCT3		513		H6 – IL		5.13								
MOTOR														
Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)							
450	FMH	93	1760	35	17.1	854	4.50							
CABLE														
Size	Tipo	Rating (Kv)	Longitud (ft)	Dimensiones (in ²)	Peso (Lbs/ft)									
# 4	CELF	5	7524	0.572 x 1.167	1.71									
VARIADOR DE FRECUENCIA														
Modelo		Ouput		Input										
4350-VT		KVA	Amperaje	Voltios	Amperaje									
4350-VT		390	469	480	470									

Fuente: Autores

3.2.6 Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-34

✓ Parámetros de operación del diseño

Caudal deseado: 752 BPD
% Agua: 63.3%
% Gas en la bomba: 72.3%bs / 20.7%
Frecuencia: 74.6 Hz
GOR en la bomba: 60.07 scf/STB
TDH: 7174 ft
Pérdidas por fricción: 23.62 ft

✓ Parámetros de operación de la **BOMBA CP. 270-D-3600 LIFTEQ** (serie 375)

	Intake	Descarga
Presión:	160 psi	3125 psi
Rata de flujo	988 BPD	784 BPD
Gravedad específica:	0.767 rel-H ₂ O	0.967 rel-H ₂ O
Viscosidad:	6.965 Cp	8.023 Cp
Carga de presión en la bomba:	82%	
Volumen de eficiencia de la bomba:	95%	
HP del eje de la bomba a 74.6 Hz:	54.6	

✓ Parámetros de operación del **SELLO CENTRILIFT GSCT3** (serie 513)

Angulo del pozo: 35.75° a partir de la vertical
Tipo de aceite: CL6
Opciones: H6 IL
Uso de las cámaras: 51% 84% 77% 31% 46% 39%
Carga del eje: 74%

✓ Parámetros de operación del **MOTOR FMHG 93HP 1760V 35A** (serie 450)

Voltaje Terminal: 1874.8 V
Corriente del motor: 22.9 A
Carga del motor: 50.1%
Carga del eje: 7.7%
Velocidad del fluido: 1.689 ft/s
Temperatura interna: 348° F

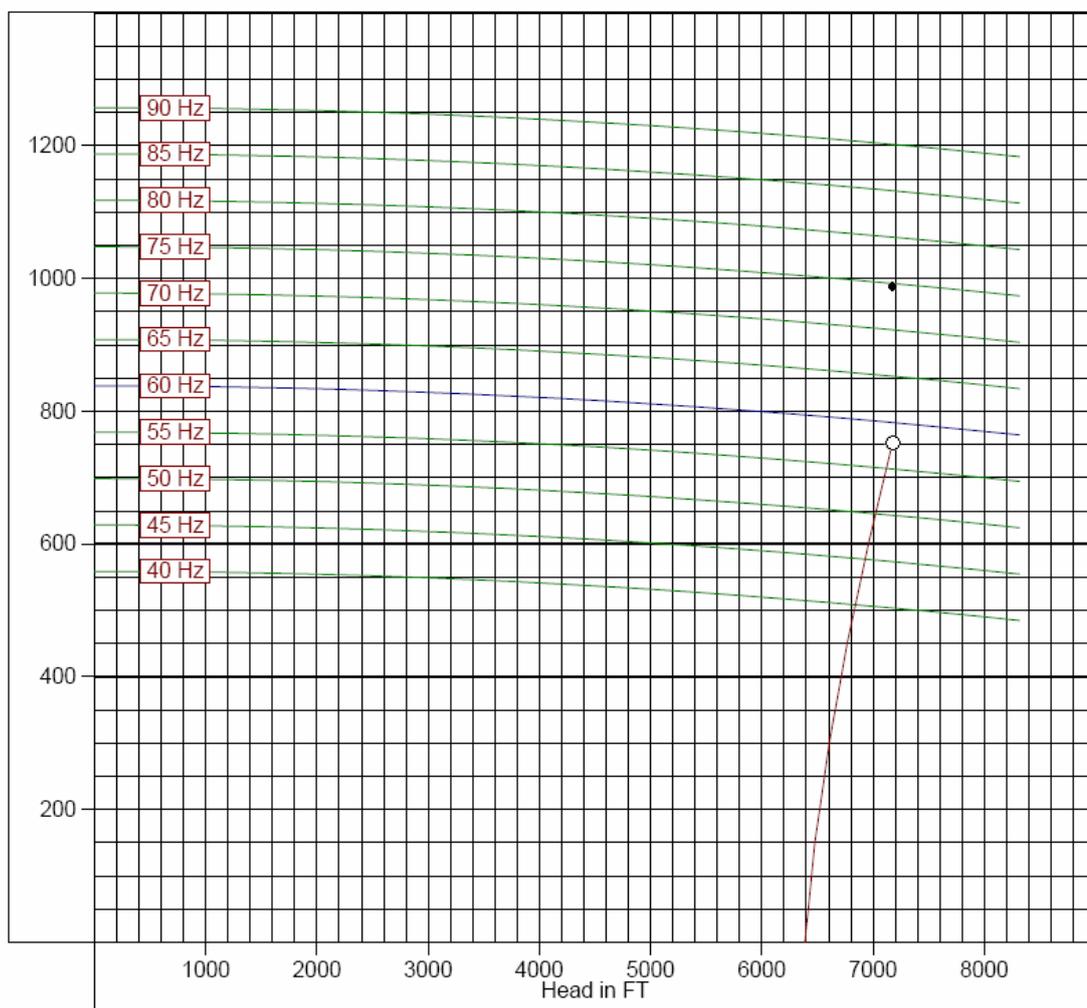
✓ Parámetros de operación del **CABLE CELF #4 sólido plano**

Longitud superficie: 50.0 ft
Longitud en tubing: 7524 ft
Longitud MLE: 40.0 ft
Temperatura superficie: 75.0° F
Voltaje en cabeza: 1967.2 V
kVA en cabeza: 78.1 kVA
Caída de voltaje: 92.4 V
Temperatura del cable: 181° F

✓ Parámetros de operación del **CONTROLADOR 4350-VT 390kVA / 480V / 469A**

Input kVA: 65.6 kVA
kW del sistema: 63.0 kW
Max corriente: 93.9 A
Voltaje Input: 480 V
Volts max en cabeza: 1969 V
Frecuencia máxima: 74.7 Hz (6.43 V/Hz)
Frecuencia arranque: 20.0 Hz
Transformador SUT: 4.098 ratio

Figura 57. Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-34.
Flow in BPD



Fuente: AutographPC

3.2.7 Diseño Tello-35A

CONCLUSION EQUIPO RECOMENDADO A INSTALAR EN TELLO-35A:

Tabla 26. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-35A.

BOMBA DE CAVIDADES PROGRESIVAS														
Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
500-G-3500	80-G-241	5.00	0.79	3500	241	10879	1.125	190	419	10581	5.13	383	844.28	4.5 EUE 8rd ext
CAJA REDUCTORA														
Modelo		Serie				OD (in)		Torque (ft-lbs)						
11.4:1		538				5.38		1400						
SELLO														
Modelo		Serie				Options		OD (in)						
GSB3DB LS		513				H6 – IL		5.13						
MOTOR														
Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)							
562	KMH	152	1340	69	14.0	1003	5.62							
CABLE														
Size	Tipo	Rating (Kv)	Longitud (ft)	Dimensiones (in ²)	Peso (Lbs/ft)									
# 2	CELF	5	8020	0.626 x 1.628	2.11									
VARIADOR DE FRECUENCIA														
Modelo		Ouput			Input									
		KVA	Amperaje	Voltios	Amperaje									
2250-VT		260	313	480	315									

Fuente: Autores

3.2.8 Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-35A

- ✓ Parámetros de operación del diseño

Caudal deseado: 1100 BPD
 % Agua: 82.1%
 % Gas en la bomba: 31.1%bs / 8.3%
 Frecuencia: 52.7 Hz
 GOR en la bomba: 39.22 scf/STB
 TDH: 7842 ft
 Pérdidas por fricción: 38.79 ft

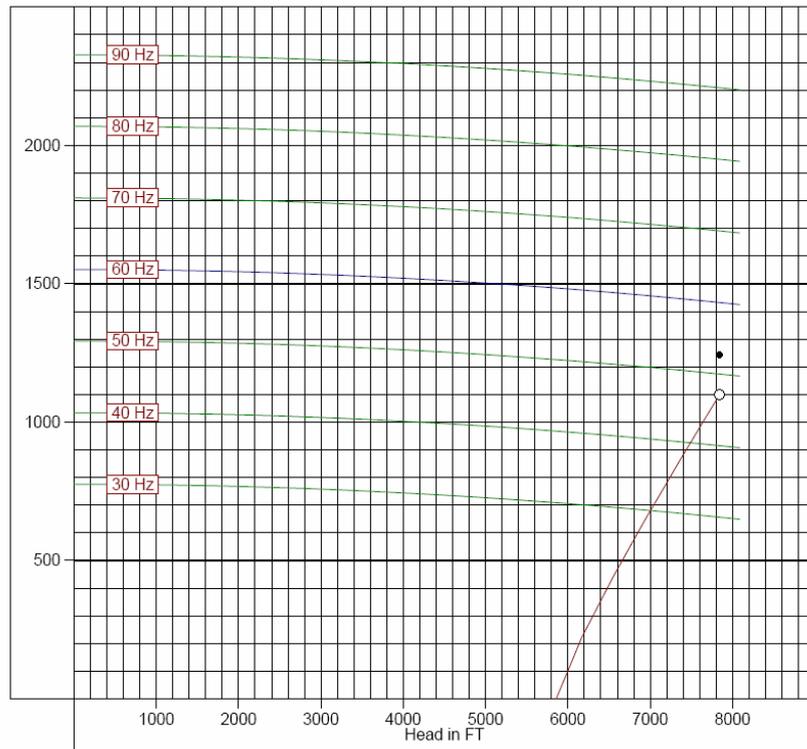
- ✓ Parámetros de operación de la **BOMBA CP. 500-G-3500 LIFTEQ (serie 513)**

	Intake	Descarga
Presión:	128 psi	3477 psi
Rata de flujo	1245 BPD	1135 BPD
Gravedad específica:	0.904 rel-H ₂ O	0.992 rel-H ₂ O
Viscosidad:	3.109 Cp	4.032 Cp

Carga de presión en la bomba: 96%
 Volumen de eficiencia de la bomba: 91%
 HP del eje de la bomba a 52.7 Hz: 84.89

Figura 58. Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-35A.

Flow in BPD



Fuente: AutographPC

✓ Parámetros de operación del **SELLO CENTRspec GSB3DB LS** (serie 513)

Angulo del pozo: 42.79° a partir de la vertical
 Tipo de aceite: CL6
 Opciones: H6 IL
 Uso de las cámaras: 28% 24% 36%
 Carga del eje: 111%

✓ Parámetros de operación del **MOTOR KMHG 152HP 1340V 69A** (serie 562)

Voltaje Terminal: 1060 V
 Corriente del motor: 48.3 A
 Carga del motor: 64.2%
 Carga del eje: 6.9%
 Velocidad del fluido: 2.858 ft/s
 Temperatura interna: 271° F

✓ Parámetros de operación del **CABLE CELF #2 sólido plano**

Longitud superficie: 50.0 ft
 Longitud en tubing: 8020 ft

Longitud MLE: 40.0 ft
 Temperatura superficie: 75.0° F
 Voltaje en cabeza: 1193.8 V
 kVA en cabeza: 99.9 kVA
 Caída de voltaje: 133.8 V
 Temperatura del cable: 204° F

✓ Parámetros de operación del **CONTROLADOR 2250-VT 260kVA / 480V / 313A**

Input kVA: 90.0 kVA
 kW del sistema: 86.4 kW
 Max corriente: 120.3 A
 Voltaje Input: 480 V
 Volts max en cabeza: 1195 V
 Frecuencia máxima: 52.7 Hz (9.10 V/Hz)
 Frecuencia arranque: 20.0 Hz
 Transformador SUT: 2.489 ratio

3.2.9 Diseño Tello-54ST

CONCLUSION EQUIPO RECOMENDADO A INSTALAR EN TELLO-54ST:

Tabla 27. Equipo final recomendable para instalar en el pozo Tello-54ST.

BOMBA DE CAVIDADES PROGRESIVAS														
Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
500-G-3500	80-G-241	5.00	0.79	3500	241	10879	1.125	190	419	10581	5.13	383	844.28	4.5 EUE 8rd ext
CAJA REDUCTORA														
Modelo		Serie			OD (in)		Torque (ft-lbs)							
11.4:1		538			5.38		1400							
SELLO														
Modelo		Serie			Options		OD (in)							
GSB3DB LS		513			H6 – IL		5.13							
MOTOR														
Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)							
562	KMH	152	1340	69	14.0	1003	5.62							
CABLE														
Size	Tipo	Rating (Kv)	Longitud (ft)	Dimensiones (in ²)	Peso (Lbs/ft)									
# 4	CELF	5	7744	0.572 x 1.167	1.71									
VARIADOR DE FRECUENCIA														
Modelo		Ouput			Input									
4300-VT		KVA	Amperaje	Voltios	Amperaje									
		325	391	480	400									

Fuente: Autores

3.2.10 Condiciones de operación del equipo seleccionado para el pozo Tello-54ST

✓ Parámetros de operación del diseño

Caudal deseado: 1408 BPD
% Agua: 82.3%
% Gas en la bomba: 8.6%bs / 0.9%
Frecuencia: 59.9 Hz
GOR en la bomba: 37.12 scf/STB
TDH: 6594 ft
Pérdidas por fricción: 77.14 ft

✓ Parámetros de operación de la **BOMBA CP. 500-G-3500 LIFTEQ** (serie 513)

	Intake	Descarga
Presión:	382 psi	3127 psi
Rata de flujo	1474 BPD	1145 BPD
Gravedad específica:	0.948 rel-H ₂ O	0.967 rel-H ₂ O
Viscosidad:	1.563 Cp	2.413 Cp
Carga de presión en la bomba:	78%	
Volumen de eficiencia de la bomba:	95%	
HP del eje de la bomba a 59.9 Hz:	77.37	

✓ Parámetros de operación del **SELLO CENTRspec GSB3DB LS** (serie 513)

Angulo del pozo: 65.22° a partir de la vertical
Tipo de aceite: CL5
Opciones: H6 IL
Uso de las cámaras: 24% 20% 113%
Carga del eje: 89%

✓ Parámetros de operación del **MOTOR KMHG 152HP 1340V 69A** (serie 562)

Voltaje Terminal: 1149.7 V
Corriente del motor: 41.6 A
Carga del motor: 51.6%
Carga del eje: 5.6%
Velocidad del fluido: 2.756 ft/s
Temperatura interna: 252° F

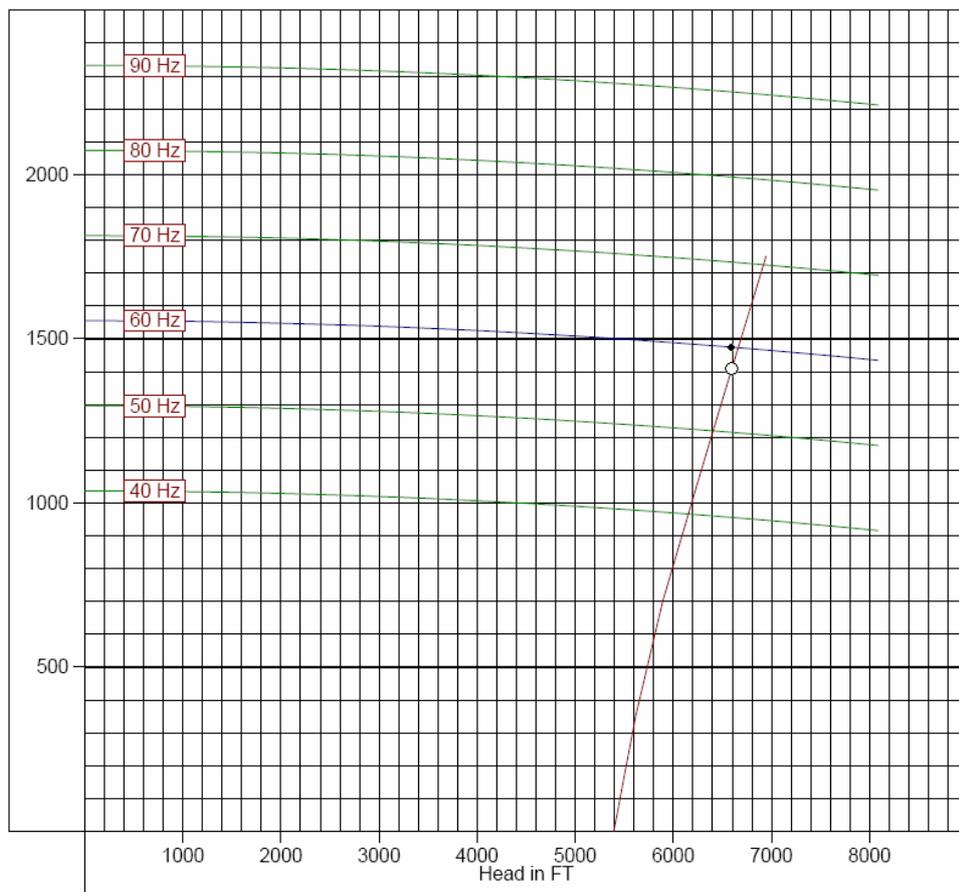
✓ Parámetros de operación del **CABLE CELF #4 sólido plano**

Longitud superficie: 50.0 ft
Longitud en tubing: 7744 ft
Longitud MLE: 110.0 ft
Temperatura superficie: 75.0° F
Voltaje en cabeza: 1327.8 V
kVA en cabeza: 95.6 kVA
Caída de voltaje: 178.2 V
Temperatura del cable: 206° F

✓ Parámetros de operación del **CONTROLADOR 4300-VT 325kVA / 480V / 391A**

Input kVA: 87.6 kVA
 kW del sistema: 84.1 kW
 Max corriente: 115.2 A
 Voltaje Input: 480 V
 Volts max en cabeza: 1325 V
 Frecuencia máxima: 60.0 Hz (8.00 V/Hz)
 Frecuencia arranque: 20.0 Hz
 Transformador SUT: 2.77 ratio

Figura 59. Condiciones de operación de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-54ST.
 Flow in BPD



Fuente: AutographPC

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Debido a que los pozos actualmente están utilizando ESP como sistema de levantamiento, con equipos de Baker Hughes Centrilift; los costos de instalación, pulling, llamados y recorrido son los mismos para ESPCP ya que los 2 tipos de levantamiento por su similitud, serán regidos por el mismo modelo de contrato (según lo expresado por el ingeniero de aplicaciones que maneja la cuenta Centrilift – Ecopetrol). Por lo tanto la diferencia radical se marcará en los gastos de operación, es decir, en el gasto de consumo de energía.

A continuación se compararán los consumos de energía y por consiguiente se estimará un porcentaje de ahorro mensual por cada pozo, si lo existe.

Costo del KWH de US\$ 0.05/KW

a. Pozo Tello-10

Tabla 28. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-10

Pozo Tello-10	Mensual (dólares)	Ahorro
ESP	US\$ 8,655.00	US\$ 5,619.00 Equivalente al 65 %
ESPCP	US\$ 3,036.00	

Fuente: Tesistas

b. Pozo Tello-19

Tabla 29. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-19

Pozo Tello-19	Mensual (dólares)	Ahorro
ESP	US\$ 4,702.00	US\$ 2,537.00 Equivalente al 54 %
ESPCP	US\$ 2,165.00	

Fuente: Tesistas

c. Pozo Tello-34

Tabla 30. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-34

Pozo Tello-34	Mensual (dólares)	Ahorro
ESP	US\$ 4,366.00	US\$ 2,098.00 Equivalente al 48 %
ESPCP	US\$ 2,268.00	

Fuente: Tesistas

d. Pozo Tello-35A

Tabla 31. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-35A

Pozo Tello-35A	Mensual (dólares)	Ahorro
ESP	US\$ 4,679.00	US\$ 1,568.00 Equivalente al 33 %
ESPCP	US\$ 3,111.00	

Fuente: Tesistas

e. Pozo Tello-35A

Tabla 32. Comparación de los costos de Operación para el pozo Tello-54ST

Pozo Tello-54ST	Mensual (dólares)	Ahorro
ESP	US\$ 5,393.00	US\$ 2,365.00 Equivalente al 44 %
ESPCP	US\$ 3,028.00	

Fuente: Tesistas

Es un hecho que los gastos en operación son considerablemente disminuidos hasta en un 65%.

5. ANALISIS

En este punto se entra a analizar los pros y contras para tomar una decisión final si es o no viable utilizar ESPCP para los pozos Tello-10, Tello-19, Tello-34, Tello-35A y Tello-54ST.

En cuanto a la parte económica es indiscutible que para cada pozo se tiene un considerable ahorro con el sistema ESPCP comparado con el consumo que se tiene con el equipo ESP que esta corriendo actualmente. Ahora, al analizar los riesgos que cuentan los equipos según los diseños, además de la ayuda de las bases teóricas y principalmente con la ayuda de los conocimientos que se tienen gracias a antecedentes de dicho equipo utilizados en pozos de Venezuela; se terminará por concluir si es o no viable.

Antes de evaluar pozo a pozo, existen dos parámetros que son indispensables para estimar si es viable o no; un parámetro es el arenamiento que influye directamente en el cálculo del torque friccional. Y el otro es el "factor de deslizamiento" o "fuga" y arenamiento que influye directamente en el cálculo del torque hidráulico. Parámetros que se encuentran en los 5 pozos de estudio. Aunque en el diseño se expuso, que el torque debido a la fricción es mucho mayor que el hidráulico y por tal motivo no se consideró; en algunos casos éste puede llegar a ser un valor alto que entraría a influir en el torque total; dicho caso es en pozos donde el P_{WF} es bajo y con manejo de arena, es decir, el diferencial de presión es alto. Si bien el software calcula la presión de entrada y salida de la bomba CP (ver siguiente tabla) con cierto grado de exactitud, en condiciones de arenamiento el margen de error aumenta ya que esta influye directamente en la presión de descarga de la bomba.

Tabla 33. Diferencial de presión en los pozos de estudio seleccionados.

POZO	PIP (psi) Presión entrada de la bomba	Pdp (psi) Presión salida de la bomba	ΔP (psi)
Tello-10	452	3263	2811
Tello-19	247	3455	3208
Tello-34	160	3125	2965
Tello-35A	128	3477	3349
Tello-54ST	328	3127	2799

Fuente: Tesistas

El problema radica en la depositación de arena sobre la bomba, esto provoca un incremento de la presión de descarga acompañado de una restricción de área de flujo. La cual sucede cuando las condiciones de flujo del pozo por encima de la bomba no son capaces de transportar los granos de arena hacia la superficie, es decir, como el software calculó un HP determinado por un torque menor por no considerarse la presencia de arena; puede que la potencia del motor que se instale, no logre levantar las partículas de arena.

La consecuencia del arenamiento tiene un primer efecto sobre la gravedad específica del fluido, pero comparado con el calculado, no difiere en gran proporción. No obstante, dicho margen de error aumentará ya que a partir de la gravedad específica se estimará el TDH, seguido de la potencia necesaria para levantar el fluido; y seguido del torque. Si en un comienzo éste se desprecia por diferir en baja proporción, al seguir con la cadena de eventos, éste aumentaría considerablemente, teniéndose al final unas condiciones muy diferentes a las que se tenían estimadas.

Si bien, se ha aclarado que la bomba de cavidades progresivas es muy eficiente en el manejo de arena; también hay que mencionar que si no se emplea en condiciones de operación adecuadas, ésta no va realizar un buen trabajo; o en situación extrema, puede llegar a tener una vida útil menor a la que se tenía estimada.

En segundo lugar se encuentra el "factor de deslizamiento" o "Slippage". Como lo indica la siguiente figura, ésta es proporcional al cambio de presión de la bomba (ΔP); o en su defecto, por la columna de levantamiento "TDH" (figura 61).

Figura 60. Ejemplo del efecto del ΔP en el deslizamiento de la bomba CP.

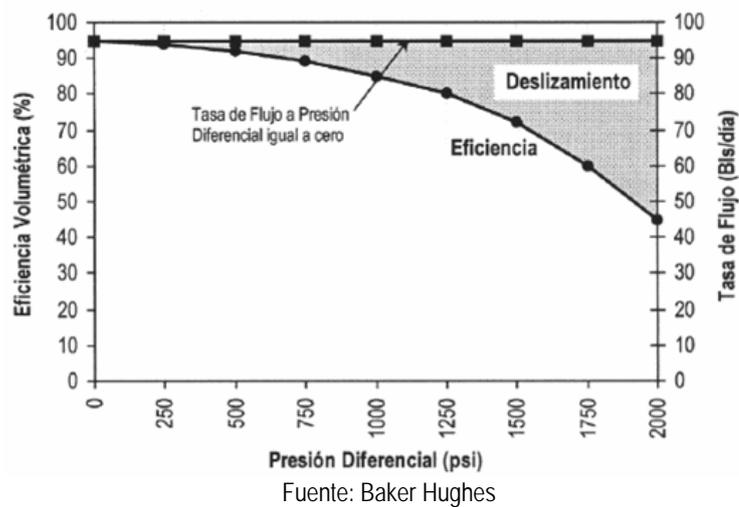
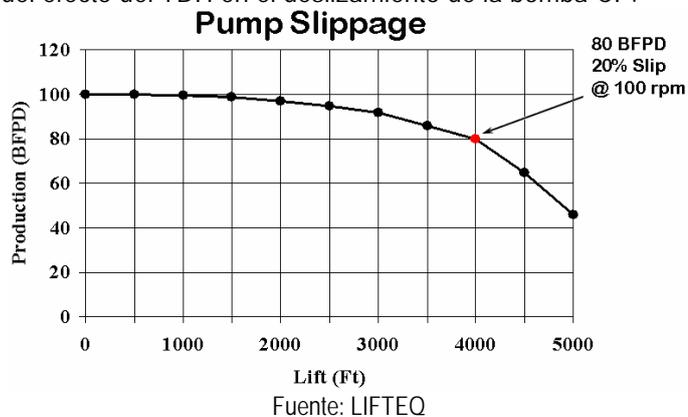


Figura 61. Ejemplo del efecto del TDH en el deslizamiento de la bomba CP.



Aunque el software tiene en cuenta el deslizamiento en el cálculo del torque hidráulico; nuevamente se entra a hablar del arenamiento, ya que por la presencia de éste, la columna dinámica total (TDH) aumenta, terminando con un mayor cambio de presión en la bomba CP; y en consecuencia en mayor deslizamiento de fluido en la bomba.

El problema de un mayor porcentaje o factor de deslizamiento al estimado, radica en que la bomba brinde un menor caudal al deseado en las condiciones de operación empleadas.

Aun después de ser mencionadas las diferencias del simulador con la realidad, el software sigue siendo una herramienta indispensable. En estas situaciones es donde se justifica la realización del respectivo test en un banco de pruebas, como complemento para estimar las condiciones de operación normales; además de realizar el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo localmente.

Como conclusión final, para el diseño del equipo ESPCP, la bomba de cavidades progresivas tiene que ser expuesta a las diferentes pruebas con tipos de fluidos, realizadas en un banco de pruebas. Para llegar a definir con mas claridad si el equipo es recomendable instalarlo o no. En la figura 62 se ilustra un ejemplo del reporte del comportamiento de la bomba Lifteq en laboratorios de estados unidos.

A continuación, serán analizados los diseños realizados por el software según las alarmas o condiciones inseguras que presentan.

Evaluación pozo a pozo:

a. Pozo Tello-10

El diseño solo presenta 2 alarmas de advertencia; una en el sello seleccionado y la otra en la caja reductora. Siendo ésta última la más crítica, ya que se encuentra en sobrecarga en un 101 %, hecho que no se puede pasar por alto debido a que si llegase a fallar el equipo se perdería la comunicación del movimiento del motor hasta la bomba, daño que causará parada del equipo. La razón principal del problema es debido a que la bomba tiene que levantar una columna dinámica muy alta; dando como consecuencia el manejo de un alto torque en la caja reductora.

b. Pozo Tello-19

El equipo seleccionado para el pozo Tello-19 es el mas estable, los estados de operaciones se encuentran en rangos considerables y no cercanos a los limites.

c. Pozo Tello-34

La bomba, los sellos, el motor y la caja reductora se encuentran en parámetros estables, lejos de condiciones extremas. El único punto a considerar, es que el manejo de gas en la bomba es un poco mayor a lo recomendable. El problema radicará en el efecto sobre el elastómero de la bomba, podrá hincharse acusando el aumento de la fricción entre éste y el estator. Se elevaría el torque de fricción.

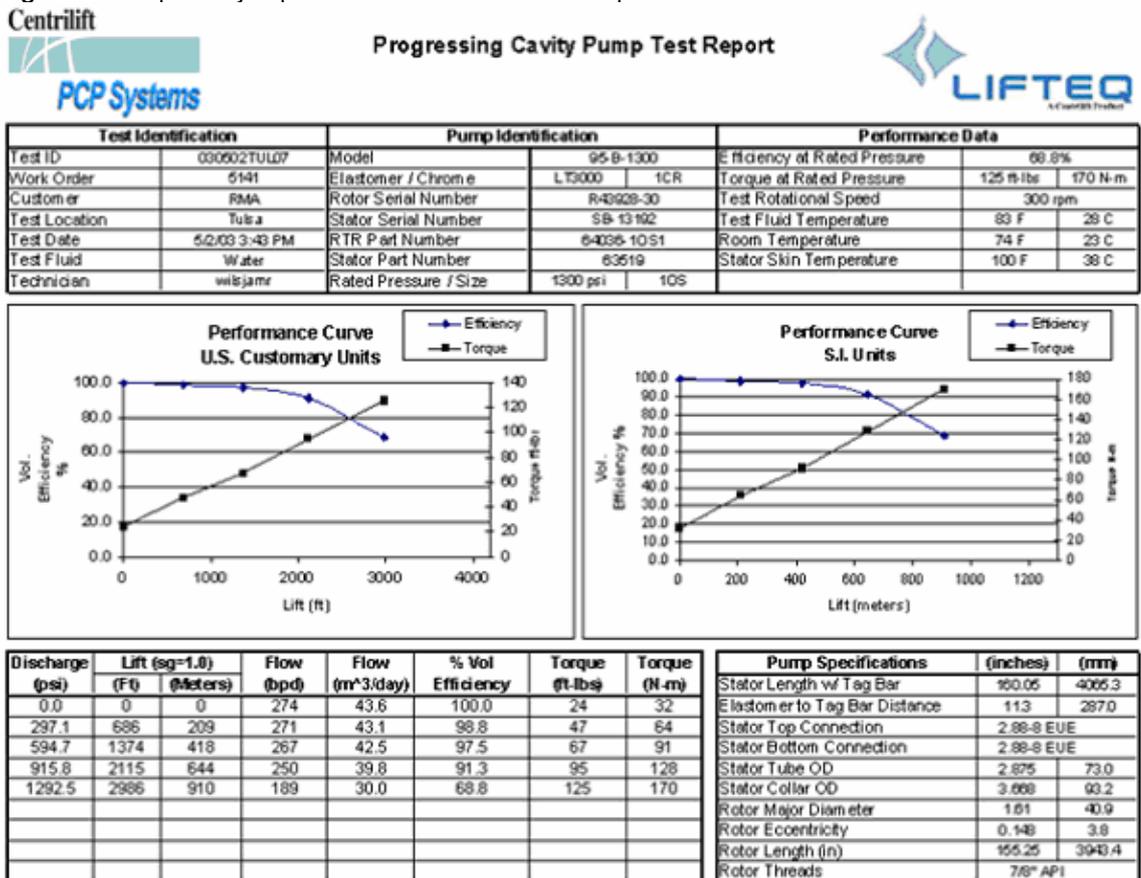
d. Pozo Tello-35A

Definitivamente éste es el diseño con más problemas, debido al bajo PIP y al alto TDH, tanto la sección sellante y la caja reductora quienes soportan la carga, se encuentran en un estado mucho mayor al límite recomendable.

e. Pozo Tello-54ST

Junto con las condiciones de operación del equipo seleccionado en el pozo Tello-19, el equipo para el pozo Tello-54ST, cuenta con parámetros estables para su funcionamiento.

Figura 62. Reporte ejemplo realizado en un banco de pruebas.



Form Last Revised: 5/1/03 12:00 AM

Approved _____

Fuente: LIFTEQ

6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el comportamiento que fue expuesto en los capítulos 3, 4 y 5, de los equipos seleccionados para los diferentes pozos de estudio; se concluye que es necesario seguir con el estudio práctico, es necesario obtener datos más cercanos a la realidad del equipo, donde es inevitable realizar test con fluidos similares al producido; en un banco de pruebas. Por lo tanto se concluye que lo realizado durante el proyecto no es definitivo, es decir, hasta el momento no se puede asegurar si el equipo a instalarse tenga un comportamiento efectivo.

A pesar que se tienen que realizar pruebas para el equipo de los pozos Tello-10 y Tello-35A para considerar el manejo de arena; debido a su alta TDH y bajo PIP, los equipos seleccionados hasta el momento presentan alta carga. Se concluye que para estos pozos no es recomendable instalarse el sistema ESPCP y continuar con ESP. Que, a pesar de los antecedentes el equipo electrosumergible en los pozos Tello 10 y 35A; el que está corriendo actualmente presenta mayor efectividad en el manejo de la carga, ya que llevan en operación mas de 500 y 400 días respectivamente.

Adicionalmente a las conclusiones; si se desea impulsar el uso de este sistema de levantamiento artificial ESPCP y/o PCP, la necesidad de instalar un banco de pruebas es inevitable; que supla las necesidades de los clientes, que van desde el ensamble de los equipos, pruebas y envío de los mismos hasta el lugar en donde son requeridos. A menos que cada equipo se envíe a estados unidos, en la ciudad de Tulsa, en el estado de Oklahoma (USA) en la planta de Centrilift donde se encuentra el banco de pruebas mas cercano; generando una serie de gastos extras los cuales son asumidos por el cliente, elevando los costos y el tiempo de adquisición

7. RECOMENDACIONES

A pesar que el proyecto no fue definitivo, los avances que se han tenido son considerables, vemos que en pozos de bajo P_{WF} y altas profundidades ($\Delta P > 3000$ psi) en casing de 7' como es el caso de los pozos Tello-10 y Tello-35A; la viabilidad del sistema es nula. Pero que no hay que perder la noción de que si se acondicionan los pozos para que los equipos funcionen entre sus límites; éstos pueden llegar a ser eficientes y rentables. Por lo tanto es recomendable realizar algún tipo de estimulación a la formación para que ésta aporte una mayor presión; que a pesar de que los gastos de la empresa operadora serán mayores, con el ahorro en costos de operación se compensaría (pero obviamente, con un tiempo mas prolongado); además de tenerse, posiblemente, un mayor caudal, conllevando al aumento de las utilidades.

Evidenciando la gran utilidad de la bomba de cavidades progresivas, es recomendable continuar con las investigaciones acerca de éste en condiciones locales. Encontrar el punto de mayor utilidad y eficiencia con la ayuda de un banco de pruebas.

Para dar mayor fuerza a las investigaciones de la bomba CP, la implementación del banco de pruebas en las instalaciones de Centrilift en Neiva es inevitable, el cual indicará que la bomba entregada al cliente esta funcionando en condiciones de operación normal.

Se recomienda que la empresa tenga un mayor contacto o relación con los posibles clientes y trabajen estrechamente para poder suplir las necesidades, ya que constantemente estos son generadores de nuevas ideas.

Para afianzar el producto de la empresa se debe considerar un análisis profundo del mercado para cada periodo de la situación actual del sector petrolero en el país.

Ampliar el mercado, para justificar aun mas el banco de pruebas; y al contar con éste, consecencialmente se aumentaría el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

Ing. Nancy J. JAIME NAIM. Curso Diseño de BCP. Anzoátegui, Venezuela

MULLINS, L.D., BALDWIN, W.F. and PERRY, P.M. Surface floor line sand detection. En S.P.E. 5152. (October, 1974); p. 134 – 136.

MANUAL PARA EL DISEÑO DE EQUIPO ESP. Baker Hughes Centrilift. Julio 2001.

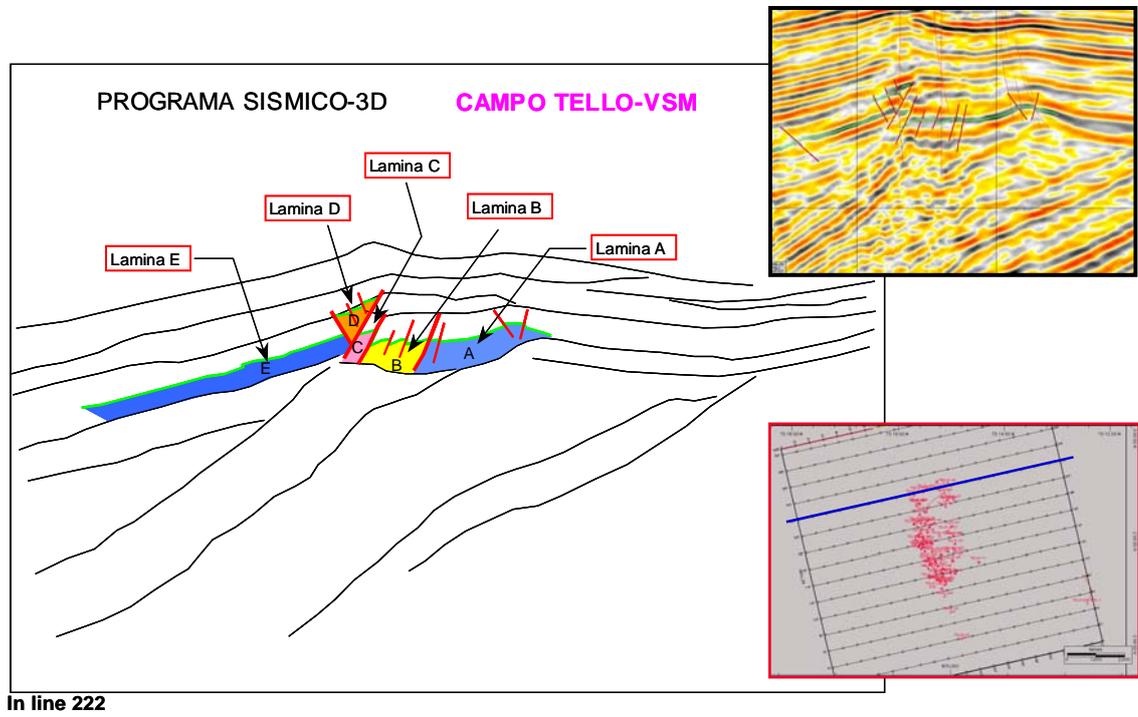
DISEÑO DE LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL MONTAJE DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CP Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO. Autores: Mario Mogollón y Germán Moyano. Bogotá DC 2006.

Brown, K. E.: Technology of Artificial Lift Methods, Vol. 2b, Petroleum Publishing Co., Tulsa, Oklahoma (1980).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2003.

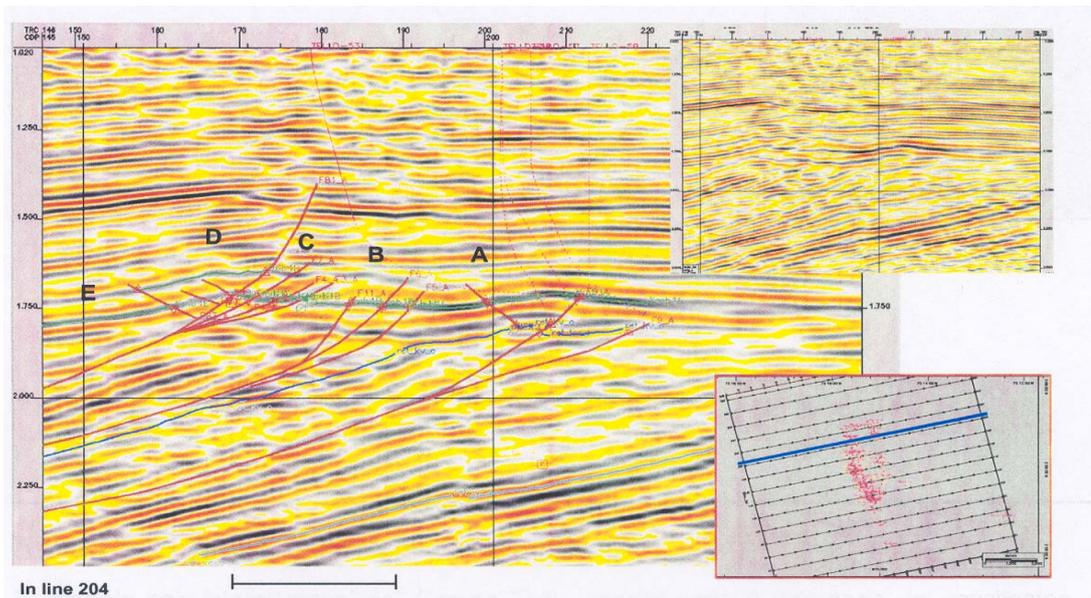
ANEXO A

Programa sísmica 3D para campo Tello.



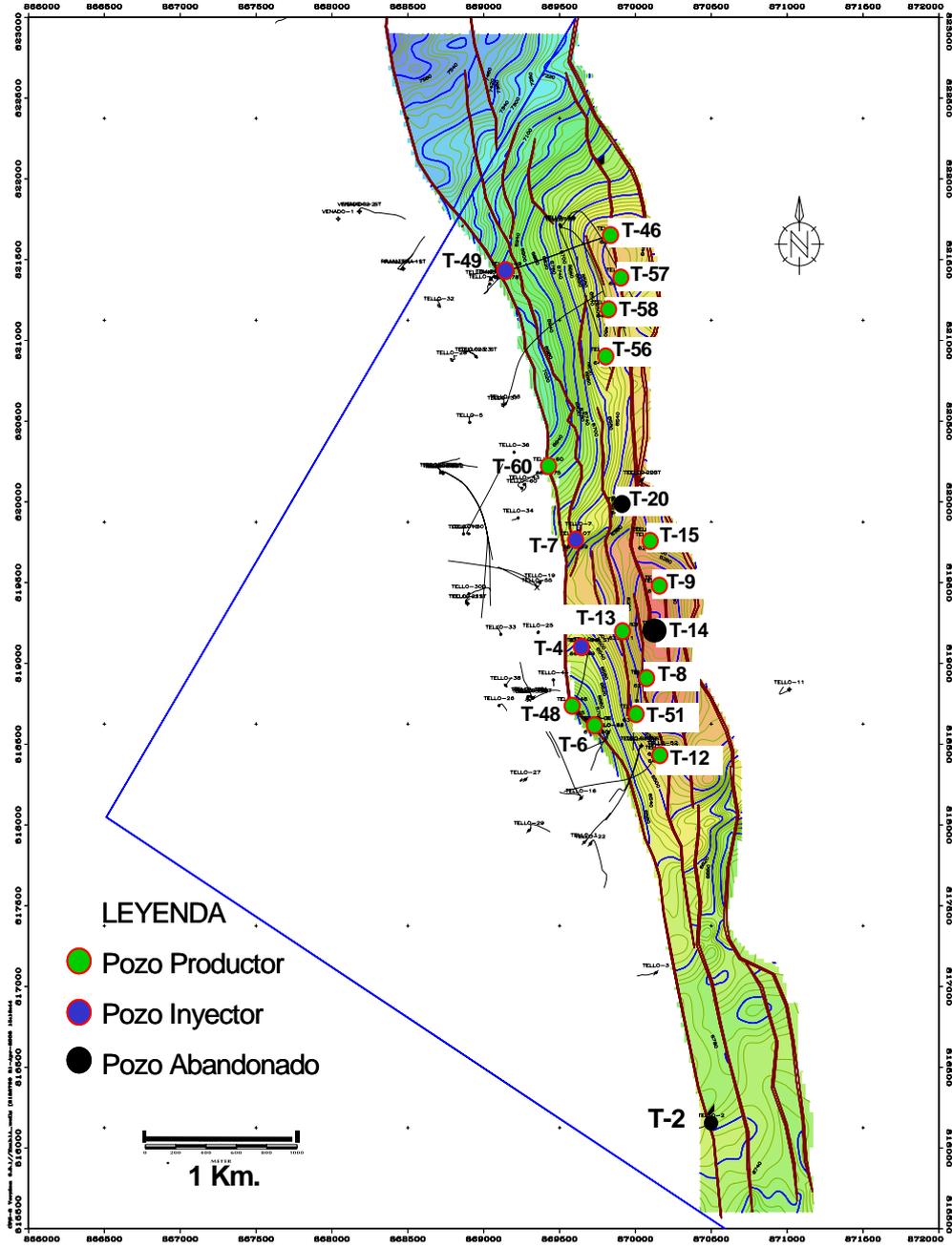
Fuente: Ecopetrol

Modelamiento estructural de la sísmica 3D para campo Tello.



Fuente: Ecopetrol

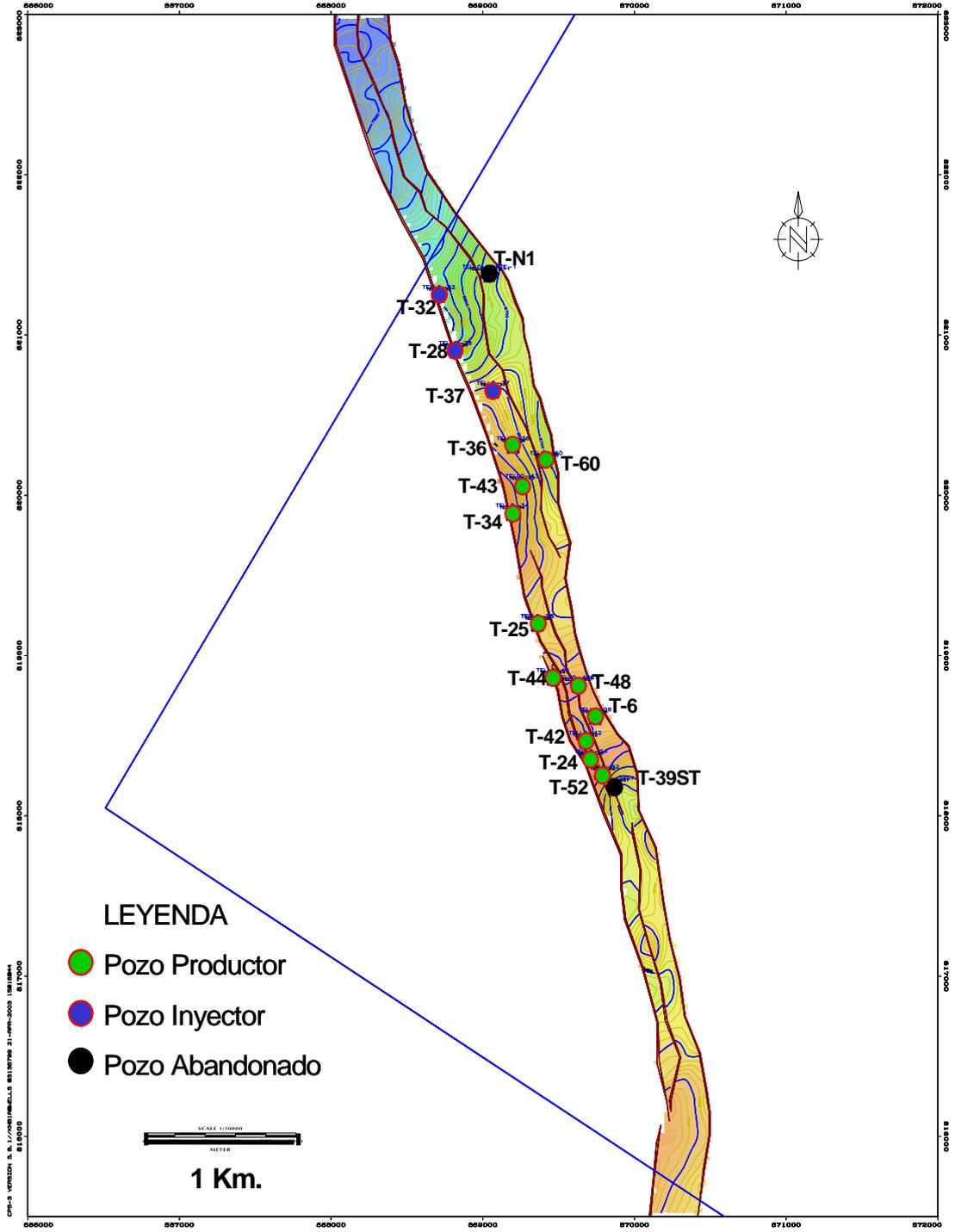
Mapa estructural de Lamina A.



STRUCTURAL TOP DEPTH MAP - MONSERRATE FM. B2 UNIT - SLIVER A

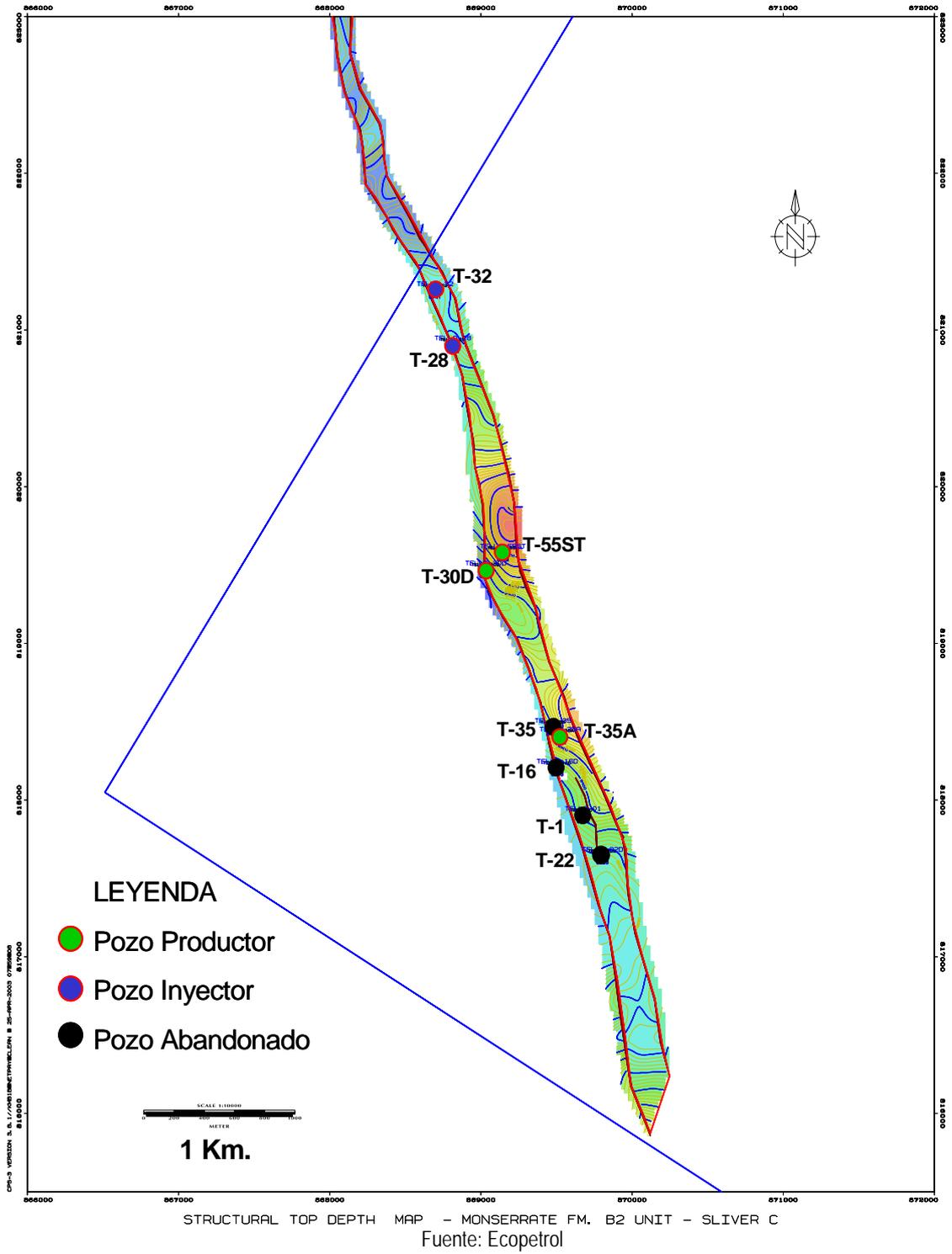
Fuente: Ecopetrol

Mapa estructural de Lamina B.

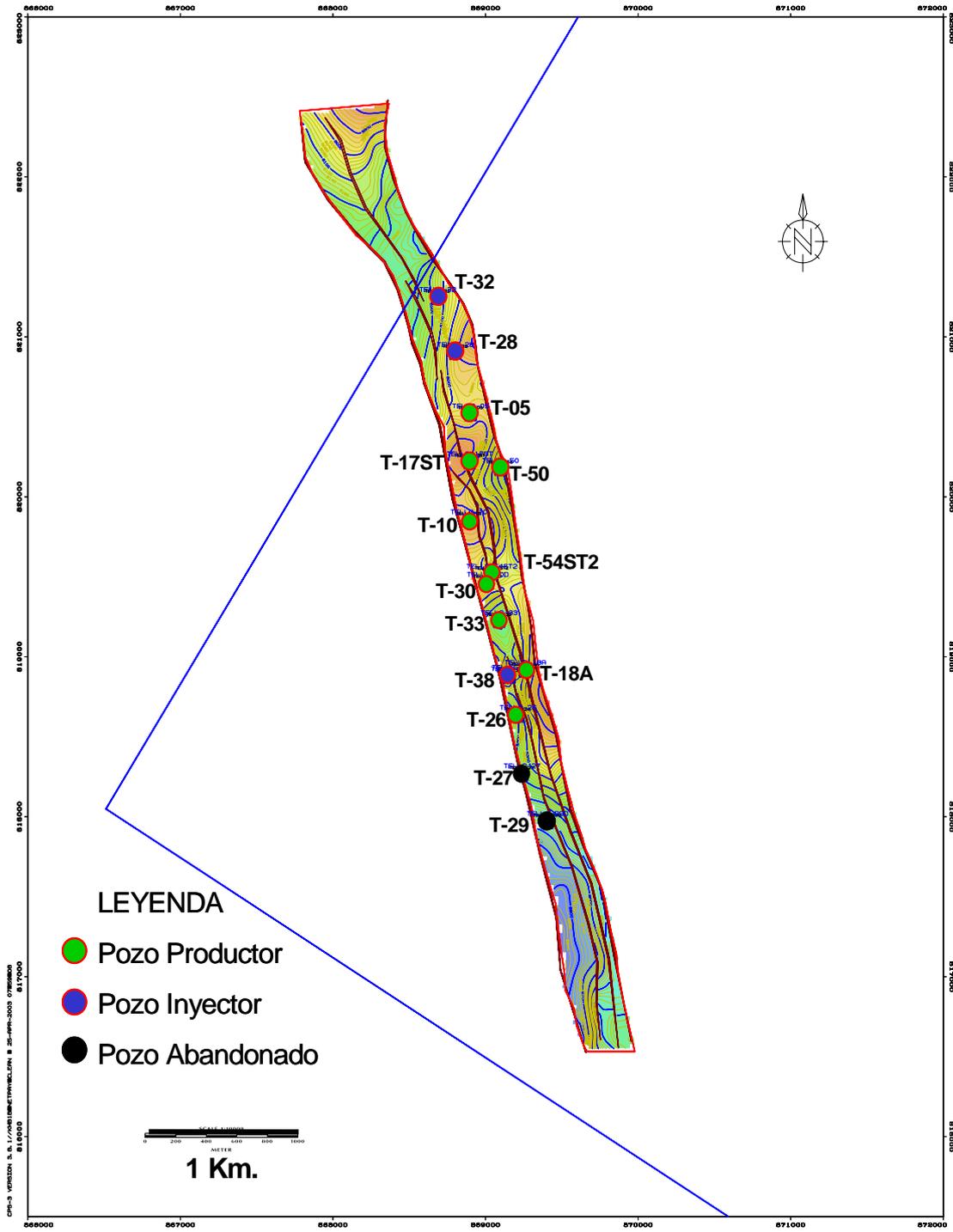


Fuente: Ecopetrol

Mapa estructural de Lamina C.

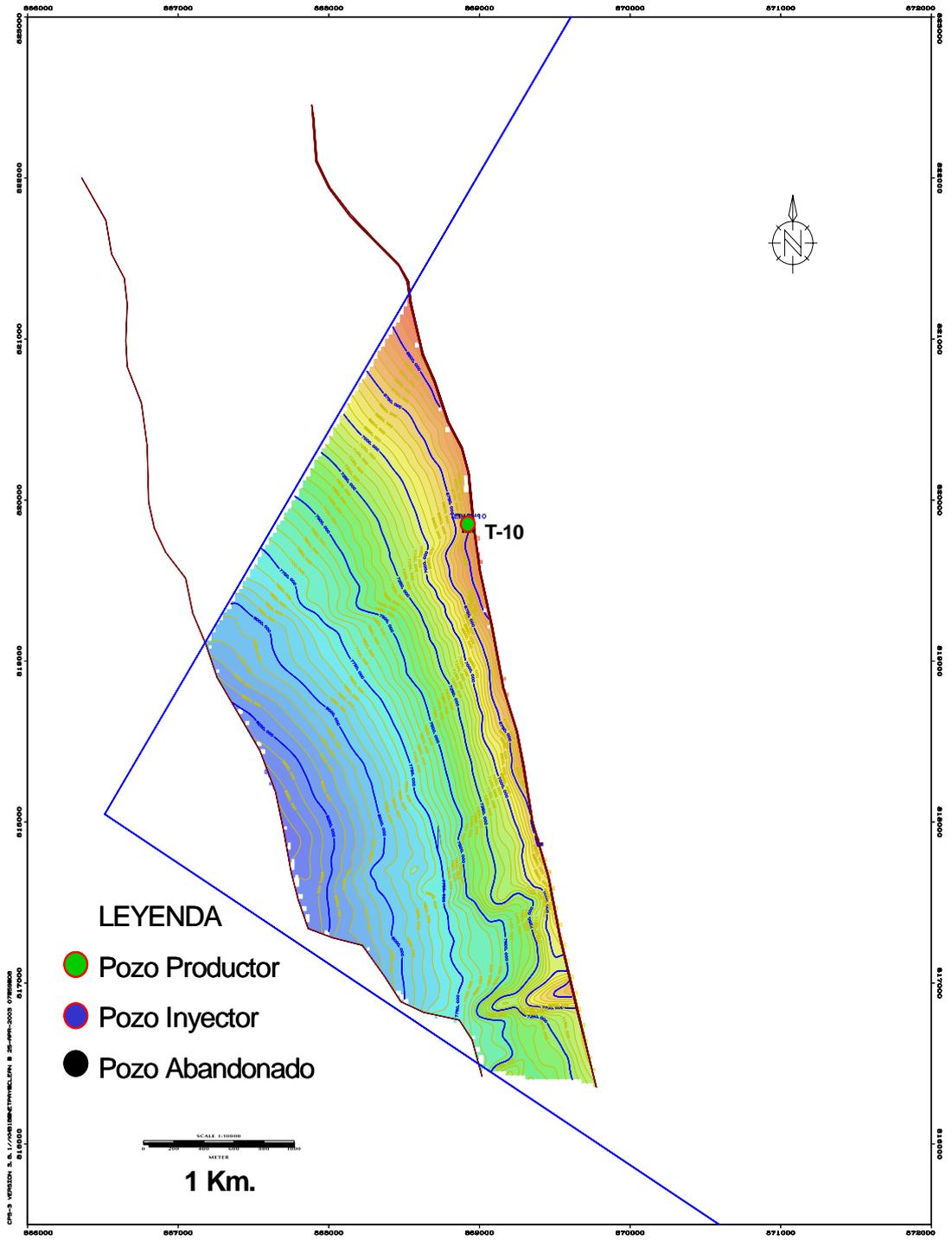


Mapa estructural de Lamina D.



Fuente: Ecopetrol

Mapa estructural de Lamina E.



STRUCTURAL TOP DEPTH MAP - MONSERRATE FM. B2 UNIT - SLIVER E
Fuente: Ecopetrol

ANEXO B

1. Sistema ESP

Es un sistema integrado de levantamiento artificial, es considerado como un medio económico y efectivo para levantar altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo. Es más aplicable en yacimientos con altos porcentajes de agua y pozos desviados; debe reunir características que no afecten su funcionamiento como las altas relaciones gas-aceite, las altas temperaturas, la presencia de arena en los fluidos producidos y medio ambiente de operación agresivo, que son factores con influencias indeseables sobre la eficiencia del conjunto.

Se basa en el principio de centrifugación de fluidos. Las bombas centrífugas convierte la energía mecánica en energía hidráulica en el seno del líquido que está siendo bombeado; están construidas de una serie de etapas (impulsores y difusores) colocados en forma sucesiva uno sobre el otro y alimentándose entre ellos para ganar mayor presión para lograr obtener la altura de columna deseada.

La fuerza motriz es brindada por un motor de fondo colocado en la parte inferior de aparejo, recibe la energía desde una fuente superficial, a través de un cable; su diseño compacto es especial, ya que permite introducirlo en la tubería de revestimiento existente en el pozo y satisfacer requerimientos de potencial grandes, también soporta una alta torsión momentánea durante el arranque hasta que alcanza la velocidad de operación, que es aproximadamente constante para una misma frecuencia, por ejemplo: 3500 revoluciones por minuto (rpm) a 60 ciclos por segundo (Hz).

El movimiento es transmitido a los demás componente del equipo de fondo (Sellos y separador de gas) hasta llegar a la bomba centrífuga por medio de la conexión de los ejes de dichos equipos a través de acoples, es decir, la velocidad que se mueve el motor, así será la velocidad de los sellos, separador de gas y bomba.

2. Sistema PCP

Es muy simple y económico. La instalación de superficie es considerablemente menor que la de un bombeo mecánico, pero tiene limitaciones en cuanto a la presión que puede generar y esto va en línea directa con la capacidad de producción.

La bomba es comparable con un tornillo gigante recubierto por un polímero muy duro, conocida como bombas de cavidades progresivas. La fuerza motriz la entrega un motor en la superficie (eléctrico o a explosión). La transmisión es realizada por un eje de varillas, similar al de las bombas mecánicas, pero en este caso, el movimiento es rotante lo cual disminuye mucho el desgaste por rozamiento de las mismas.

Es el método preferido en el caso de no tener grandes presiones o en caso de tener intrusiones de arena ya que las bombas pueden operar sin destruirse en sus partes mecánicas ni tener un desgaste excesivo.

Es un sistema bastante nuevo originado en Canadá. Su costo inicial y operativo es muy bueno, pero tienen, como mencionamos anteriormente, algunas limitaciones de aplicabilidad que impiden que se difunda en forma masiva.

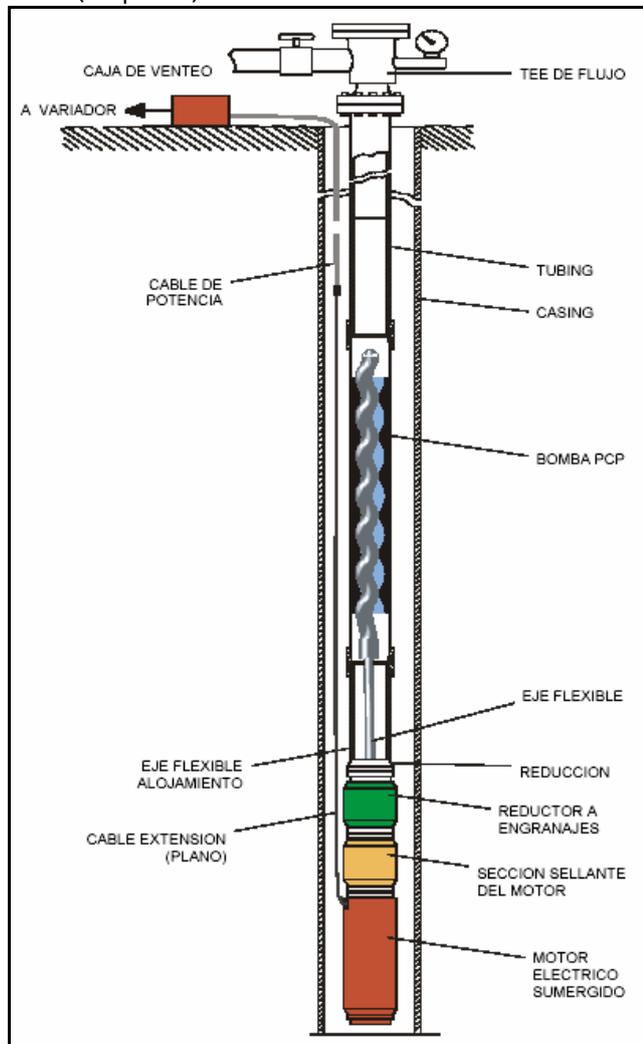
A pesar de ello, su utilización está creciendo rápidamente en nuestro país

3. ESPCP

El sistema ESPCP es una evolución del ESP, posee la versatilidad y confiabilidad de este y la combinación de las flexibilidades que posee la bomba de cavidades progresivas; aunque su concepto es nuevo el equipo del sistema no lo es, se ha desarrollado desde hace aproximadamente 15 años. En un principio se instalaba en aplicaciones donde el ESP presentaba numerosas fallas problemas de rompimiento de casing por la presencia de sólidos en el pozo, en vez de reinstalarse el sistema ESP, es decir, no se planeaba su instalación desde un principio.

El sistema ESPCP requiere la misma instalación de superficie usada en sistemas ESP, tales como transformadores, variadores de frecuencia, caja de ventilación, cables, etc; y en gran parte del equipo de subsuelo. El motor de fondo esta acoplado a la bomba por una caja reductora y la carga axial es soportado por cojinetes especiales.

Figura 5. Sistemas ESPCP (Esquema).



Fuente: Netzsch

ANEXO C

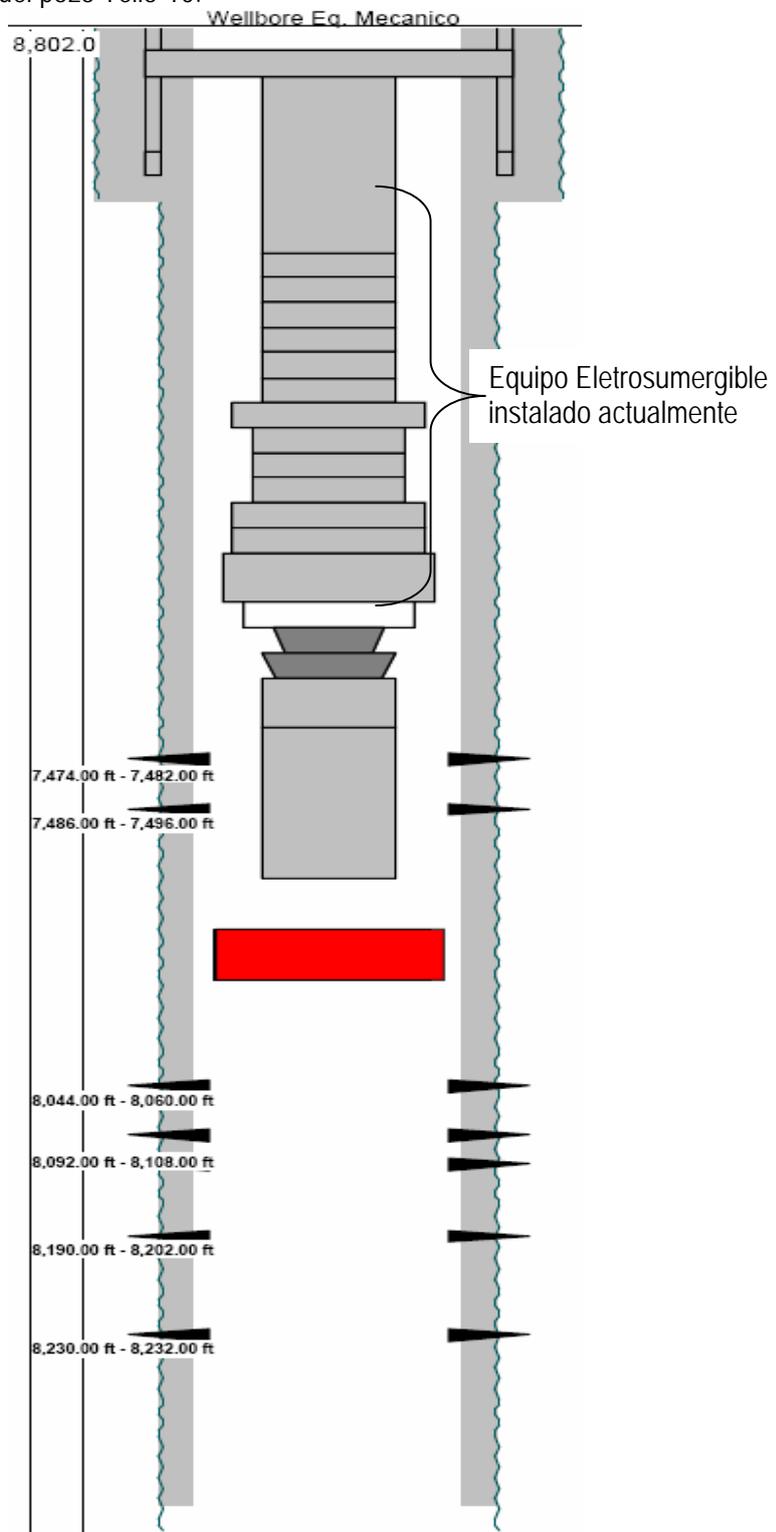
1. DISEÑO TELLO-10

Propiedades completamiento del pozo Tello-10.

Nombre: SURFACE CASING Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 11/04/1977 Profundidad del fondo: 307.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
9	CASING JOINT(S)	9.625 in	H-40	36.00 lb/ft		305.85 ft	0.00 ft		0.000 in	
1	CASING GUIDE SHOE	9.625 in		0.00 lb/ft		1.15 ft	305.85 ft		0.000 in	
Nombre: PRODUCTION CASING #1 Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 12/11/1977 Profundidad del fondo: 8,788.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
4	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft		79.00 ft	0.00 ft		0.000 in	
153	CASING JOINT(S)	7.000 in	J-55	23.00 lb/ft		5,925.58 ft	79.00 ft		0.000 in	
147	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft		2,743.42 ft	6,004.58 ft		0.000 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	7.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	8,748.00 ft		0.000 in	
2	CASING JOINT(S)	7.000 in	J-55	23.00 lb/ft		38.00 ft	8,749.00 ft		0.000 in	
1	CASING GUIDE SHOE	7.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	8,787.00 ft		0.000 in	

Fuente: ECOPELROL

Estado mecánico actual del pozo Tello-10.



Fuente: ECOPETROL

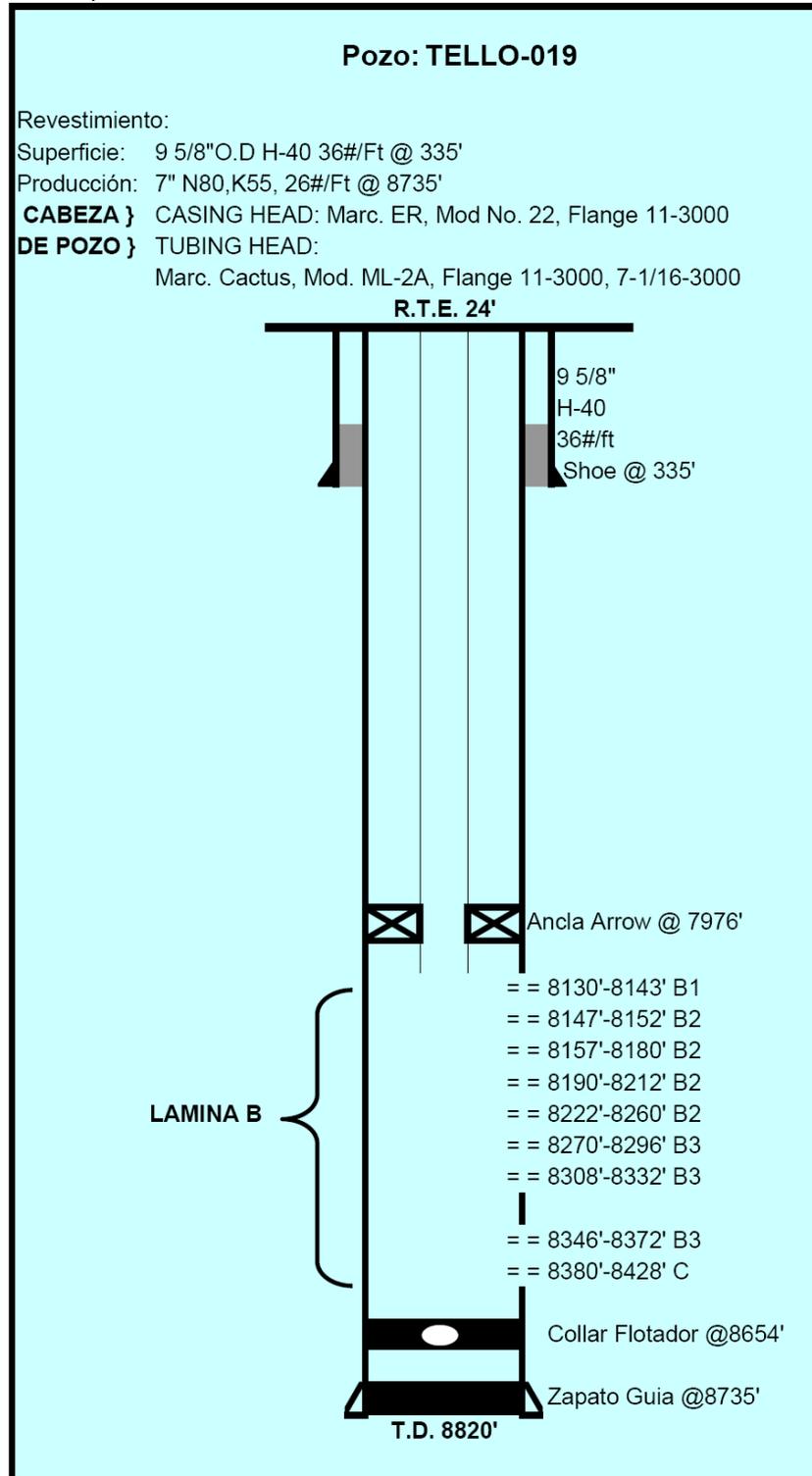
2. DISEÑO TELLO-19

Características completamiento del pozo Tello-19.

Nombre: SURFACE CASING Fecha de Instalacion: 08/12/1981 Estado de la sarta: INSTALLED Profundidad del fondo: 335.1 ft Comentarios <no data>									
Cor	Component Group	Component Length	Component Weight	Component Volume	Component Length	Component Depth	Component Depth	Component Measure	Component Measure
0	LANDING JOINT	9.625 in		0.00 lb/ft	29.58 ft		-8.00 ft	0.000 in	
8	CASING JOINT(S)	9.625 in	H-40	36.00 lb/ft	273.42 ft		21.58 ft	0.000 in	
1	INSERT VALVE	9.625 in		0.00 lb/ft	1.00 ft		295.00 ft	0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	9.625 in	H-40	36.00 lb/ft	38.10 ft		296.00 ft	0.000 in	
1	CASING GUIDE SHOE	9.625 in		0.00 lb/ft	1.00 ft		334.10 ft	0.000 in	
Nombre: PRODUCTION CASING #1 Fecha de Instalacion: 09/05/1981 Estado de la sarta: INSTALLED Profundidad del fondo: 8,735.6 ft Comentarios <no data>									
Cor	Component Group	Component Length	Component Weight	Component Volume	Component Length	Component Depth	Component Depth	Component Measure	Component Measure
1	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	24.00 lb/ft	37.07 ft		-2.00 ft	0.000 in	
16	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	23.00 lb/ft	627.23 ft		35.07 ft	0.000 in	
177	CASING JOINT(S)	7.000 in	K-55	26.00 lb/ft	6,827.46 ft		662.30 ft	0.000 in	
30	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft	1,165.31 ft		7,489.76 ft	0.000 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	7.000 in		0.00 lb/ft	1.34 ft		8,655.07 ft	0.000 in	
2	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft	77.63 ft		8,656.41 ft	0.000 in	
1	CASING FLOAT SHOE	7.000 in		0.00 lb/ft	1.60 ft		8,734.04 ft	0.000 in	

Fuente: ECOPETROL

Estado mecánico del pozo Tello-19.



Fuente: ECOPETROL

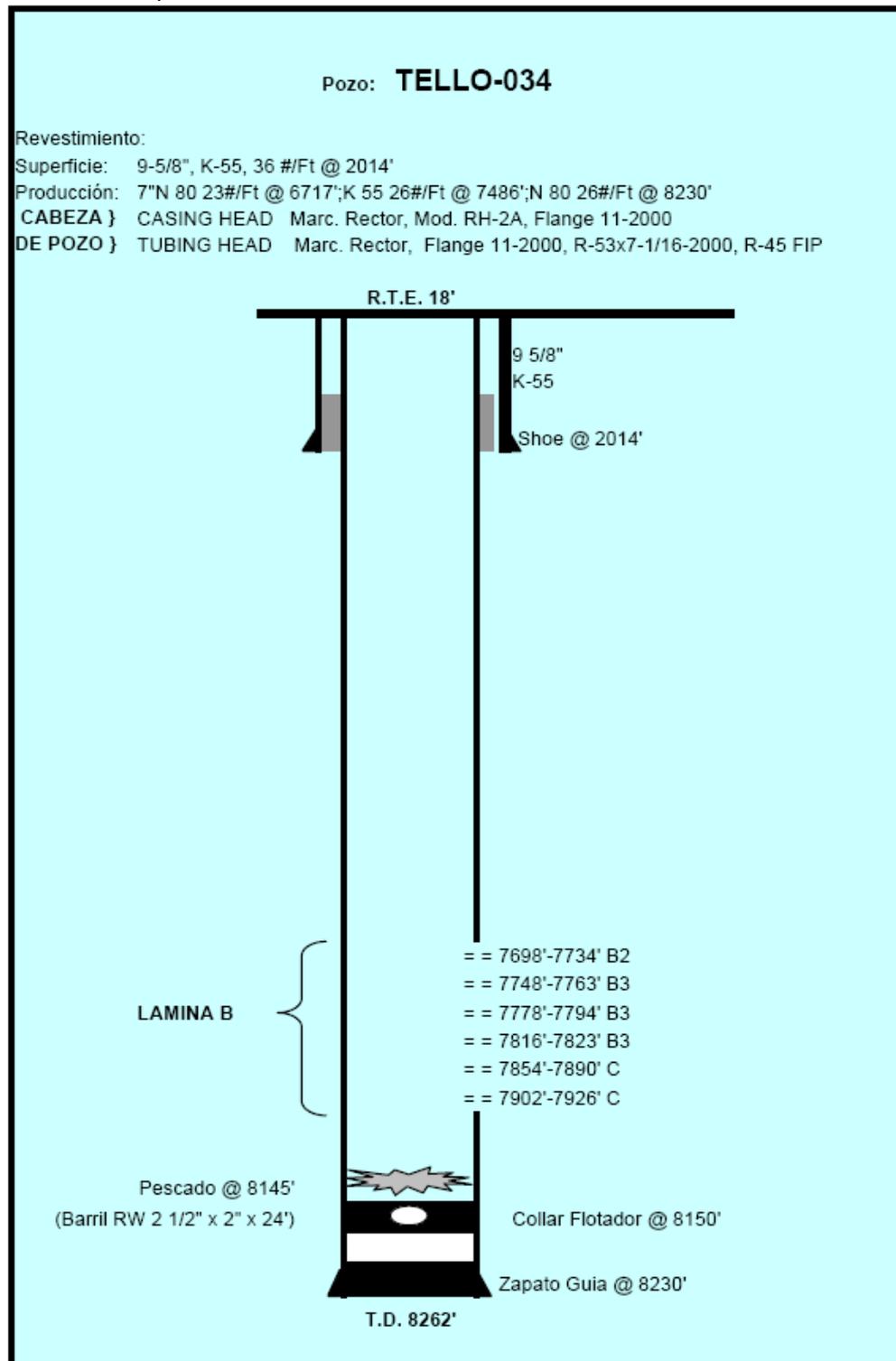
3. DISEÑO TELLO-34

Características completamiento del pozo Tello-34.

Nombre: SURFACE CASING Fecha de Instalacion: 02/28/1983 Estado de la sarta: INSTALLED Profundidad del fondo: 2,014.0 ft Comentarios: <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
49	CASING JOINT(S)	9.625 in	K-55	36.00 lb/ft		1,972.79 ft	-0.15 ft		0.000 in	
1	INSERT VALVE	9.625 in		0.00 lb/ft		0.26 ft	1,972.64 ft		0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	9.625 in	K-55	36.00 lb/ft		40.00 ft	1,972.90 ft		0.000 in	
1	CASING GUIDE SHOE	9.625 in		0.00 lb/ft		1.10 ft	2,012.90 ft		0.000 in	
Nombre: PRODUCTION CASING #1 Fecha de Instalacion: 03/20/1983 Estado de la sarta: INSTALLED Profundidad del fondo: 8,230.0 ft Comentarios: <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
174	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	23.00 lb/ft		6,717.00 ft	0.00 ft		0.000 in	
20	CASING JOINT(S)	7.000 in	K-55	26.00 lb/ft		769.00 ft	6,717.00 ft		0.000 in	
17	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft		662.15 ft	7,486.00 ft		0.000 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	7.000 in		0.00 lb/ft		1.94 ft	8,148.15 ft		0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft		78.93 ft	8,150.09 ft		0.000 in	
1	CASING GUIDE SHOE	7.000 in		0.00 lb/ft		0.98 ft	8,229.02 ft		0.000 in	
Nombre: FISH STRING Fecha de Instalacion: 06/09/2003 Estado de la sarta: INSTALLED Profundidad del fondo: 8,148.2 ft Comentarios: <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
1	FISH - UNKNOWN	6.000 in		0.00 lb/ft		3.15 ft	8,145.00 ft		0.000 in	
Nombre: PRODUCTION CASING #1 Fecha de Instalacion: 06/11/2003 Estado de la sarta: INSTALLED Profundidad del fondo: 2,685.0 ft Comentarios: <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
1	COLLAPSED JOINT	7.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	2,684.00 ft		5.930 in	

Fuente: ECOPELROL

Estado mecánico del pozo Tello-34.



Fuente: ECOPETROL

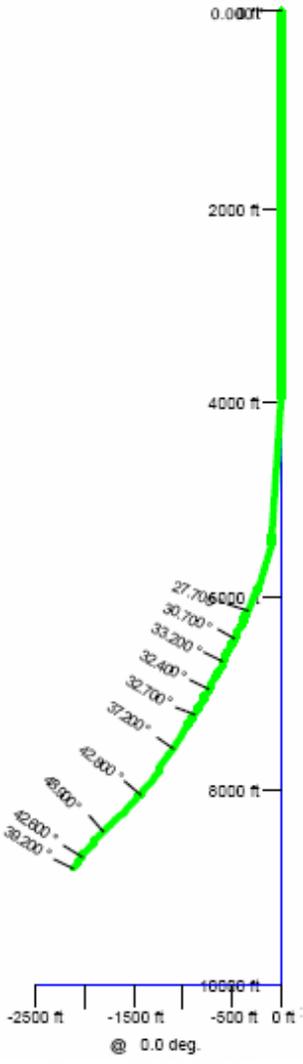
4. DISEÑO TELLO-35A

Propiedades completamiento del pozo Tello-35A.

Nombre: SURFACE CASING Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 05/03/1998 Profundidad del fondo: 2,011.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component W	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
28	CASING JOINT(S)	9.625 in	J-55	40.00 lb/ft	E	1,078.00 ft	-4.00 ft		0.000 in	
24	CASING JOINT(S)	9.625 in	K-55	36.00 lb/ft	E	892.00 ft	1,074.00 ft		0.000 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	9.625 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	1,966.00 ft		0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	9.625 in	K-55	36.00 lb/ft		43.00 ft	1,967.00 ft		0.000 in	
1	CASING GUIDE SHOE	9.625 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	2,010.00 ft		0.000 in	
Nombre: PRODUCTION CASING #1 Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 05/23/1998 Profundidad del fondo: 9,097.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Component	Component G	Component W	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
3	CASING JOINT(S)	7.000 in	P-110	29.00 lb/ft	L	83.00 ft	3.00 ft		6.184 in	
24	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	29.00 lb/ft	L	1,034.00 ft	86.00 ft		6.184 in	
36	CASING JOINT(S)	7.000 in	K-55	26.00 lb/ft	L	1,552.00 ft	1,120.00 ft		6.272 in	
57	CASING JOINT(S)	7.000 in	P-110	29.00 lb/ft	L	2,326.00 ft	2,672.00 ft		6.184 in	
59	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft	L	2,591.00 ft	4,998.00 ft		6.272 in	
1	DV-TOOL	7.000 in		0.00 lb/ft		2.00 ft	7,589.00 ft		0.000 in	
27	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft	L	1,169.00 ft	7,591.00 ft		6.272 in	
7	CASING JOINT(S)	7.000 in	P-110	29.00 lb/ft	L	292.00 ft	8,760.00 ft		6.184 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	7.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	9,052.00 ft		0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	7.000 in	P-110	29.00 lb/ft	L	43.00 ft	9,053.00 ft		6.184 in	
1	CASING FLOAT SHOE	7.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	9,096.00 ft		0.000 in	

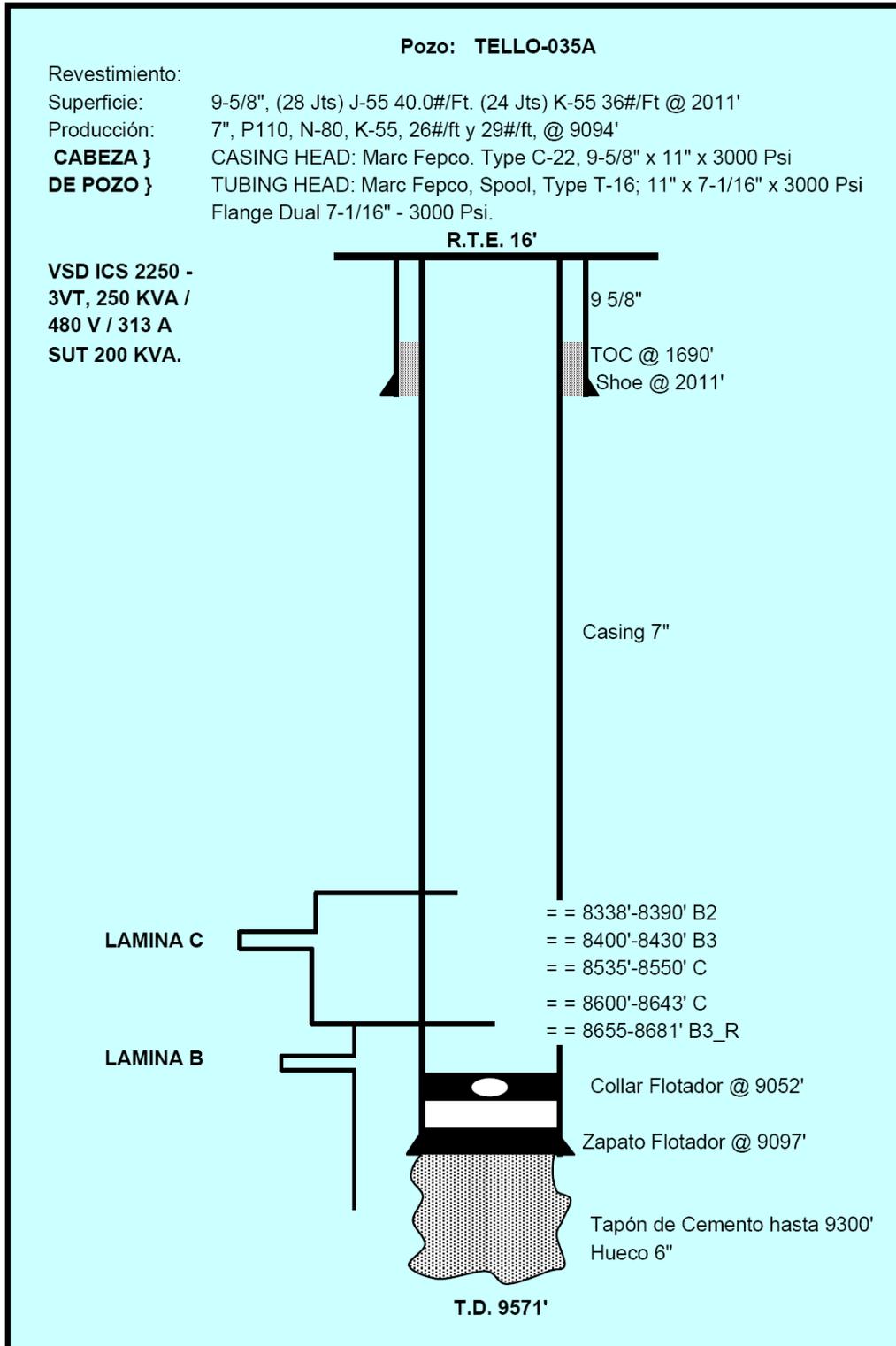
Fuente: ECOPELROL

Vista vertical del pozo Tello-35A.



Fuente: ECOPETROL

Estado mecánico actual del pozo Tello-35A.



Fuente: ECOPETROL

5. DISEÑO TELLO-54ST

Propiedades completamiento del pozo Tello-54ST.

Nombre: SURFACE CASING Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 01/26/2000 Profundidad del fondo: 2,325.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Componen	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
49	CASING JOINT(S)	9.625 in	L-80	43.50 lb/ft	E	2,280.00 ft	-1.00 ft		0.000 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	9.625 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	2,279.00 ft		0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	9.625 in	L-80	43.50 lb/ft	E	44.00 ft	2,280.00 ft		0.000 in	
1	CASING FLOAT SHOE	9.625 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	2,324.00 ft		0.000 in	
Nombre: INTERMEDIATE CASING Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 02/11/2000 Profundidad del fondo: 7,940.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Componen	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
2	CASING JOINT(S)	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	85.42 ft	-6.67 ft		6.184 in	
1	CROSSOVER	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft	V	2.90 ft	78.75 ft		6.276 in	
122	CASING JOINT(S)	7.000 in	N-80	26.00 lb/ft	V	5,158.65 ft	81.65 ft		6.276 in	
1	CROSSOVER	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	36.99 ft	5,240.30 ft		6.184 in	
18	CASING JOINT(S)	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	780.49 ft	5,277.29 ft		6.184 in	
1	DV-TOOL	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	2.39 ft	6,057.78 ft		6.184 in	
42	CASING JOINT(S)	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	1,790.25 ft	6,060.17 ft		6.184 in	
1	CASING FLOAT COLLAR	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	1.34 ft	7,850.42 ft		6.184 in	
2	CASING JOINT(S)	7.000 in	S-95	29.00 lb/ft	E	86.76 ft	7,851.76 ft		6.184 in	
1	CASING FLOAT SHOE	7.000 in		29.00 lb/ft	E	1.48 ft	7,938.52 ft		0.000 in	
Nombre: PRODUCTION LINER #1 Estado de la sarta: INSTALLED Fecha de Instalacion: 09/24/2000 Profundidad del fondo: 9,571.0 ft Comentarios <no data>										
Cor	Component Group	Componen	Component G	Component V	C	Component Length	Component D	C	Component M	Compo
1	LINER HANGER	5.000 in		0.00 lb/ft		18.00 ft	7,867.00 ft		0.000 in	
43	CASING JOINT(S)	5.000 in	N-80	18.00 lb/ft	S	1,644.00 ft	7,885.00 ft		0.000 in	
1	LANDING COLLAR	5.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	9,529.00 ft		0.000 in	
1	CASING JOINT(S)	5.000 in	N-80	18.00 lb/ft	S	40.00 ft	9,530.00 ft		0.000 in	
1	CASING FLOAT SHOE	5.000 in		0.00 lb/ft		1.00 ft	9,570.00 ft		0.000 in	

Fuente: ECOPETROL

Figura 42. Vista vertical del pozo Tello-54ST.

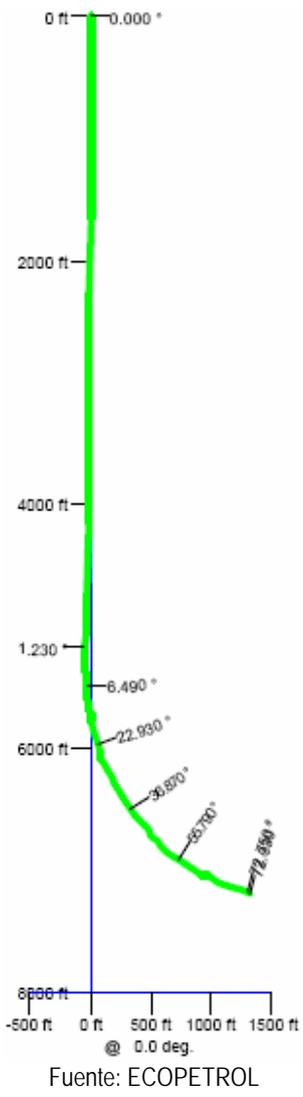
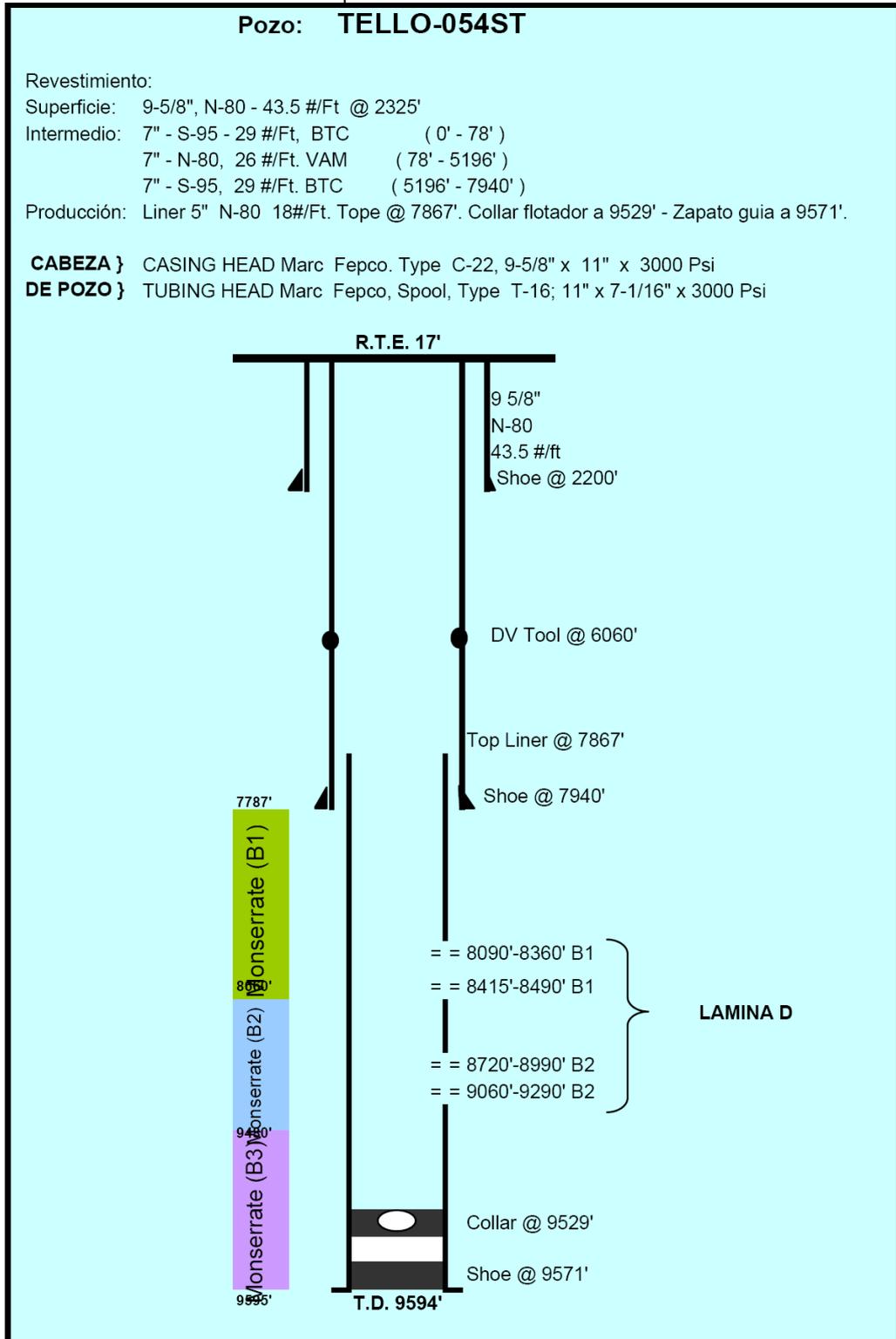


Figura 42. Estado mecánico actual del pozo Tello-54ST.



Fuente: ECOPETROL

ANEXO D

1. DISEÑO TELLO-19

Pozo considerado vertical, tiene un máximo Dog Leg de 4.79°/100ft, un poco mas profundo que el pozo Tello-10 (perforados a 8130 ft) y casing de 7", por lo que contemplamos que se tendrá mayor torque.

Para el diseño del equipo recomendable a instalar para el pozo Tello-19 dejaremos a un lado el procedimiento y solo se utilizará el AutographPC. A pesar que los cálculos realizados por los métodos son muy similares, hay que considerar que los resultados no serán exactamente iguales, la capacidad de utilizar más cifras decimales y de realizar operaciones más complicadas le permite al programa obtener resultados más completos y precisos.

A. Recolección y Análisis de los Datos Disponibles

Dicha información es importada al "well information" en el AutographPC.

Pantalla de información del pozo para Tello-19 (*AutographPC*).

The screenshot displays the 'Well Conditions' window for well T-19. The interface includes the following sections and data:

- Fluid Properties:** Oil grav 20.1 °API, % H2O 65.5 %, SG H2O 1.02 rel-H2O, SG liq 0.99 rel-H2O, SG gas 1.025 rel to Air, Prod GOR 344 scf/STB, Sol GOR 185 scf/STB, Bubble Point 897 psia.
- Temperature Model:** Fluid Surf T 122 °F, Earth Surf T 90.0 °F, BHT 180 °F. Options: Interpolate (unchecked), Calculate (checked), ESP Trise (unchecked).
- Gas Impurities:** N2 2.6 %, H2S 0 %, CO2 2.88 %.
- Dead Oil Viscosity (computed):** Temp 122 °F, OVisc 40.17, 180 °F, Cp 17.39.
- IPR Method:** Constant PI (unchecked), VOGEL (unchecked), Composite IPR (checked), User's IPR data (unchecked).
- Inflow Performance (IPR) - Test Data:** Datum VD 8279 ft, Static Press 734 psi, Perfs VD 8130 ft, Test Flow 650 BPD, Test Press 359 psi, PI @ zero flow 1.973 BPD/psi.
- String Description:** Csg ID 6.276 in, Pipe Roughness 0.0018 in, Tbg ID 2.992 in, TVD 8456 ft, MD 8457 ft.
- Surface Pressure:** Tbg Surf Press 110 psi, Casing Press 40.0 psi.
- Discharge conditions:** Pdp=3429 psi, Qdp=682 BPD, Bo=1.098, Bw=1.022, SGmix=0.952 rel-H2O, Visliq=5.533 Cp, Water Cut (surf)=65.5 %, TbgFriction=17.95 FT, TDH=7728 FT.

Fuente: AutographPC

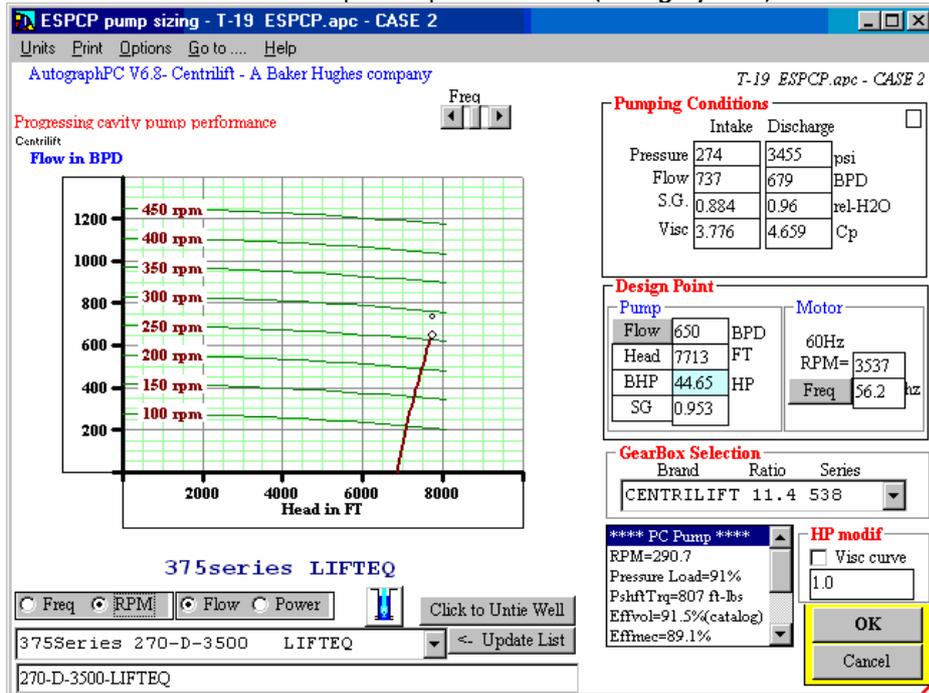
A la derecha de la pantalla de información del pozo Tello-19, se localizan los cálculos realizados por el software, entre ellos se encuentran:

- IP: 1.973 BPD/psi
- Qmax: 1086 BPD
- Pwf: 308 psi
- SG_L: 0.863
- Visc: 4.485 Cp en la entrada del Intake

- PIP: 269 psi
- TDH: 7728 ft
- Pdp: 3429 (presión de descarga)
- Qdp: 682 BPD (caudal de descarga)

B. Tipo de Bomba:

Pantalla de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-19 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

La bomba de cavidades progresivas más indicada para realizar el trabajo de levantamiento de 650 BPD para el pozo Tello-19 es:

270 - D - 3500

Características de la bomba CP diseñada para el pozo Tello-19.

Model		Rate		Pressure		Rotor				Stator				
Imperial	Metric	bfpd rpm	m ³ /d rpm	Psi	bar	Length (mm)	Pin Size (API)	Weight		Length (mm)	O.D. (inch)	Weight		Connection (API)
								Kg	Lbs			Kg	Lbs	
270-D-3500	43-D-241	2.70	0.43	3500	241	12484	1.0	136.3	300.55	12106	3.75	240	528.88	3.5 EUE 8rd ext

Fuente: LIFTEQ

Ya seleccionada la bomba, determinamos si presenta algún tipo de alarma que indique condiciones de operación inseguras; que son expuestas en la pantalla de la bomba CP (ver figura anterior).

Como no se presenta ningún problema, seguimos con el diseño de la sección sellante.

C. Tipo de Caja Reductora:

Caja reductora seleccionada para el pozo Tello-19 (*AutographPC*).

GearBox Selection

Brand	Ratio	Series
CENTRILIFT	11.4	538

Fuente: AutographPC

Figura extraída de la misma pantalla de la bomba, sin presentar alarmas; y donde sus características son expuestas en el siguiente cuadro:

Características de la caja reductora seleccionada para el pozo Tello-19.

Modelo	Serie	OD (in)	Torque (ft-lbs)
11.4:1	538	5.38	1400

Fuente: Tesistas

D. Tipo de Sello:

Pantalla del sello seleccionado para el pozo Tello-19 (*AutographPC*).

The screenshot shows the 'Select Seal' dialog box in the AutographPC software. The window title is 'AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes' and the file name is 'T-19 ESPCP.apc - CASE 2'. The interface is in Spanish. The 'Application - related data' section includes: Angle: 0.9 Deg (0=vertical, 90=horizontal); Oil Type: CL6; Chamber Cap used (Top to Bot.): 34% 27% 20%. The 'Select Seal' section includes: Series: 513; Manufacturer: CENTRILIFT; Models: GSB3, GSB3 DB, GSC3, GSCT3; Options: EHL, H6, HL, IL. Below the 'Options' list, it says '3 CHAMBER, BAG/BAG/LAB' and 'Options H6 IL'. At the bottom, there is a 'Comments' field with the text 'When ordering add PFS option' and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fuente: AutographPC

El sello seleccionado de serie 513, GSB3 y de 3 cámaras (2 bolsas y 1 laberíntico); presenta 1 sola sección y con eje inconel.

E. Tipo de Motor:

Pantalla del motor seleccionado para el pozo Tello-19 (*AutographPC*).

AutographPC V6.8 - Centrilift - A Baker Hughes company T-19 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

OPfreq	56.2	Hz	Click to Untie
ShaftHP at OPfreq	45.59	HP	Mshp60=48.67
Flowrate Qstk	650	BPD	
Csg / Jekt ID	6.276	in	

ADR

BHT	180	°F	<input type="checkbox"/> VSD
%wc	71.33	%	<input type="checkbox"/> SCALE
Oil API	20.1	°API	<input type="checkbox"/> MONEL
GIPbs	44.7	%	%V imbal: 0. %
ViscIn	3.776	Cp	

OP Conditions (@56.2Hz)

Load %	52.3	%	Eff	77.	%
Fluid Speed	0.732	ft/s	pF	77.2	%
Term Volts	781.6	V	RPM	3313	r.p.m.
Motor Amps	42.9	A	Vsurf	971	V
OPTemp = 295°F			Vdrop	189	V

Selected (60Hz rating)

CENTRILIFT	Frame Size: 12
450 FMH	93 HP 965 V 64 A

Buttons: AutoSelect, OK, Cancel

Comments: 132HP

NOTICE: Computed information like efficiency and power factor for non-Centrilift equipment is modeled after published data and by no means necessarily reflect actual efficiencies or power factor observed in the field.

Fuente: AutographPC

Motor serie 450, FMH con potencia de 93 HP, sin presentar alarma de advertencia alguna.

En la tabla siguiente se describen las propiedades del motor seleccionado para el pozo Tello-19.

Propiedades del motor seleccionado para el pozo Tello-19.

Serie	Modelo	HP	Voltaje	Amperaje	Longitud (ft)	Peso (Lbs)	OD (in)
450	FMH	93	965	64	17.1	830	4.50

Fuente: Autores

Una vez seleccionado el equipo se fondo se puede proceder a seleccionar el tipo de cable de potencia. En la pantalla siguiente se puede seleccionar cualquier modelo de cable, con sus respectivas características eléctricas y aislantes, tanto en configuración plana como redonda.

F. Tipo de Cable:

Cable #4 CELF sólido plano de 7975 ft de longitud y con 50 ft mas en superficie para conexiones. Igualmente el MLE-KHT es # 4, con longitud de 40 ft.

Pantalla del cable seleccionado para el pozo Tello-19 (*AutographPC*).

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-19 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

Fluid level over: 559 ft
 Click to Untie motor V: 782 Volts
 Surface: 50.0 ft motor A: 42.9 Amps
 Tsurf: 75.0 °F BHT: 180 °F
 MLE: 40.0 ft Water: 71.33 %
 Power: 0.05 /KWH Tbg Length: 7975 ft
 Perfs: 8130 ft

Cable Sizing Output

volt: 23.48 /1000ft Power Loss: 14.06 KW
 total: 189 volts Power Cost: 506 \$ / mo
 total: 24.21 % motor V
 surface: 72.16 KVA
 surface: 971 volts
 Freq: 56.2 HZ

Cable Selection

Manufacturer: CENTRILIFT
 Size: #4 Type: CELF KV Rating: 5
 Max Cond Temp: 216.2 °F Max Temp Rating: 450 °F
 Round Flat: packer

Reel selection utility (not saved)

78 NEMA I max length: 10526 ft
 cable: 0.572 in X 1.167 in total: 14662.1 lbs
 1.71 lbs/ft with: 7975 ft

Cable Sizing Output (continued)

CENTRILIFT
 #4 50.0 ft CELF 5kV
 CENTRILIFT ma
 #4 7975 ft CELF 5kV
 CENTRILIFT moto
 #4 40.0 ft MLE-KHT 5kV
 Pothead: 2piece Monel
 (drift) casing ID: 6.151 in
 tbg collar OD: 4.5 in
 cable thick: 0.572 in
 Min clearance: 0.995 in

Buttons: AutoSelect, OK, Cancel

Comment: No comments

Fuente: AutographPC

G. Tipo de Controlador (VSD):

Pantalla del controlador seleccionado para el pozo Tello-19 (*AutographPC*).

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-19 ESPCP.apc - CASE 2

Variable Speed Drive

Model	KVA	A
2100-VT	111	133
1125-VT	130	156
2125-PCP	130	156
2125-VT	130	156
2150-VT	163	196
2200-VT	200	241
2250-VT	260	313
4300-VT	325	391
4350-VT	390	469
4400-VT	454	546

Model: CENTRILIFT 480V RATING

Input Data

Click to Untie
 Control Vin: 480 V
 Surface: 971 V
 Motor: 42.89 Amps
 Surface: 72.16 KVA
 Frequency: 56.23 Hz
 Power Cost \$: 0.05 /KWH
 VSD Switchboard

Controller Calculated Data

Output Current = 86.8 Amps
 Output Voltage = 480. Volts
 (required V/Hz = 8.537)
 Controller Load = 18.5%
 Controller in = 63 KVA
 System Power = 60.1 KW
 Power Cost = 2165 \$/mo

Motor Starting: 145 Volt, 123 Amps

Selected Equipment

CENTRILIFT
 4350-VT Variable Speed Drive
 SUTrafo ratio=2.024

Transformer Info

Supply Load >

Starting Frequency: 20.0 Hz
 Starting Vboost: 200 V

Buttons: AutoSelect, OK, Cancel

Comments: No comments

Fuente: AutographPC

2. DISEÑO TELLO-34

Pozo vertical, tiene un máximo Dog Leg de 0.82°/100ft, de 8286 ft de profundidad con perforados a partir 7698 ft y casing de 7", laminas B y C.

Con los mismos criterios utilizados para el diseño de los pozos Tello 10 y 19, se determina el equipo correspondiente para los pozos siguientes; Tello-34, Tello-35A y Tello-54ST.

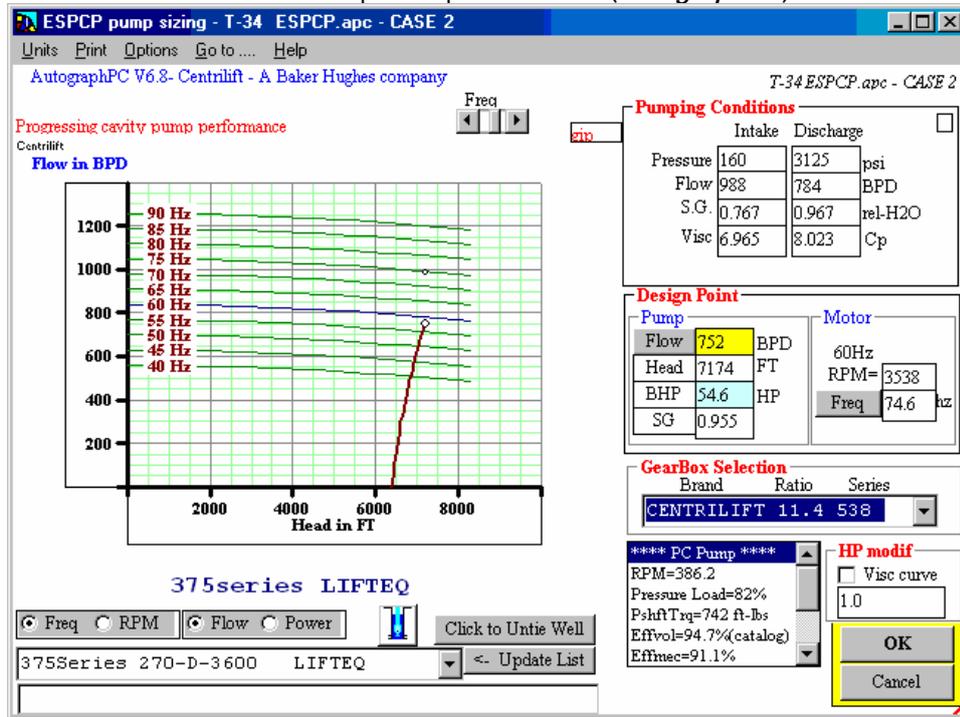
Información del pozo Tello-34.

The screenshot shows the 'Well Conditions' window for 'T-34 ESPCP.apc - CASE 2'. The interface is divided into several sections:

- Fluid Properties:** Oil grav (19.5 °API), % H2O (55.18 %), SG H2O (1.04 rel-H2O), SG liq (0.994 rel-H2O), SG gas (0.8 rel to Air), Prod GOR (435 scfSTB), Sol GOR (113 scfSTB), Bubble Point (874 psia).
- Temperature Model:** Fluid Surf T (146 °F), Earth Surf T (90.0 °F), BHT (170 °F). Options: Interpolate (selected), Calculate, ESP Trise.
- Gas Impurities:** N2 (0 %), H2S (0 %), CO2 (0 %).
- Dead Oil Viscosity (computed):** Temp (146, 170 °F), OVisc (31.72, 22.71 Cp).
- TARGET:** Pump Setting Depth (Vertical) (7308 ft), Max Desired (752 BPD), Minimum PIP (160 psi), Gas Sep Eff (90.0 %).
- Inflow Performance (IPR) - Test Data:** Datum VD (7400 ft), Perfs VD (7400 ft), Static Press (518 psi), PI @ zero flow (2.58 BPD/psi). Options: Pressure Bomb Test (selected), Fluid Level Test.
- IPR Method:** Constant PI, VOGEL, Composite IPR (selected), User's IPR data.
- String Description:** Table with columns for Csg ID, Tbg ID, TVD, MD, and Pipe Roughness (0.0018 in, new/rough).
- Surface Pressure:** Tbg Surf Press (80.0 psi), Casing Press (0 psi).
- Csg fluid over pump:** Oil only, Liquid Mixture (selected).
- Right Panel (T-34 ESPCP.apc - CASE 2):** Compute! a.m. Inflow Performance: Static P perf=518 psi, PI=2.58 BPD/psi, Qb=0 BPD (Oil), MaxQ=1070 BPD, Pperf=183 psi. Intake conditions: PIP=160 psi, QIPbs=2827 BPD, GIPbs=72.3 %, QIP=988 BPD, GIP=20.7 %. Discharge conditions: Pdp=3125 psi, Qdp=784 BPD, Bo=1.081, Bw=1.021, SGmix=0.967 rel-H2O, ViscHq=8.023 Cp, Water Cut (surf)=63.3 %, TbgFriction=23.62 FT, TDH=71.74 FT. Show more detail (unchecked).

Fuente: AutographPC

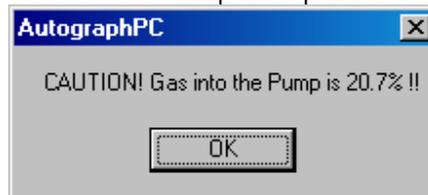
Pantalla de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-34 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

Debido a la alta presencia de gas en la bomba calculada, el software da una alarma de advertencia para tenerse en cuenta. Dicha situación será problema mas adelante ya que el gas con el tiempo causa un efecto negativo en el elastómero.

Alarma de advertencia de la bomba seleccionada para el pozo Tello-34.



Fuente: AutographPC

Caja reductora seleccionada para el pozo Tello-34 (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

Pantalla del sello seleccionado para el pozo Tello-34 (*AutographPC*).

Seal Sizing - T-34 ESPCP.apc - CASE 2

Options Print Help

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes T-34 ESPCP.apc - CASE 2

Application - related data

Angle: 35.7 Deg (0=vertical, 90=horizontal)

Oil Type: CL6

Chamber Cap used (Top to Bot.):
51% 84% 77% 31% 46% 39%

Select Seal

Series: 513 Manufacturer: CENTRILIFT

Models: GSB3, GSB3 DB, GSC3, GSCT3

Options: EHL, H6, HL, IL

6 CHAMBER TANDEM, NO BAG

Options: H6 IL

Comments: ?

When ordering add PFS option

OK Cancel

Fuente: AutographPC

Pantalla del motor seleccionado para el pozo Tello-34 (*AutographPC*).

Motor Sizing - T-34 ESPCP.apc - CASE 2

Options Print Help

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-34 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

OPfreq: 74.6 Hz Click to Untie

ShaftHP at: 57.93 HP Mshp60=46.6

Flowrate Qstk: 752 BPD

Csg / Jckt ID: 6.276 in

ADR

BHT: 170 °F VSD

%wc: 63.33 % SCALE

Oil API: 19.5 °API MONEL

GIPbs: 72.3 % %V imbal: 5. %

ViscIn: 6.965 Cp

OP Conditions (@74.6Hz)

Load % = 50.1 % Eff = 76.2 %

Fluid Speed = 1.689 ft/s pf = 78. %

Term Volts = 1874.8 V RPM = 4399 r.p.m.

Motor Amps = 22.9 A Vsurf = 1967 V

OPTemp = 348°F Vdrop = 92.44 V

Selected (60Hz rating)

CENTRILIFT Frame Size: 12

450 FMH 93 HP 1760V 35 A

Manufacturer	HP	Volts / Amps
CENTRILIFT	54	1020/35
	62	770 /53
	62	1170/35
	62	1845/22
	77	1135/45
	77	1465/35
	77	2130/24
	93	965 /64
	93	1165/53
	93	1760/35

Comments:

NOTICE: Computed information like efficiency and power factor for non-Centrilift equipment is modeled after published data and by no means necessarily reflect actual efficiencies or power factor observed in the field.

AutoSelect OK Cancel

Fuente: AutographPC

Pantalla del cable seleccionado para el pozo Tello-34 (*AutographPC*).

Input Data

Fluid level over	383	ft
Click to Untie	motor V	1874.8 Volts
Surface	50.0	ft
Tsurf	75.0	°F
MLE	40.0	ft
Power	0.05	/KWH
motor A	22.9	Amp
BHT	170	°F
Water	63.33	%
Tbg Length	7524	ft
Perfs	7400	ft

Cable Selection

Manufacturer: CENTRILIFT

Size	Type	KV Rating
#4	CELF	5

Max Cond Temp: 180.6 °F, Max Temp Rating: 450 °F, Round Flat: packer

Reel selection utility (not saved)

78, NEMA I, max length: 7602 ft, cable: 0.572 in X 1.167 in, total: 13645.3 lbs, with: 7524 ft

Cable Sizing Output

volt	12.14	/1000ft	Power Loss	3.669	KW
total	92.44	volts	Power Cost	132	\$/mo
total	4.931	% motor V			
surface	78.08	KVA			
surface	1967	volts			
Freq	74.6	HZ			

CENTRILIFT surface cable: 50.0 ft, #1 CPNF 5kV

CENTRILIFT main cable: 7524 ft, #4 CELF 5kV

CENTRILIFT motorlead: 40.0 ft, #5 MLE-KHT

Pothead: 2piece Monel

(drift) casing ID: 6.151 in, tbg collar OD: 4.5 in, cable thick: 0.572 in, Min clearance: 0.995 in

Buttons: AutoSelect, OK, Cancel

Fuente: AutographPC

Pantalla del controlador seleccionado para el pozo Tello-34 (*AutographPC*).

Input Data

Control Vin	480	V
Surface	1967	V
Motor	22.92	Amps
Surface	78.08	KVA
Frequency	74.6	Hz
Power Cost	0.05	/KWH

VSD Switchboard

Variable Speed Drive

Model	KVA	A
2100-VT	111	133
1125-VT	130	156
2125-PCP	130	156
2125-VT	130	156
2150-VT	163	196
2200-VT	200	241
2250-VT	260	313
4300-VT	325	391
4350-VT	390	469

480V RATING, CENTRILIFT

Controller Calculated Data

Output Current = 93.9 Amps
 Output Voltage = 480. Volts
 (required V/Hz = 6.434)
 Controller Load = 20.02%
 Controller in = 66 KVA
 System Power = 63.0 KW
 Power Cost = 2268 \$/mo

Motor Starting: 327 Volts, 83.46 Amps

Starting Frequency: 20.0 Hz
 Starting Vboost: 25 V

Selected Equipment

CENTRILIFT
 4350-VT Variable Speed Drive
 SUTrafo ratio=4.098

Transformer Info

Supply --- () --- Load >

Buttons: AutoSelect, OK, Cancel

Fuente: AutographPC

3. DISEÑO TELLO-35A

Información del pozo Tello-35A.

Well Conditions - T-35 ESPCP.apc - CASE 2

AutographPC V6.8 - Centrilift - A Baker Hughes company

Fluid Properties

Oil grav	19.8	%API
% H2O	77.5	%
SG H2O	1.04	rel-H2O
SG liq	1.016	rel-H2O
SG gas	0.8	rel to Air
Prod GOR	134	scf/STB
Sol GOR	134	scf/STB
Pb >	Bubble Point	853 psia

Temperature Model

Fluid Surf T	137	°F	<input checked="" type="radio"/> Interpolate
Earth Surf T	90.0	°F	<input type="radio"/> Calculate
BHT	180	°F	<input type="checkbox"/> ESP Trise

TARGET

Pump Setting
Depth (Vertical)
7706 ft
Max Desired
1100 BPD
Minimum PIP
128 psi
Gas Sep Eff
80.0 %

Inflow Performance (IPR) - Test Data

Datum VD 8050 ft Static Press 1100 psi
Perfs VD 7925 ft
 Pressure Bomb Test
 Fluid Level Test
PI @ zero flow 1.395 BPD/psi

String Description

Csg ID	6.184	6.184	6.184	in
Tbg ID	2.992	2.992	2.992	in
TVD	5038	5499	5992	ft
MD	5039	5504	6028	ft

Pipe Roughness: 0.0018 in
new rough

Surface Pressure

Tbg Surf Press 140 psi
Casing Press 25.0 psi

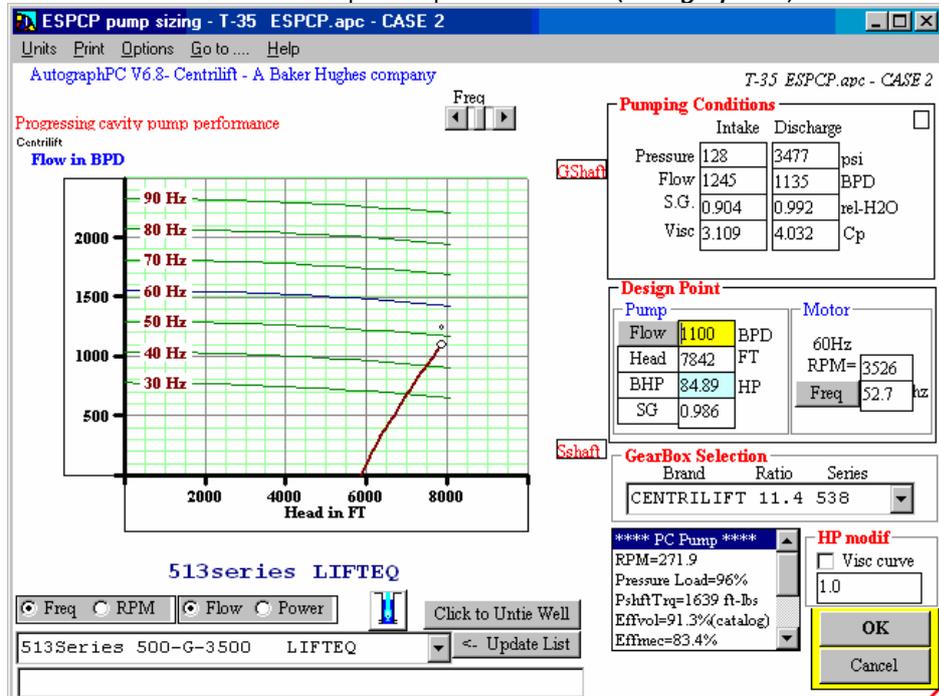
Discharge conditions:

Pdp=3477 psi
Qdp=1135 BPD
Bo=1.077
Bw=1.022
SGmix=0.992 rel-H2O
Visqliq=4.032 Cp
Water Cut (surf)=82.1 %
TbgFriction=38.79 FT
TDH=7842 FT

Enter comments here!

Fuente: AutographPC

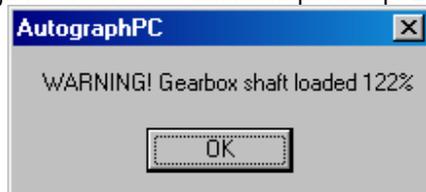
Pantalla de la bomba CP seleccionada para el pozo Tello-35A (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

Debido a la elevada carga que presenta el equipo, ya que debe levantar 7842 ft (TDH) para brindar el caudal y la presión deseada en superficie; y sumándose el bajo P_{WF} del pozo; el diseño presenta alarma por la sobrecarga en el eje de la caja reductora y el sello (ver siguientes figuras).

Alarma de advertencia de la caja reductora seleccionada para el pozo Tello-35A.



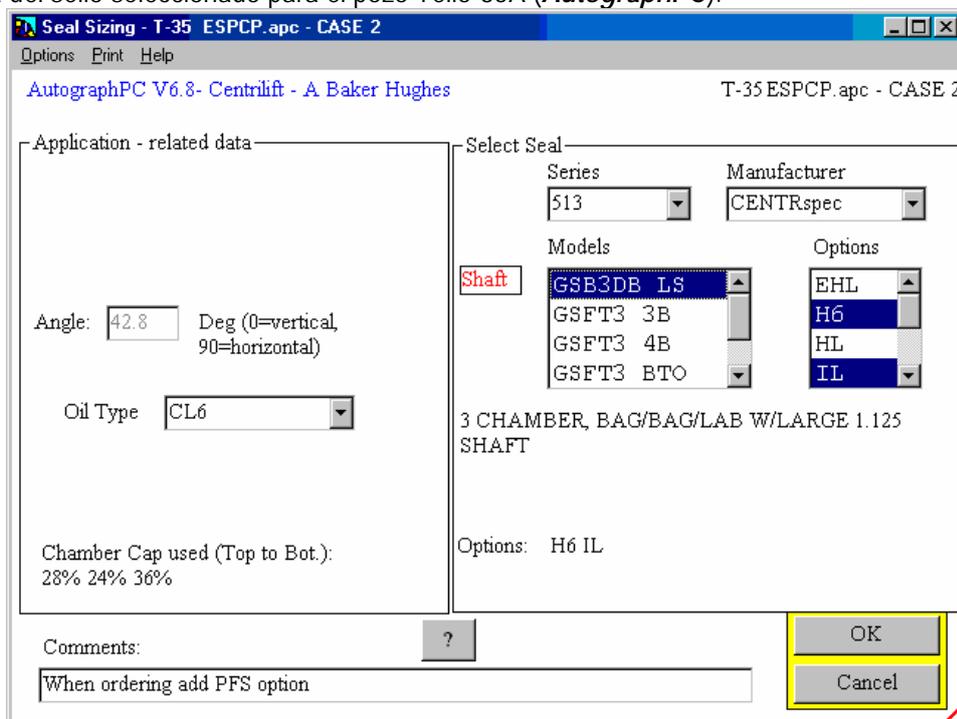
Fuente: AutographPC

Alarma de advertencia del sello seleccionado para el pozo Tello-34.



Fuente: AutographPC

Pantalla del sello seleccionado para el pozo Tello-35A (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

Pantalla del motor seleccionado para el pozo Tello-35A (*AutographPC*).

Motor Sizing - T-35 ESPCP.apc - CASE 2

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-35 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

OPfreq	52.7	Hz	Click to Untie
ShafHP at	85.66	HP	Mshp60=97.52
Flowrate Qstk	1100	BPD	
Csg / Jckt ID	6.184	in	

ADR

BHT	179	°F	<input checked="" type="checkbox"/> WSD
%wc	82.1	%	<input type="checkbox"/> SCALE
Oil API	19.8	°API	<input type="checkbox"/> MONEL
GIPbs	31.1	%	%V imbal: 5. %
ViscIn	3.109	Cp	

OP Conditions (@52.7Hz)

Load %	64.2	%	Eff=	88.1	%
Fluid Speed	2.858	ft/s	pf=	82.7	%
Term Volts	1060.	V	RPM=	3097	r.p.m.
Motor Amps	48.3	A	Vsurf=	1194	V
OPTemp	=271	°F	Vdrop=	134	V

Selected (60Hz rating)

Manufacturer	HP	Volts / Amps
CENTRILIFT	76	1360/34
	95	840 /69
Series&Model	95	1330/44
562 KMH	114	860 /81
	114	1300/53
Oil type	114	2330/30
CL6	133	830 /98
	133	1345/60
	133	2205/37
	152	1340/69

Comments:

NOTICE: Computed information like efficiency and power factor for non-Centrilift equipment is modeled after published data and by no means necessarily reflect actual efficiencies or power factor observed in the field.

Fuente: AutographPC

Pantalla del cable seleccionado para el pozo Tello-35A (*AutographPC*).

Cable Sizing - T-35 ESPCP.apc - CASE 2

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-35 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

Fluid level over	242	ft
Click to Untie	motor V	1060. Volts
Surface	50.0	ft
Tsurf	75.0	°F
MLE	40.0	ft
Power	0.05	/KWH
	Tbg Length	8020 ft
	Perfs	7925 ft

Cable Sizing Output

volt	16.5	/1000ft	Power Loss	11.2	KW
total	134	volts	Power Cost	403	\$/ mo
total	12.62	% motor V			
surface	100	KVA			
surface	1194	volts			
Freq	52.7	HZ			

Cable Selection

Manufacturer: CENTRILIFT

Size	Type	KV Rating
#2	CELF	5

Max Cond Temp: 204.2 °F, Max Temp Rating: 450 °F, Round Flat: bypass

Reel selection utility (not saved)

78 NEMA I, NEMA II, max length: 8531 ft

cable	0.626	in X	1.628	in	total	17946.3	lbs
	2.11	lbs/ft			with	8020	ft

Cable Sizing Output

CENTRILIFT surface cable

#1 50.0 ft CPNF 5kV

CENTRILIFT main cable

#2 8020 ft CELF 5kV

CENTRILIFT motorlead

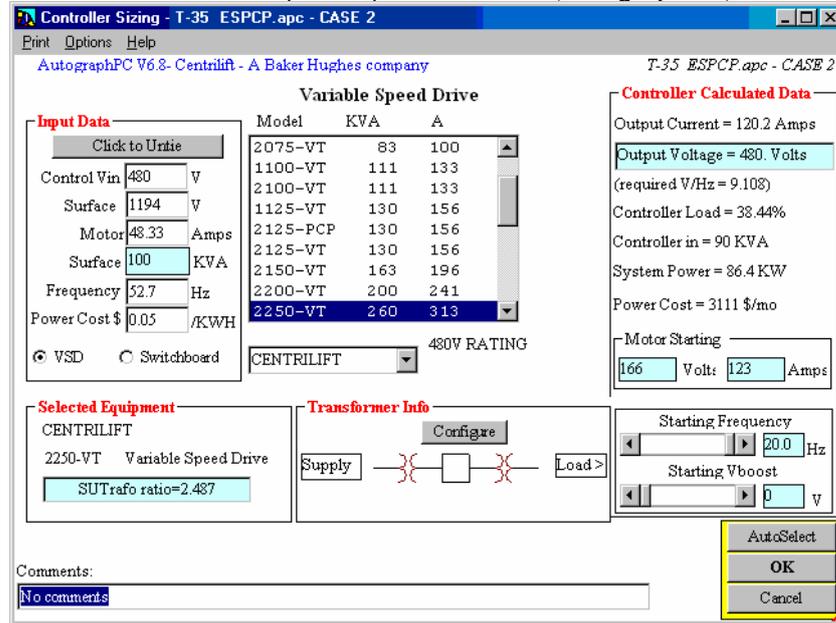
#5 40.0 ft MLE-KHT

Pothead: 2piece Monel

(drift) casing ID: 6.059 in, tbg collar OD: 4.5 in, cable thick: 0.626 in, Min clearance: 0.781 in

Fuente: AutographPC

Pantalla del controlador seleccionado para el pozo Tello-35A (*AutographPC*).

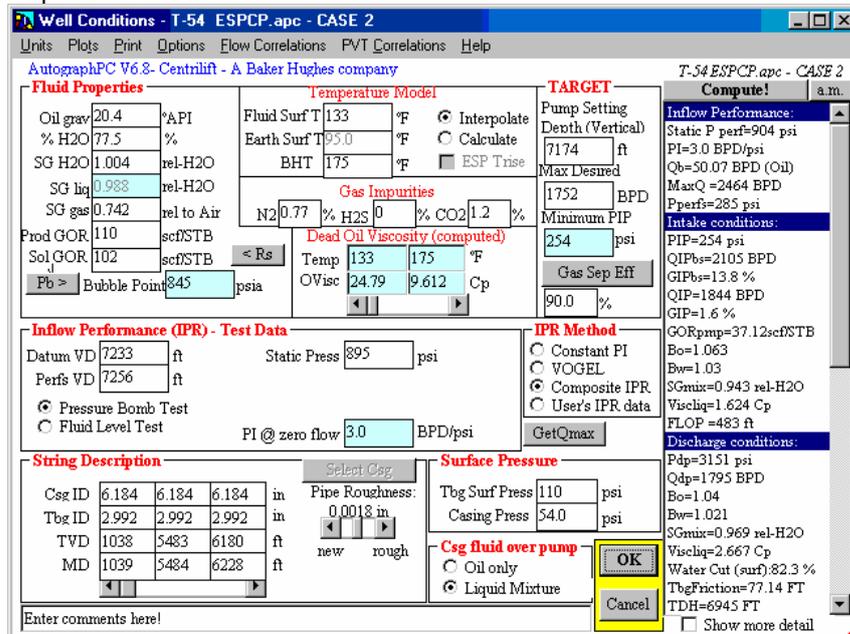


Fuente: AutographPC

4. DISEÑO TELLO-54ST

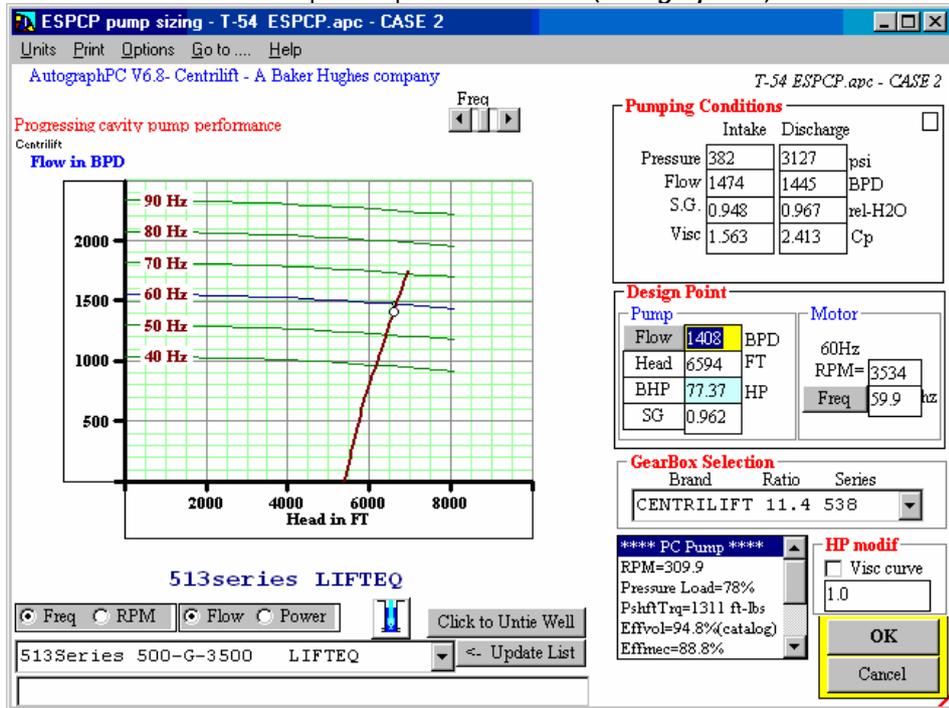
Por ultimo se tiene el pozo de estudio, Tello-54ST, el cual presenta mayor desviación del los pozos. Tiene una profundidad de 9594 ft y TVD de 7694 ft (DogLeg máximo de 8.03deg/100ft); la desviación mas pronunciada se inicia a partir de los 6500 ft.

Información del pozo Tello-54ST.



Fuente: AutographPC

Pantalla de la bomba seleccionada para el pozo Tello-54ST (*AutographPC*).



Fuente: AutographPC

Pantalla del sello seleccionado para el pozo Tello-54ST (*AutographPC*).

Seal Sizing - T-54 ESPCP.apc - CASE 2

AutographPC V6.8 - Centrilift - A Baker Hughes

T-54 ESPCP.apc - CASE 2

Application - related data

Angle: 65.2 Deg (0=vertical, 90=horizontal)

Oil Type: CL5

Chamber Cap used (Top to Bot.): 24% 20% 113%

Select Seal

Series: 513

Manufacturer: CENTRspec

Models: GSB3DB LS, GSFT3 3B, GSFT3 4B, GSFT3 BTO

Options: EHL, H6, HL, IL

3 CHAMBER, BAG/BAG/LAB W/LARGE 1.125 SHAFT

Options: IL H6

Comments: When ordering add PFS option

OK

Cancel

Fuente: AutographPC

Pantalla del motor seleccionado para el pozo Tello-54ST (*AutographPC*).

Motor Sizing - T-54 ESPCP.apc - CASE 2

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-54 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

OPfreq	59.9	Hz	Click to Untie
ShaftHP at	78.36	HP	Mshp60=78.49
Flowrate Qstk	1408	BPD	
Csg / Jckt ID	6.184	in	

ADR

BHT	175	°F	<input checked="" type="checkbox"/> WSD
%wc	82.26	%	<input type="checkbox"/> SCALE
Oil API	20.4	°API	<input type="checkbox"/> MONEL
GHPbs	8.6	%	%V imbal: 5. %
ViscIn	1.563	Cp	

OP Conditions (@59.9Hz)

Load %	51.6	%	Eff=	85.2	%
Fluid Speed	2.756	ft/s	pf=	84.	%
Term Volts	1149.7	V	RPM=	3528	r.p.m.
Motor Amps	41.6	A	Vsurf=	1328	V
OPTemp	252	°F	Vdrop=	178	V

Selected (60Hz rating)

Manufacturer	CENTRILIFT	HP	76	Volts / Amps	1360 / 34
Series&Model	562 KMH		95		840 / 69
			95		1330 / 44
			114		860 / 81
			114		1300 / 53
			114		2330 / 30
			133		830 / 98
			133		1345 / 60
			133		2205 / 37
			152		1340 / 69

Comments:

NOTICE: Computed information like efficiency and power factor for non-Centrilift equipment is modeled after published data and by no means necessarily reflect actual efficiencies or power factor observed in the field.

Fuente: AutographPC

Pantalla del cable seleccionado para el pozo Tello-54ST (*AutographPC*).

Cable Sizing - T-54 ESPCP.apc - CASE 2

AutographPC V6.8- Centrilift - A Baker Hughes company T-54 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

Fluid level over	483	ft
Click to Untie	motor V	1151.1 Volts
Surface	50.0	ft
Tsurf	75.0	°F
MLE	110	ft
Power	0.05	/KWH
Tbg Length	7744	ft
Perfs	7256	ft

Cable Sizing Output

volt	22.54	/1000ft	Power Loss	12.83	KW
total	178.2	volts	Power Cost	462	\$/ mo
total	15.48	% motor V	(cable)		
surface	95.6	KVA			
surface	13278	volts			
Freq	59.9	HZ			

Cable Selection

Manufacturer: CENTRILIFT

Size	Type	KV Rating
#4	CELF	5

Max Cond Temp: 206.3 °F packer

Max Temp Rating: 450 °F bypass

Reel selection utility (not saved)

78 NEMA I NEMA II

cable: 0.572 in X 1.167 in total 14268.0 lbs with 7744 ft

Cable Selection Output

CENTRILIFT surface cable: 50.0 ft #4 CELF 5kV

CENTRILIFT main cable: 7744 ft #4 CELF 5kV

CENTRILIFT motorlead: 110 ft #4 MLE-KHT

Pothead: 2piece Monel

(drift) casing ID: 6.059 in

tbg collar OD: 4.5 in

cable thick: 0.572 in

Min clearance: 0.905 in

Comment: No comments

Fuente: AutographPC

Pantalla del controlador seleccionado para el pozo Tello-54ST (*AutographPC*).

Controller Sizing - T-54 ESPCP.apc - CASE 2

Print Options Help

AutographPC V6.8-Centrilift - A Baker Hughes company T-54 ESPCP.apc - CASE 2

Input Data

Click to Unlief

Control Vin 480 V

Surface 1329 V

Motor 41.62 Amps

Surface 95.6 KVA

Frequency 59.9 Hz

Power Cost \$ 0.05 /KWH

VSD Switchboard

Variable Speed Drive

Model	KVA	A
1100-VT	111	133
2100-VT	111	133
1125-VT	130	156
2125-PCP	130	156
2125-VT	130	156
2150-VT	163	196
2200-VT	200	241
2250-VT	260	313
4300-VT	325	391

480V RATING

CENTRILIFT

Controller Calculated Data

Output Current = 115.2 Amps

Output Voltage = 480. Volts

(required V/Hz = 8.006)

Controller Load = 29.46%

Controller in = 37.6 KVA

System Power = 84.1 KW

Power Cost = 3028 \$/mo

Motor Starting

164 Volt: 122 Amps

Selected Equipment

CENTRILIFT

4300-VT Variable Speed Drive

SUTrafo ratio=2.77

Transformer Info

Configure

Supply — } { — Load >

Starting Frequency

20.0 Hz

Starting Vboost

90 v

Comments:

No comments

AutoSelect

OK

Cancel

Fuente: AutographPC