

ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DEL DESEMPEÑO DE LAS UNIDADES DE
BOMBEO MECÁNICO SOBREDIMENSIONADAS DEL CAMPO LA CIRA
INFANTAS (SCI).

JIMMY ANDERSON GÓMEZ VELASCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2014

ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DEL DESEMPEÑO DE LAS UNIDADES DE
BOMBEO MECÁNICO SOBREDIMENSIONADAS DEL CAMPO LA CIRA
INFANTAS (SCI).

JIMMY ANDERSON GÓMEZ VELASCO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO DE PETRÓLEOS

DIRECTOR:

M.SC. FERNANDO E. CALVETE G.
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS - UIS

CODIRECTOR:

ING. CAMILO ANDRES CORDOBA.
CONTROL DE PRODUCCIÓN – SCI

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos,
por permitir mi formación profesional.

A Ecopetrol S.A., por brindarme el apoyo, asesoría e información para la
realización de este proyecto.

Al ingeniero Camilo Andres Cordoba, por ser quien propuso el tema de
investigación, por su apoyo incondicional y completa disposición para poder
alcanzar este objetivo.

Al ingeniero y líder de Control e Inyección del Campo la Cira – Infantas Willington
Gelvez, por darme la oportunidad y confianza para pertenecer a su grupo de
trabajo.

Al ingeniero Fernando Calvete, por su atención, orientación y compromiso en
cada una de las etapas del proyecto.

A todo el equipo de Control de Producción e Inyección del campo la Cira –
Infantas que con su calidad humana hicieron que este proyecto fuera una
experiencia de vida.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme día a día y permitirme cumplir cada una de mis metas.

A mis padres Ana Lucia y Jaime, mis tios Flor Gómez e Hilario Ruiz, mi Abuelo Pedro Gómez, mis hermano, primos y mi sobrina Brenda, por ser quienes me apoyaron desde el primer momento que tome esta decisión sin su apoyo habría sido prácticamente imposible cumplir esta meta.

A Diana Carolina Gómez por estar siempre en los momento difíciles y ser un apoyo incondicional en mi vida.

A mis amigos y compañeros de estudio por esos buenos momentos vividos durante estos 5 años.

RESUMEN

TITULO: ANALISIS TÉCNICO-FINANCIERO DEL DESEMPEÑO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO SOBREDIMENSIONADAS DEL CAMPO LA CIRA INFANTAS (SCI)*.

AUTOR: Jimmy Anderson Gómez Velasco.**

PALABRAS CLAVES: Unidades sobredimensionadas, Superintendencia La Cira – Infantas, costos de mantenimiento, consumo de energía.

DESCRIPCION

El presente documento desarrollado muestra una secuencia adecuada de pasos para el análisis de los criterios técnicos y financieros del cambio de unidades de bombeo en los pozos que presentan unidades de bombeo mecánico (UBM) sobredimensionadas, pertenecientes a la Superintendencia La Cira – Infantas de Ecopetrol (SCI).

Dentro del desarrollo contemplado, se realizó la selección pozos existentes en el campo con condiciones instaladas que presentan sobredimensionamiento, un análisis de costos de cada tipo de unidad por año, además se simuló los posibles cambios las unidad con sus respectivas recomendaciones; se realizó el cálculo de los costos de cada tipo de mantenimiento y el consumo de energía eléctrica; por último se comparó los costos de las condiciones actuales vs las simuladas los cuales permiten definir los beneficios de cambiar las unidades con el objetivo de tener una mayor rentabilidad en el sistemas de levantamiento bombeo mecánico (BM).

Los beneficios económicos de este proyecto de cambio de unidades de cada pozo analizado se muestran claramente en tablas y figuras incluidas en el cuerpo de este proyecto. Los resultados obtenidos para el cambio de unidades sobredimensionadas dieron como resultado un beneficio en el 80% de los pozos analizados y una discretización del consumo de energía y mantenimiento, con el fin de contar con un punto de partida a tener en cuenta al realizar una evaluación financiera cuando se requiere instalar una unidad de bombeo mecánico (UBM).

* Trabajo de grado

** Facultas Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: MSC. Fernando E. Calvete G., Escuela de Ingeniería de Petróleos – UIS. Codirector: Ing. Camilo Andres Cordoba, Control de Producción – SCI

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL-FINANCIAL ANALYSIS OF OVERDIMENSIONED MECHANICAL PUMP UNITS PERFORMANCE ON LA CIRA-INFANTAS FIELD*.

AUTHOR: Jimmy Anderson Gomez Velasco**

KEY WORDS: Overdimensioned units, La Cira-Infantas superintendence, energy consumption.

DESCRIPTION

The present document was focused on a technical and financial analysis of the oversized pumping units, specifically, beam pumping units. The objective of this work was to analyze technical and financially the beam pumping units that present oversizing in order to decide modified them. The case was developed in several wells which belong to La Cira – Infantas field (SCI).

On the contemplated development, a selection of different wells was made, taking into account the oversized installed conditions on the field. A cost analysis of each unit per year and a simulation of possible changes in the units, with the proper recommendations were made too. The document also made a calculation of maintenance and energy consumption costs, comparing the current costs against the previous simulation data, leading to the definition of the benefits when changing pumping units, looking for a higher profitability.

The financial benefits due to the modification of the oversized pumping units for each well analyzed was clearly exhibited in tables and figures below. As a result, 80% of the analyzed wells showed financial benefits for the project. Additionally, it was made the discretization of maintenance and energy consumption, setting a parameter that will be taken into account for a future financial evaluation of a pump unit installation.

* Degree work

** Physicochemical Engineering Facultas. School of Petroleum Engineering. Directed by MSC. Fernando E. Calvete G., School of Petroleum Engineering - UIS. Co: Mr. Camilo Andres Cordoba, Production Control - SCI

CONTENIDO

	Pág.
1. GENERALIDADES DEL CAMPO LA CIRA – INFANTAS	16
1.1 LOCALIZACION DEL CAMPO.....	16
1.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	17
2. SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL.....	24
2.1 BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP).....	24
2.3 BOMBEO MECÁNICO	28
2.3.1 Clasificación de las bombas de subsuelo.....	32
2.3.2 Nomenclatura utilizada para designar las bombas	33
2.3.3 Tipos de unidades de bombeo	36
2.3.3.1 Unidad convencional Clase I.....	36
2.3.3.3 Unidades Balanceadas por Aire Clase III:	40
2.3.4 Designación de las Unidades de Bombeo.....	42
2.3.5 Tipos de Unidades de Bombeo en La Cira – Infantas	44
3. SELECCIÓN DE POZOS Y CANDIDATOS	46
3.1 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN LA CIRA INFANTAS LOWIS.....	46
3.2 SISTEMA DE MONITOREO EN LA CIRA – INFANTAS	47
3.2.1 Lift Revisión Candidates (Candidatos a revisión del S.L.A.).....	47
3.2.2 Análisis de tendencia	50
3.3 SELECCIÓN DE POZOS.....	50
4. ANALISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO DEL CAMPO LCI.....	55
4.1 METODOLOGIA PARA LA SIMULACIÓN	55
4.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN	55
4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	62
4.4 CORRIDA DE CASOS SELECCIONADOS	68
5. DESARROLLO DEL ANÁLISIS FINANCIERO	75
5.1 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS FINACIERO	75

5.2 MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO.....	76
5.2.1 Mantenimiento Correctivo	76
5.2.2 Mantenimiento Mejorativo	77
5.2.3 Mantenimiento Predictivo.....	77
5.2.4 Mantenimiento Preventivo.....	78
5.3 COSTOS DE CONSUMO DE UNIDADES DE BOMBEO.....	79
5.3.1 Costos de mantenimiento según tipo de unidad.....	79
5.3.2 Costos de mantenimiento pozos seleccionados.....	81
5.3.3 Costos consumo de energía	85
5.3.4 Costos unidades de referencia	89
5.3.5 Costo total de pozos seleccionados en condiciones simuladas	90
5.3.6 Ahorro por consumo energía y mantenimiento debido el cambio de unidad	91
5.4 ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO	94
5.5 BENEFICIOS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	98
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFIA.....	104
ANEXOS	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica Campo La Cira – Infantas.	16
Figura 2. Escenario Comportamiento de de la producción y aumento de la producción en un contexto optimista y probable.	21
Figura 3. Sistema de levantamiento artificial de cavidades progresivas (BCP).	26
Figura 4. Sistema de levantamiento artificial Electro-sumergible.(BES).	27
Figura 5. Ciclo de Bombeo: a) El émbolo se mueve hacia abajo cerca del fondo de la carrera; b) El émbolo sube, cerca del fondo de la carrera; c) El émbolo sube cerca de la parte superior de la carrera; d) El émbolo se mueve hacia abajo cerca del tope de la carrera.	30
Figura 6. Sistema de levantamiento artificial Bombeo Mecánico.	31
Figura 7. Disposición esquemática de la geometría en una unidad de bombeo convencional, Clase I	37
Figura 8. Unidad de Bombeo Tipo Convencional, Clase I.	38
Figura 9. Disposición esquemática de la geometría en una unidad de bombeo Mark II.	39
Figura 10. Unidad de Bombeo Tipo MARK II, Clase III.	40
Figura 11. Disposición esquemática de la geometría en una unidad de bombeo balanceada por aire.	41
Figura 12. Unidad balanceada por Aire.	42
Figura 13. Designaciones API de las unidades de bombeo mecánico.	43
Figura 14. Candidatos a Revisión del Sistema de Levantamiento, “Lift Revision Candidates”.	48
Figura 15. Candidatos revisión sistema de levantamiento.	49
Figura 16. Organización de variables en ventanas como estado de pozos y candidatos a revisión del sistema de levantamiento.	49
Figura 17. Información General SROD.	56
Figura 18. Bomba Tubing SROD.	58

Figura 19. Varilla SROD.	59
Figura 20. Unidad de Bombeo SROD.	60
Figura 21. Motor / Velocidad SROD.	61
Figura 22. Desviación SROD.	62
Figura 22. Costos de Total de Mantenimiento según tipo de Unidad.	81
Figura 23. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado Con Automatizados vs. Sin Automatización.	99
Figura 24. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado Con Automatizados vs. Sin Automatización.	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de Levantamiento Artificial del Campo La Cira - Infantas.	24
Tabla 2. Diámetro nominal de tubería o asiento de la bomba.	33
Tabla 3. Diámetro nominal de la bomba de subsuelo.	33
Tabla 4. Tipos De Unidades De Bombeo En El Campo La Cira – Infantas	44
Tabla 5. Eficiencia Volumétrica De Unidades De Bombeo LCI.	52
Tabla 6. Pozos Seleccionados Runtime menor 10 horas y Eficiencia Volumétrica menor 30%	53
Tabla 8. Condiciones de Superficie de Pozos Seleccionados.	70
Tabla 9. Varrilla de Pozos Selccionados.	71
Tabla 10. Condiciones de Fondo de Pozos Seleccionados.	72
Tabla 11. Condiciones Actuales y Simuladas.	73
Tabla 12. Costos de Mantenimiento Mecánico según tipo de Unidad.	80
Tabla 13. Costos de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico según tipo de Unidad.	80
Tabla 14. Costos de Total Mantenimiento según tipo de Unidad.	80
Tabla 15. Costos Mantenimiento Mecánicos Pozos seleccionados.	82
Tabla 16. Costos Mantenimiento Eléctricos y Electrónicos Pozos seleccionados.	83
Tabla 17. Costos Total de Mantenimiento de los Pozos seleccionados.	84
Tabla 18. Intensidad vs. Potencia de Motor.	86
Tabla 19. Consumo en KW/Día por cada Pozo Seleccionado.	87
Tabla 20. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado.	88
Tabla 21. Costo Total de Consumo de Energía del Pozo de Referencia.	89
Tabla 22. Costo Total de Consumo, Pozo Seleccionado condiciones Simuladas.	90
Tabla 23. Costo de Consumo de Energía de cada Pozo Seleccionado en condiciones Actuales vs. Condiciones Simuladas.	91
Tabla 24. Costo de Consumo en Mantenimiento de cada Pozo Seleccionado en condiciones Actuales vs. Condiciones Simuladas.	92

Tabla 25. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado en condiciones Actuales vs. Condiciones Simuladas.	93
Tabla 26. Costos Cambio de Unidades de Bombeo.....	95
Tabla 27. Análisis financiero del pozo CIRA 3061.	96
Tabla 28. Resumen del análisis financiero.....	97
Tabla 29. Fecha de Instalación de la Unidad de Bombeo y Tiempo de Operación de las Unidades.....	98
Tabla 30. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado Con Automatizados vs. Sin Automatización.	99

LISTA DE ANEXOS

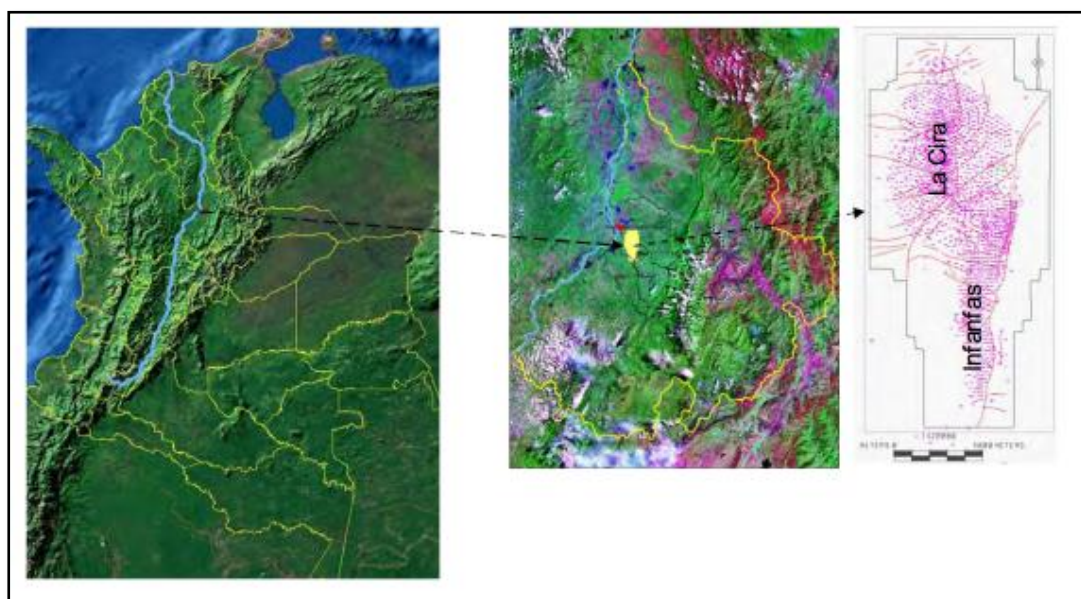
	Pág.
ANEXO A. Eficiencia Volumétrica De Unidades De Bombeo En El Campo La Cira – Infantas	106
ANEXO B. Corridas Simulador SRODs para cada pozo con las nuevas condiciones.	108

1. GENERALIDADES DEL CAMPO LA CIRA – INFANTAS

1.1 LOCALIZACION DEL CAMPO

Los campos Cira e Infantas se encuentran ubicados en la parte central de la antigua Concesión de Mares, en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM), al este del río Magdalena y al Sur del río Sogamoso, en el corregimiento del El Centro de la ciudad de Barrancabermeja, departamento de Santander, Colombia, América del Sur; a una distancia aproximada de 22 Km al Sur este de la ciudad a 250 Km al Noroeste de Bogotá DC, a 7° 04' N, 73° 47' 47 W (*Figura 1*). Los campos abarca un área de aproximadamente 160 Km².

Figura 1. Localización geográfica Campo La Cira – Infantas.



Fuente:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/4349/1/cesaraugustorojassuarez.2011.parte1.pdf>

Infantas corresponde a un anticlinal fallado y La Cira es un domo fallado al

Noreste de Infantas. Ambos inicialmente eran considerados como dos campos diferentes pero que estaban contiguos y producían de las mismas formaciones geológicas, no obstante con el desarrollo del proyecto se conoce como La Cira – Infantas (LCI).

Geológicamente el campo se encuentra situado en el Valle Medio del Magdalena sobre sedimentos terciarios transportados por el río Magdalena, que descansan sobre el material cretácico predominantemente marino. El Valle del río Magdalena es definido hacia el este y oeste, limitado por la cordillera occidental y la cordillera oriental. Las mismas series de rocas sedimentarias son encontradas en ambos campos, aunque Infantas ha sufrido un levantamiento mayor y una mayor erosión que La Cira.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA

La historia del campo La Cira–Infantas se remonta a la concesión de Mares. En 1903, José Joaquín Bohórquez llegó a Barrancabermeja, que en ese entonces correspondía a un puerto ribereño, en el cual diversos productos eran traídos al puerto desde diversas ciudades en un viaje a través de caminos por la jungla para que estos fueran cargados dentro de los botes en el puerto. Bohórquez empezó una pequeña compañía de transporte, en la cual transportaba café, caucho y vegetales, que eran muy abundantes en el bosque tropical que cubre el Valle Medio del Magdalena (VMM). El clima era húmedo y cálido.

Bohórquez tomó muestras del crudo, las cuales las llevó a Barranquilla y Cartagena, sin embargo no hubo mucho interés allí por estas muestras. Roberto de Mares vio las muestras y fue a Barrancabermeja a investigar aún mejor la procedencia de las mismas; por lo cual, terminó constituyendo una unión con Bohórquez, y le propuso formar una concesión para explotar el crudo, hasta el punto que en 1905 Bohórquez fue sacado de esta concesión, y solo quedó con

una pequeña pensión dada por el gobierno de la época.

El área de la concesión es de 5120 Km², y no era conocida completamente hasta 1928 que fue inspeccionada por la *Tropical Oil Company*.

El contrato requería que los trabajos fueran empezados en 18 meses, pero este requerimiento fue extendido varias veces, debido también a que el área poseía una vegetación muy espesa, las vías de acceso eran complicadas y también el lugar se encontraba plagado de malaria; lo cual harían que traer equipos desde los Estados Unidos, tardara meses, e hizo que la concesión no se aprobara hasta el 20 de junio de 1919.

A un que el gobierno no había aprobado aún la transferencia de la concesión a la *Tropical Oil Company*, ellos procedieron con el desarrollo. El pozo del descubrimiento fue el Infantas 2 que fue perforado el 12 de diciembre de 1917, 2 Km al norte de Infantas 1. Esto hizo que en Colombia se viera mucho interés de compañías petroleras por extraer petróleo, lo cual para finales del 1919, alrededor de 10 compañías hubieran tomado concesiones.

En la década de los 20`s fueron invertidos en la preparación del campo, con casas, salones, hasta un hospital fue construido en Infantas, también fue construida una carretera hasta Barrancabermeja para transportar sus camiones. Fue traído también el equipo de perforación; el cual comenzó a operar en 1921. En el año 1924 eran 17 pozos los que se encontraban produciendo, y se dieron cuenta que las herramientas rotativas eran mucho más económicas que las herramientas de cable. Para finales de 1926, cuando la tubería de transporte había sido terminada; ya existían 171 pozos produciendo.

En la época era evidente que el campo poco a poco se iba a extender hacia el norte de Infantas, por lo que decidieron trasladar el campamento y tiendas hasta

El Centro, (8 Km al norte), y así convertido en el lugar de control de Operaciones del Campo. También fue construida una vía férrea hasta Barrancabermeja; lo cual hizo que se convirtiera en el medio de transporte principal, haciendo que la carretera se abandonará.

En 1925 se empezó la construcción de un oleoducto, el cual tenía un diámetro de 25,4 cm, con diez estaciones de bombeo, y que llegaba hasta la localidad de Mamonal cerca de Cartagena. Su capacidad inicial era de 30.000 BPD, y que fue incrementando a 50.000 BPD. Esta línea llamada “La Línea Andina”, fue reemplazada hasta 1985.

Durante los años 1922 a 1926 se construyeron diversas infraestructuras en El Centro, plantas generadoras y otras edificaciones. Para finales de 1927 se habían invertido \$ 23.251, pero los ingresos anuales eran de \$ 6.943.000.

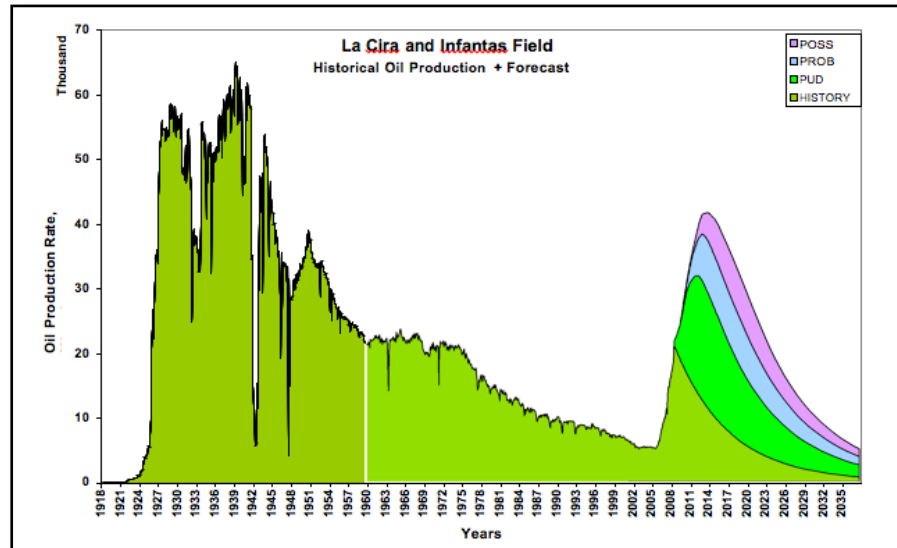
Durante estos años, fue mapeada toda la geología de superficie de la concesión, que se encontraba cubierta por un bosque tropical, habitada por algunos indígenas. La Cira fue descubierta por *O. Wheeler* un geólogo que se encontraba en el área elaborando la cartografía de la concesión, el cual llegó a Colombia en 1921, cuando notó una falla que atravesaba el corte de la vía férrea. Al sur del río Colorado unos anticlinales fueron encontrados y perforados. Las formaciones Mugrosa y Colorado produjeron hidrocarburos livianos, que fueron considerados no comerciales en su momento.

La reversión de la concesión de Mares al gobierno colombiano fue un evento históricamente muy notorio, caracterizado por una gran voluntad por ambas partes, el gobierno y la compañía, con un muy marcado afecto por parte de colombianos, americanos y canadienses. El contrato original entre el gobierno y la empresa había sido pactado para 30 años a partir del día que se empezaran los trabajos de extracción del crudo; siendo esta fecha fue pospuesta muchas

veces, pero finalmente el 25 de agosto de 1951 a las 12 de la media noche en el club Internacional del Centro se firmó la reversión de este tratado, donde estuvieron el presidente de la *Tropical Oil Company*, el Ministro de Desarrollo, el presidente de *International Petroleum Company*, y mucho otros dignatarios del área local, en donde todos los allí presentes que dieron sus discursos resaltaron que la mayor contribución a Colombia fue el entrenamiento a todos los ingenieros y mano de obra que operó el campo, con una pequeña asistencia de personal extranjero.

Seguido a la reversión de la concesión, hubo un declive en la producción del campo (*Figura 2*), hasta que en 1960, cuando la perforación de La Cira se aumentó debido a la acción de recobros secundarios de algunos pozos por la inyección de agua. Algunos de los pozos antiguos perforados entre 1920 y 1930 se habían cerrado dejando dentro sus tuberías, y esto se debía a que para estos pozos que se habían perforado, no se había empleado aún la técnica de registros eléctricos, pues ya que después que se empezó a utilizar esta, eran localizadas estas arenas con registros *Gamma Ray*, y también algunas cañoneadas en diferentes lugares para hacer que estas produjeran de nuevo, aun que también a algunas se les aplicó la técnica de inyección de agua. Así Ecopetrol mantuvo la producción a pesar de que el campo ya se encontraba totalmente perforado.

Figura 2. Escenario Comportamiento de de la producción y aumento de la producción en un contexto optimista y probable.



Fuente: Ecopetrol S.A. Junio 2012.

Tanto en La Cira como en Infantas, inicialmente, la mayor parte de los pozos produjeron por flujo natural, posteriormente, se paso a un sistema de levantamiento por gas (*Gas Lift por sus siglas en ingles*) que fue desmontado en 1935 para dar paso al sistema de bombeo mecánico (BM) que se mantiene en la actualidad. En 1928, se inicial a inyección de gas en la zona C de la estructura Infantas, para mantener la presión, siendo suspendida en 1970. Posteriormente, se continúa inyectando en forma esporádica hasta 1986 cuando se suspende definitivamente. En La Cira, se inicia la inyección de gas en la zona C en mayo de 1930, la cual se mantuvo con tasas variables hasta los inicios de la recuperación secundaria. En 1974, se realizo un ensayo piloto de inyección de vapor en el pozo INFA 0152 sin éxito.

El campo ha estado en produciendo principalmente en las zonas A y B de La Cira, en las zonas B y C de Infantas y en la zona C de un sector de la parte alta de la estructura de La Cira. Secundariamente en el resto de la zona C de La

Cira y en algunos pozos localizados en el sector norte de Infantas que han sido afectados por la inyección de agua en La Cira.

La Cira – Infantas (LCI) alcanza su máxima producción en 1940, con una producción de 62.000 BOPD. de petróleo. A Enero de 1999, la producción promedio es de 7.000 BOPD, de los cuales 1700 BOPD se consideran secundarios, con una inyección de agua promedio de 17.300 BWPD. La producción acumulada de petróleo es de 711 Mbls.

Desde la alta caída de la producción el década de los noventa se reconoció que para darle una nueva vida a La Cira-Infantas era necesario adelantar cuantiosas inversiones para la incorporación de tecnologías que permitieran aumentar su factor de recobro y acometer en paralelo actividades exploratorias en áreas aledañas. Es decir, la idea es aprovechar más lo que ya se tiene en el subsuelo y además, buscar nuevas reservas en los alrededores.

Con el fin de adelantar este proceso, Ecopetrol invitó en julio de 2003 a un grupo de compañías de alto perfil y con reconocida experiencia mundial en este tipo de proyectos. Entre las ocho firmas invitadas estaban British Petroleum (BP), Total, Chevron-Texaco, Nexen, China National Oil Corporation y Occidental de Colombia con esta última empresa fue la seleccionada para suscribir un acuerdo de intención con el objetivo de analizar conjuntamente la viabilidad técnica y comercial de estructurar un proyecto de aplicación tecnológica y recobro incremental en el campo.

Para tener una dimensión de lo que significa el proyecto de La Cira - Infantas se puede destacar que por cada punto porcentual en el que se mejore el factor de recobro, se incorporan 35 millones de barriles de reservas adicionales. Para lograr incorporar ese potencial se ha requerido realizar millonarias inversiones, durante el desarrollo del proyecto en asocio con Oxy se contempló que

Ecopetrol continuaría como operador de las actividades de producción.

El proyecto no sólo ha sido importante para el país, por el aumento de las reservas recuperables y la mayor producción, sino para la región, que se beneficia de las inversiones y del impulso a la economía y al empleo, y para Ecopetrol, que revivía uno de los campos que dio comienzo a su historia, para beneficio de sus trabajadores y de su nuevo rol de empresa eficiente.

Actualmente, con la inversión económica y los cambios técnicos desarrollado en al Cira por el contrato de colaboración empresarial Oxy-Ecopetrol la producción promedio ha aumentado desde el 2005 de 5.000 BOPD a 36.000 BOPD, con una inyección de agua promedio de 420.000 BWIPD. La proyección del proyecto apunta a alcanzar una producción de 50.000 Bpd lo que lograría extender la vida del campo y generar mayores oportunidades para la comunidad, el gobierno local, la región y el país.

2. SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

El Campo La Cira - Infantas cuenta con 901 pozos activos productores con una producción de 36.522 BOPD en promedio. En la actualidad el campo cuenta con cuatro mecanismos de levantamiento artificial, existen 702 equipos con sistemas de levantamiento mecánico (BM Unidades de Bombeo), 140 Bombas de Cavidades Progresivas (PCP, por su sigla en inglés, Progressing Cavity Pumping) y 40 bombas Electro-sumergibles además de 19 proyectos con ESP-PCP, resumidas en la *Tabla 1*. Cada método tiene sus características: el PCP cuenta con una alta eficiencia en campo, maneja una alta producción de arena gracias a su sistema de elastómero resistente a la abrasión; la ESP es utilizada especialmente en pozos cuyos caudales exceden los 3000 BFPD; por último esta el bombeo mecánico (usado en la mayoría a nivel mundial), que tiene una gran tolerancia a la producción de arena y un amplio rango de caudales de producción.

Tabla 1. Sistemas de Levantamiento Artificial del Campo La Cira - Infantas.

Sistema de Levantamiento Artificial	# Unidades	Porcentaje (%)
Bombeo Mecánico (B.M.)	702	77.91
Bomba de Cavidades Progresivas (P.C.P.)	140	15.54
Bombeo Electro Sumergible (E.S.P.)	40	4.44
Bombeo Electro - PCP (E.S.P.-P.C.P.)	19	2.11
Total	901	100.00

Fuente: El Autor

2.1 BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)

Consiste en una bomba de desplazamiento positivo en forma de flujo laminar y estable, con una tasa de descarga proporcional al tamaño de la cavidad (*Figura 3*), la velocidad de rotación y el diferencial de presión a través de la bomba.

El equipo en superficie consta de un motor eléctrico, unido a una caja reductora

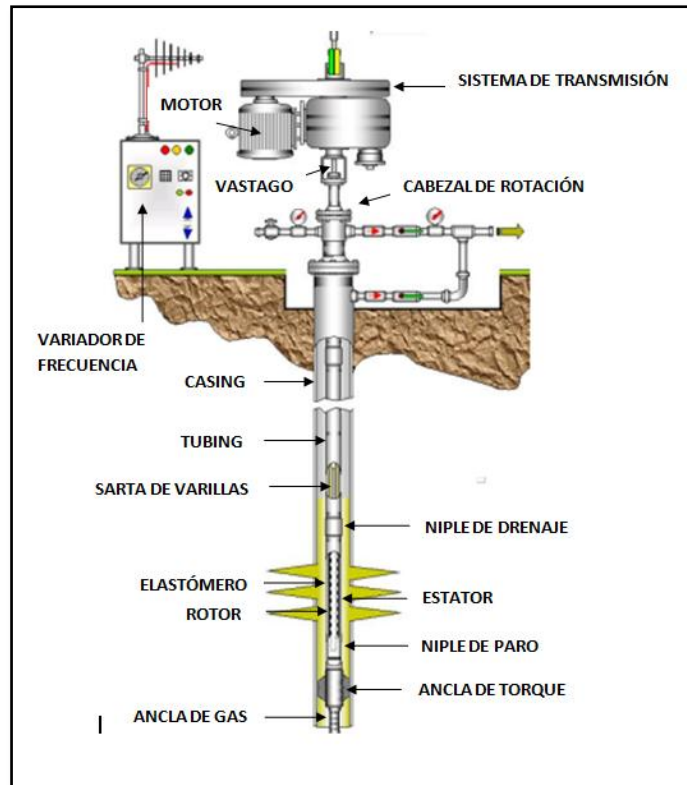
de velocidades, a través de la cual se regulan las revoluciones por minuto de la bomba, variando el diámetro de las poleas. Adicionalmente, posee una caja de empaques para impedir el derrame de fluidos en superficie, un cabezal y las respectivas varillas que se escogen de acuerdo al tipo de la bomba y profundidad a la cual se encuentran.

Este tipo de bombas tienen diferentes aplicaciones: petróleo pesado, pozos productores de crudos con H₂S, crudo liviano con cierto contenido de aromáticos, pozos de agua, proyectos de inyección de agua (caso La Cira Infantas) inclinados y desviados. Su uso en el campo, se debe principalmente a su aplicabilidad en casos de inyección de agua como método de recobro, además de ser una excelente opción para los crudos con un alto contenido de abrasivos. A pesar de sus ventajas, este mecanismo tiene su debilidad en el tipo de elastómero que se use, ya que de este puede depender la vida útil de la bomba. El elastómero es un polímero que tiene la propiedad de deformarse y recuperarse elásticamente (resiliencia), va en conjunto con el estator y es quien sufre principalmente la abrasión de la arena.

Los accionamientos de superficie para los sistemas de bombeo por cavidades progresivas han evolucionado desde pequeñas unidades de velocidad fija hasta sofisticados sistemas protegidos mecánica y eléctricamente, que poseen capacidades de supervisión y control a distancia.¹

¹CHACIN, Nelvy; En: Bombeo de Cavidad Progresiva: Operaciones, Diagnostico, Análisis de Falla y Trouble Shooting; Programa de Adiestramiento; El Tigre, Venezuela;2003.

Figura 3. Sistema de levantamiento artificial de cavidades progresivas (BCP).



Fuente: Modificado. Sistema de automatización LOWIS Campo La Cira – Infantas.

2.2 BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES)

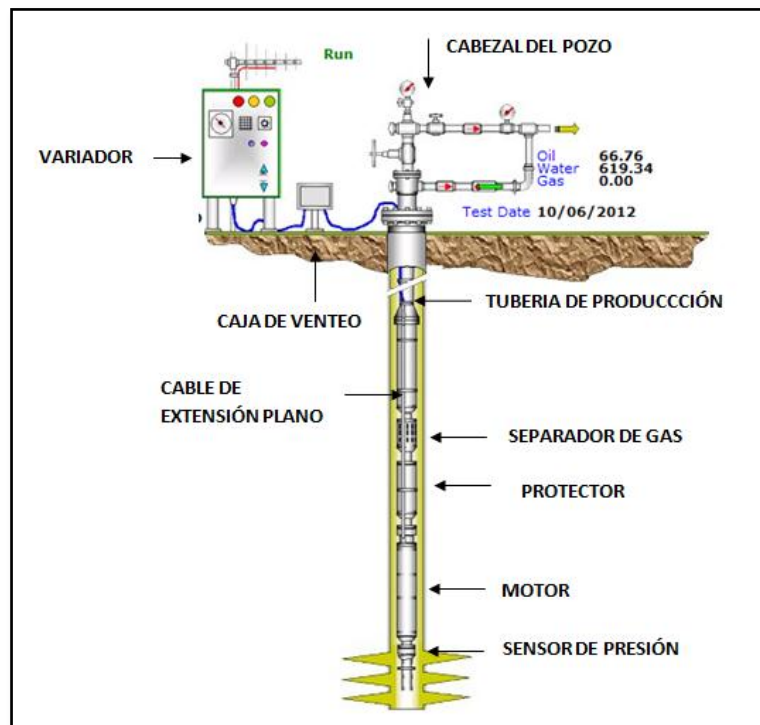
El uso de las bombas electro-sumergible en el campo La Cira Infantas ha sido escaso comparado con los demás mecanismos, puesto que las características del campo pozos con bajos caudales y alta producción de arena), no son suficientes para su aplicación. Actualmente el campo cuenta con 51 pozos trabajando con bombas de este tipo, con caudales superiores a 1500 BFPD.

Sus características respecto a otros sistemas de bombeo son: manejo altos caudales de fluido, mantenimiento rápido, permite una pronta atención a los pozos caídos y pronta recuperación de la inversión inicial de los equipos.

El equipo se compone de dos partes en superficie: transformador reductor (SDT), el tablero de control (Variador o arrancador directo) y transformador elevador (SUT); en fondo: bomba, sello, motor y sensores (*Figura 4*).

La bomba para este tipo de bombeo es centrífuga, que transfiere energía mecánica a un fluido por la acción rotativa de una turbina -llamada impulsor- que gira dentro de una cavidad o difusor. Al conjunto impulsor – difusor, se le llama etapa de la bomba. A medida que el impulsor gira, todo el fluido que entra en él es expulsado hacia afuera por acción de la fuerza centrífuga. Debido a la forma de los alabes del impulsor, el fluido es levantado hacia el difusor, que a su vez lo encamina al impulsor de la siguiente etapa. A mayor número de etapas en una bomba BES, mayor es la presión a la salida.

Figura 4. Sistema de levantamiento artificial Electro-sumergible.(BES).



Fuente: Modificado. Sistema de automatización LOWIS Campo La Cira – Infantas

2.3 BOMBEO MECÁNICO

El método de levantamiento artificial más común y más antiguo en el mundo es el bombeo mecánico, la Cira Infantas aproximadamente el 78% de los pozos productores poseen este sistema de levantamiento.

Debido a su simplicidad y robustez, es posible usarlo en casi todos los tipos de pozos que requieren levantamiento. Sin embargo, existen límites físicos para la aplicación, en cuanto a profundidad y caudales a levantar.

En su forma más simple, la bomba consiste de un cilindro o camisa suspendida en la tubería de producción, el émbolo se mueve hacia arriba y hacia abajo en el interior de este cilindro por medio de la sarta de varillas de succión, esta consiste en una serie de varillas de acero roscadas y acopladas en la superficie a la unidad de bombeo.

La unidad y la máquina motriz en la superficie suministran el movimiento oscilatorio a la sarta de varillas de succión y, en consecuencia, a la bomba. En el fondo del cilindro está instalada una válvula estacionaria de bola y a asiento, la válvula estacionaria o fija, además de una segunda válvula de esfera y asiento, la válvula viajera, la cual está localizada en el émbolo.

Las características principales del ciclo de bombeo se ilustran en la *Figura 5* y los cuatro esquemas incluidos en esta figura se refieren a las situaciones que se describen a continuación:

a) *Movimiento descendente del émbolo, cerca del fondo de la carrera:* el fluido se mueve hacia arriba a través de la válvula viajera abierta, mientras el peso de la columna de fluido en la tubería de producción esta soportado por la válvula fija, la cual en consecuencia está cerrada.

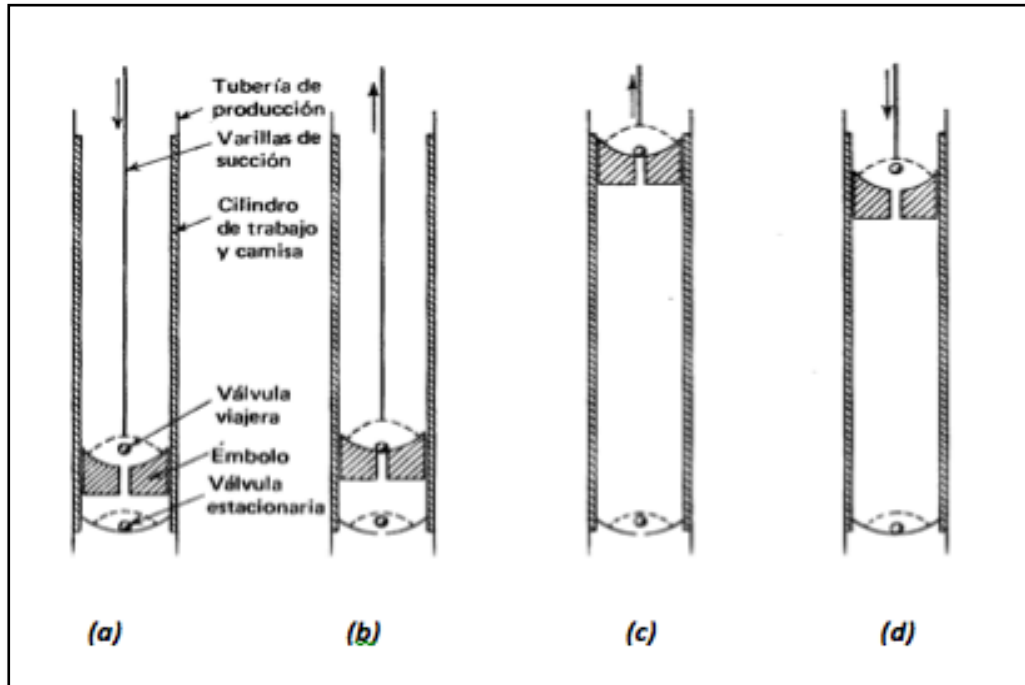
b) *Movimiento ascendente del émbolo, cerca del fondo de la carrera:* la válvula viajera ahora está cerrada, en consecuencia, la carga debido a la columna de fluido se ha transferido de la tubería de producción a la sarta de varillas. La válvula fija se abre tan pronto como la presión abajo excede la presión de arriba; la posición en la carrera hacia arriba, en la cual ocurre esto, depende del espaciamiento de la bomba, es decir, del volumen incluido entre las válvulas fija y viajera al fondo de la carrera, y el porcentaje de gas libre atrapado en el volumen del fluido.

c) *Movimiento ascendente del émbolo, cerca de la parte superior de la carrera:* si en el pozo hay producción obtenida con bombeo, la válvula fija debe estar abierta durante este tiempo, pues así permite que la formación entregue producción a la tubería de producción. La válvula viajera permanece cerrada.

d) *Movimiento descendente del émbolo, cerca de la parte superior de la carrera:* la válvula estacionaria está cerrada por el aumento de presión que resulta de la compresión de los fluidos en el volumen entre las válvulas fija y viajera. La válvula viajera está abierta, pero en el punto de la carrera hacia abajo en el que se abre, dependerá del porcentaje de gas libre en los fluidos entrampados, ya que la presión debajo de la válvula debe exceder a la presión de arriba, es decir, la presión debida a los fluidos en la tubería de producción arriba del émbolo, antes de que la válvula viajera se abra.²

² Fuente: NIND,T.E.W;_Fundamentos de Producción y Mantenimiento de Pozos Petroleros, Editorial Limusa; Ontario, Canadá, 1987

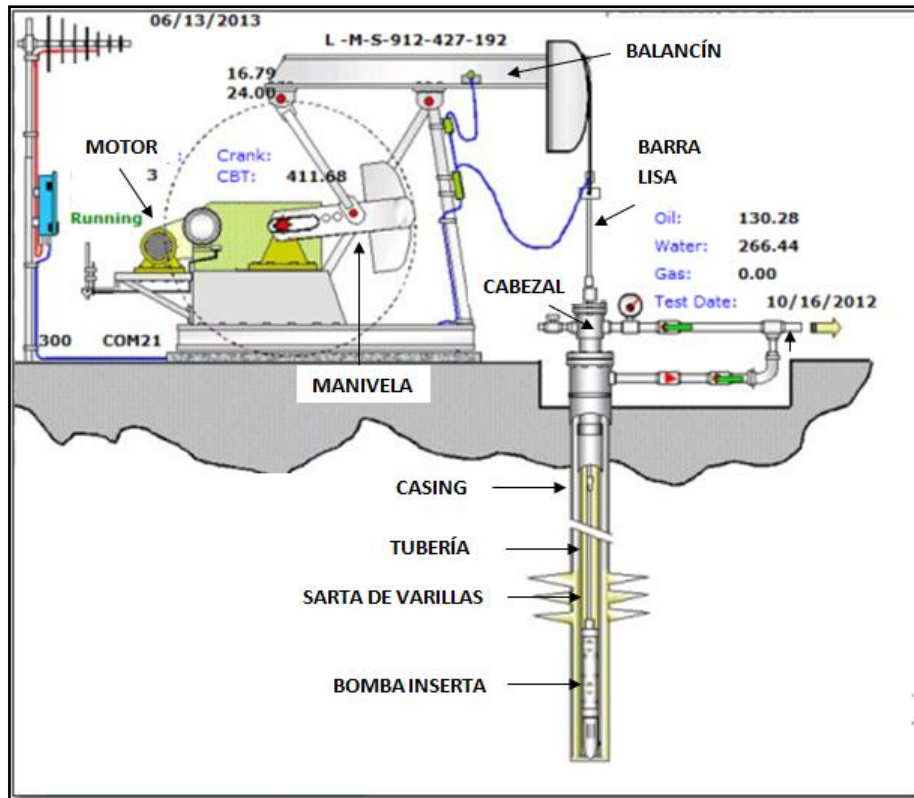
Figura 5. Ciclo de Bombeo: a) El émbolo se mueve hacia abajo cerca del fondo de la carrera; b) El émbolo sube, cerca del fondo de la carrera; c) El émbolo sube cerca de la parte superior de la carrera; d) El émbolo se mueve hacia abajo cerca del tope de la carrera.



Fuente: NIND, T.E.W; Fundamentos de Producción y Mantenimiento de Pozos Petroleros.

Los componentes individuales del sistema de bombeo mecánico pueden ser divididos en dos grupos principales: el equipo de subsuelo y el equipo de superficie. En la *Figura 6*, se observa el esquema completo del sistema de bombeo mecánico.

Figura 6. Sistema de levantamiento artificial Bombeo Mecánico.



Fuente: Modificado. Sistema de automatización LOWIS Campo La Cira – Infantas.

El equipo de subsuelo incluye:

- **La sarta de varillas**, compuesta por varillas de succión, que corren dentro de la sarta de tubería del pozo. La sarta de varillas provee la conexión mecánica entre el equipo de superficie y la bomba de subsuelo.
- **La bomba pistón**, es la parte en movimiento en un sistema de bombeo mecánico usual y está directamente conectada a la sarta de varillas. Contiene una válvula de bola, llamada Válvula Viajera, la cual, durante el movimiento ascendente del pistón, levanta el líquido contenido en la tubería.

- **El barril de bomba**, es la parte (Cilindro) estacionaria de la bomba de subsuelo. En esta se encuentra otra válvula de bola, la Válvula Estacionaria. Este actúa como una válvula de succión para la bomba, a través de la cual los fluidos del pozo entran al barril de la bomba durante el movimiento ascendente.³

2.3.1 Clasificación de las bombas de subsuelo

Las bombas son clasificadas por la norma API (American Petroleum Institute) en dos grandes grupos:

- Bombas insertables.
- Bombas de tubería (tubing).

Las bombas insertables son aquellas que van por dentro de la tubería de producción del pozo y que se acoplan o anclan en la tubería en el llamado asiento de la bomba.

Este tipo de bombas se subdividen a su vez en:

- Bombas con barril estacionario y anclaje superior
- Bombas con barril estacionario y anclaje inferior
- Bombas con barril viajero y anclaje inferior

A su vez, todos estos tipos de bombas pueden ser de paredes gruesas o delgadas según las necesidades del pozo.

Las bombas de tubería no van por dentro de la tubería de producción, sino que son parte integral de esta, son de barril fijo y tienen la ventaja de ofrecer una mayor capacidad de bombeo, debido a que su diámetro es

³TAKACS, Tabor; En: Sucker-Rod Pumping Manual, Penn Well Books; Tulsa, Oklahoma, 1993.

mayor que el de aquellas bombas insertables. Sin embargo, presentan la desventaja de que en caso de una falla en la bomba, se hará necesario sacar toda la tubería de producción para recuperarla, lo que ocasiona un elevado costo en las intervenciones al pozo, si se compara con las bombas insertables.

2.3.2 Nomenclatura utilizada para designar las bombas

Las bombas se clasifican de acuerdo a detalles tales como:

Tabla 2. Diámetro nominal de tubería o asiento de la bomba.

Diámetro nominal	Diámetro externo (Pulg)
15	2
20	2 ¾
25	2 7/8
30	3 ½

Tabla 3. Diámetro nominal de la bomba de subsuelo.

Diámetro nominal	Diámetro bomba (Pulg).
125	1 ¼
150	1 ½
175	1 ¾
178	1 25/32
200	2
225	2 ¼
250	2 ½
275	2 ¾

✓ Tipo de bomba:

- **R** para las bombas de varillas
- **T** para las bombas de tubería.

✓ Tipo de barril de la bomba:

- **H** barril de paredes gruesas y pistón metálico.
- **W** barril de paredes delgadas y pistón metálico.

- **S** barril de paredes delgadas y pistón suave.
- **P** barril de paredes gruesas y pistón suave.

- ✓ Localización del mecanismo de asiento de la bomba. La figura 5 hace referencia a la acción de bombeo en las diferentes ubicaciones en que se puede localizar el mecanismo de asiento, los cuales se identificarán, según el caso, de la siguiente manera:
 - **A** en la parte superior de la bomba.
 - **B** en la parte inferior de la bomba.
 - **T** en la parte inferior de la bomba (barril viajero)

- ✓ Tipo de mecanismo de asiento de la bomba:
 - **C** asiento de copas.
 - **M** asiento mecánico.

- ✓ Longitud del barril de la bomba, en pies.
- ✓ Longitud nominal del pistón, en pies.
- ✓ Longitud total de las extensiones, en pies.

El siguiente es un ejemplo de la identificación del tipo de bomba siguiendo la nomenclatura explicada anteriormente:

20-125-RWAC-12-3-2

Esta identificación indica, que el asiento de la bomba es de dos pulgadas, el diámetro de la bomba es de 1 1/4 pulgadas, la bomba es de tipo varillas con un barril de paredes delgadas y pistón metálico, cuyo sistema de anclaje es de copas y se localiza en la parte superior de la bomba, tiene un barril de 12 pies de largo, un pistón de 3 pies y una extensión de 2 pies.

El equipo de superficie incluye:

- **El motor**, que provee la energía al sistema y puede ser un motor eléctrico o de gas. Los motores eléctricos para bombas de varillas son principalmente motores de inducción de tres fases. Se clasifican según deslizamiento y las características del torque durante el arranque; por lo general su rango de deslizamiento va desde el 5% hasta el 13%.
- **La manivela o caja de engranaje**, tiene la función de convertir torques bajos y altos revoluciones por minuto de la unidad motriz en altos torques y bajos rpm, necesarios para operar la unidad de bombeo. Una reducción típica de caja de engranaje es 30:1, esto significa que la caja de engranaje reduce los rpm a la entrada 30 veces, mientras intensifica el torque de entrada 30 veces.
- **La barra lisa**, conecta el balancín con la sarta de varillas y con un sello evita que el fluido salga de la tubería.
- **El montaje del cabezal de pozo**, contiene una prensa y una *pumping tee* que lleva los fluidos del pozo hacia la línea de flujo. El anular entre el *revestimiento* y la tubería se conecta usualmente a la línea de flujo, por medio de una válvula cheque.
- **La unidad de bombeo**, tiene como función convertir el movimiento rotacional de la unidad motriz al movimiento ascendente-descendente de la sarta de varillas. Una unidad de bombeo apropiadamente diseñada tiene el tamaño exacto de caja de engranaje y estructura, también tiene suficiente capacidad de carrera para producir el fluido deseado. Si bien todas las unidades de bombeo tienen características comunes, estas también tiene diferencias que podrían influenciar significativamente el comportamiento del sistema.

2.3.3 Tipos de unidades de bombeo

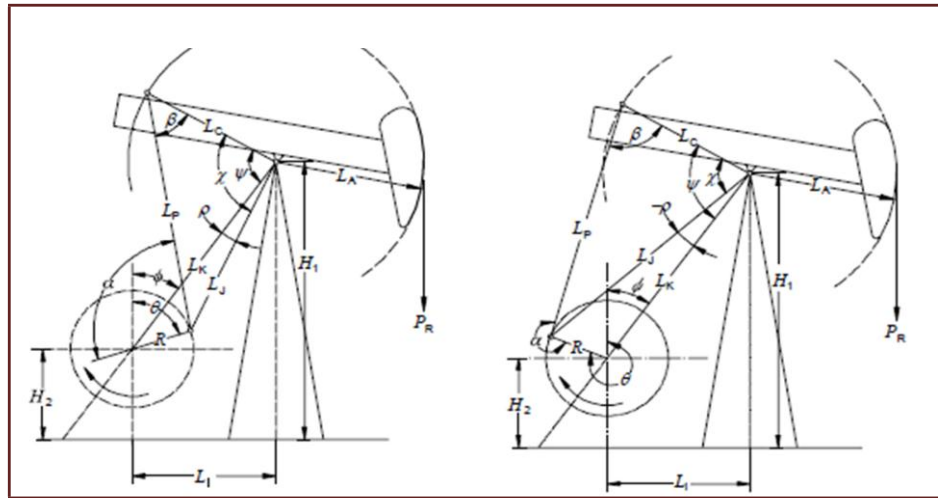
Las unidades de bombeo según las especificaciones en la norma API 11E, pueden tener distintas disposiciones geométricas de sus partes. Usualmente ellas se clasifican de acuerdo con el criterio de si el balancín opera como palanca de doble brazo (clase I) o una palanca de un solo brazo (clase III).

El brazo de la manivela de la unidad de bombeo se puede girar en dos direcciones (no todas cumplen con este condición): en el sentido de las manecillas del reloj (CW) o en sentido contrario (CCW).

2.3.3.1 Unidad convencional Clase I⁴ Es de fácil operación y está basado en la transmisión del movimiento rotativo del motor por medio de correas a la caja de transmisión, la cual reduce la velocidad a través del sistema de engranajes. Este movimiento angular más lento, conexión biela-manivela, lo convierte en alternativo vertical, que se refleja en el ascenso y descenso de la barra pulida. Estas unidades son balanceadas generalmente en la manivela. La capacidad de la caja de engranajes es de 25 a 912 MLbs-pulg, y la longitud de las carreras esta entre 12 y 192 pulgadas. Una representación esquemática se puede apreciar en la *figura 7*, en la cual se pueden encontrar características básicas de la unidad de bombeo.

⁴Sánchez, Yoel. Evaluación del comportamiento de producción en pozos comunidad de Bombeo Hidráulico Corlift. Tesis Pregrado, Cabimas, 2010.

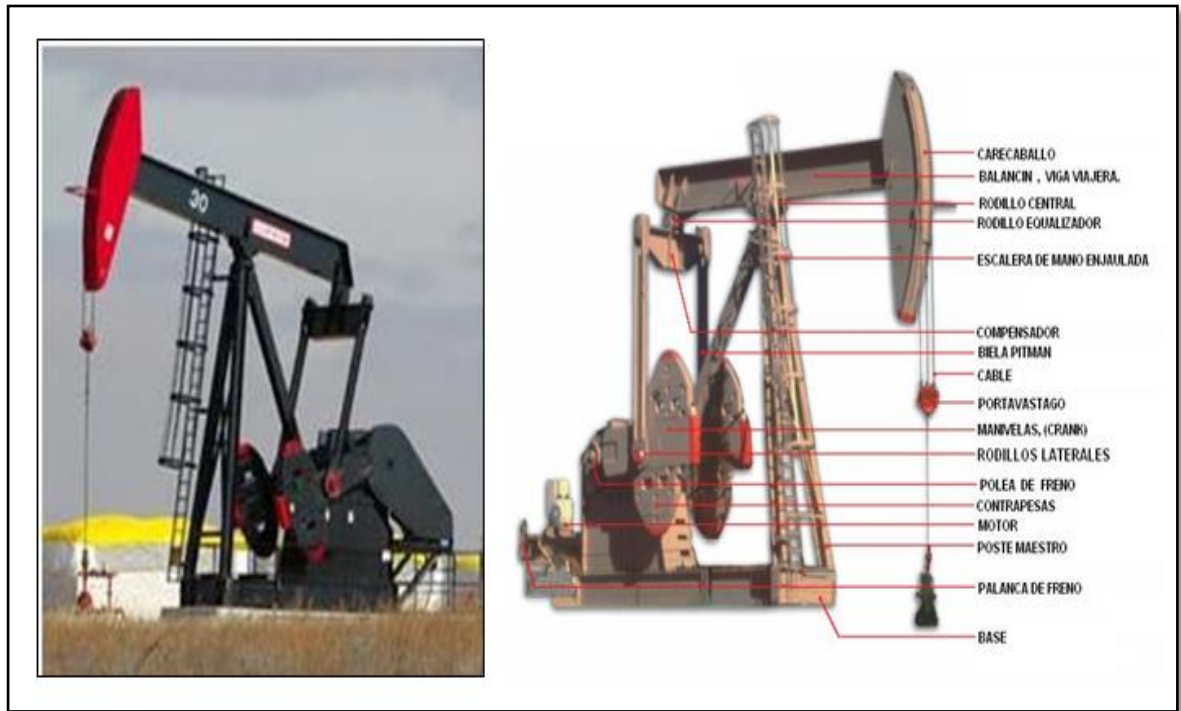
Figura 7. Disposición esquemática de la geometría en una unidad de bombeo convencional, Clase I



El Balancín actúa como una palanca de doble brazo, siendo impulsada desde su extremo superior e impulsa la sarta de varillas en su extremo frontal (clase I), también es llamada sistema de palancas “empuje ascendente”.

- i. Cuando el balancín queda en posición horizontal, el cojinete nivelador y el árbol del cigüeñal quedan aproximadamente sobre la misma línea del cigüeñal, utilizando las dimensiones dadas en la figura 4, $L_c=L_i$.
- ii. Las contrapesas quedan ubicadas sobre el extremo posterior del balancín (Unidades balaceadas en el balancín) o sobre el brazo de la manivela (unidades balanceadas en la manivela).
- iii. La unidad puede impulsarse en ambas direcciones.

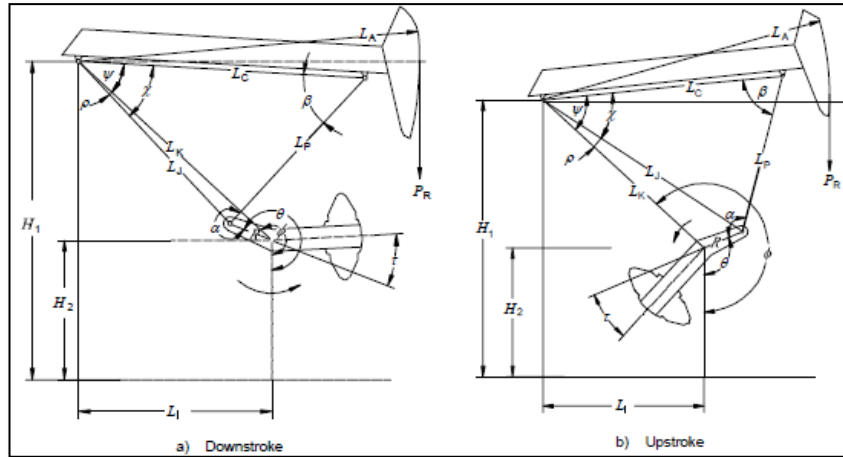
Figura 8. Unidad de Bombeo Tipo Convencional, Clase I.



Fuente: www.lufkin.com

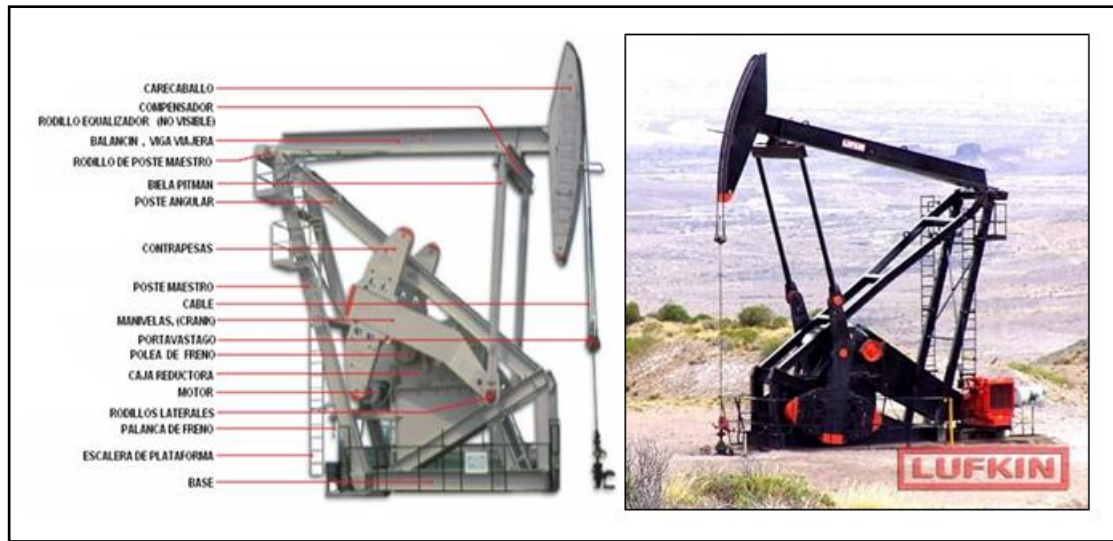
2.3.3.2 Unidad Mark II Clase III: Utiliza un mecanismo cinemático muy similar a los componentes estructurales de la unidad de bombeo convencional. Diseñada para rotar únicamente en sentido contrario de las manecillas del reloj, esta unidad ofrece uno de los sistemas de bombeo por varillas más sencillos y avanzados que existentes en la actualidad. La representación esquemática de la unidad de bombeo Mark II se aprecia en la *figura 9*, sus principales características básicas son:

Figura 9. Disposición esquemática de la geometría en una unidad de bombeo Mark II.



- I. Utiliza un sistema de palancas (empuje ascendente).
- II. El cojinete nivelador (Chumacera de centro) está localizado sobre el balancín, muy cerca del cabezal del balancín, haciendo que la dimensión L_c sea superior que la de L_i . Esta es la única característica de las unidades Mark II que mejora el funcionamiento disminuyendo las velocidades a diferencia de las geometrías anteriores.
- III. Las contrapesas de rotación están colocadas sobre un brazo de equilibrio separado, que está dirigido hacia el costado opuesto del brazo de la manivela y que tiene una fase dada por un ángulo (aproximadamente 24°). Esta característica exclusiva, garantiza una variación más uniforme del torque neto durante todo el ciclo completo de bombeo.
- IV. Esta es una unidad de bombeo unidireccional (unitorque), que siempre debe ser impulsada hacia una dirección específica, tal como se observa en la *figura 9*.

Figura 10. Unidad de Bombeo Tipo MARK II, Clase III.



Fuente: www.lufkin.com

2.3.3.3 Unidades Balanceadas por Aire Clase III: En estas unidades el punto de apoyo del balancín esta en uno de sus extremos, son más livianas y compactas; estas unidades de bombeo utilizan un cilindro con aire comprimido en lugar de pesas de hierro, esta cualidad permite mejor transporte a la unidad, ya que son un 40% más livianas que las convencionales, sin embargo los costos de operación son altos, debido al mantenimiento del sistema de balanceo (cilindro de aire, pistón, compresor y controles neumáticos). Estas unidades tienen mayor aplicación para pozos profundos, el bombeo de altos volúmenes con carreras largas y el bombeo de crudos viscosos.

El diseño compacto y liviano relativamente de la unidad la hace conveniente para todo tipo de instalaciones, incluyendo instalaciones de plataforma y para unidades móviles de ensayos montadas sobre remolques. Un compresor de aire suministrado con la unidad, provee la presión de aire necesaria de contrabalanceo. En las unidades impulsadas por motores a gas el compresor está impulsado por una correa accionada por un embrague neumático. El compresor

- I. El balancín trabaja como una palanca de un solo brazo (empuje ascendente o sistema clase III), ya que el cabezal del balancín y la biela que dan sobre el mismo costado del balancín.
- II. Las dimensiones L_i y L_c son aproximadamente iguales como en las unidades convencionales.
- III. El contrapeso queda asegurado por la fuerza de presión del aire comprimido contenido en un cilindro, que actúa sobre un pistón conectado al balancín.
- IV. La unidad puede trabajar en ambas direcciones.

Figura 12. Unidad balanceada por Aire.



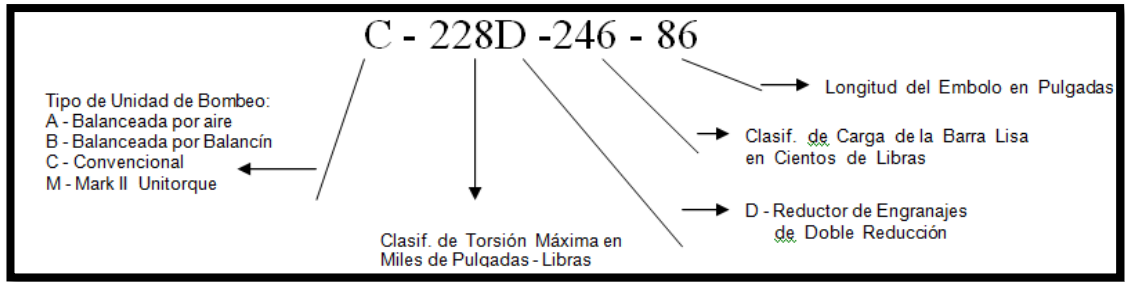
Fuente: www.lufkin.com

2.3.4 Designación de las Unidades de Bombeo

Para identificar una unidad de bombeo se realiza en base a la norma API (American Petroleum Institute), se tienen que conocer varios parámetros estructurales y operacionales (*Figura 13*). Los parámetros más importantes son:

- ✓ El tipo de disposición geométrica de la unidad.
- ✓ La capacidad estructural de la unidad (es decir, la carga máxima sobre la barra lisa permitida por la estructura).
- ✓ Capacidad máxima de torque del reductor de engranaje.
- ✓ Especificación del recorrido más largo disponible de la barra lisa para una unidad dada.

Figura 13. Designaciones API de las unidades de bombeo mecánico.



Fuente: Tomada de EMBUS, Luis A.; MARTINEZ, Jorge A. Curso Generalidades Bombeo Mecánico: I Parte Conceptos Básicos. PARKOSERVICES, 2009.

Este código es completamente fácil de interpretar. Sus primeras letras indican la geometría de la unidad de bombeo:

B para la unidad convencional balanceada con balancín.

C para la unidad convencional balanceada con manivela (Crank).

A para la unidad balanceada por aire.

M para la unidad Mark II.

TM para los tipos de geometría Torqmaster.

El siguiente grupo de números contiene el torque máximo en la caja reductora de la unidad de bombeo mecánico, en miles de libras/pulgada y la letra que indica la cantidad de reducciones del engranaje, usualmente una letra “D” para la reducción doble (LCI gran parte de las unidades tienen este tipo de reducción).

Los siguientes números definen la carga máxima de la barra lisa permitida sobre la estructura de la unidad de bombeo, en cientos de libras. El último grupo de la designación indica el recorrido máximo de la barra lisa disponible en la unidad dada.

2.3.5 Tipos de Unidades de Bombeo en La Cira – Infantas

Como lo muestra la *tabla 1*, en La Cira Infantas el 77.91% de los pozos presentan unidades de UBM como sistema de levantamiento artificial, realizando una clasificación de acuerdo a su tamaño, se tienen 475 unidades grandes con capacidades de 1280, 920 y 640 MLbs-pulg, 110 unidades medianas con capacidades de 456, 320, 228, 160 y 144 MLbs-pulg, y unidades pequeñas donde sus capacidades son 80, 57, 40, 26 y 16 MLbs-pulg: estas 702 unidades representan 32.304 BPPD (68,66%) del potencial de campo.

Tabla 4. Tipos De Unidades De Bombeo En El Campo La Cira – Infantas

Tamaño	Unidad	Cantidad	(%)	
Grandes (67.66%)	1280	MAXIMIZER II 1280-427-192	12	1.71
	912	M-912-427-192	211	30.06
		C-912-427-192		
	640	M-640-305-168	252	35.90
		M-640-365-168		
		M-640D-356-168		
		C-640-305-168		
Medianas (15.77%)	456	C-456-256-144	36	5.13
		C-456-305-144		
		C-456-256-144		
	320	M-320D-213-120	17	2.42
		C-320-213-120		
		C-320-256-120		
		C-320-305-120		
	228	C-320-256-100	3	0.43
		C-228-246-86		
		C-228-213-86c		
	160	C-228-212-86	4	0.57
		C-160-173-100		
		M-160D-200-86		
114	M-160D-213-86	50	7.12	
	C-114-174-64			
	C-144-170-65			
	C-114-143-64			
Pequeñas (16.52%)	80	TC-22-54	22	3.13
		TC-22-48		
		C-80-133-48		
	57	LUFKIN HB	8	1.14
		BABY LUFKIN		
		C-57D-89-42		
	40	TC-4-11-B	75	10.68
D40-89-42				

Tamaño		Unidad	Cantidad	(%)
		TC-5-34		
		TC-5-7		
		TC-5-7-A		
		TC-6-9B		
		TC-6C-5B		
		T-8B-16D		
	25	OIL WELL D25-56-36	9	1.28
	16	OIL WELL 3 A 4	3	0.43
Total			702	100.00

Fuente: El Autor.

3. SELECCIÓN DE POZOS Y CANDIDATOS

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos al comienzo de este proyecto, surgió la necesidad de crear una base de datos de los pozos del campo, que muestre toda la información disponible para cada pozo, esto ayudará a realizar de una forma clara los procedimientos que se quieren ejecutar en este proyecto; la base de datos se realizará con los pozos del campo que presentan sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico, es importante mencionar que la información fue tomada principalmente del sistema de Automatización del campo LOWIS, a continuación se presenta una breve descripción del sistema.

3.1 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN LA CIRA INFANTAS LOWIS⁵

LOWIS 5.0 (Life Of Well Information Software), es un sistema de información de los pozos durante el tiempo que lleven automatizados, a través de éste software se podrá tener el control de todos los pozos a la vez y en un solo sitio, uno o varios usuarios simultáneamente, ya que existe una plataforma que permite acceder a LOWIS vía internet, LOWIS genera su propia carta de fondo internamente con la ecuación de onda, independiente del controlador en sitio, lo que hace indiferente a un controlador del otro respecto a éste tema y en base a la carta de fondo generada, LOWIS realiza un análisis en la carta que el usuario desee, además genera curvas de tendencia e históricos de todas las variables medidas, lo que brinda herramientas muy útiles para el seguimiento y optimización de los sistemas de bombeo en campo.

⁵ Automatización de los sistemas de levantamiento artificial en el campo La Cira-Infantas, como administración y optimización de producción.

3.2 SISTEMA DE MONITOREO EN LA CIRA – INFANTAS

El sistema de comunicaciones en La Cira Infantas, es un sistema vía MODBUS, la estructura de comunicaciones diseñada para cubrir las necesidades del campo está compuesta por 10 antenas repetidoras, de las cuales en este momento hay 7 instaladas y a las cuales pueden conectarse 250 radios, equivalentes a 250 pozos por torre repetidora, a través de estas torres es transmitida la información vía inalámbrica de cada uno de los controladores de los diferentes métodos de bombeo artificial (bombeo mecánico (BM), cavidades progresivas, “BCP”, Electro sumergible, “ BES”) y pozos inyectoras, hacia los servidores de automatización del proyecto La Cira Infantas, los que a la vez cuentan con aplicaciones denominadas servidores OPC, que interpretan la información análoga y digital de cada variable de proceso y la suministran a clientes, como en este caso a la aplicación LOWIS 5.0, usada como estándar de LCI para el análisis de producción y optimización del campo, mediante el cual está disponible el monitoreo, análisis, control e historización de variables de cada uno de los pozos automatizados, una característica importante a resaltar de los radios de comunicación instalados en cada controlador es que son de frecuencia variable, automáticamente varían la frecuencia para evitar ser interceptados y saboteados por extraños al proyecto. (LOWIS presenta ventanas como las que se muestran a continuación.)

3.2.1 Lift Revisión Candidates (Candidatos a revisión del S.L.A.)

Ésta ventana puede visualizar gran cantidad de variables de operación, históricos de tiempo de operación, históricos de ciclos por día, eficiencia de bombeo, promedios de tiempo de operación en el último mes, del total de pozos automatizados. Todas éstas variables a través de filtros personalizados, permiten seleccionar y evaluar pozos candidatos a intervención del sistema de bombeo, tanto en superficie como en fondo, así puede por ejemplo seleccionar candidatos potenciales para variación en las condiciones de bombeo, como cambios de recorrido en la unidad de superficie, incremento de la velocidad de bombeo y en

fondo aumento o disminuir del diámetro de la bomba, capacidad de extracción y sumergencia; cambio de bomba por deficiencia de bombeo. La figura 14 y 15 muestran ésta ventana de LOWIS y la figura 16 muestra cómo organizarla, qué variables desea analizar y el orden en que quiera verlas. Tomar nivel de fluido con sonolog, esto permite optimizar este recurso para pozos que lo requieran y que estén incrementado nivel por baja eficiencia de bombeo ó por influjo del frente de inyección.

Figura 14. Candidatos a Revisión del Sistema de Levantamiento, “Lift Revision Candidates”.

Well Name	Well Test Facility	Control Mode	Hours Run	Hour Run 7 Day Avg	Hours Run 28 Day Avg	Run Time % Deviation	THEORETICAL PRODUCTION	VOLUMETRIC EFFICIENCY	Control type	Pump ID	Fluid Above Pump (Fluid Param)	Fluid Above Pump (Current)	Pumping Unit	Wrist Pin	Actual Stroke	Unit SPM
CIRA0931	Estacion 3	POC	24.00	23.95	21.80	0.00	540.34	40.18	EPICRP	2.25	54.19	-218.02	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	6.62
CIRA0937	Estacion 3	POC	24.00	24.00	23.98	0.00	931.99	101.07	SAMPRC	2.50	325.27	-207.25	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	1	168.10	8.05
CIRA1002	Estacion 3	POC	24.00	24.00	23.90	0.00	917.92	6.39	EPICRP	2.50	13.70	712.59	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	8.02
CIRA1011	Estacion 3	POC	23.78	23.93	23.90	-1.00	326.30	51.08	SAMPRC	2.25	910.05	1197.43	LUFKIN C228-246-86 (8495E8495C)	1	86.60	7.62
CIRA1023	Estacion 3	????	2.40	2.81	4.99	-8.00	542.15	202.83	EPICRP	2.25	65.69	-29.75	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	3	130.80	7.54
CIRA1028	Estacion 3	POC	5.38	5.50	5.35	-3.00	913.85	113.19	EPICRP	2.75	252.93	634.50	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	7.31
CIRA1067	Estacion 3	POC	24.00	23.97	23.26	0.00	1161.58	57.95	SAMPRC	2.75	35.88	270.96	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	2	168.00	8.24
CIRA1073	Estacion 3	POC	24.00	24.00	23.97	0.00	324.33	20.97	SAMPRC	1.50	38.73	49.99	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	8.88
CIRA1084	Estacion 3	OUT	0.00	0.00	0.00	100.00	259.85	0.00	SAMPRC	1.75	17.11	737.24	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	3	130.80	5.61
CIRA1665	Estacion 3	POC	21.80	21.28	20.12	1.00	460.63	74.03	SAMPRC	2.25	479.67	638.86	AMER C-320-305-100 (K83HLB-99-43)	1	100.00	8.58
CIRA1679	Estacion 3	POC	22.32	22.53	21.81	-1.00	474.29	49.03	SAMPRC	1.75	301.57	487.11	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	1	168.10	8.25
CIRA1696	Estacion 3	POC	0.00	0.00	0.00	100.00	382.41	62.78	EPICRP	2.00	459.65	-238.30	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	3	130.80	0.00
CIRA1699	Estacion 3	POC	2.10	2.09	2.09	0.00	340.17	124.31	EPICRP	1.75	-5.43	-364.54	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	2	149.40	6.62
CIRA1710	Estacion 3	POC	13.28	12.81	12.73	3.00	191.88	117.33	EPICRP	1.50	229.88	-292.07	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	3	130.80	6.95
CIRA1714	Estacion 3	OPER	10.40	11.48	18.78	-10.00	1083.67	152.10	EPICRP	2.75	228.90	3307.04	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	2	168.00	7.38
CIRA1722	Estacion 3	POC	0.25	0.23	0.26	7.00	362.45	17.27	EPICRP	1.75	37.22	293.13	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	7.36
CIRA1725	Estacion 3	POC	22.80	21.46	15.55	6.00	640.36	25.45	SAMPRC	2.50	107.88	-354.70	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	6.55
CIRA1795	Estacion 3	????	3.77	3.77	3.67	-1.00	508.77	27.48	EPICRP	2.50	96.32	-2040.28	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	5.47
CIRA1816	Estacion 3	OPER	24.00	13.30	19.83	80.00	552.83	107.81	SAMPRC	2.00	442.21	-56.21	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	2	168.00	7.31
CIRA1851	Estacion 3	OPER	0.00	0.00	0.00	100.00	452.42	87.45	EPICRP	1.75	328.00	351.88	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	2	168.00	7.54
CIRA1875	Estacion 3	????	24.00	24.00	23.95	0.00	695.11	47.88	EPICRP	2.25	139.20	-158.29	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	1	168.10	7.27
CIRA1880	Estacion 3	OPER	24.00	24.00	23.94	0.00	697.30	65.04	SAMPRC	2.25	698.86	452.77	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	2	168.00	7.43
CIRA1889	Estacion 3	POC	21.04	23.72	23.01	-3.00	324.00	52.57	SAMPRC	2.25	46.57	501.17	LUFKIN M618D-213-86 (88888R)	1	86.10	7.57
CIRA2029	Estacion 3	POC	24.00	22.22	23.71	8.00	454.43	39.83	SAMPRC	2.25	310.36	244.73	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	5.82
CIRA2030	Estacion 3	OPER	23.76	23.76	23.33	0.00	138.00	127.50	SAMPRC	2.25	473.66	74.56	LUFKIN C840-305-168 (94110C)	3	115.70	5.51
CIRA2038	Estacion 3	POC	24.00	24.00	23.96	0.00	633.47	52.82	SAMPRC	2.25	546.53	-134.80	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	1	192.00	5.84
CIRA2042	Estacion 3	POC	24.00	24.00	23.96	0.00	412.60	76.59	SAMPRC	2.00	1.88	251.09	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	3	144.00	6.50
CIRA2043	Estacion 3	OUT	0.00	0.00	16.24	100.00	1489.75	0.00	SAMPRC	3.75	18.44	1979.54	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	1	192.00	9.02
CIRA2057	Estacion 3	POC	24.00	24.00	23.98	0.00	1007.88	92.78	SAMPRC	2.75	119.62	123.10	LUFKIN C840-305-168 (94110C)	1	168.00	7.46
CIRA2103	Estacion 3	????	24.00	21.12	23.61	13.00	727.14	44.42	EPICRP	2.25	126.76	-44.89	LUFKIN M51205-427-192 (192130MPO)	1	192.00	6.68
CIRA2112	Estacion 3	OUT	0.00	0.00	0.00	100.00	1027.15	63.53	SAMPRC	2.75	1152.00	739.84	LUFKIN M640D-385-188 (188108MPO)	1	168.10	2.93

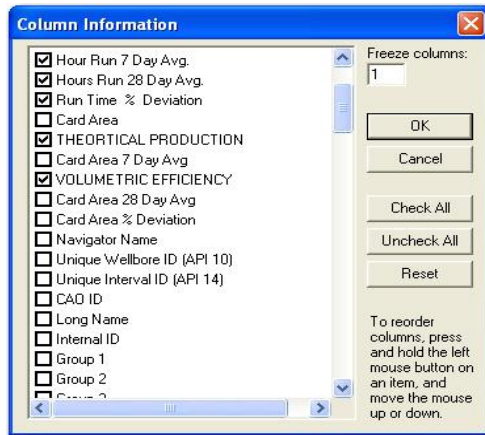
Fuente: Sistema de automatización LOWIS Campo La Cira – Infantas.

Figura 15. Candidatos revisión sistema de levantamiento.

Well Name	Run Time 7 Day Avg	Theoretical Production	VOLUMETRIC EFFICIENCY	Control Type	Pump ID	Flat Above Pump (Flat Pstems)	Flat Above Pump (Cores)	Pumping Unit	Well Pa	Actual Stroke	Unit SPM
CRA2217	24.00	1524.94	82.73	EPICP	2.75	488.22	236.10	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	1	182.00	8.89
CRA2218	24.00	1868.00	82.51	SAMP	1.75	880.81	246.46	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	1	182.00	32.26
CRA2219	24.00	301.96	79.20	SAMP	2.50	325.23	207.25	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	1	182.00	23.00
CRA2220	24.00	1795.94	77.20	SAMP	2.75	366.26	366.00	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	1	192.00	31.14
CRA2221	24.00	1263.46	100.84	SAMP	2.75	365.00	124.54	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	2	180.00	9.96
RFAD264	24.00	588.90	81.80	SAMP	2.25	606.62	835.14	LUFN-MT400-365-180 (181)10C	1	180.00	7.06
CRA2227	24.00	866.25	84.85	SAMP	2.50	1182.05	361.81	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	1	182.00	7.36
CRA2216	24.00	482.75	83.25	SAMP	1.75	598.47	88.20	LUFN-MT400-365-180 (181)10C	1	180.00	8.33
CRA2217	24.00	584.75	81.80	SAMP	2.25	590.49	726.53	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	1	180.00	7.26
CRA2205	24.00	31.26	85.78	SAMP	2.75	515.60	486.76	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	2	144.00	7.25
RFAD218	24.00	1034.84	80.86	SAMP	2.75	822.74	527.63	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	3	144.00	26.36
RFAD217	24.00	421.01	106.80	SAMP	1.75	508.26	15.70	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	2	160.00	7.23
CRA2206	23.85	1122.80	26.80	EPICP	2.75	782.18	1626.36	LUFN-MT400-365-180 (181)10C	1	180.00	17.74
CRA2222	23.28	428.63	75.35	SAMP	2.00	473.65	418.76	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	3	130.00	7.36
CRA2223	24.00	368.06	80.11	SAMP	2.50	802.89	362.30	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	1	182.00	7.33
CRA2211	23.78	326.30	81.86	SAMP	2.25	810.80	1187.43	LUFN-C228-246-86 (86)80MPO	1	86.00	7.62
RFAD211	24.00	554.45	83.26	SAMP	2.25	1037.46	1259.33	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	3	130.00	7.25
CRA2212	24.00	388.88	81.78	SAMP	2.75	382.80	718.08	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	3	144.00	7.36
CRA2214	24.00	319.63	44.82	EPICP	2.25	1282.35	1488.50	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	1	180.00	30.27
CRA2215	24.00	597.30	82.94	SAMP	2.25	598.86	462.77	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	2	160.00	7.42
CRA2214	24.00	548.80	115.20	EPICP	2.25	330.37	292.05	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	3	130.00	7.36
CRA2102	24.00	600.11	57.44	EPICP	2.25	408.23	360.00	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	1	180.00	8.16
CRA2104	24.00	378.81	52.88	SAMP	2.00	642.27	144.77	LUFN-MT400-365-180 (181)10C	3	110.00	7.36
CRA2102	24.00	1308.41	71.85	EPICP	2.75	818.37	298.36	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	1	182.00	8.16
RFAD208	23.27	381.36	81.63	EPICP	1.75	817.27	2818.15	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	3	130.00	8.33
CRA2202	24.00	1118.07	79.87	SAMP	2.75	842.95	253.82	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	1	180.00	8.41
CRA2213	24.00	1480.76	85.00	SAMP	2.75	771.83	1432.26	LUFN-MT205-427-192 (192)30MPO	1	192.00	7.36
CRA2242	24.00	468.76	86.22	EPICP	2.25	367.82	218.35	LUFN-MT400-365-180 (181)10C	2	110.00	7.23
CRA2105	14.84	182.22	84.18	SAMP	1.25	396.57	352.88	LUFN-MT400-365-180 (180)30MPO	3	130.00	8.22

Fuente: Modificado. Sistema de automatización LOWIS Campo La Cira – Infantas.

Figura 16. Organización de variables en ventanas como estado de pozos y candidatos a revisión del sistema de levantamiento.



Fuente: Sistema de automatización LOWIS Campo La Cira – Infantas.

3.2.2 Análisis de tendencia

Adicional a las cartas dinagráficas de fondo y superficie, LOWIS permite hacer análisis de tendencia de todas la varialbes, medidas y/o cargadas al sistema, como carga máxima, carga mínima, producción inferida por el controlador, producción medida en estación de recolección, ciclos por día, tiempo de corrida por día, nivel de fluido calculado y medido, torque del sistema, presión en cabeza de pozo, velocidad de bombeo, mediante éstos análisis de tendencia se pueden programar mantenimientos preventivos a equipos de superficie y fondo, toma de niveles de fluido, baja eficiencia de bombeo, arenamiento, aumento ó disminución del aporte de fluidos de la formación, restricción en líneas de flujo, etc.

3.3 SELECCIÓN DE POZOS

Con la ayuda de LOWIS, se inició por filtrar la información de los pozos automatizados y una vez se obtuvo el filtro, se trasladaron los datos Excel, donde se dio paso a la creación de la base de datos, con los nombres de los pozos y el área, se reviso cada pozo en busca de la siguiente información:

En superficie el área donde se encuentra ubicado el pozo, la unidad de bombeo instalada, el recorrido actual de la unidad de bombeo y la velocidad de la carrera (SPM) para cada pozo. En fondo el tipo de bomba, el diámetro de la bomba y el nivel de sumergencia. También se obtuvo la información referente a run time de cada pozo, numero de ciclos por día, potenciales y pruebas volumétricas.

Para los pozos que aún no presentan el sistema de automatización se tuvo como base los archivos de trabajo de control de producción, como lo son el histórico de TWM (Dinagramas y Sonolog) y potenciales al igual que los registros de ultimas de pruebas volumétricas tomadas de AVOCET con el fin de determinar capacidades.

Una vez se reviso la información mencionada anteriormente para cada pozo, se procedió a calcular la capacidad volumétrica con las condiciones instaladas actualmente, este cálculo se realizo con la siguiente ecuación 1:

$$VT = 0,1484 * A * V * R \quad Ec. 1$$

Donde:

VT = Volumen Teórica desplazado de la unidad con las condiciones actuales.

A = Área de la Bomba.

V = Velocidad de la carrera (SPM).

R = Recorrido de la unidad.

También se determinó la eficiencia de cada unidad, esta se calculó con la relación de la última prueba volumétrica sobre el volumen Teórico desplazado calculado en el paso anterior. Estos valores se clasificaron de acuerdo con los rangos 0 – 30 %, 30 – 60 % y mayor a 60 %, estas se registraron para cada tipo de unidad como se muestran en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Eficiencia Volumétrica De Unidades De Bombeo LCI.

		EFICIENCIA			Cantidad	
Tamaño	Unidad	> 60 %	30 - 60%	< 30%		
Grandes	1280	MAIMIZER II 1280-427-192	7	5	0	12
	912	M-912-427-192	122	54	34	211
		C-912-427-192				
	640	M-640-305-168	123	58	71	252
		M-640-365-168				
		M-640D-356-168				
		C-640-305-168				
Medianas	456	C-456-256-144	15	10	11	36
		C-456-305-144				
		C-456-256-144				
	320	M-320D-213-120	6	5	6	17
		C-320-213-120				
		C-320-256-120				
		C-320-305-120				
	228	C-320-256-100	1	0	2	3
		C-228-246-86				
		C-228-213-86c				
160	C-228-212-86	1	1	2	4	
	C-160-173-100					
	M-160D-200-86					
Medianas	114	M-160D-213-86	12	9	29	50
		C-114-174-64				
		C-144-170-65				
		C-114-143-64				
Pequeñas	80	TC-22-54	6	6	10	22
		TC-22-48				
		C-80-133-48				
	57	LUFKIN HB	5	1	2	8
		BABY LUFKIN				
		C-57D-89-42				
	40	TC-4-11-B	19	18	38	75
		D40-89-42				
		TC-5-34				
		TC-5-7				
		TC-5-7-A				
		TC-6-9B				
	TC-6C-5B					
25	T-8B-16D	6	3	0	9	
OIL WELL D25-56-36						
16	OIL WELL 3 A 4	1	1	1	3	
Total		326	171	206	702	

Fuente: Autor.

Teniendo como base los resultados obtenidos de las unidades de campo LCI, se determinó trabajar con eficiencias menores del 30% y unidades de mayor capacidad (1280, 912, y 640), ya que al trabajar con unidades de baja capacidad volumétrica no se hallarán unidades menores por las que se puedan remplazar. El siguiente filtro realizado fue el tiempo de trabajo (runtime), el cual se tomó menor 10 horas, para depurar aún más la información.

El resultado de esta selección luego de los 3 respectivos filtros fue 18 pozos con unidades de capacidad 912 y 37 con capacidad 640, que se muestran en el Anexo 1, para trabajar en este proyecto se tomó una muestra representativa de cada una de las áreas existentes en el campo, ya que cada área presenta una condición diferente de la inyección de agua, este filtro final dio como resultado 23 pozos, que serán analizados en este proyecto, a continuación se muestran las condiciones actuales de cada uno de estos pozos:

Tabla 6. Pozos Seleccionados Runtime menor 10 horas y Eficiencia Volumétrica menor 30%

Pozo	Área	Unidad	Capacidad Instalada (BFPD).	Prueba Volumétrica (BFPD)	Eficiencia Volumétrica (%)	Runtime (Hrs)
CIRA 0917	CIRA ESTE	M 640 365 168	585,83	107,00	13,31	6,65
CIRA 2104	CIRA ESTE	M-912-427-192	666,85	119,00	16,95	6,85
CIRA 2742	CIRA NORTE	A 912-365-192	529,00	47,00	14,15	5,04
CIRA 2400	CIRA NORTE	M-912-427-192	910,49	125,00	13,73	5,52
INFA 0086	CIRA NORTE	A C 640 365 168	443,74	1,00	0,45	0,23
CIRA 3061	CIRA NORTE	M 640 365 168	251,56	29,45	8,75	6,96
CIRA 2437	CIRA SUR	M 912 427 192	742,03	56,00	6,74	4,08
CIRA 1725	CIRA SUR	M 912 427 192	969,69	104,00	12,38	3,36
CIRA 1028	CIRA SUR	M 912 427 192	678,58	153,00	24,02	8,16
CIRA 2118	CIRA SUR	M 912-427-192	633,27	94,00	14,21	4,56

Continuacion Tabla 6. Pozos Seleccionados Runtime menor 10 horas y Eficiencia Volumétrica menor 30%

CIRA 1722	CIRA SUR	M 640 365 168	527,89	14,00	2,46	0,72
CIRA 2255	CIRA SUR	M 640 365 168	583,49	27,00	12,00	2,00
CIRA 0555	CIRA SUR	M 640 365 168	453,48	92,00	24,26	8,16
CIRA 1481	INFA CENTRAL	M 912 427 192	923,07	145,00	17,44	5,28
CIRA 2640	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	221,16	19,00	11,30	3,36
CIRA 1193	INFA CENTRAL	M 640 365 168	307,80	47,00	16,24	5,04
CIRA 2330	INFA NORTE	M 912 427 192	952,77	53,00	5,14	3,12
CIRA 0871	INFA NORTE	M 912-427-192	956,15	139,00	15,27	6,00
CIRA 2367	INFA NORTE	M 640 365 168	568,98	55,00	13,01	3,45
INFA 3104	INFA NORTE	M 640 365 168	579,88	12,00	1,55	0,97
INFA 2345	INFA NORTE	C 640 365 168	350,79	115,00	38,48	7,68
INFA 2026	INFA SUR	M 640 365 168	556,09	44,00	6,83	4,32
INFA 3200	INFA SUR	A C 640 365 168	573,95	76,00	13,07	5,76

Fuente: Autor.

4. ANALISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO DEL CAMPO LCI

4.1 METODOLOGIA PARA LA SIMULACIÓN

El diseño que se ajuste a las condiciones de cada pozo se llevará a cabo con el siguiente procedimiento:

1. Análisis de las condiciones actuales de la unidad de bombeo utilizada en cada pozo. Aquí se hace uso de la información pertinente, como: especificación de la unidad de bombeo; completamiento del pozo y parámetros de producción del pozo.
2. Con la ayuda del software SROD, se realizan las corridas con las condiciones actuales y con los posibles cambios recomendados.
3. Recomendación del adecuado tipo de unidad de bombeo requerida por el pozo para mantener los actuales componentes de fondo.
4. Recomendación de los cambios necesarios a efectuar para mejorar las condiciones de bombeo, tales como: longitud de carrera, velocidad de bombeo, etc.
5. Recomendación del mínimo HP que necesitará el motor de la unidad para mantener las cargas con la nueva unidad de bombeo.

4.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

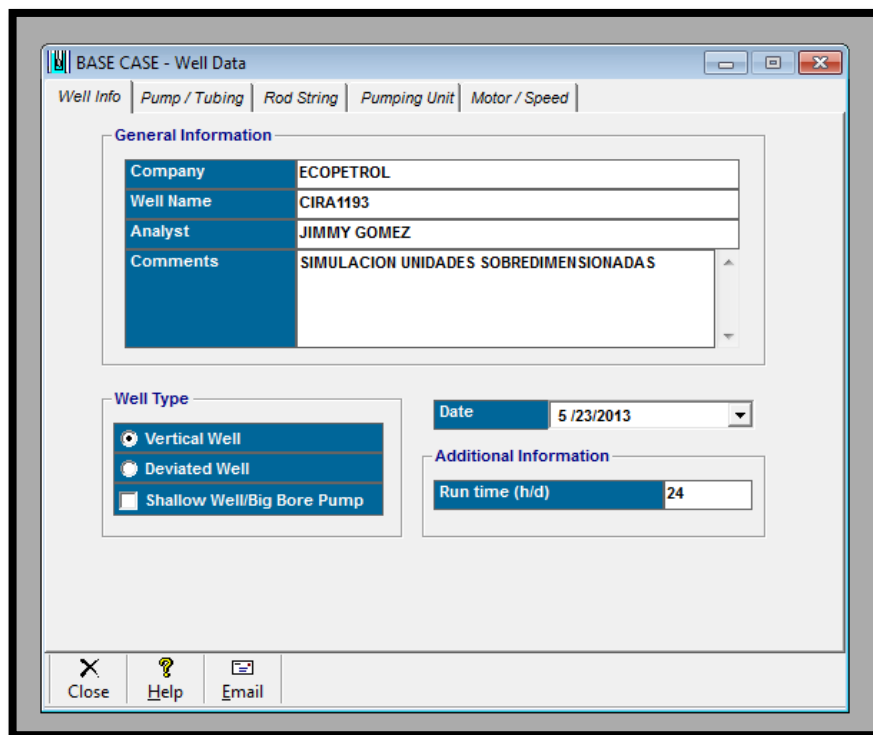
El software SROD⁶ es un programa para el diseño y optimización de sistemas artificiales de elevación por bombeo mecánico; la corrida para cada pozo se realiza de la siguiente manera:

⁶ Software para diseño de sistemas de bombeo mecánico Guía de Operación y Referencia.

➤ Información del Pozo

A continuación se presenta un ejemplo del pozo CIRA1193 de la corrida realizada en el simulador, este procedimiento se fue similar para todos los pozos. En el cuadro de información general, se cargaron los datos enunciativos y referenciales del pozo, como lo muestra la figura 17; el cuadro tipo de pozo permitió seleccionar si el pozo es vertical o desviado; el cuadro fecha se indicó la fecha del día que se reprodujo el comportamiento del pozo; en tiempo de operación se indicó la cantidad de horas de bombeo diarias normales del pozo.

Figura 17. Información General SROD.



The screenshot shows a software window titled "BASE CASE - Well Data" with several tabs: "Well Info", "Pump / Tubing", "Rod String", "Pumping Unit", and "Motor / Speed". The "Well Info" tab is active, displaying the following information:

General Information	
Company	ECOPETROL
Well Name	CIRA1193
Analyst	JIMMY GOMEZ
Comments	SIMULACION UNIDADES SOBREDIMENSIONADAS

Below the general information, there are two sections:

- Well Type:** A group box containing three radio buttons: "Vertical Well" (selected), "Deviated Well", and "Shallow Well/Big Bore Pump".
- Date:** A dropdown menu showing "5 /23/2013".
- Additional Information:** A group box containing a text field for "Run time (h/d)" with the value "24".

At the bottom of the window, there are three buttons: "Close", "Help", and "Email".

Fuente: Autor.

➤ Bomba Tubing

Como lo muestra la *Figura 18*, en profundidad de la bomba se colocó la profundidad de ubicación de la bomba. Este valor debe coincidir con la longitud total de la sarta de varillas en el caso de pozos verticales.

- **Diámetro de la bomba:** Diámetro del pistón de la bomba.
- **Eficiencia de la bomba (%):** Valor de eficacia o eficiencia de la bomba. Aquí se contemplaron las mermas producto de escurrimiento y venteo de gas. No se contemplaron la disminución volumétrica producto del movimiento de tubería ni ineficiencia por golpe de fluido o compresión de gas.
- **Llenado de la bomba:** Se indicó el porcentaje de llenado de la bomba o distancia de no llenado.
- **Presión de entrada en la bomba:** (PIP) Este valor se ingresó pero es posible calcularlo mediante la herramienta.
- **Diámetro de la tubería:** Se indicó el diámetro del tubing de producción. En caso de tubing telescópicos, se seleccionó el más predominante o el utilizado en el tramo cercano a la superficie.
- **Profundidad del ancla de la tubería:** Profundidad en la que está localizada en ancla de Tubing.
- **Presión de cabeza de pozo:** Presión de la línea de producción medida en la cabeza de pozo. En caso de tener una válvula de contra presionado de la línea, se indicó la presión aguas abajo de esta válvula, es decir la presión a la que se está presurizando el pozo en la cabeza de producción.
- **Gradiente de la tubería:** Variación de presión respecto a la profundidad dentro del fluido en la tubería de producción. El valor para agua dulce que se tomó 0.433 Psi/ft.

Los datos de información de fricción son de nivel más avanzado. Los parámetros de este grupo son:

- **Factor de fricción de carrera ascendente**, el valor por defecto es 0.05.
- **Factor de fricción de carrera descendente**, el valor por defecto es 0.15.
- **Fricción en la bomba**, el valor por defecto es 200 libras.

Figura 18. Bomba Tubing SROD.

The screenshot shows the 'BASE CASE - Well Data' window with the 'Pump / Tubing' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Pump Section:** Contains input fields for Pump Depth (ft) at 2978, Pump Diameter (in) at 2.25, Pump Efficiency (%) at 65.9, Pump Fillage Option set to 'COMPLETE', and Pump Intake Pressure (psi) at 78. There are also radio buttons for 'Incomplete Fillage (in)' and 'Pump Fillage %', both currently set to 0. A button 'Let SROD Calculate Pump Intake Pressure' is located below these fields.
- Tubing Section:** Contains input fields for Tubing Size (3 1/2 in), Tubing Anchor Depth (ft) at 0, Tubing Head Pressure (psi) at 58, and Tubing Gradient (psi/ft) at 0.433. A button 'Let SROD Calculate Tubing Gradient' is located below these fields.
- Friction Information Section:** Contains input fields for Upstroke Damping Factor (0.05), Downstroke Damping Factor (0.15), Stuffing Box Friction (lbs) at 100, and Pump Friction (lbs) at 200.
- Advanced Section:** A button labeled 'Advanced' is located below the Friction Information section.

At the bottom of the window, there are icons for 'Close', 'Help', and 'Email'.

Fuente: Autor.

➤ Varilla

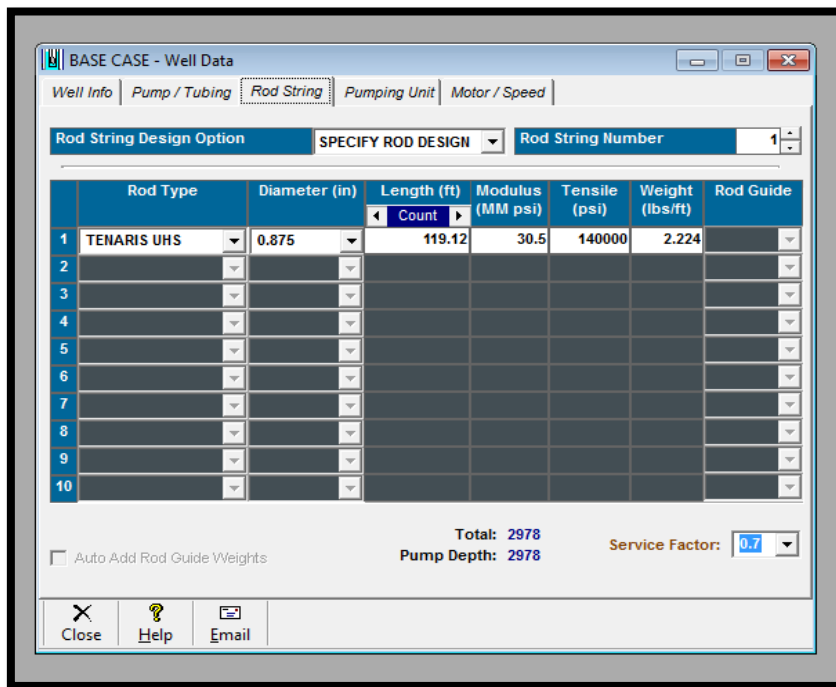
Se ingreso el diseño de sarta de varillas a utilizar, la opción por defecto SPECIFY ROD DESIGN como lo indica la figura 19:

- En tipo varillas se ingresó el tipo o grado de las varillas usadas.
- En diámetro se ingresó la sección del cuerpo de las varillas.

- En longitud se ingresó la longitud de dicho tramo (por defecto 25 pies longitud de varillas en acero).
- El módulo (MM psi) es el módulo elástico del material, para el acero el valor por defecto es 30.5, este valor se ingresa automáticamente al seleccionar el grado de la varilla.
- En tensión se ingresó la tensión máxima admisible de la varilla, este valor se aparece al seleccionar el grado de la varilla.
- En peso corresponde informar el peso de la varilla (Lb/Ft), este valor se ingresa automáticamente al seleccionar el grado de la varilla y diámetro.

Para varillas huecas o especiales (con centralizadores, longitudes diferentes al estándar, o con pines especiales) se ajustó este valor para que se corresponda con la realidad; en guía de barras se especificó el tipo de centralizadores o guías utilizados para ese tramo de varillas.

Figura 19. Varilla SROD.

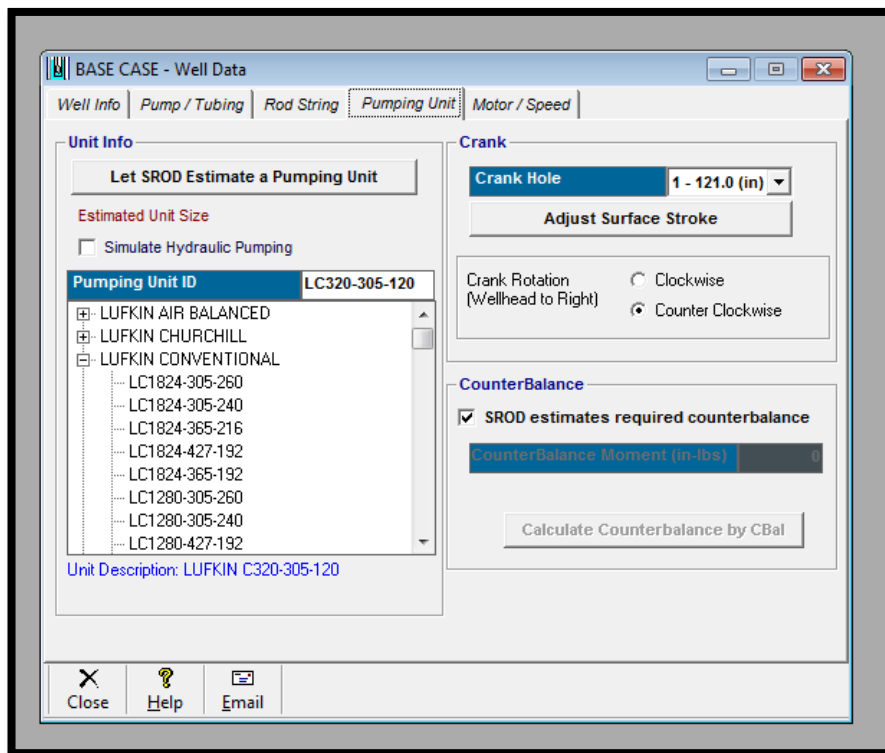


Fuente: Autor.

➤ **Unidad de Bombeo.**

En este grupo de datos se ingresó los datos relacionados con la unidad de bombeo, se indicó la unidad de bombeo a utilizar. En la base de datos del SROD existen todo tipo de unidades de bombeo, (incluyendo Rotaflex), y es posible ingresar unidades de bombeo personalizadas, las cuales figurarán en el área de USER PUMPING UNITS. Se indicó la capacidad de la bomba o la velocidad de bombeo, sentido de giro y carrera de superficie para proceder a estimar la unidad.

Figura 20. Unidad de Bombeo SROD.



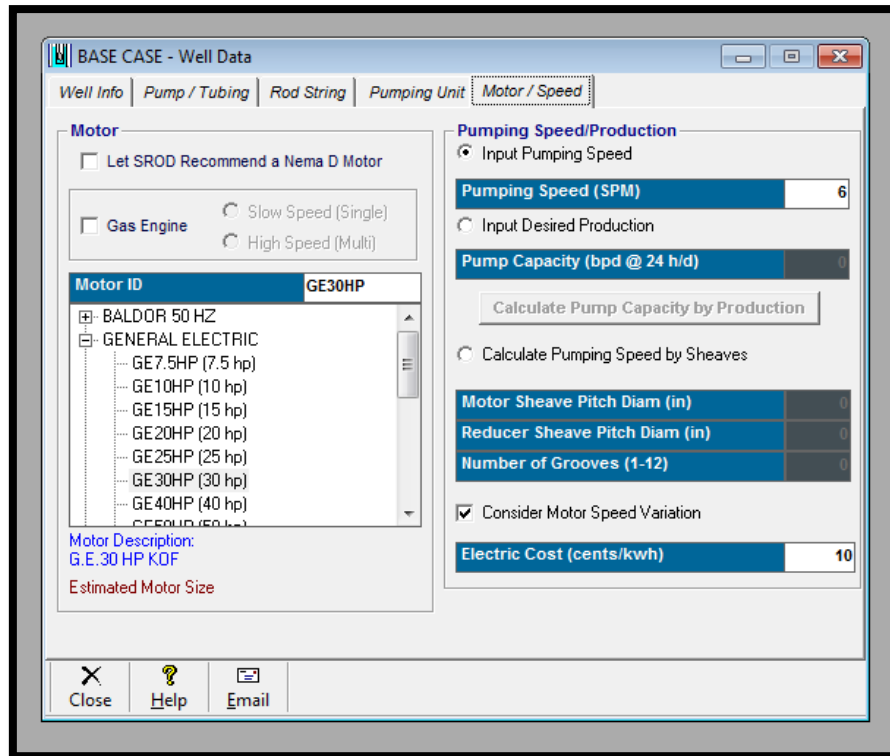
Fuente: Autor.

➤ **Motor/Velocidad**

Esta pestaña nos permitió indicar el modelo de motor y la velocidad de bombeo, se puede elegir el motor mediante la directa selección del mismo en el listado

donde describe todas las opciones disponibles en la base de datos del SROD. Es posible ingresar un motor no disponible en la lista mediante la carga manual de los datos eléctricos y de torque del mismo. En este caso aparecerá dentro del grupo USER MOTOR UNITS.

Figura 21. Motor / Velocidad SROD.

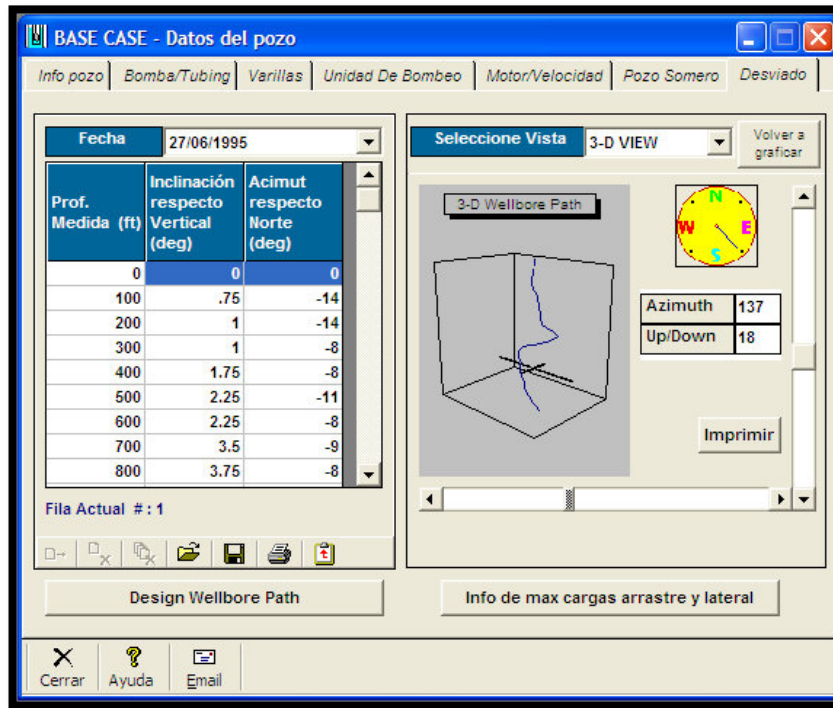


Fuente: Autor.

➤ Desviado

Tal como se explicó al inicio, esta opción solo aparece cuando se selecciona el cuadro “Pozo Desviado” debe utilizarse para los casos que se desee simular pozos dirigidos o desviados. Se requiere ingresar los datos del desvío (o Survey). Esta opción es muy recomendada para obtener análisis de mayor precisión en este tipo de pozos, y para diseñar el conjunto de guías centralizadoras de la sarta de varillas

Figura 22. Desviación SROD.



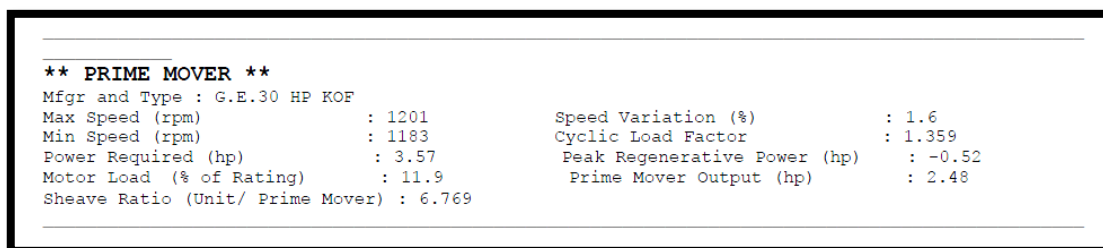
Fuente: Autor.

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez simulado los casos, los reportes de los resultados se generan en el panel de vista rápida (Quick View Pane) en la sección de reportes (Reports), este reporte da acceso a la información resumida en una página del resultado general de la simulación nos muestra:



El encabezado enuncia los datos ingresados referentes al nombre del pozo, fecha, empresa, tipo de análisis, y notas. Esta información se genera en el resto de los reportes de texto que se describen a continuación:



La sección PRIME MOVER se refiere al desempeño del motor. En esta sección como en las siguientes, todos los resultados que figuren en rojo corresponden a valores que exceden el límite operacional, los datos que publica esta sección son los siguientes:

- **Se enuncia el modelo del motor eléctrico** (en caso de que se halla seleccionado que el SROD estime el motor Nema D, aquí figurará el modelo recomendado).
- **Speed Variation (%)**: es la variación máxima que se produce en la velocidad del motor durante el ciclo de bombeo.

- **Cyclic Load Factor:** es el factor de carga cíclica. Es el resultado del coeficiente entre la media cuadrática y la media aritmética de la carga del torque durante el ciclo de bombeo. Cuanto mayor sea este factor, mayor será el requerimiento de potencia para el motor. Se puede optimizar este valor a partir de el correcto contrabalanceo de la unidad de bombeo.
- **Power Required:** es la potencia requerida en el eje del motor y sirve para dimensionar el motor eléctrico. Este valor no debe ser utilizado para calcular la demanda eléctrica.
- **Shave Ratio (Unit / Prime Mover):** es la relación de transmisión entre la polea del motor y la polea de la caja reductora de la unidad. Este valor está calculado considerando el motor ingresado. Normalmente los motores estimados por el SROD son de 60 Hz.
- **Motor Load (% of Rating):** indica el nivel de solicitud porcentual que se aplicará en el motor, comparando la potencia requerida con la potencia nominal del motor.

** PUMPING UNIT **			
Mfgr and Type : LUFKIN C114-133-54 (4 CRANK HOLES) (CC'WISE)			
Actual Max Load (lbs)	: 11990	Actual Min Load (lbs)	: 4570
Average Pumping Speed (spm)	: 6	Max Load (% of Rating)	: 90.1
Polished Rod Power (hp)	: 2.23	Unit and Drive Train Loss (hp)	: 0.25
Computed Surface Stroke (in)	: 36.4		

La sección PUMPING UNIT se refiere al desempeño de la unidad de bombeo (excepto la caja reductora) Los datos que publica esta sección son los siguientes:

- **Se enuncia la unidad de bombeo utilizada**, incluyendo las observaciones referidas al modelo de manivela (crank).
- **Actual Max Load:** es la carga máxima en superficie. Se obtiene de la carta dinamométrica de superficie.
- **Actual Min Load:** es la carga mínima en superficie. Se obtiene de la carta dinamométrica de superficie.
- **Pumping Speed:** es la velocidad de bombeo indicado en SPM (ciclos por minuto).
- **Max Load (% of Rating):** surge de comparar la carga máxima calculada con la nominal de diseño API de la unidad de bombeo. Se indica como porcentaje referido a la carga nominal de la unidad (en este caso 36500 libras por tratarse de una unidad 365).
- **Polished Rod Power:** es la potencia mecánica calculada en la barra pulida. Es función del área de la carta dinamométrica de superficie y la velocidad de bombeo.
- **Computed Surface Stroke:** es la carrera actual en superficie.

** SUMMARY OF REDUCER LOADING **	
	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	69.9
Min Torque (m in-lbs)	-6.2
Counterbalance Moment (m in-lbs)	147.4
Counterbalance Effect (X100 lbs)	85.76
Percent of Reducer Rating	61.3

La sección GEAR REDUCER se refiere al desempeño de la caja reductora de la unidad de bombeo. Los datos que publica esta sección son los siguientes:

- En la columna Existing se indican los resultados actuales calculados para la condición simulada.
- En la columna In Balance se muestran los resultados si se balanceara la unidad de bombeo. En caso que se configure que el SROD calcule la condición de balance, puede haber alguna diferencia no sustancial entre Existing y In Balance producto de la metodología de cálculo matemático por iteración (u aproximación). En ese caso tomar la columna que menores resultados muestre.
- **Max Torque:** es el torque neto máximo que recibirá el reductor durante el ciclo de bombeo.
- **Min Torque:** es el torque neto mínimo que recibirá el reductor durante el ciclo de bombeo. Valores negativos indican que la unidad tendrá efectos de
 - Regeneración (cuando se transmite potencia desde la caja reductora al motor).
- **Counterbalance Moment:** es el momento de contrabalanceo, el cual se calcula a partir del torque máximo de las manivelas y contrapesos. Este valor es el que debe emplearse para calcular en el CBAL o tablas del fabricante de la unidad de bombeo el posicionamiento de los contrapesos.
- **Counterbalance Effect:** es el efecto de contrapeso, el cual se mide como carga en la barra pulida cuando los contrapesos están en su posición de máximo torque (horizontales).

- **Percent of Reducer Rating:** surge de comparar el torque máximo con el nominal de la unidad (en este caso 912000 libras/pulgadas). Se muestra como porcentaje del torque nominal. En este ejemplo este resultado aparece en rojo indicando que se excede.

** ROD LOADING **				
	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	2978	30.5	41
Max Stress (surf.) (psi)		: 19773		Min Stress (surf.) (psi) : 7766
ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING				
	<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS UHS</u>
	1	63	47	27
	0.9	73	54	30
	0.8	87	64	35
	0.7	109	78	41

- La sección se analiza solamente para el primer tramo de varillas el nivel de solicitud con diferentes factores de servicio y utilizando otros grados de varillas API.

** DOWNHOLE PERFORMANCE **				
	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 65.9% eff.</u>	
Gross:	26.4	94 (24h/d)	62 (24h/d)	
Net:	24	85 (24h/d)	56 (24h/d)	
Tubing Stretch (in)	: 2.5	Lost Displacement (bpd)	: 9	
Loss Along Rod String (hp)	: 0.32	Pump Power (hp)	: 1.91	
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0	
Pump Spacing Guide (in)	: 0	Pump Fillage (%)	: 100	

- **Loss Along Rod String:** corresponde a las mermas de potencia por fricciones en las varillas de bombeo.
- **Pump Power:** es la potencia mecánica desarrollada en la bomba. Es función del área de la carta dinamométrica de la bomba y la velocidad de bombeo.

** Non-Dimensional Variables **		
Fo/S/Kr	: 0.27	N/No' : 0.07

Fo/SKr, y N/No': son parámetros no dimensionales de bombeo para el diseño de sarta de varillas, conforme al API 11L, para ejecutar verificaciones conforme a esta norma.

** OTHER BASIC DATA **			
Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE) - Well to right
Overall Speed Ratio	: 199	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 5664
Total Load on Pump (lbs)	: 5345	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 297	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2978	Pump Intake Pressure (psi)	: 78
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 5215
TV Load (lbs)	: 11308		

- **Reducer Rating:** indica el torque nominal del reductor de la unidad de bombeo, se expresa en miles de libras-pulgada, conforme API.
- **Crank Rotation:** sentido de rotación de la manivela, acorde a los datos ingresados por el usuario, referirse a dicha sección para más detalle.
- **Overall Speed Ratio:** indica la cantidad de revoluciones que da el motor para completar un ciclo de bombeo.

4.4 CORRIDA DE CASOS SELECCIONADOS

A continuación se muestra por medio de una tabla los datos ingresados de cada caso de los pozos seleccionados, luego se procedió a ejecutar la simulación, donde se sugiere las recomendaciones a seguir en los pozos para mejorar la condición de bombeo de cada pozo.. Es de destacar que antes de correr la simulación debió elegir el sistema de unidades de su interés para que se

representen la totalidad de los resultados. El Anexo 2 se muestra de forma más detallada, las diferentes corridas de cada pozo con los parámetros actuales y la respectiva recomendación.

Tabla 7. Condiciones Volumétricas y Tiempo de Trabajo.

CONDICIONES DE POZO						
POZO	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA (Bls)	RUNTIME (Hrs)	No. CICLOS	ULTIMA PRUEBA (BFPD)	POTENCIAL (BPPD)	FLUIDO TOTAL (BFPD)
CIRA1722	443.74	0.23	6	1	2	2
CIRA1028	666.85	6.85	17	119	17	113
CIRA3061	529	5.04	23	47	4	75
CIRA1725	910.49	5.52	23	125	38	125
CIRA0917	742.03	4.08	17	56	45	50
CIRA2104	969.69	3.36	12	104	13	120
CIRA2742	678.58	8.16	25	153	12	163
CIRA0555	527.89	0.72	11	14	12	13
CIRA1481	583.49	2	16	27	22	70
CIRA2640	453.48	8.16	16	92	66	110
INFA0086	923.07	5.28	19	145	61	161
INFA3104	221.16	3.36	13	19	15	25
INFA2345	307.80	5.04	20	47	36	50
INFA2400	952.77	3.12	21	53	40	63
INFA2437	956.15	6	18	139	18	146
INFA2330	568.98	3.45	20	55	47	74
INFA0871	578.88	0.97	11	12	8	9
INFA2367	350.79	7.68	21	115	10	135
INFA2026	556.09	4.32	14	44	37	38
INFA3200	573.95	5.76	30	76	10	75
CIRA2118	633.27	4.56	18	94	13	90
CIRA1193	583.83	6.65	21	107	4	78
CIRA2255	251.56	6.96	20	29	18	22

Fuente: Autor.

Tabla 8. Condiciones de Superficie de Pozos Seleccionados.

SUPERFICIE				
POZO	UNIDAD DE BOMBEO	RECORRIDO (Pulg.)	SPM	MOTOR (HP)
CIRA1722	M 640 365 168	131	7,37	100
CIRA1028	M 912 427 192	142.8	7.45	100
CIRA3061	A 912-365-192	127.9	5.91	100
CIRA1725	M 912 427 192	143.8	6.51	100
CIRA0917	M 912 427 192	143.8	6.55	100
CIRA2104	M 912-427-192	143.8	5.73	100
CIRA2742	C 912-427-192	127.8	5.99	100
CIRA0555	M 640 365 168	130.6	6.74	50
CIRA1481	M 640-365-168	129.7	7.45	50
CIRA2640	M 640 365 168	130.9	5.79	75
INFA0086	M 912 427 192	167.8	6.6	100
INFA3104	A C 640 365 168	112.9	5.02	50
INFA2345	L M 640 365 168	130.6	3.93	50
INFA2400	M 912 427 192	142.8	5.63	100
INFA2437	M 912 427 192	143.8	5.65	100
INFA2330	M 640 365 168	129.7	5.74	50
INFA0871	M 640 365 168	129.7	5.85	50
INFA2367	C 640 365 168	124.4	5.85	50
INFA2026	M 640 365 168	167.9	5.61	50
INFA3200	A C 640 365 168	116.8	4.69	75
CIRA2118	M 912-427-192	191.9	5.59	100
CIRA1193	M 640-365-168	131	5.91	50
CIRA2255	M 640-365-168	130	5.71	50

Fuente: Autor.

Tabla 9. Varrilla de Pozos Selccionados.

VARILLA						
POZO	Grado	Diámetro (Pulg.)	Cant. Long.	Grado	Diámetro (Pulg.)	Cant. Long.
CIRA1722	N-97	7/8	1	UHS	1	130
CIRA1028	N-97	1	139			
CIRA3061	ROD HOLLOW	1.938	34	N-78	1	92
CIRA1725	UHS	1	126			
CIRA0917	D	1	101	UHS	7/8	1
CIRA2104	N-97	1	129			
CIRA2742	ROD HOLLOW	1.937	76	N-90	7/8	20
CIRA0555	D	7/8	93			
CIRA1481	N-97	7/8	102			
CIRA2640	N-97	1	52	N-90	7/8	48
INFA0086	D	1	99			
INFA3104	ROD HOLLOW	1.923	64			
INFA2345	D	7/8	108			
INFA2400	N-97	1	69	UHS	1-1/4	36
INFA2437	D	1	48	UHS	1"	27
INFA2330	N-97	7/8	103			
INFA0871	D	7/8	104			
INFA2367	N-90	7/8	84	N-97	7/8	13
INFA2026	N-97	1	66	UHS	1	64
INFA3200	N-97	1	63	ROD HOLLOW	1.937	17
CIRA2118	N-97/UHS	1	35/34	MS	1	60
CIRA1193	UHS	7/8	117			
CIRA2255	N-97	7/8	131			

Fuente: Autor.

Tabla 10. Condiciones de Fondo de Pozos Seleccionados.

FONDO						
POZO	BOMBA	TUBING (Pulg.)	THP (PSI)	SURVEY	SUMERGENCIA (Ft)	INTAKE (Ft)
CIRA1722	30-175-RXAC-24-3-0	3.5	80	NO	29	3324
CIRA1028	30-200-RWAC-24-4-0	3.5	20	NO	203	3547
CIRA3061	30-200-RXBC-23-6-0	3.5	20	SI	70	3615
CIRA1725	30-250-RWAC-22-4	3.5	100	NO	287	3194
CIRA0917	30-225-RHAC-2-3-2-2	3.5	50	NO	106	2586
CIRA2104	Pistón 2.75"	3.5	50	SI	94	3278
CIRA2742	Pistón 2.25"	3.5	100	SI	127	3160
CIRA0555	25-200-RWAC-20-4	2,875	50	NO	89	2414
CIRA1481	20-200-RWAC-20-4	2,875	38	NO	65	2604
CIRA2640	25-200-RWAC-24-3	3.5	57	SI	45	2739
INFA0086	30-250-RXBC-24-3	3.5	57	NO	69	2739
INFA3104	25-150-RWAC-24-3	3.5	12	SI	23	2209
INFA2345	25-200-RWAC-22-3	2,875	63	SI	33	2773.3
INFA2400	Pistón de 2.75"	3.5	70	SI	45	2741
INFA2437	Pistón de 2.75"	3.5	50	SI	69	2498
INFA2330	25-2.25-THC-20-4-2-2	2,875	80	NO	71	2630
INFA0871	No reporta (Piston 2.25)	2,875	60	NO	32	2652
INFA2367	25-175-RHAC-20-3-1-1	2,875	100	SI	39	2553
INFA2026	30-250-RXAC-24-4-0	3.5	61	SI	87	3326
INFA3200	30-250-RWAC-26-3-0	3.5	106	SI	36	2313
CIRA2118	30-225-RHAC-20-3-2-2	3.5	70	SI	194	3365
CIRA1193	30-225-RHAC-16-3-2-2	3.5	90	NO	32	2584
CIRA2255	30-150-RHAC-26-3-0.5-0.5	3.5	80	SI	70	3536

ANALISIS AL POZO CIRA 2104

Observaciones:

Presenta una bomba de fondo grande 2.75 pulgadas.

Recomendaciones:

Las condiciones actuales no permiten realizar un cambio de unidad de bombeo con capacidad menor, debido a la dimensiones de la bomba de fondo y su sarta de varillas, se realizó la corrida generando un cambio de bomba y su analisis económico, con el fin de conocer costos de servicio de cambio de condiciones de fondo.

Recomendaciones:

Se sugiere realizar los siguientes ajustes al pozo:

- ✓ Disminuir la carrera superficial a 36.4 pulgadas.
- ✓ Aumentar la velocidad de bombeo a 6 SPM.
- ✓ Instalar unidad con las siguientes características:

C 320-305-144

- ✓ Bajar bomba de fondo con las siguientes características.

30-150-RXAC-24-4-0

- ✓ Instalar un motor de 20 HP.

Este trabajo es necesario realizarlo con un equipo, ya que una Unidad de Flush By no podría realizarlo por el tipo de bomba de la bomba que presenta de Tubing esto requiere retirar la tubería en su totalidad.

Tabla 11. Condiciones Actuales y Simuladas.

Pozo	ACTUAL				SIMULADO			
	Unidad Actual	SPM	Recorrido (Pulg.)	Motor (Hp)	Nueva Unidad	SPM	Recorrido (Pulg.)	Motor (Hp)
CIRA 3061	A 912-365-192	5,91	128	100	TC-22-54	5,01	55.5	25
CIRA 2400	M 912 427 192	5,63	143	100	C 320-256-120	5,97	84	20
CIRA 0917	M 912 427 192	6,55	144	100	C 320-305-120	6,55	120	30
CIRA 2742	M 912 427 192	5,99	128	100	C 320-256-120	5,99	85	20
INFA 0086	M 912 427 192	6,6	168	100	C 320-256-120	5,96	120	20
CIRA 2118	M 912-427-192	5,59	192	100	C 320-256-120	5,98	102.7	20
CIRA 2437	M 912-427-192	5,65	144	100	C 320-256-121	5	111	30
CIRA 1028	M 912-427-192	7,45	143	100	C 320-256-122	5,5	106.8	30
CIRA 1725	M 912-427-192	6,51	144	100	C 320-256-123	6	106.8	30

Continuación Tabla 11. Condiciones Actuales y Simuladas.

CIRA 2104								
CIRA 0555	M 640 365 168	6,74	131	50	TC-22-54	6,74	54	30
CIRA 2330	M 640 365 168	5,74	130	50	TC-22-54	5,74	54	20
INFA 3104	A C 640 365 168	5,02	113	50	TC-22-54	5,02	54	20
INFA 2345	M 640 365 168	3,93	131	50	TC-22-54	6,01	54	20
CIRA 2367	C 640 365 168	5,85	124	50	TC-22-54	6	54	20
CIRA 0871	M 640 365 168	5,85	130	50	TC-22-54	5,86	54	30
CIRA 1481	M 640 365 168	7,45	130	50	TC-22-54	7,45	54	30
CIRA 1193	M 640 365 168	5,91	131	50	TC-22-54	6	34.6	30
CIRA 2640	M 640 365 168	5,79	131	75	TC-22-54	5	54	30
INFA 3200	A C 640 365 168	4,69	117	75	C 320-256-120	6	85	30
CIRA 1722	A C 640 365 168	7,4	131	100	C 320-256-120	6,6	120	30
CIRA 2255	M 640 365 168	5,71	130	50	C 320-305-120	6	120	30
INFA 2026	M 640 365 168	5,61	168	50	C 456-305-120	5,98	120	30

Fuente: Autor.

La tabla 11 representa un cuadro comparativo de las condiciones actuales y las posibles recomendaciones que se realizarían en los pozos seleccionados, los parámetros modificados fueron: unidad de bombeo, velocidad (SPM), longitud de la carrera y motor.

5. DESARROLLO DEL ANÁLISIS FINANCIERO

El desarrollo del análisis financiero de este proyecto se basó principalmente en dos partes: los costos de mantenimiento y consumo de energía de las unidades de bombeo; se realizó el análisis minucioso de cada uno de ellos para lograr el mayor acercamiento a los costos por unidad.

5.1 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS FINANCIERO

La metodología desarrollada en este estudio se divide en diez etapas las cuales permiten establecer la viabilidad financiera del cambio de unidades más eficientes para los 21 pozos mencionados.

- I. Definir el costo de mantenimiento anual promedio por tipo de unidad, con el fin de tener un punto de referencia de los costos generados en el año 2012.
- II. Calcular el costo total de mantenimiento de los pozos seleccionados en base a la data obtenida del sistema de registro de información del campo (ELLIPSE).
- III. Medir el consumo de energía de cada pozo y cálculo de los costos generados.
- IV. Seleccionar pozos de referencia, 2 pozos por cada Unidad Bombeo que presenten condiciones de trabajo similares a los pozos candidatos.
- V. Calcular el costo total de mantenimiento y consumo de energía de los pozos seleccionados con las condiciones simuladas.

- VI. Calcular los costos generados por el cambio de unidad de acuerdo al tamaño, basados en los datos aportados por el personal de mantenimiento de Unidades de Bombeo.
- VII. Realizar una comparación entre los costos actuales y los simulados, analizando los beneficios técnico financieros para el campo.
- VIII. Determinar cuáles pozos son económicamente viables para la realización del proyecto y calcular el tiempo en el cual es rentable mantener los pozos con las condiciones actuales.

5.2 MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO

Los mantenimientos se desarrollan con el fin de conservar el buen uso de las unidades en el Campo La Cira Infantas, estos se clasifican en dos tipos: primero el mantenimiento mecánico y por otro lado el mantenimiento eléctrico y electrónico, a su vez estos dos grandes grupos se subdividen en correctivos, mejorativo, predictivo y preventivo, a continuación se describen los mantenimientos con algunos ejemplos:

5.2.1 Mantenimiento Correctivo

Se realiza siempre que un equipo o sistema deja de trabajar por causas desconocidas, poniéndolo en el menor tiempo posible en funcionamiento, intentando localizar el motivo por el que dejó de funcionar, generando las acciones correctivas.

➤ Mantenimiento Mecánico:

- Acondicionar guarda correas de Unidad de Bombeo.
- Cambiar correas Unidad de Bombeo.
- Centrar caremulo.

- Lubricar partes móviles.
- Cambio de caja reductora.

➤ **Mantenimiento Eléctrico y Electrónico.**

- Acondicionar acometida eléctrica.
- Cambiar arrancador por falla.
- Cambiar elementos de control.
- Reparar motor.
- Corregir punto caliente.

5.2.2 Mantenimiento Mejorativo

Consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación; no es tarea de mantenimiento propiamente dicha, aunque lo hace personal de mantenimiento.

➤ **Mantenimiento Mecánico.**

- Revisar y balancear Unidad de Bombeo.

➤ **Mantenimiento Eléctrico y Electrónico.**

- Instalar facilidades eléctricas.
- Instalar variador.

5.2.3 Mantenimiento Predictivo

Se basa en condiciones, consiste en la inspección de los equipos a intervalos regulares, con el propósito de predecir anomalías en el desempeño de las tareas específicas y tomar las acciones pertinentes para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según la condición.

➤ **Mantenimiento Eléctrico y Electrónico.**

- Toma y análisis de termografía.

- Toma datos, análisis rodamiento.

5.2.4 Mantenimiento Preventivo

Tiene como base el tiempo, consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares de tiempo un equipo o sus componentes, independientemente de su estado en ese momento.

El mantenimiento preventivo tiene como finalidad reducir al mínimo la probabilidad de fallas, las paradas preventivas y los servicios programados, esto se lleva a cabo con el objetivo de detectar la falla y asegurar el funcionamiento correcto de un bien.

La rutina de mantenimiento preventivo mecánico consiste en la lubricación de la unidad y se realiza cuatro veces por año, mientras que la revisión del sistema eléctrico dos veces por año.

➤ Mantenimiento Mecánico.

- Rutina 90 días lubricación Unidad de Bombeo.
- Alinear y tensionar correas
- Reparar bandas frenos Unidad de Bombeo.
- Agregar aceite a pines Unidad de Bombeo.
- Lubricar partes móviles Unidad de Bombeo.
- Ajustar pin de Unidad de Bombeo.

➤ Mantenimiento Eléctrico y Electrónico.

- Inspección sistema de automatización.
- Lubricar motor eléctrico.
- Revisión sistema eléctrico.
- Verificar transmisor de presión.

Por otra parte el mantenimiento eléctrico y electrónico describe el ítem de no mantenimiento, este hace referencia a las adecuaciones de las instalaciones antes de realizar algunos trabajos el cual genera un costo adicional.

5.3 COSTOS DE CONSUMO DE UNIDADES DE BOMBEO

5.3.1 Costos de mantenimiento según tipo de unidad

Para llevar a cabo este proyecto se consideraron los costos de mantenimiento para cada una de las unidades existentes en el campo, de acuerdo al tamaño correspondiente al año 2012, esta información se tomo del sistema de información computarizado del campo (ELLIPSE)⁷ y se recibió en formato de tablas de Excel. En los archivos se hallaron los campos correspondientes a pozo; descripción del evento; especialidad; tipo de mantenimiento; costos de labor, materiales y contratos.

El cálculo de mantenimiento de cada tipo de unidad se realizo tomando el promedio de trabajos realizados en el año, multiplicado por la relación entre el total de trabajos realizados sobre el número de pozos, este procedimiento se realizó para cada una de las especialidades.

La Tabla 12 y 13 muestran los valores de los costos de cada tipo de mantenimientos de la especialidad mecánica, eléctrica y electrónica.

⁷ Todos los datos de los códigos pueden consultarse en el ELLIPSE.

Tabla 12. Costos de Mantenimiento Mecánico según tipo de Unidad.

UNIDAD	Esp. Mecanico.		
	Correctivo (CO)	Mejorativo (ME)	Preventivo (PV)
1280-427-192	\$ 1.736.676	\$ 780.679	\$ 545.891
912-427-192	\$ 1.212.413	\$ 621.903	\$ 382.835
640-365-168	\$ 1.237.166	\$ 416.049	\$ 372.475
456-256-144	\$ 1.132.886	\$ 344.128	\$ 327.673
320-256-120	\$ 1.057.408	\$ 413.310	\$ 320.192
TC-22-54	\$ 840.476	\$ 458.933	\$ 365.141
TC-4-11-B	\$ 665.683	\$ 281.500	\$ 290.346

Fuente: Autor.

Tabla 13. Costos de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico según tipo de Unidad.

UNIDAD	Esp. Electricidad y Electronica.				
	Correctivo (CO)	Mejorativo (ME)	No Mtto (NM)	Predictivo (PD)	Preventivo (PV)
1280-427-192	\$ 2.120.492	\$ 544.150		\$ 143.801	\$ 111.265
912-427-192	\$ 1.872.200	\$ 471.058	\$ 333.500	\$ 165.779	\$ 109.687
640-365-168	\$ 1.666.028	\$ 419.937	\$ 135.314	\$ 137.792	\$ 170.851
456-256-144	\$ 1.795.520	\$ 298.476	\$ 72.500	\$ 95.862	\$ 289.162
320-256-120	\$ 515.302	\$ 256.318		\$ 112.737	\$ 124.943
TC-22-54	\$ 418.569	\$ 179.561		\$ 85.900	\$ 133.016
TC-4-11-B	\$ 266.312	\$ 163.689		\$ 68.949	\$ 143.002

Fuente: Autor

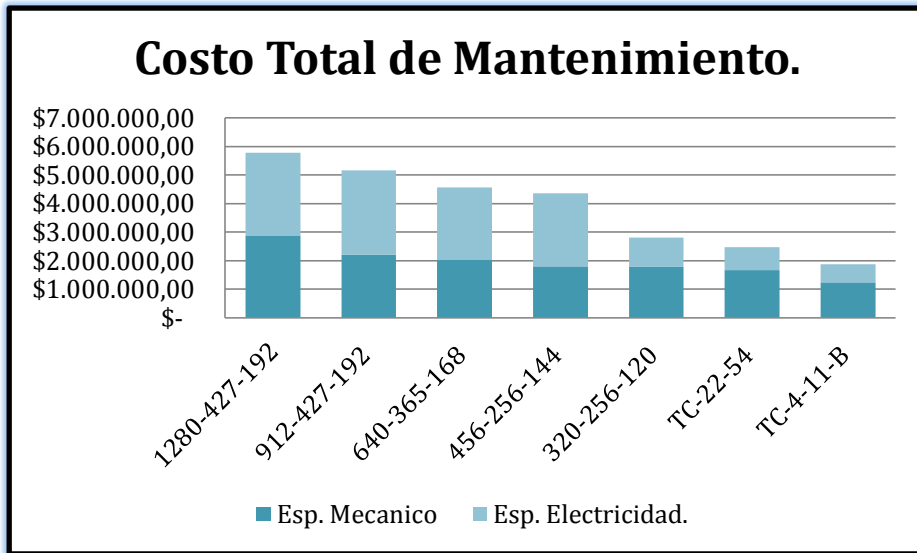
La Tabla 14 muestran los valores del costo total de la suma de las dos especialidades mecánica, eléctrica y electrónica:

Tabla 14. Costos de Total Mantenimiento según tipo de Unidad.

UNIDAD	Esp. Mecanico	Esp. Electricidad.	Total Mtto
1280-427-192	\$ 3.063.247	\$ 2.919.708	\$ 5.982.955
912-427-192	\$ 2.217.151	\$ 2.952.224	\$ 5.169.375
640-365-168	\$ 2.025.689	\$ 2.529.922	\$ 4.555.612
456-256-144	\$ 1.804.687	\$ 2.551.520	\$ 4.356.207
320-256-120	\$ 1.790.911	\$ 1.009.301	\$ 2.800.212
TC-22-54	\$ 1.664.551	\$ 817.047	\$ 2.481.598
TC-4-11-B	\$ 1.237.529	\$ 641.951	\$ 1.879.480

Fuente: Autor

Figura 22. Costos de Total de Mantenimiento según tipo de Unidad.



Fuente: Autor

Los costo de cada uno de los tipos de mantenimiento al igual que su total es proporcional al tamaño de la unidad, mientras mayor sea la unidad mayor será el costo de su mantenimiento, esto corresponde a su tiempo de falla el cual es mayor en las unidades grandes.

5.3.2 Costos de mantenimiento pozos seleccionados

Para el análisis de los pozos seleccionados en el desarrollo del proyecto se tomo cada uno de los pozos y se sumo el total de trabajos realizados en el año 2012 por tipo de mantenimiento, estos valores se presentan en las siguientes tablas.

La tabla 15 muestra los valores de los costos de cada pozo de los mantenimientos mecánicos.

Tabla 15. Costos Mantenimiento Mecánicos Pozos seleccionados.

Pozo	Área	Unidad Actual	Especialidad Mecánica. (\$/Año)		
			Correctivo (CO)	Mejorativo (ME)	Preventivo (PV)
<i>CIRA 0917</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1.950.000		\$ 177.908
<i>CIRA 2104</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1.357.990		\$ 313.321
<i>CIRA 2742</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1.212.413		\$ 325.460
<i>CIRA 2400</i>	INFA NORTE	M 912 427 192	\$ 591.100		\$ 304.898
<i>INFA 0086</i>	INFA CENTRAL	M 912 427 192	\$ 1.212.413	\$ 174.000	\$ 228.891
<i>CIRA 3061</i>	CIRA NORTE	A 912-365-192	\$ 1.212.413		\$ 382.835
<i>CIRA 2437</i>	INFA NORTE	M-912-427-192	\$ 1.220.634		\$ 247.470
<i>CIRA 1725</i>	CIRA NORTE	M-912-427-192	\$ 775.945		\$ 362.042
<i>CIRA 1028</i>	CIRA ESTE	M-912-427-192	\$ 1.212.413		\$ 362.041
<i>CIRA 2118</i>	CIRA SUR	M-912-427-192	\$ 436.530		\$ 445.643
<i>CIRA 1722</i>	CIRA NORTE	A C 640 365 168	\$ 1.237.166		\$ 267.170
<i>CIRA 2255</i>	CIRA NORTE	M 640 365 168	\$ 2.156.300		\$ 250.546
<i>CIRA 0555</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.237.166		\$ 3.545.226
<i>CIRA 1481</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.274.605		\$ 256.189
<i>CIRA 2640</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.237.166		\$ 264.058
<i>CIRA 1193</i>	CIRA ESTE	M 640 365 168	\$ 1.330.905		\$ 303.750
<i>CIRA 2330</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1.237.166		\$ 267.760
<i>CIRA 0871</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1.377.916		\$ 312.480
<i>CIRA 2367</i>	INFA NORTE	C 640 365 168	\$ 1.237.166	\$ 169.070	\$ 372.475
<i>INFA 3104</i>	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	\$ 2.824.174	\$ 169.070	\$ 219.029
<i>INFA 2345</i>	INFA CENTRAL	M 640 365 168	\$ 1.237.166		\$ 256.189
<i>INFA 2026</i>	INFA SUR	M 640 365 168	\$ 1.220.634		\$ 323.469
<i>INFA 3200</i>	INFA SUR	A C 640 365 168	\$ 1.237.166		\$ 372.475

Fuente: Autor

La tabla 16 muestra los valores correspondientes a los costos de cada pozo de los mantenimientos eléctrico y electrónico.

Tabla 16. Costos Mantenimiento Eléctricos y Electrónicos Pozos seleccionados.

Pozo	Área	Unidad Actual	Esp. Electricidad y Electrónica. (\$/Año)			
			Correctivo (CO)	Mejorativo (ME)	Predictivo (PD)	Preventivo (PV)
<i>CIRA 0917</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 2.006.615		\$ 48.430	\$ 96.570
<i>CIRA 2104</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 5.409.707		\$ 178.930	\$ 96.570
<i>CIRA 2742</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 2.685.200		\$ 169.070	\$ 96.860
<i>CIRA 2400</i>	INFA NORTE	M 912 427 192	\$ 5.036.171	\$ 410.640	\$ 178.640	\$ 106.140
<i>INFA 0086</i>	INFA CENTRAL	M 912 427 192	\$ 2.685.200		\$ 58.000	\$ 101.500
<i>CIRA 3061</i>	CIRA NORTE	A 912-365-192	\$ 2.685.200		\$ 29.000	\$ 33.930
<i>CIRA 2437</i>	INFA NORTE	M-912-427-192	\$ 3.843.511		\$ 241.570	\$ 222.430
<i>CIRA 1725</i>	CIRA NORTE	M-912-427-192	\$ 2.872.200		\$ 188.500	\$ 166.000
<i>CIRA 1028</i>	CIRA ESTE	M-912-427-192	\$ 2.685.200		\$ 174.000	\$ 110.780
<i>CIRA 2118</i>	CIRA SUR	M-912-427-192	\$ 2.247.341		\$ 164.430	\$ 183.860
<i>CIRA 1722</i>	CIRA NORTE	A C 640 365 168	\$ 1.484.300		\$ 67.570	\$ 77.140
<i>CIRA 2255</i>	CIRA NORTE	M 640 365 168	\$ 783.000		\$ 58.000	\$ 82.070
<i>CIRA 0555</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 29.000	\$ 130.500
<i>CIRA 1481</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 87.000	\$ 178.930
<i>CIRA 2640</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 169.360	\$ 130.500
<i>CIRA 1193</i>	CIRA ESTE	M 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 58.000	\$ 29.000
<i>CIRA 2330</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 3.519.071		\$ 260.710	\$ 140.070
<i>CIRA 0871</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 87.000	\$ 140.070
<i>CIRA 2367</i>	INFA NORTE	C 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 87.000	\$ 82.070
<i>INFA 3104</i>	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 227.070	\$ 96.860
<i>INFA 2345</i>	INFA CENTRAL	M 640 365 168	\$ 1.775.561		\$ 232.000	\$ 159.500
<i>INFA 2026</i>	INFA SUR	M 640 365 168	\$ 1.193.140	\$ 130.500	\$ 169.070	\$ 174.000
<i>INFA 3200</i>	INFA SUR	A C 640 365 168	\$ 1.666.028		\$ 137.792	\$ 170.851

Fuente: Autor

A continuación en la *tabla 17* se muestra el costo total de mantenimiento de las unidades de bombeo mecánico de cada uno de los pozos seleccionados.

Tabla 17. Costos Total de Mantenimiento de los Pozos seleccionados.

Pozo	Área	Unidad Actual	Costo Mtto. Mecánico. (\$/Año)	Costo Mtto. Eléctrico.(\$/Año)	Costo Total Mtto. (\$/Año)
CIRA 2104	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1.671.311	\$ 5.685.207	\$ 7.356.518
CIRA 2400	INFA NORTE	M 912 427 192	\$ 895.998	\$ 5.731.591	\$ 6.627.589
CIRA 2437	INFA NORTE	M 912 427 192	\$ 1.468.104	\$ 4.307.511	\$ 5.775.615
CIRA 2742	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1.537.873	\$ 2.951.130	\$ 4.489.003
CIRA 1725	CIRA NORTE	M 912 427 192	\$ 1.137.987	\$ 3.226.700	\$ 4.364.687
CIRA 0917	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 2.127.908	\$ 2.151.615	\$ 4.279.523
CIRA 1028	CIRA ESTE	M 912 427 192	\$ 1.574.454	\$ 2.847.829	\$ 4.422.283
INFA 0086	INFA CENTRAL	M 912 427 192	\$ 1.615.304	\$ 2.031.700	\$ 3.647.004
CIRA 3061	CIRA NORTE	A 912 365 192	\$ 1.595.248	\$ 1.935.130	\$ 3.530.378
CIRA 2118	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 882.173	\$ 2.467.831	\$ 3.350.004
CIRA 0555	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 4.782.391	\$ 1.825.528	\$ 6.607.919
CIRA 2330	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1.504.926	\$ 3.919.851	\$ 5.424.777
INFA 3104	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	\$ 3.212.273	\$ 1.989.958	\$ 5.202.231
INFA 2026	INFA SUR	M 640 365 168	\$ 1.544.103	\$ 3.332.738	\$ 4.876.841
CIRA 2640	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.501.224	\$ 2.677.866	\$ 4.179.090
INFA 2345	INFA CENTRAL	M 640 365 168	\$ 1.493.354	\$ 2.167.061	\$ 3.660.415
CIRA 2367	INFA NORTE	C 640 365 168	\$ 1.778.710	\$ 1.835.098	\$ 3.613.808
INFA 3200	INFA SUR	A C 640 365 168	\$ 1.609.640	\$ 1.974.671	\$ 3.584.311
CIRA 0871	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1.690.395	\$ 1.893.098	\$ 3.583.493
CIRA 1481	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 1.530.794	\$ 1.931.958	\$ 3.462.752
CIRA 1193	CIRA ESTE	M 640 365 168	\$ 1.634.655	\$ 1.753.028	\$ 3.387.683
CIRA 1722	CIRA NORTE	A C 640 365 168	\$ 1.504.336	\$ 1.859.168	\$ 3.363.504
CIRA 2255	CIRA NORTE	M 640 365 168	\$ 2.406.846	\$ 923.070	\$ 3.329.916

Fuente: Autor

El costo de mantenimiento total de los pozos seleccionados es muy variables respecto al costo promedio reportado en la Tabla # 21, esto se debe a que no todas las unidades presentan igual número de mantenimientos en el año, por tal razón los cálculos totales se realizaran con el promedio de cada tipo de unidad.

5.3.3 Costos consumo de energía

Para análisis de energía del campo, se realizaron los pasos que se muestra a continuación:

1. Se reviso el tiempo de trabajo (Runtime) promedio del último mes de cada una de las unidades de los pozos seleccionados, como se enuncio en el capítulo 3, este es menor a 10 horas.
2. Se midió para cada unidad de los pozos en estudio, el consumo día (KW/Día), teniendo como base el tiempo de trabajo, este cálculo se realizó midiendo 10 minutos de trabajo de cada unidad, luego llevado a días con la ecuación 2.

$$\text{Costo Energía} = (\text{KW/Día}) * (365) * (\$140) \quad \text{Ec. 2}$$

3. Por último se midió el tiempo de arranque de cada unidad, luego de cada ciclo el cálculo se realizo con la ecuación 3 (Joule):

$$E = P * t \quad \text{Ec. 3}$$

$$E = (6 * I_N) * (V) * \left(\frac{t}{1000}\right) \quad \text{Ec. 4}$$

$$\Sigma E = N * E \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

E = Energía.

P = Potencia (Watts).

t = Tiempo (seg).

I_N = Intensidad (Amperios).

V = Voltaje (Voltios).

N = Número de Ciclos.

Tabla 18. Intensidad vs. Potencia de Motor.

Potencia (HP)	Intensidad (A)
100	116
75	90
50	63
40	56
30	42
20	27

Fuente: Área de Mantenimiento Eléctrico ECOPEPETROL.

Luego de realizar la revisión del tiempo de trabajo, la medición en campo del consumo de energía de cada una de las unidades y el cálculo del tiempo de arranque con base al número de ciclos, se convirtió los KW/Día a KW/Año y se calculó el costo del consumo total de energía por año, el costo de KWh que se tomo fue 140 pesos costo promedio del año 2012, en la *tabla 19* se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 19. Consumo en KW/Día por cada Pozo Seleccionado.

Pozo	Área	Unidad Actual	Runtime (Hr)	Numero Ciclos	Motor (HP)	Energía (KWh/Día)	Energía por Arranque (KWH/Día)	Consumo Total (KWh/Día)	Costo total Energía (\$/Año).
CIRA 2742	CIRA SUR	M-912 427 192	8,16	25	100	122,48	1,93	124,41	\$ 6.357.504
CIRA 1028	CIRA ESTE	M-912-427-192	6,85	17	100	106,86	1,31	108,17	\$ 5.527.658
CIRA 1725	CIRA NORTE	M-912-427-192	5,52	23	100	101,02	1,78	102,8	\$ 5.252.717
CIRA 2437	CIRA NORTE	M-912-427-192	6	18	100	88,8	1,39	90,19	\$ 4.608.740
INFA 0086	INFA CENTRAL	M-912 427 192	5,28	19	100	87,49	1,47	88,96	\$ 4.545.726
CIRA 3061	CIRA NORTE	C-912-427-192	5,04	23	100	68,04	1,78	69,82	\$ 3.567.643
CIRA 2118	CIRA SUR	M-912-427-192	4,56	18	100	63,84	1,39	65,23	\$ 3.333.284
CIRA 0917	CIRA SUR	M- 912 427 192	4,08	17	100	52,1	1,31	53,41	\$ 2.729.504
CIRA 2104	CIRA SUR	M- 912 427 192	3,36	12	100	24,16	0,93	25,09	\$ 1.281.868
CIRA 2400	INFA NORTE	M- 912 427 192	3,12	21	100	21,47	1,62	23,09	\$ 1.179.796
CIRA 2640	CIRA SUR	M 640 365 168	8,16	16	75	76,79	0,96	77,75	\$ 3.972.751
CIRA 2255	CIRA NORTE	M 640 365 168	6,96	20	50	48,86	0,84	49,7	\$ 2.539.586
CIRA 1193	CIRA ESTE	M 640 365 168	6,65	21	50	48,35	0,88	49,23	\$ 2.515.480
INFA 3200	INFA SUR	A C 640 365 168	6,76	30	75	33,64	1,8	35,44	\$ 2.109.234
INFA 2026	INFA SUR	M 640 365 168	4,32	14	50	34,65	0,59	35,24	\$ 1.800.448
INFA 2345	INFA CENTRAL	M 640 365 168	5,04	20	50	33,97	0,84	34,81	\$ 1.778.728
CIRA 2330	INFA NORTE	M 640 365 168	3,45	20	50	26,6	0,84	27,44	\$ 1.402.116
CIRA 2367	INFA NORTE	C 640 365 168	7,68	21	50	26,6	0,84	27,44	\$ 1.359.234
INFA 3104	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	3,36	13	50	1,78	0,55	2,33	\$ 1.301.857
CIRA 1481	CIRA SUR	M 640 365 168	2	16	50	10,8	0,67	11,47	\$ 586.185
CIRA 0871	INFA NORTE	M 640 365 168	0,97	11	50	6,37	0,46	6,83	\$ 349.240
CIRA 0555	CIRA SUR	M 640 365 168	0,72	11	50	4,31	0,46	4,77	\$ 243.969
CIRA 1722	CIRA NORTE	A C 640 365 168	0,23	6	100	1,42	0,46	1,88	\$ 96.438

Fuente: Autor

Para finalizar se calculó el costo total para cada pozo seleccionado, costo total de mantenimiento y el costo total de consumo de energía calculado en el paso anterior.

Tabla 20. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado.

Pozo	Área	Unidad Actual	Costo Energía. (\$/Año).	Costo Mtto. (\$/Año).	Costo Total. (\$/Año).
<i>CIRA 2742</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 6.357.504	\$ 5.169.375	\$ 11.526.879
<i>CIRA 1028</i>	CIRA ESTE	M 912-427-192	\$ 5.527.658	\$ 5.169.375	\$ 10.697.033
<i>CIRA 1725</i>	CIRA NORTE	M 912-427-192	\$ 5.252.717	\$ 5.169.375	\$ 10.422.092
<i>CIRA 2437</i>	INFA NORTE	M 912-427-192	\$ 4.608.740	\$ 5.169.375	\$ 9.778.115
<i>INFA 0086</i>	INFA CENTRAL	M 912 427 192	\$ 4.545.726	\$ 5.169.375	\$ 9.715.101
<i>CIRA 3061</i>	CIRA NORTE	A 912-365-192	\$ 3.567.643	\$ 5.169.375	\$ 8.737.018
<i>CIRA 2118</i>	CIRA SUR	M 912-427-192	\$ 3.333.284	\$ 5.169.375	\$ 8.502.659
<i>CIRA 0917</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 2.729.504	\$ 5.169.375	\$ 7.898.879
<i>CIRA 2104</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1.281.868	\$ 5.169.375	\$ 6.451.243
<i>CIRA 2400</i>	INFA NORTE	M 912 427 192	\$ 1.179.796	\$ 5.169.375	\$ 6.349.171
<i>CIRA 2640</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 3.972.751	\$ 4.555.612	\$ 8.528.363
<i>CIRA 2255</i>	CIRA NORTE	M 640 365 168	\$ 2.539.586	\$ 4.555.612	\$ 7.095.198
<i>CIRA 1193</i>	CIRA ESTE	M 640 365 168	\$ 2.515.480	\$ 4.555.612	\$ 7.071.092
<i>INFA 3200</i>	INFA SUR	A C 640 365 168	\$ 2.109.234	\$ 4.555.612	\$ 6.664.846
<i>INFA 2026</i>	INFA SUR	M 640 365 168	\$ 1.800.448	\$ 4.555.612	\$ 6.356.060
<i>INFA 2345</i>	INFA CENTRAL	M 640 365 168	\$ 1.778.728	\$ 4.555.612	\$ 6.334.340
<i>CIRA 2330</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1.402.116	\$ 4.555.612	\$ 5.957.728
<i>CIRA 2367</i>	INFA NORTE	C 640 365 168	\$ 1.359.234	\$ 4.555.612	\$ 5.914.846
<i>INFA 3104</i>	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	\$ 1.301.857	\$ 4.555.612	\$ 5.857.469
<i>CIRA 1481</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 586.185	\$ 4.555.612	\$ 5.141.797
<i>CIRA 0871</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 349.240	\$ 4.555.612	\$ 4.904.852
<i>CIRA 0555</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 243.969	\$ 4.555.612	\$ 4.799.581
<i>CIRA 1722</i>	CIRA NORTE	A C 640 365 168	\$ 96.438	\$ 4.555.612	\$ 4.652.050

Fuente: Autor

La diferencia entre los costos totales de la unidad 912 y 640, influye principalmente en el costo de mantenimiento, ya que el consumo de energía depende principalmente del Runtime que en los pozos seleccionados para este proyecto es menor a 10 horas.

5.3.4 Costos unidades de referencia

Los pozos de referencia son dos pozos tomados como base para obtener un valor aproximado del consumo de energía de unidades de menor tamaño (456, 320, 144 y 57), para la realización de los costos de energía promedio en las condiciones simuladas, la *tabla 21* relaciona los valores obtenidos, estos se realizaron con el mismo procedimiento desarrollado en los pozos seleccionados.

Tabla 21. Costo Total de Consumo de Energía del Pozo de Referencia.

Pozo	Área	Unidad Actual	Eficiencia Volumétrica. (%)	Prueba Volumétrica. (BFPD)	Runtime. (Hr)	Energía. (KWh/Hr)	Energía por Arranque. (KWh/Hr)	Energía Total. (KWh/Hr)	Energía Total. (\$/Año)
INFA 3337	INFA SUR	C-456-256-144	43,04	76	24	5,87	0	5,87	\$ 7.198.968
INFA 3379	INFA NORTE	C-456-256-144	36,04	92	10,32	6,19	0,75	6,94	\$ 3.302.425
INFA 2476	INFA CENTRAL	C-320-256-120	54,81	184	24	6,91	0	6,91	\$ 8.474.424
INFA 0419	INFA NORTE	C-320-256-120	78,47	178	15,32	6,24	0,29	6,53	\$ 4.953.905
CIRA 1349	CIRA ESTE	C 114-133-54	65,84	108	23,52	2,35	0	2,35	\$ 2.824.399
CIRA 1170	CIRA SUR	C 114-133-54	78,98	76	16,32	3,67	0	3,67	\$ 3.060.604
CIRA 1799	CIRA NORTE	TC-4-11-B	16,56	18	23,76	0,77	0	0,77	\$ 934.885
CIRA 1771	CIRA NORTE	TC-4-11-B	76,47	26	16,56	1,36	0,39	1,75	\$ 1.170.865

Fuente: Autor

5.3.5 Costo total de pozos seleccionados en condiciones simuladas

Luego de llevar a cabo este análisis con las condiciones actuales de los pozos seleccionados, se procedió a realizar el análisis con las condiciones simuladas con el resultado obtenido.

EL cálculo de costo de mantenimiento se obtuvo tomando como base el promedio calculado en la *tabla 21*, para unidades de este tamaño, las unidades simuladas dieron como resultado 11 unidades 320, 10 unidades 144 (TC-22-54) Y 1 unidad 456. El pozo CIRA 2104 como se comentó en el capítulo anterior no se tendrá en cuenta para los costos, debido a que ninguna unidad, se adapta a su estado mecánico actual.

Tabla 22. Costo Total de Consumo, Pozo Seleccionado condiciones Simuladas.

Pozo	Área	Nueva Unidad	Costo Energía. (\$/Año)	Costo Mantenimiento. (\$/Año)	Costo Total. (\$/Año)
CIRA 1028	CIRA ESTE	C 320-256-120	\$ 3.888.359	\$ 2.800.212	\$ 6.688.571
CIRA 1725	CIRA NORTE	C 320-256-120	\$ 3.490.756	\$ 2.800.212	\$ 6.290.968
CIRA 2437	INFA NORTE	C 320-256-120	\$ 3.455.026	\$ 2.800.212	\$ 6.255.238
CIRA 2742	CIRA SUR	C 320-256-120	\$ 4.693.721	\$ 2.800.212	\$ 7.493.933
INFA 0086	INFA CENTRAL	C 320-256-120	\$ 2.550.310	\$ 2.800.212	\$ 5.350.522
CIRA 2118	CIRA SUR	C 320-256-120	\$ 2.422.282	\$ 2.800.212	\$ 5.222.494
CIRA 0917	CIRA SUR	C 320-305-120	\$ 1.126.707	\$ 2.800.212	\$ 3.926.919
CIRA 2400	INFA NORTE	C 320-256-120	\$ 1.104.118	\$ 2.800.212	\$ 3.904.330
CIRA 3061	CIRA NORTE	TC-22-54	\$ 1.137.842	\$ 2.481.598	\$ 3.619.440
CIRA 2104	CIRA SUR				
CIRA 2640	CIRA SUR	TC-22-54	\$ 3.464.737	\$ 2.481.598	\$ 5.946.335
INFA 2026	INFA SUR	C 456-305-120	\$ 799.650	\$ 4.356.207	\$ 5.155.857
INFA 3200	INFA SUR	C 320-256-120	\$ 1.905.268	\$ 2.800.212	\$ 4.705.480
CIRA 2255	CIRA NORTE	C 320-305-120	\$ 1.449.525	\$ 2.800.212	\$ 4.249.737
CIRA 1193	CIRA ESTE	TC-22-54	\$ 907.794	\$ 2.481.598	\$ 3.389.392
CIRA 2367	INFA NORTE	TC-22-54	\$ 879.467	\$ 2.481.598	\$ 3.361.065
INFA 2345	INFA CENTRAL	TC-22-54	\$ 576.192	\$ 2.481.598	\$ 3.057.790
CIRA 2330	INFA NORTE	TC-22-54	\$ 557.994	\$ 2.481.598	\$ 3.039.592
INFA 3104	INFA CENTRAL	TC-22-54	\$ 500.480	\$ 2.481.598	\$ 2.982.078
CIRA 1481	CIRA SUR	TC-22-54	\$ 460.774	\$ 2.481.598	\$ 2.942.372
CIRA 1722	CIRA NORTE	C 320-256-120	\$ 60.753	\$ 2.800.212	\$ 2.860.965
CIRA 0555	CIRA SUR	TC-22-54	\$ 275.094	\$ 2.481.598	\$ 2.756.692
CIRA 0871	INFA NORTE	TC-22-54	\$ 220.670	\$ 2.481.598	\$ 2.702.268

Fuente: Autor

5.3.6 Ahorro por consumo energía y mantenimiento debido el cambio de unidad

Tabla 23. Costo de Consumo de Energía de cada Pozo Seleccionado en condiciones Actuales vs. Condiciones Simuladas.

Pozo	Área	Unidad Actual	Nueva Unidad	Costo Energía (\$/Año)			
				Actual	Nuevo	Ahorro	%
<i>CIRA 3061</i>	CIRA NORTE	A 912-365-192	TC-22-54	\$ 3.567.643	\$ 1.137.842	\$ 2.429.801	68,11
<i>INFA 0086</i>	INFA CENTRAL	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 4.545.726	\$ 2.550.310	\$ 1.995.416	43,90
<i>CIRA 1725</i>	CIRA NORTE	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 5.252.717	\$ 3.490.756	\$ 1.761.961	33,54
<i>CIRA 2742</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 6.357.504	\$ 4.693.721	\$ 1.663.783	26,17
<i>CIRA 1028</i>	CIRA ESTE	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 5.527.658	\$ 3.888.359	\$ 1.639.299	29,66
<i>CIRA 0917</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	C 320-305-120	\$ 2.729.504	\$ 1.126.707	\$ 1.602.797	58,72
<i>CIRA 2437</i>	INFA NORTE	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 4.608.740	\$ 3.455.026	\$ 1.153.714	25,03
<i>CIRA 2118</i>	CIRA SUR	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 3.333.284	\$ 2.422.282	\$ 911.002	27,33
<i>CIRA 2400</i>	INFA NORTE	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 1.179.796	\$ 1.104.118	\$ 75.678	6,41
<i>CIRA 1193</i>	CIRA ESTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 2.515.480	\$ 907.794	\$ 1.607.686	63,91
<i>INFA 2345</i>	INFA CENTRAL	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 1.778.728	\$ 576.192	\$ 1.202.536	67,61
<i>CIRA 2255</i>	CIRA NORTE	M 640 365 168	C 320-305-120	\$ 2.539.586	\$ 1.449.525	\$ 1.090.061	42,92
<i>INFA 2026</i>	INFA SUR	M 640 365 168	C 456-305-120	\$ 1.800.448	\$ 799.650	\$ 1.000.798	55,59
<i>CIRA 2330</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 1.402.116	\$ 557.994	\$ 844.122	60,20
<i>INFA 3104</i>	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	TC-22-54	\$ 1.301.857	\$ 500.480	\$ 801.377	61,56
<i>CIRA 2640</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 3.972.751	\$ 3.464.737	\$ 508.014	12,79
<i>CIRA 2367</i>	INFA NORTE	C 640 365 168	TC-22-54	\$ 1.359.234	\$ 879.467	\$ 479.767	35,30
<i>INFA 3200</i>	INFA SUR	A C 640 365 168	C 320-256-120	\$ 2.109.234	\$ 1.905.268	\$ 203.966	9,67
<i>CIRA 0871</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 349.240	\$ 220.670	\$ 128.570	36,81
<i>CIRA 1481</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 586.185	\$ 460.774	\$ 125.411	21,39
<i>CIRA 1722</i>	CIRA NORTE	A C 640 365 168	C 320-256-120	\$ 96.438	\$ 60.753	\$ 35.685	37,00
<i>CIRA 0555</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 243.969	\$ 275.094	-\$ 31.125	-12,76

Fuente: Autor

Tabla 24. Costo de Consumo en Mantenimiento de cada Pozo Seleccionado en condiciones Actuales vs. Condiciones Simuladas.

Pozo	Área	Unidad Actual	Nueva Unidad	Costo Mantenimiento (\$/Año)			
				Actual	Nuevo	Ahorro	%
CIRA 3061	CIRA NORTE	A 912-365-192	TC-22-54	\$ 5.169.375	\$ 2.481.598	\$ 2.687.777	51,99
CIRA 2400	INFA NORTE	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 0917	CIRA SUR	M 912 427 192	C 320-305-120	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 2742	CIRA SUR	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
INFA 0086	INFA CENTRAL	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 2118	CIRA SUR	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 2437	INFA NORTE	M 912-427-192	C 320-256-121	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 1028	CIRA ESTE	M 912-427-192	C 320-256-122	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 1725	CIRA NORTE	M 912-427-192	C 320-256-123	\$ 5.169.375	\$ 2.800.212	\$ 2.369.163	45,83
CIRA 0555	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
CIRA 2330	INFA NORTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
INFA 3104	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
INFA 2345	INFA CENTRAL	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
CIRA 2367	INFA NORTE	C 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
CIRA 0871	INFA NORTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
CIRA 1481	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
CIRA 1193	CIRA ESTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
CIRA 2640	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.555.612	\$ 2.481.598	\$ 2.074.014	45,53
INFA 3200	INFA SUR	A C 640 365 168	C 320-256-120	\$ 4.555.612	\$ 2.800.212	\$ 1.755.400	38,53
CIRA 1722	CIRA NORTE	A C 640 365 168	C 320-256-120	\$ 4.555.612	\$ 2.800.212	\$ 1.755.400	38,53
CIRA 2255	CIRA NORTE	M 640 365 168	C 320-305-120	\$ 4.555.612	\$ 2.800.212	\$ 1.755.400	38,53
INFA 2026	INFA SUR	M 640 365 168	C 456-305-120	\$ 4.555.612	\$ 4.356.207	\$ 199.405	4,38

Fuente: Autor

Tabla 25. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado en condiciones Actuales vs. Condiciones Simuladas.

Pozo	Área	Unidad Actual	Nueva Unidad	Costo Total (\$/Año)			
				Actual	Nuevo	Ahorro	%
<i>CIRA 3061</i>	CIRA NORTE	A 912-365-192	TC-22-54	\$ 8.737.018	\$ 3.619.440	\$ 5.117.578	58,57
<i>INFA 0086</i>	INFA CENTRAL	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 9.715.101	\$ 5.350.522	\$ 4.364.579	44,93
<i>CIRA 1725</i>	CIRA NORTE	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 10.422.092	\$ 6.290.968	\$ 4.131.124	39,64
<i>CIRA 2742</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 11.526.879	\$ 7.493.933	\$ 4.032.946	34,99
<i>CIRA 1028</i>	CIRA ESTE	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 10.697.033	\$ 6.688.571	\$ 4.008.462	37,47
<i>CIRA 0917</i>	CIRA SUR	M 912 427 192	C 320-305-120	\$ 7.898.879	\$ 3.926.919	\$ 3.971.960	50,29
<i>CIRA 2437</i>	INFA NORTE	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 9.778.115	\$ 6.255.238	\$ 3.522.877	36,03
<i>CIRA 2118</i>	CIRA SUR	M 912-427-192	C 320-256-120	\$ 8.502.659	\$ 5.222.494	\$ 3.280.165	38,58
<i>CIRA 2400</i>	INFA NORTE	M 912 427 192	C 320-256-120	\$ 6.349.171	\$ 3.904.330	\$ 2.444.841	38,51
<i>CIRA 1193</i>	CIRA ESTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 7.071.092	\$ 3.389.392	\$ 3.681.700	52,07
<i>INFA 2345</i>	INFA CENTRAL	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 6.334.340	\$ 3.057.790	\$ 3.276.550	51,73
<i>CIRA 2330</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 5.957.728	\$ 3.039.592	\$ 2.918.136	48,98
<i>INFA 3104</i>	INFA CENTRAL	A C 640 365 168	TC-22-54	\$ 5.857.469	\$ 2.982.078	\$ 2.875.391	49,09
<i>CIRA 2255</i>	CIRA NORTE	M 640 365 168	C 320-305-120	\$ 7.095.198	\$ 4.249.737	\$ 2.845.461	40,10
<i>CIRA 2640</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 8.528.363	\$ 5.946.335	\$ 2.582.028	30,28
<i>CIRA 2367</i>	INFA NORTE	C 640 365 168	TC-22-54	\$ 5.914.846	\$ 3.361.065	\$ 2.553.781	43,18
<i>CIRA 0555</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.799.581	\$ 2.756.692	\$ 2.042.889	42,56
<i>CIRA 1481</i>	CIRA SUR	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 4.904.852	\$ 2.942.372	\$ 1.962.480	40,01
<i>INFA 3200</i>	INFA SUR	A C 640 365 168	C 320-256-120	\$ 6.664.846	\$ 4.705.480	\$ 1.959.366	29,40
<i>CIRA 1722</i>	CIRA NORTE	A C 640 365 168	C 320-256-120	\$ 4.652.050	\$ 2.860.965	\$ 1.791.085	38,50
<i>CIRA 0871</i>	INFA NORTE	M 640 365 168	TC-22-54	\$ 3.932.733	\$ 2.702.268	\$ 1.230.465	31,29
<i>INFA 2026</i>	INFA SUR	M 640 365 168	C 456-305-120	\$ 6.356.060	\$ 5.155.857	\$ 1.200.203	18,88

Fuente: Autor

En todos los casos analizados genera un ahorro al realizar el cambio de unidad, mientras mayor sea la diferencia del tamaño en el cambio de unidad mayor será su beneficio.

5.4 ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

Siempre que se desea realizar un proyecto, es necesario evaluar desde el punto de vista financiero algunas variables que en este intervienen y que me permiten establecer que tan rentable será o no y si la ganancia generada es suficiente para satisfacer el objetivo.

En el caso particular de este proyecto, estas variables evaluarán los beneficios de instalar una unidad de menor capacidad; al igual ver un estimado del ahorro obtenido hasta la fecha si se hubiese colocado la unidad con la capacidad adecuada, como el tiempo de recuperación de la inversión.

Existen diversos métodos de análisis para la evaluación de proyectos, entre ellos se encuentra el valor presente neto (VPN), el tiempo de la recuperación de la inversión (pay back) y por último la relación beneficio-costos (RBC) que compara la obtención de mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido.

A continuación se resumen el paso a paso:

1. Se parte de la producción inicial de aceite y se le aplica el 9% de declinación por mes (30 días) durante los 12 meses del estudio.
2. Se calcula la regalía por esta producción bruta que corresponde al 12% sobre la producción de aceite.
3. La diferencia entre la producción y la regalía corresponde a la producción neta por la cual se recibe ingreso al multiplicar por el precio del barril WTI.
4. Los costos operacionales hacen referencia a los calculados anteriormente consumo de energía, costos de mantenimiento y costo de levantamiento 18

Dolares por Barril (32.040 \$/Bbl).

5. La inversión es la siguiente: cambio de unidad de actual por unidad simulada.
6. El costo neto resulta de la suma por mes del costo de operación y las inversiones.
7. El flujo de caja (FC) es la diferencia entre ingreso neto y el costo neto.

Inversión Total

- ✚ El costo de cambio de la unidad de bombeo el cual se presenta en la tabla 26, en el que se reporta el costo de retiro, instalación y transporte de cada una de las unidades, al igual que instalación y retiro del sistema de automatización.

Tabla 26. Costos Cambio de Unidades de Bombeo.

Descripción	Cantidades	Precio x Unidad	Total
DESMONTAJE DE UNIDAD DE BOMBEO GRANDE	1	\$ 3.793.379	\$ 3.793.379
TRANSPORTE UNIDAD DE BOMBEO	2	\$ 1.725.215	\$ 3.450.430
MONTAJE DE UNIDAD DE BOMBEO MEDIANA	1	\$ 4.436.494	\$ 4.436.494
SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	1	\$ 1.172.141	\$ 1.172.141
		VALOR	\$ 12.852.444

Fuente: Área de Mantenimiento Mecánico ECOPEPETROL

Tabla 27. Análisis financiero del pozo CIRA 3061.

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTA. MES	COSTO ACTUAL	COSTO SIMULADO	INVERS.	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA SIMULADO	FLUJO DE CAJA ACUMUALDO ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMUALDO SIMULADO
	BOPD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOPD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOPD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COP/Bbl	INGRESO NETO								
0															12.852.444			-	(12.852.444)
1	4	131	131	1	16	16	4	115	115	145.248	16.702.091	4.186.687	4.914.772	4.488.307		11.787.319	12.213.784	11.787.319	(638.660)
2	4	129	259	1	15	31	4	113	228	145.248	16.453.429	4.124.356	4.852.440	4.425.976		11.600.989	12.027.454	23.388.308	11.388.794
3	4	128	387	1	15	46	4	112	341	145.248	16.330.490	4.093.539	4.821.624	4.395.159		11.508.867	11.935.332	34.897.175	23.324.125
4	4	127	514	1	15	62	4	112	452	145.248	16.208.470	4.062.952	4.791.037	4.364.572		11.417.433	11.843.898	46.314.608	35.168.023
5	4	126	640	1	15	77	4	111	563	145.248	16.087.361	4.032.594	4.760.679	4.334.214		11.326.682	11.753.147	57.641.290	46.921.170
6	4	125	765	0	15	92	4	110	673	145.248	15.967.157	4.002.463	4.730.547	4.304.083		11.236.610	11.663.075	68.877.900	58.584.245
7	4	124	889	0	15	107	4	109	782	145.248	15.847.851	3.972.556	4.700.641	4.274.176		11.147.210	11.573.675	80.025.110	70.157.920
8	4	123	1012	0	15	121	4	108	890	145.248	15.729.437	3.942.874	4.670.958	4.244.494		11.058.479	11.484.944	91.083.589	81.642.864
9	4	122	1134	0	15	136	4	107	998	145.248	15.611.908	3.913.413	4.641.498	4.215.033		10.970.410	11.396.875	102.053.999	93.039.739
10	4	121	1255	0	15	151	4	107	1105	145.248	15.495.256	3.884.172	4.612.257	4.185.792		10.883.000	11.309.464	112.936.999	104.349.203
11	4	120	1375	0	14	165	4	106	1210	145.248	15.379.477	3.855.150	4.583.234	4.156.770		10.796.242	11.222.707	123.733.241	115.571.910
12	4	119	1495	0	14	179	4	105	1316	145.248	15.264.562	3.826.344	4.554.429	4.127.964		10.710.133	11.136.598	134.443.374	126.708.508

Fuente: El Autor.

Tabla 28. Resumen del análisis financiero.

POZO	VALOR PRESENTE NETO ACTUAL (VPN)	VALOR PRESENTE NETO SIMULADO (VPN)	RELACION BENEFICIO-COSTOACTUAL (B/C)	RELACION BENEFICIO-COSTOSIMULADO (B/C)	PAY BACK (MES)
<i>CIRA 3061</i>	\$ 118.586.878	\$ 126.623.894	3,4	3,7	3
<i>INFA 0086</i>	\$ 1.876.146.910	\$ 1.884.892.467	3,8	4	2
<i>CIRA 2742</i>	\$ 354.020.734	\$ 363.078.343	3,6	3,8	2
<i>CIRA 0917</i>	\$ 1.376.579.798	\$ 1.385.694.793	3,8	4	2
<i>CIRA 2118</i>	\$ 372.309.053	\$ 382.074.998	3,8	3,8	2
<i>CIRA 1725</i>	\$ 1.140.703.315	\$ 1.151.132.669	3,9	3,9	2
<i>CIRA 1028</i>	\$ 504.134.382	\$ 514.679.156	3,8	3,8	2
<i>CIRA 2400</i>	\$ 1.231.715.813	\$ 1.242.267.763	3,8	4	2
<i>CIRA 2437</i>	\$ 552.471.901	\$ 563.473.591	3,8	3,8	2
<i>CIRA 1193</i>	\$ 107.593.684	\$ 116.981.801	3,4	3,7	3
<i>INFA 2345</i>	\$ 1.098.772.150	\$ 1.108.541.497	3,9	4	2
<i>CIRA 2330</i>	\$ 1.450.476.524	\$ 1.460.583.123	3,9	4	2
<i>INFA 3104</i>	\$ 456.456.911	\$ 466.603.731	3,9	3,9	2
<i>CIRA 2255</i>	\$ 555.259.679	\$ 565.434.662	3,9	3,9	2
<i>CIRA 2367</i>	\$ 300.782.084	\$ 311.231.526	3,7	3,9	2
<i>CIRA 0555</i>	\$ 366.889.674	\$ 377.819.844	3,9	3,9	2
<i>CIRA 1481</i>	\$ 657.042.688	\$ 667.825.565	3,9	3,9	2
<i>INF 3200</i>	\$ 296.173.540	\$ 307.182.302	3,8	3,8	2
<i>CIRA 1722</i>	\$ 46.062.692	\$ 57.229.800	3,3	3,5	4
<i>CIRA 0871</i>	\$ 232.776.533	\$ 243.556.437	3,7	3,9	2
<i>INFA 2026</i>	\$ 1.114.010.818	\$ 1.125.733.921	3,9	3,9	2
<i>CIRA 2640</i>	\$ 2.023.041.760	\$ 2.035.228.552	3,9	3,9	2

Fuente: El Autor.

Se observo que el cambio de unidad es favorable en los 22 pozos evaluados ya que el Pay-Back no supera los 4 meses en ninguno de los casos y el tiempo de operación de los pozos actales es mayor a 1 año en todos los pozos evaluados como lo muestra la tabla 29. Por otra parte la relación costo/beneficio es superior a 3 en todos los casos, geranando un alto beneficio por la inversión inicial.

Tabla 29. Fecha de Instalación de la Unidad de Bombeo y Tiempo de Operación de las Unidades.

Pozo	Unidad Actual	Fecha Instalación Unidad. (Año)	Tiempo en operación de la Unidad. (Años)
INFA 0086	M 912 427 192	23/12/08	4,58
CIRA 0917	M 912 427 193	24/08/08	4,91
CIRA 2118	M 912 427 194	19/04/09	4,26
CIRA 2400	M 912 427 195	14/08/08	4,94
CIRA 1725	M 912 427 196	7/08/08	4,96
CIRA 1028	M 912 427 197	22/09/08	4,83
CIRA 2742	M 912 427 198	29/12/10	2,56
CIRA 3061	A 912-365-192	16/11/11	1,68
CIRA 2437	M 912 427 198	31/03/09	4,31
CIRA 1193	M 640 365 168	8/01/08	5,54
INFA 2345	M 640 365 168	18/10/08	4,76
CIRA 2330	M 640 365 168	13/06/08	5,11
CIRA 1481	M 640 365 168	22/09/08	4,83
CIRA 0555	M 640 365 168	23/11/08	4,66
CIRA 1722	A C 640 365 168	6/01/08	5,54
CIRA 0871	M 640 365 168	19/06/08	5,09
INFA 3104	A C 640 365 168	13/11/10	2,69
CIRA 2367	C 640 365 168	2/02/10	3,47
INFA 2026	M 640 365 168	29/10/08	4,73
CIRA 2255	M 640 365 168	27/04/11	2,24
INFA 3200	A C 640 365 168	4/01/11	2,55
CIRA 2640	M 640 365 168	5/08/10	2,96

Fuente: Autor.

Se evidencia que el tiempo de operación de los pozos evaluados con las unidades actuales supera en la mayoría de los casos los 4 años, por tanto el ahorro generado al realizar en cambio de unidad a una de menor tamaño sería significativo.

5.5 BENEFICIOS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

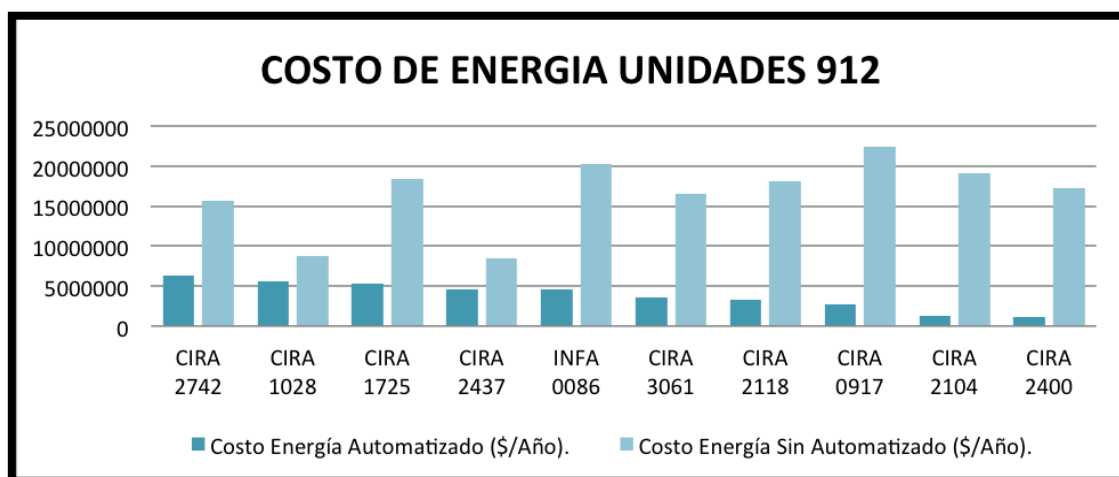
La tabla 30 muestra la comparación entre el mantener un sistema automatizado y uno sin automatización, con el objetivo de conocer los beneficios de costos de energía de pozos seleccionados.

Tabla 30. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado Con Automatizados vs. Sin Automatización.

Pozo	Área	Unidad Actual	Automatización	No Automatización	Beneficio
CIRA 0917	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 2,729,504.05	\$ 15,661,128.00	\$ 12,931,623.95
CIRA 2367	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 1,281,867.62	\$ 8,817,816.00	\$ 7,535,948.38
CIRA 2742	CIRA SUR	M 912 427 192	\$ 6,357,504.30	\$ 18,408,264.00	\$ 12,050,759.70
CIRA 2400	INFA NORTE	M 912 427 192	\$ 1,179,795.57	\$ 8,437,632.00	\$ 7,257,836.43
INFA 0086	INFA CENTRAL	M 912 427 192	\$ 4,545,726.41	\$ 20,321,448.00	\$ 15,775,721.59
CIRA 3061	CIRA NORTE	A 912-365-192	\$ 3,567,642.98	\$ 16,556,400.00	\$ 12,988,757.02
CIRA 2437	INFA NORTE	M 912-427-192	\$ 4,608,740.07	\$ 18,150,720.00	\$ 13,541,979.93
CIRA 1725	CIRA NORTE	M 912-427-192	\$ 5,252,716.58	\$ 22,443,120.00	\$ 17,190,403.42
CIRA 1028	CIRA ESTE	M 912-427-192	\$ 5,527,658.29	\$ 19,131,840.00	\$ 13,604,181.71
CIRA 2118	CIRA SUR	M912-427-192	\$ 3,333,284.07	\$ 17,169,600.00	\$ 13,836,315.93
CIRA 1722	CIRA NORTE	AMP 640 365 168	\$ 96,437.76	\$ 7,591,416.00	\$ 7,494,978.24
CIRA 2255	CIRA NORTE	M 640 365 168	\$ 2,539,586.20	\$ 8,609,328.00	\$ 6,069,741.80
CIRA 0555	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 243,968.67	\$ 7,346,136.00	\$ 7,102,167.33
CIRA 1481	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 586,184.86	\$ 6,622,560.00	\$ 6,036,375.14
CIRA 2640	CIRA SUR	M 640 365 168	\$ 3,972,751.10	\$ 11,540,424.00	\$ 7,567,672.90
CIRA 1193	CIRA ESTE	M 640 365 168	\$ 2,515,480.18	\$ 8,915,928.00	\$ 6,400,447.82
CIRA 2330	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 1,402,115.53	\$ 9,455,544.00	\$ 8,053,428.47
CIRA 0871	INFA NORTE	M 640 365 168	\$ 349,239.78	\$ 8,057,448.00	\$ 7,708,208.22
INFA 3104	INFA CENTRAL	AMP C 640 365 168	\$ 118,871.58	\$ 649,992.00	\$ 531,120.42
INFA 2345	INFA CENTRAL	M 640 365 168	\$ 1,778,727.64	\$ 8,265,936.00	\$ 6,487,208.36
INFA 2026	INFA SUR	M 640 365 168	\$ 1,800,447.79	\$ 9,835,728.00	\$ 8,035,280.21
INFA 3200	INFA SUR	A C 640 365 168	\$ 1,810,810.26	\$ 7,162,176.00	\$ 5,351,365.74

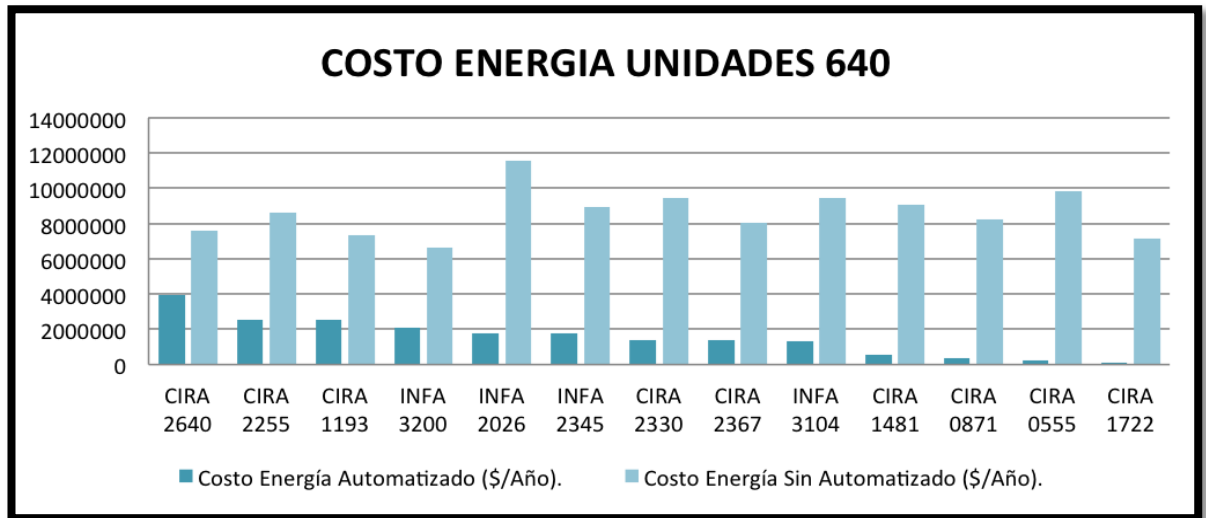
Fuente: Autor

Figura 23. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado Con Automatizados vs. Sin Automatización.



Fuente: Autor

Figura 24. Costo Total de Consumo de cada Pozo Seleccionado Con Automatizados vs. Sin Automatización.



Fuente: Autor

Se observó la reducción de energía consumida siendo mayor al 50% en la mayoría de los casos, ésta disminución se da principalmente debido a los cortos Runtime, si no existiera el sistema de automatización el tiempo de trabajo de cada pozo sería 24 horas en el cual la mayoría de su tiempo trabajaría en seco o con golpe de fluido.

CONCLUSIONES

- ✓ Una buena decisión al momento de seleccionar el tipo de unidad que se debe instalar generará un ahorro total mayor al 20% en unidades 912 y 8% en unidades 640 llegando en algunos casos hasta el 50% del costo total de consumo por año.
- ✓ Se observó que en 95% de los pozos analizados es factible realizar cambio de unidad sin modificar su estado mecánico, solo en 1 de los 23 pozos analizados no fue técnicamente viable realizar el cambio de unidad debido a las condiciones mecánicas actuales del pozo.
- ✓ De las 702 unidades existentes en el campo LCI, 375 presentan eficiencias volumétricas menores a 60%, de este total 223 son unidades 1280, 912 y 640, que representan una población significativa para optimizar las condiciones de superficie instaladas.
- ✓ La energía consumida por cada tipo de unidad se ve reflejada en la capacidad del motor, las cargas del sistema y el tiempo de trabajo, en promedio en consumo de energía adicional por arranque en el día es del 10%.
- ✓ Los parámetros financieros indican que el cambio a una unidad de menor capacidad genera un VPN menor que el presentado al mantener la unidad actual, esto debido al costo generado por la instalación, por el contrario la relación beneficio/costo es igual o superior en las condiciones simuladas de los pozos evaluados.

- ✓ La instalación del sistema de automatización, permite optimizar el consumo de energía del sistema, debido a que el pozo solamente trabaja el tiempo necesario; igualmente logra incrementar la vida útil del sistema, disminuyendo el efecto de desgaste de la sarta de varillas, generando ahorros significativos en los costos de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda extender este trabajo técnico-financiero a la totalidad de unidades productoras del campo LCI que utilizan bombeo mecánico como sistema de extracción.
- ✓ Realizar un estudio que asocie las cargas de las unidades de bombeo con el consumo de energía, calculando el promedio por cada tipo de unidad.
- ✓ Estandarizar los tipos de mantenimiento según la clasificación principal que se presenta para los trabajos mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- ✓ Generar un estadístico de las fallas que se presentan en las unidades de bombeo para una mayor control.

BIBLIOGRAFIA

API PRODUCTION DEPARTMENT, API Standard RP 11AX, "Specification for Subsurface Pump and Fittings", Seventh Edition, Dallas 1979.

API Specification 11 E. Specification for Pumping Units, Eighteenth Edition, 2008.

TAKACS, Tabor; Sucker-Rod Pumping Manual, Penn Well Books; Tulsa, Oklahoma, 1993.

EMBUS, Luis A.; MARTINEZ, Jorge A. Curso Generalidades Bombeo Mecánico: I Parte Conceptos Básicos. PARKOSERVICES, 2009.

LUFKIN, Diseño de sistemas de bombeo mecánico Guía de Operación y Referencia, Argentina 2008.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommended Practice for Design Calculations for Sucker Rod Pumping Systems (Conventional Units), RP 11 L, FOURTH EDITION, June 1, 1988.

BOLLAND, Manual de Partes: Bombas Mecánicas de Profundidad. Buenos Aires Argentina, 2005. Capítulo 1.

LUFKIN, Industrias Inc. "Catálogo de Productos Generales de Yacimientos Petrolíferos". (Argentina). 2000.

SVINOS, Jhon. Optimización de Bombeo Mecánico. Thera Enterprise. Bera, USA. 2005.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. Medellín: AMG, 2005.

MARTÍNEZ A, AFANADOR C.L, VILLAREAL J.O, LARA C., ECOPETROL. S.A. Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz en Reducción de Fallas en el Sistema de Bombeo Mecánico. ACIPET: Bogotá, Colombia; 2003.

PDVSA CIED. Diseño de Instalaciones de Levantamiento por Bombeo Mecánico ISBN. International de Educación y Desarrollo (CIED). 2001.

BROWN, Kemit: The Technology Of Artificial Lift Methods. Tulsa, Oklahoma Penn Well 1977.

KILGORE, J.J. – Tripp, H.A. – Hunt, C.L., Walking Beam Pumping Unit System Efficiency Measurement, Paper SPE 227888, 1991.

GABOR TAKACS. Ways to Obtain Optimum Power Efficiency of Artificial Lift Installations. SPE 126544. 2010.

ECOPETROL S.A. Base de Datos Open Wells Campo La Cira-Infantas. 2013.

ECOPETROL S.A. Base de Datos Sistema de Automatización LOWIS Campo La Cira-Infantas. 2013.

ECOPETROL S.A. Base de Datos Ellipse Campo La Cira-Infantas. 2012.

ANEXOS

ANEXO A. Eficiencia Volumétrica De Unidades De Bombeo En El Campo La Cira – Infantas

Área	Pozo	Unidad	Vol. Teórico	BFPD	BFPD/V.T.	Runtime (Hr)
INFA CENTRAL	INFA 0086	M-S 912 427 192	923,07	145	15,71	5,28
INFA CENTRAL	INFA 0183	M 640 365 168	451,13	11	2,44	0,72
INFA NORTE	INFA 0263	M-S 912 427 192	1127,07	224	19,87	9,1
CIRA SUR	CIRA 0466	M 640 365 168	653,24	40	6,12	3,6
INFA NORTE	CIRA 0476	M 640 365 168	501,57	28	5,58	2,98
CIRA SUR	CIRA 0555	M 640 365 168	527,89	14	2,65	0,72
INFA NORTE	INFA 0589	M 640 365 168	573,94	72	12,54	3,88
CIRA SUR	CIRA 0612	M 640 365 168	363,46	53	14,58	4,56
CIRA SUR	CIRA 0652	W C 640 365 168	290,83	60	20,63	4,56
INFA NORTE	CIRA 0871	M 640 365 168	579,88	12	2,07	0,97
CIRA NORTE	CIRA 0876	M 640 365 168	399,44	41	10,26	3,42
CIRA SUR	CIRA 0914	M 640 365 168	860,32	80	9,3	3,84
CIRA SUR	CIRA 0917	M-S 912 427 192	742,03	56	7,55	4,08
CIRA ESTE	CIRA 1023	M 640 365 168	743,44	57,87	7,78	4,08
CIRA ESTE	CIRA 1028	M-S 912 427 192	666,85	119	17,85	6,85
CIRA ESTE	CIRA 1073	M-S 912 427 192	294,04	82	27,89	2,07
CIRA ESTE	CIRA 1106	M-S 912 427 192	415,89	21	5,05	2,64
CIRA ESTE	CIRA 1185	M 640 365 168	570,96	31	5,43	3,12
CIRA ESTE	CIRA 1193	M 640 365 168	585,83	107	18,26	6,65
CIRA ESTE	CIRA 1200	M 640 365 168	516,14	70	13,56	5,8
CIRA ESTE	CIRA 1204	M 640 365 168	337,6	22	6,52	8,48
INFA NORTE	CIRA 1226	M 640 365 168	453,48	35	7,72	5,58
INFA NORTE	CIRA 1227	M 640 365 168	240,99	25	10,37	8,27
INFA NORTE	CIRA 1254	M 640 365 168	257,73	7	2,72	1,18
CIRA SUR	CIRA 1481	M 640 365 168	583,49	27	4,63	2
CIRA NORTE	CIRA 1722	A C 640 365 168	443,74	1	0,23	0,23
CIRA NORTE	CIRA 1725	M-S 912 427 192	910,49	125	13,73	5,52
CIRA NORTE	CIRA 1795	M-S 912 427 192	489,62	88	17,97	5,9
CIRA SUR	CIRA 1851	C 640 365 168	342,4	4	1,17	0,96
INFA SUR	INFA 2024	M 640 365 168	643,32	51	7,93	3,84
INFA SUR	INFA 2025	M 640 365 168	732,54	78	10,65	2,4
INFA SUR	INFA 2026	M 640 365 168	556,09	44	7,91	4,32
INFA NORTE	INFA 2075	M 640 365 168	513	6	1,17	0,92
INFA NORTE	INFA 2077	M 640 365 168	386,77	25	6,46	3,6
CIRA SUR	CIRA 2104	M-S 912 427 192	969,69	104	10,73	3,36
CIRA SUR	CIRA 2118	M-S 912 427 192	633,27	94	14,84	4,56
CIRA SUR	CIRA 2122	M-S 912 427 192	1108,46	115	10,37	3,63
CIRA NORTE	CIRA 2255	M 640 365 168	251,56	29,45	11,71	6,96
INFA NORTE	CIRA 2330	M 640 365 168	568,98	55	9,67	3,45
INFA CENTRAL	INFA 2345	M 640 365 168	307,8	47	15,27	5,04
INFA NORTE	CIRA 2400	M-S 912 427 192	952,77	53	5,56	3,12
INFA NORTE	CIRA 2406	M-S 912 427 192	743,16	218	29,33	6
INFA NORTE	CIRA 2437	M-S 912 427 192	956,15	139	14,54	6
INFA NORTE	INFA 2454	C 640 365 168	349,59	93	26,6	6
INFA SUR	INFA 2498	A C 640 365 168	241,87	43	17,78	9,84
CIRA SUR	CIRA 2640	M 640 365 168	453,48	92	20,29	8,16
CIRA ESTE	CIRA 2742	M-S 912 427 192	678,58	153	22,55	8,16
CIRA ESTE	CIRA 2750	A C 640 365 168	364,19	31	8,51	2,16
CIRA ESTE	CIRA 2854	M-S 912 427 192	511,1	63	12,33	2,4

Área	Pozo	Unidad	Vol. Teórico	BFPD	BFPD/V.T.	Runtime (Hr)
CIRA SUR	CIRA 2972	M 640 365 168	233,06	46	19,74	7,2
CIRA NORTE	CIRA 3061	A C 912 365 192	529	47	8,88	5,04
INFA CENTRAL	INFA 3104	A C 640 365 168	221,16	19	8,59	3,36
INFA CENTRAL	INFA 3117	M-S 912 427 192	1096,61	231	21,06	7,44
INFA CENTRAL	INFA 3124	A C 640 365 168	577,62	80	13,85	4,8
INFA SUR	INFA 3200	A C 640 365 168	573,95	76	13,24	5,76

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	2978	30.5	41

Max Stress (surf.) (psi) : 19773 Min Stress (surf.) (psi) : 7766

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS UHS</u>
1	63	47	27
0.9	73	54	30
0.8	87	64	35
0.7	109	78	41

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 65.9% eff.</u>
Gross:	26.4	94 (24h/d)	62 (24h/d)
Net:	24	85 (24h/d)	56 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.5	Lost Displacement (bpd)	: 9
Loss Along Rod String (hp)	: 0.32	Pump Power (hp)	: 1.91
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: 0	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.27	N/No'	: 0.07
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 199	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
5664			
Total Load on Pump (lbs)	: 5345	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 297	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2978	Pump Intake Pressure (psi)	: 78
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 5215
TV Load (lbs)	: 11308		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	3547	30.5	44

Max Stress (surf.) (psi) : 21197 Min Stress (surf.) (psi) : 8459

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 97</u>
1	68	51	28
0.9	79	59	32
0.8	95	69	37
0.7	120	85	44

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	93.7	262 (24h/d)	210 (24h/d)
Net:	90.8	254 (24h/d)	203 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.9	Lost Displacement (bpd)	: 8
Loss Along Rod String (hp)	: 2.1	Pump Power (hp)	: 7.13
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: 0	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.09	N/No'	: 0.09
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) - Well to right	: 320	Crank Rotation	: (CC'WISE)
Overall Speed Ratio 0.05 / 0.15	: 195.7	Rod Damping Factors (up/down)	:
Min/Max Tubing Head Press. (psi) 8822	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
Total Load on Pump (lbs)	: 5321	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 354	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 3547	Pump Intake Pressure (psi)	: 75
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 8344
TV Load (lbs)	: 14443		

Guides Loading

1)	1	1500	30.5	0.3	M (3)	50
2)	0.875	1053	30.5	0.3	M (0)	41

Max Stress (surf.) (psi) : 14045 Min Stress (surf.) (psi) : 5770

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C.K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 90</u>
1	41	32	32
0.9	48	36	36
0.8	56	42	42
0.7	68	50	50

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	50.1	117 (24h/d)	94 (24h/d)
Net:	48.8	114 (24h/d)	91 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 1.3	Lost Displacement (bpd)	: 3
Loss Along Rod String (hp)	: 0.94	Pump Power (hp)	: 2.22
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.09	N/No'	: 0.05
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (C'WISE) -
Well to right			
Overall Speed Ratio	: 237.7	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
5770			
Total Load on Pump (lbs)	: 3396	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2553	Pump Intake Pressure (psi)	: 111
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 5470
TV Load (lbs)	: 9466		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	3194	30.5	46

Max Stress (surf.) (psi) : 21452 Min Stress (surf.) (psi) : 8005

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS UHS</u>
1	71	53	30
0.9	83	61	34
0.8	99	72	39
0.7	123	88	46

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 75.78% eff.</u>
Gross:	92.1	302 (24h/d)	229 (24h/d)
Net:	88.7	291 (24h/d)	221 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 3.4 Lost Displacement (bpd) : 11
Loss Along Rod String (hp) : 1.27 Pump Power (hp) : 6.89
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : 0 Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.1 N/No' : 0.06

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 320 Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right
Overall Speed Ratio : 261.6 Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
7951
Total Load on Pump (lbs) : 6944 Pump Bore Size (in) : 2.5
Pump Load Adjustment (lbs) : 319 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 3194 Pump Intake Pressure (psi) : 133
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 7491
TV Load (lbs) : 15194

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	3324	30.5	39

Max Stress (surf.) (psi) : 19184 Min Stress (surf.) (psi) : 7749

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS UHS</u>
1	60	45	25
0.9	70	52	29
0.8	83	61	33
0.7	103	74	39

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 23% eff.</u>
Gross:	115.2	271 (24h/d)	62 (24h/d)
Net:	113.2	267 (24h/d)	61 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.1	Lost Displacement (bpd)	: 5
Loss Along Rod String (hp)	: 3.23	Pump Power (hp)	: 7.49
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: 1	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.05	N/No'	: 0.09
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 177.3	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
8253			
Total Load on Pump (lbs)	: 4057	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 332	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 3324	Pump Intake Pressure (psi)	: 21
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 7786
TV Load (lbs)	: 12610		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
<u>Guides</u>	<u>Loading</u>			
1)	1	2525	30.5	0.4
2)	0.875	1011	30.5	0.4

Max Stress (surf.) (psi) : 19209 Min Stress (surf.) (psi) : 7319

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	62	47	47
0.9	71	53	53
0.8	85	63	63
0.7	105	76	76

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 40.36% eff.</u>
Gross:	115.2	181 (24h/d)	73 (24h/d)
Net:	113.8	179 (24h/d)	72 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 1.4 Lost Displacement (bpd) : 2
Loss Along Rod String (hp) : 5.93 Pump Power (hp) : 4.95
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.04 N/No' : 0.08

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 320 Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right
Overall Speed Ratio : 194.9 Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
8217
Total Load on Pump (lbs) : 2634 Pump Bore Size (in) : 1.5
Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 3536 Pump Intake Pressure (psi) : 76
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 7917
TV Load (lbs) : 11152

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	2561	30.5	68
2)	0.875	25	30.5	39

Max Stress (surf.) (psi) : 18089 Min Stress (surf.) (psi) : 5480

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS D</u>
1	63	48	44
0.9	72	54	50
0.8	84	63	57
0.7	101	75	68

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 44% eff.</u>
Gross:	115.1	445 (24h/d)	196 (24h/d)
Net:	113.1	437 (24h/d)	192 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 2 Lost Displacement (bpd) : 8
Loss Along Rod String (hp) : 3.02 Pump Power (hp) : 9.54
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : 0 Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.05 N/No' : 0.07

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 320 Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right
Overall Speed Ratio : 177.8 Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
6367
Total Load on Pump (lbs) : 5119 Pump Bore Size (in) : 2.25
Pump Load Adjustment (lbs) : 258 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 2586 Pump Intake Pressure (psi) : 47
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 5937
TV Load (lbs) : 11786

**** ROD LOADING ****

<u>Guides</u>	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
1)	1	3278	30.5	0.4
				O (6) 83

Max Stress (surf.) (psi) : 30910 Min Stress (surf.) (psi) : 4415

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 97</u>
1	129	99	56
0.9	147	112	63
0.8	170	129	72
0.7	203	152	83

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 76.6% eff.</u>
Gross: 126.6	639 (24h/d)	489 (24h/d)
Net: 122.3	618 (24h/d)	473 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 4.2	Lost Displacement (bpd) : 21
Loss Along Rod String (hp) : 12.64	Pump Power (hp) : 15.18
Tubing Size (in) : 3.5	Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : N/A	Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.09 N/No' : 0.08

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 912	Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right	
Overall Speed Ratio : 204.8	Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15	
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A	Buoyant Rod Weight (lbs) :
8097	
Total Load on Pump (lbs) : 8330	Pump Bore Size (in) : 2.75
Pump Load Adjustment (lbs) : 0	Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 3278	Pump Intake Pressure (psi) : 22
Pump Friction (lbs) : 200	SV Load (lbs) : 7797
TV Load (lbs) : 16727	

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
Guides	Loading			
1)	1.375	2125	30.5	0.2
2)	0.875	1035	30.5	0.3

Max Stress (surf.) (psi) : 13305 Min Stress (surf.) (psi) : 5724

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	38	29	29
0.9	44	33	33
0.8	51	38	38
0.7	62	46	46

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 66.31% eff.</u>
Gross:	78.4	277 (24h/d)	184 (24h/d)
Net:	75.9	268 (24h/d)	178 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.5	Lost Displacement (bpd)	: 9
Loss Along Rod String (hp)	: 2.89	Pump Power (hp)	: 6.18
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.07 N/No' : 0.06

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 192.7	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
11027			
Total Load on Pump (lbs)	: 5173	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 3160	Pump Intake Pressure (psi)	: 148
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 10727
TV Load (lbs)	: 16500		

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
Guides	Loading			
1)	1	965	30.5	0.2 N (0) 48
2)	1	850	30.5	0.2 N (0) 40
3)	1	1500	30.5	0.2 N (0) 33
4)	1.625	50	30.5	0.2 N (0) 14

Max Stress (surf.) (psi) : 22104 Min Stress (surf.) (psi) : 8323

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 97</u>
1	73	55	31
0.9	85	63	35
0.8	103	75	40
0.7	129	91	48

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 67.68% eff.</u>
Gross:	93.6	331 (24h/d)	224 (24h/d)
Net:	90.7	320 (24h/d)	217 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 3	Lost Displacement (bpd)	: 11
Loss Along Rod String (hp)	: 2.17	Pump Power (hp)	: 8.16
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.09 N/No' : 0.08

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 191.6	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
8748			
Total Load on Pump (lbs)	: 5734	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 3365	Pump Intake Pressure (psi)	: 85
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 8448
TV Load (lbs)	: 14783		

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	2414	30.5	60

Max Stress (surf.) (psi) : 15752 Min Stress (surf.) (psi) : 5796

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	50	38	38
0.9	57	43	43
0.8	67	50	50
0.7	81	60	60

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	49.9	157 (24h/d)	126 (24h/d)
Net:	48	151 (24h/d)	121 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 1.9	Lost Displacement (bpd)	: 6
Loss Along Rod String (hp)	: 0.74	Pump Power (hp)	: 2.91
Tubing Size (in)	: 2.875	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: 0	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.09	N/No'	: 0.07
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 176.8	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
4577			
Total Load on Pump (lbs)	: 3602	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 241	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2414	Pump Intake Pressure (psi)	: 45
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 4156
TV Load (lbs)	: 8479		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	2604	30.5	35

Max Stress (surf.) (psi) : 16840 Min Stress (surf.) (psi) : 6179

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C.K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 97</u>
1	54	41	23
0.9	62	47	26
0.8	73	54	30
0.7	89	65	35

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 55% eff.</u>
Gross:	49.3	171 (24h/d)	94 (24h/d)
Net:	47.2	164 (24h/d)	90 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 2.2 Lost Displacement (bpd) : 7
Loss Along Rod String (hp) : 0.88 Pump Power (hp) : 3.28
Tubing Size (in) : 2.875 Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : 0 Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.11 N/No' : 0.08

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 114 Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right
Overall Speed Ratio : 159.6 Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
4959
Total Load on Pump (lbs) : 3751 Pump Bore Size (in) : 2
Pump Load Adjustment (lbs) : 260 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 2604 Pump Intake Pressure (psi) : 54
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 4528
TV Load (lbs) : 9010
TV Load (lbs) : 10003

1)	1	376	30.5	0.2	N (0)	29
2)	1	1000	30.5	0.3	M (3)	27
3)	0.875	651	30.5	0.3	M (0)	46
4)	0.875	712	30.5	0.2	N (0)	38

Max Stress (surf.) (psi) : 15056 Min Stress (surf.) (psi) : 6083

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 97</u>
1	45	34	19
0.9	52	39	22
0.8	61	46	25
0.7	74	55	29

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 59.66% eff.</u>
Gross:	49.1	115 (24h/d)	69 (24h/d)
Net:	47.6	111 (24h/d)	66 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 1.6	Lost Displacement (bpd)	: 4
Loss Along Rod String (hp)	: 1.22	Pump Power (hp)	: 2.34
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.1 N/No' : 0.05

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 237.9	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
6014			
Total Load on Pump (lbs)	: 3689	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2739	Pump Intake Pressure (psi)	: 39
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 5714
TV Load (lbs)	: 10003		

Corridas Simulador SRODs INFA 0086

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	2505	30.5	77

Max Stress (surf.) (psi) : 18495 Min Stress (surf.) (psi) : 5483

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	65	49	49
0.9	74	56	56
0.8	87	65	65
0.7	105	77	77

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 71% eff.</u>
Gross:	114.2	496 (24h/d)	352 (24h/d)
Net:	111.9	486 (24h/d)	345 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.2	Lost Displacement (bpd)	: 10
Loss Along Rod String (hp)	: 2.53	Pump Power (hp)	: 9.68
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: 0	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.06	N/No'	: 0.06
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 190.2	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
6257			
Total Load on Pump (lbs)	: 5764	Pump Bore Size (in)	: 2.5
Pump Load Adjustment (lbs)	: 250	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2505	Pump Intake Pressure (psi)	: 11
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 5831
TV Load (lbs)	: 12321		

<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
<u>Guides Loading</u> 1) 1.375	2209	30.5	0.2
			N (0) 23

Max Stress (surf.) (psi) : 8519 Min Stress (surf.) (psi) : 4613

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	19	15	15
0.9	22	17	17
0.8	25	19	19
0.7	30	23	23

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 61.36% eff.</u>
Gross:	54.1	71 (24h/d)	44 (24h/d)
Net:	53.5	71 (24h/d)	44 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 0.6	Lost Displacement (bpd)	: 1
Loss Along Rod String (hp)	: 1.93	Pump Power (hp)	: 1.28
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.02	N/No'	: 0.05
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 236	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
8436			
Total Load on Pump (lbs)	: 1683	Pump Bore Size (in)	: 1.5
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2209	Pump Intake Pressure (psi)	: 16
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 8136
TV Load (lbs)	: 10419		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
Guides	Loading			
1)	0.875	1773	30.5	0.2 N (0) 60
2)	0.875	1000	30.5	0.3 M (0) 24

Max Stress (surf.) (psi) : 17558 Min Stress (surf.) (psi) : 7066

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS D</u>
1	54	41	37
0.9	63	47	43
0.8	74	55	50
0.7	92	66	60

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 72.71% eff.</u>
Gross:	48.7	136 (24h/d)	99 (24h/d)
Net:	46.4	130 (24h/d)	95 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.2	Lost Displacement (bpd)	: 6
Loss Along Rod String (hp)	: 0.8	Pump Power (hp)	: 2.73
Tubing Size (in)	: 2.875	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr	: 0.12	N/No'	: 0.07
---------	--------	-------	--------

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 197.1	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
5368			
Total Load on Pump (lbs)	: 3671	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2773	Pump Intake Pressure (psi)	: 86
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 5068
TV Load (lbs)	: 9340		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u>
1)	1.125	975	30.5	0.4	O (0) 47
2)	1	1766	30.5	0.4	O (0) 47

Max Stress (surf.) (psi) : 19654 Min Stress (surf.) (psi) : 4982

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS UHS</u>
1	72	55	31
0.9	82	63	35
0.8	96	72	40
0.7	115	86	47

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 42.79% eff.</u>
Gross:	74.6	392 (24h/d)	168 (24h/d)
Net:	71.7	377 (24h/d)	161 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.9	Lost Displacement (bpd)	: 15
Loss Along Rod String (hp)	: 4.95	Pump Power (hp)	: 7.58
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.1 N/No' : 0.06

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 189.9	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
7441			
Total Load on Pump (lbs)	: 6815	Pump Bore Size (in)	: 2.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2741	Pump Intake Pressure (psi)	: 79
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 7141
TV Load (lbs)	: 14557		

1) 0.875 2630 30.5 70

Max Stress (surf.) (psi) : 17942 Min Stress (surf.) (psi) : 6602

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	58	44	44
0.9	67	50	50
0.8	79	59	59
0.7	97	70	70

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 67.2% eff.</u>
Gross:	47.4	161 (24h/d)	108 (24h/d)
Net:	44.8	152 (24h/d)	102 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 2.7 Lost Displacement (bpd) : 9
Loss Along Rod String (hp) : 0.58 Pump Power (hp) : 3
Tubing Size (in) : 2.875 Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : 0 Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.14 N/No' : 0.06

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 114 Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right
Overall Speed Ratio : 206.2 Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
5029
Total Load on Pump (lbs) : 4686 Pump Bore Size (in) : 2.25
Pump Load Adjustment (lbs) : 263 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 2630 Pump Intake Pressure (psi) : 31
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 4597
TV Load (lbs) : 10015

1) 0.875 2652 30.5 66

Max Stress (surf.) (psi) : 18386 Min Stress (surf.) (psi) : 6562

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS D</u>
1	60	46	42
0.9	70	52	48
0.8	82	61	55
0.7	100	73	66

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 51.2% eff.</u>
Gross:	47.4	164 (24h/d)	84 (24h/d)
Net:	44.6	154 (24h/d)	79 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 2.8	Lost Displacement (bpd)	: 10
Loss Along Rod String (hp)	: 0.59	Pump Power (hp)	: 3.12
Tubing Size (in)	: 2.875	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: 0	Pump Fillage (%)	: 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.14 N/No' : 0.06

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs)	: 114	Crank Rotation	: (CC'WISE)
- Well to right			
Overall Speed Ratio	: 203.2	Rod Damping Factors (up/down)	:
0.05 / 0.15			
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	:
5038			
Total Load on Pump (lbs)	: 4801	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 265	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 2652	Pump Intake Pressure (psi)	: 68
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 4605
TV Load (lbs)	: 10139		

**** ROD LOADING ****

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>
Guides	Loading			
1)	1	1500	30.5	0.3
2)	0.875	1053	30.5	0.3

Max Stress (surf.) (psi) : 14481 Min Stress (surf.) (psi) : 5554

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>NORRIS 90</u>
1	44	34	34
0.9	51	39	39
0.8	60	45	45
0.7	72	53	53

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	50.1	140 (24h/d)	112 (24h/d)
Net:	48.8	136 (24h/d)	109 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 1.3 Lost Displacement (bpd) : 4
 Loss Along Rod String (hp) : 1.18 Pump Power (hp) : 2.66
 Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 0
 Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.09 N/No' : 0.06

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 114 Crank Rotation : (C'WISE) -
 Well to right
 Overall Speed Ratio : 197 Rod Damping Factors (up/down) :
 0.05 / 0.15
 Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
 5770
 Total Load on Pump (lbs) : 3396 Pump Bore Size (in) : 2
 Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
 Pump Depth (ft) : 2553 Pump Intake Pressure (psi) : 111
 Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 5470
 TV Load (lbs) : 9466

**** ROD LOADING ****

<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u>
1) 1	776	30.5	0.2	N (0) 57
2) 1	1650	30.5	0.2	N (0) 48
3) 1	900	30.5	0.3	M (3) 30

Max Stress (surf.) (psi) : 23836 Min Stress (surf.) (psi) : 6845

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>TENARIS UHS</u>
1	87	66	37
0.9	101	76	42
0.8	119	88	48
0.7	146	106	57

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 43.95% eff.</u>
Gross: 110.1	389 (24h/d)	171 (24h/d)
Net: 107.1	378 (24h/d)	166 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 3	Lost Displacement (bpd) : 11
Loss Along Rod String (hp) : 5.92	Pump Power (hp) : 9.79
Tubing Size (in) : 3.5	Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : N/A	Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.08 N/No' : 0.08

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 456	Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right	
Overall Speed Ratio : 192.8	Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15	
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A	Buoyant Rod Weight (lbs) :
8149	
Total Load on Pump (lbs) : 5813	Pump Bore Size (in) : 2.25
Pump Load Adjustment (lbs) : 0	Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 3326	Pump Intake Pressure (psi) : 50
Pump Friction (lbs) : 200	SV Load (lbs) : 7849
TV Load (lbs) : 14262	

**** ROD LOADING ****

<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u>
1) 1.375	663	30.5	0.2	N (0) 41
2) 1	1650	30.5	0.3	M (4) 35

Max Stress (surf.) (psi) : 10265 Min Stress (surf.) (psi) : 2732

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>API D</u>
1	35	27	27
0.9	40	31	31
0.8	46	35	35
0.7	53	41	41

**** DOWNHOLE PERFORMANCE ****

<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 55.17% eff.</u>
Gross: 79.4	348 (24h/d)	192 (24h/d)
Net: 77.9	341 (24h/d)	188 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 1.6 Lost Displacement (bpd) : 7
Loss Along Rod String (hp) : 4.58 Pump Power (hp) : 5.47
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 0
Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100

**** Non-Dimensional Variables ****

Fo/S/Kr : 0.05 N/No' : 0.05

**** OTHER BASIC DATA ****

Reducer Rating (in-lbs) : 320 Crank Rotation : (CC'WISE)
- Well to right
Overall Speed Ratio : 195.4 Rod Damping Factors (up/down) :
0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) :
6325
Total Load on Pump (lbs) : 4419 Pump Bore Size (in) : 2.5
Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433
Pump Depth (ft) : 2313 Pump Intake Pressure (psi) : 129
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 6025
TV Load (lbs) : 11044