

**EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS EN OPERACIONES DE
WELLSERVICE, WORKOVER, PERFORACIÓN E INCORPORACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS A LAS CONDICIONES OPERATIVAS DEL CAMPO
CAÑO LIMÓN**

CARLOS FERNANDO MEJÍA AMAYA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2004

**EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS EN OPERACIONES DE
WELLSERVICE, WORKOVER, PERFORACIÓN E INCORPORACIÓN DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS A LAS CONDICIONES OPERATIVAS DEL CAMPO
CAÑO LIMÓN**

CARLOS FERNANDO MEJÍA AMAYA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero de Petróleos**

Directores

EDELBERTO HERNÁNDEZ TREJOS

Ingeniero de Petróleos

CARLOS E. BOTERO VILLA

Ingeniero de Petróleos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

A Dios, que siempre ha estado conmigo llenándome de bendiciones y sobretodo de mucha fuerza para poder cumplir con cada una de las metas que me he propuesto en la vida.

A mis padres Luis y Beatriz, por que sin su amor y apoyo no seria nada, todo lo que soy se lo debo a ellos y son los únicos responsables de todos mis logros.

A mis dos Lauras, mi hermanita que desde siempre ha estado conmigo en los buenos y malos momentos brindándome todo su cariño, y a mi Lali que es el motor de mi vida, la mujer que ha llenado mis días con su amor y dulzura.

A todos los integrantes de las familias Riaño y Meléndez quienes con su amistad sincera y apoyo incondicional se han convertido en mi mis amigos pero sobretodo en mi familia.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

La compañía OCCIDENTAL DE COLOMBIA INC., la cual me abrió sus puertas para poder conocer toda su infraestructura y tecnología.

Al Ingeniero de Petróleos CARLOS EDUARDO BOTERO VILLA, Superintendente de Producción e Ingeniería, quien con sus conocimientos y experiencia hizo de ésta práctica empresarial la experiencia laboral más enriquecedora.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo: Ismael, Armando, Victor, Jesús, Angélica, Luis...

A todas las demás personas, operadores y empleados de la Compañía OCCIDENTAL DE COLOMBIA INC., que de alguna manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

Al Ingeniero de Petróleos EDELBERTO HERNÁNDEZ TREJOS, profesor de la escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander UIS, director del Proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1 HISTORIA DEL CAMPO	16
1.1 Ubicación geográfica	17
2 GEOLOGÍA	18
3 SISTEMA DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO CAÑO LIMÓN	24
3.1 Facilidades de producción PF1 y PF2	24
3.2 Bombeo	31
3.3 Equipo contra incendios y otros	32
3.4 Generación y distribución eléctrica	34
3.5 Equipo electrosumergible	36
3.5.1 Equipo de superficie	36
3.5.2 Equipo de subsuelo	40
3.6 Bombas de cavidades progresivas	46
3.6.1 Principio de la bomba de cavidades progresivas	46
3.6.2 Características operacionales	49
3.6.3 Componentes de un sistema PCP típico	55
3.6.3.1 Elementos de fondo	55
3.6.3.2 Generalidades de los elementos de instalación en superficie	59
4 OPERACIONES DE WIRELINE	66
4.1 Herramientas	67
5 REGISTROS	68
5.1 Pruebas de presión	69
5.2 Herramienta de registros de presión	71
6 REGISTROS DE PRODUCCIÓN	74
6.1 Production log test, PLT	75

6.2 Herramienta para registros de producción	78
7 PERFORACIÓN	82
8 CAÑONEO	85
9 EQUIPO DE COMPLETAMIENTO	87
9.1 Tubería de producción	89
9.2 Empaques	92
9.2.1 Tapón puente	92
9.2.2 Empaques dobles de completamiento	93
9.3 Equipo Auxiliar de completamiento	94
10 CABEZAL DE PRODUCCIÓN	100
10.1 Sección A: cabezal de revestimiento	100
10.2 Sección B. carrete de la tubería de producción	101
10.3 Sección C: árbol de navidad	103
11. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS BOMBAS KC-15000 Y KC-20000	105
11.1 Conclusiones	115
11.2 Recomendaciones	116
12. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE INSTALACIONES PCP EN CAÑO LIMÓN	117
12.1 INSTALACIÓN LY-97	117
12.2 INSTALACIÓN LY-94	122
12.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Subdivisión estratigráfica de zonas productoras del campo Caño Limón	20
Tabla 2. Fallas debidas a la bomba	108
Tabla 3. Número de instalaciones	109
Tabla 4. Resultados obtenidos	114
Tabla 5. Sistema PCP#1 La Yuca 97	117
Tabla 6. Comparación de costos LY-97	121
Tabla 7. Sistema PCP#1 La Yuca 94	122
Tabla 8. Comparación de costos LY-94	126

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama del sistema general de producción	30
Figura 2. Trazado Oleoducto Caño Limón – Coveñas	31
Figura 3. Equipo electrosumergible de fondo	41
Figura 4. Cable plano y cable redondo	41
Figura 5. Motor de la bomba electrosumergible	42
Figura 6. Sello de la bomba electrosumergible	43
Figura 7. Bomba electrosumergible	44
Figura 8. Rotor y estator	46
Figura 9. Pasos de la bomba	47
Figura 10. Excentricidad	48
Figura 11. Lóbulos	48
Figura 12. Bomba 1:2	50
Figura 13. Componentes de un sistema PCP	55
Figura 14. Ancla antitorque	56
Figura 15. Pin de paro	57
Figura 16. Centralizador	59
Figura 17. T de flujo	60
Figura 18. Variadores	64
Figura 19. Arreglo de Fondo	84
Figura 20. Sarta de cañoneo	85
Figura 21. Completamiento típico	88
Figura 22. Número de fallas del equipo ESP	106
Figura 23. Número de fallas del equipo ESP	107
Figura 24. Fallas exclusivamente de la bomba	110
Figura 25. Run life promedio para fallas debidas a la bomba	111

Figura 26. Resumen de fallas por bomba	112
Figura 27. Diseño en AUTOGRAPH	113
Figura 28. Comparación de BOPD/Kw LY-97	121
Figura 29. Comparación BOPD/Kw en LY-94	127

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Vista general de las Facilidades (PF2)	24
Foto 2. Tanque de tratamiento FWKO de 100000 Bbl de capacidad	25
Foto 3. Sistema de gas condensado	25
Foto 4. Tea de baja y alta presión	26
Foto 5. Tanques de almacenamiento de capacidad 100000 Bbl	26
Foto 6. Bombas de transferencia de los tanques de almacenamiento	27
Foto 7. Tanques cabeza de agua	27
Foto 8. Desnatadores (WEMCO)	28
Foto 9. Piscinas de enfriamiento	28
Foto 10. Piscinas de tratamiento	29
Foto 11. Anillos instalados en los FWKO's	29
Foto 12. Estación de bombeo PS1	32
Foto 13. Sistema contra incendios	33
Foto 14. Prácticas contra incendios	34
Foto 15. Motor de la planta de fuerza	35
Foto 16. Transformador elevador	36
Foto 17. Transformador reductor	37
Foto 18. Arrancador directo	37
Foto 19. Arrancador suave	38
Foto 20. Variador	39
Foto 21. Pig tail	39
Foto 22. Pack off	40
Foto 23. Quick connector	40
Foto 24. Intake	44
Foto 25. Sello, motor y bomba	45

Foto 26. Registro PLT	75
Foto 27. Herramienta PLT	79
Foto 28. Taladro de Perforación	82
Foto 29. Torre para Servicio a Pozo	87
Foto 30. Tubería de Producción	89
Foto 31. “Y” tool	94
Foto 32. Tapón Ciego	95
Foto 33. Tubo instrumento	97
Foto 34. Árbol de navidad	100
Foto 35. Tubing spool	102
Foto 36. Tubing hanger	102
Foto 37. Elementos usados en la instalación	119
Foto 38. Cabezal LY-97	119
Foto 39. Rotor y cabezal en LY- 94	124
Foto 40. Cabezal	125

TITULO: EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS EN OPERACIONES DE WELLSERVICE, WORKOVER, PERFORACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS A LAS CONDICIONES OPERATIVAS DEL CAMPO CAÑO LIMÓN*

AUTOR: CARLOS FERNANDO MEJÍA AMAYA**

PALABRAS CLAVES: Caño Limón, Bombeo Electrsumergible, Bombas KC-15000 y KC-20000, Bombas de Cavidades Progresivas, Operación, Producción.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

El campo de petróleo “Caño Limón” está ubicado 60 Km. al occidente de Arauca, ciudad capital del departamento de Arauca, está ubicado en el área del contrato denominado “Cravo Norte A”, y es operado por Occidental de Colombia Inc.

Con el objetivo de reducir costos procedentes de la instalación del equipo de bombeo electrosumergible (ESP), se plantea un estudio del comportamiento de las bombas KC-15000 y KC-20000. Para alcanzar dicho objetivo es necesario realizar una comparación técnica, estadística y financiera entre las dos bombas, para decidir que condiciones permiten un buen desempeño de cada una de las bombas.

La instalación de un sistema de bombas de cavidades progresivas es una solución interesante para optimizar la producción, pues logra reducir tanto los costos de inversión, como los de operación, sí se compara con las instalaciones electrosumergibles (ESP). Varios casos de campo han demostrado la reducción en los costos por barril de petróleo, al tener un menor consumo de electricidad (reducción de la relación BOPD/kWh) y unos menores costos de mantenimiento; por ende se presenta de forma general el funcionamiento y los principales componentes de una instalación de bombeo de cavidades progresivas (PCP). Finalmente, se realiza una breve descripción de su implementación en el Campo Caño Limón como sistema de levantamiento para dos pozos de baja tasa de producción.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico – Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos.
Directores: Ing. Edelberto Hernández Trejos, Ing. Carlos Botero Villa

TITLE: PROBLEMS EVALUATION IN WELLSERVICE, WORKOVER, DRILLING OPERATIONS AND INCORPORATION OF NEW TECHNOLOGIES TO THE OPERATIVE CONDITIONS OF THE CAÑO LIMON FIELD.

AUTHOR: CARLOS FERNANDO MEJÍA AMAYA**

KEY WORDS: Caño Limón, Electrosumergible Pumping, KC-15000 and KC-20000 Pumps, Progressive Cavities Pumping, Operation, Production.

DESCRIPTION OR CONTENT:

The oil field "Caño Limón" is located 60 Km to the west of Arauca, capital city of the department of Arauca, it is located in the area of the denominated contract "Cravo Norte A", and it is operated for Occidental de Colombia Inc.

With the objective of reducing costs coming from the installation of the electrosumergible pumping (ESP), is presented a study of the bombs KC-15000 and KC-20000 behavior. To reach this objective it is necessary to carry out a technical comparison, statistic and financial among the two bombs, to decide what conditions allow a good performance of each one bombs.

The progressive cavities pumping installation is an interesting solution to optimize the production, because it is able to reduce the investment so much, as of the operation, if it is compared with the electrosumergible pumping (ESP). Several field cases have demonstrated the costs reduction per oil barrel, because having smaller electricity consumption (reduction of the relationship BOPD/Kwh) and smaller maintenance costs; then it is presented in a general way the operation and the main components of an installation of progressive cavities pumping (PCP). Finally, is realized a brief description of their implementation in the Caño Limón Field like artificial lifting system for two wells with low production rate.

*Degree Project

**Physical – Chemical Engineering Faculty, Petroleum Engineering School.
Advisers: Eng. Edelberto Hernández Trejos, Eng. Carlos Botero Villa

INTRODUCCIÓN

La pasantía empresarial es la mejor oportunidad para poner en práctica todas las bases adquiridas gracias al estudio teórico práctico recibido en la cátedra y los diferentes laboratorio.

Occidental de Colombia Inc, es una multinacional con gran experiencia en el negocio de los hidrocarburos, reconocida a nivel mundial por sus altos estándares de calidad y el profesionalismo de todo su personal

Por medio de este informe se presenta una breve reseña de lo que implica la operación en el campo Caño Limón y toda la infraestructura que lleva consigo todo éste proceso, también resaltar las actividades que realiza la empresa en toda la parte de operativa, describiendo la manera en que se desarrollan y las tecnologías aplicadas en cada una de ellas.

Además de esto se incluyen algunos de los proyectos desarrollados como: Estudio del comportamiento de las bombas KC-15000 y KC-20000, y Análisis del desempeño de las bombas de cavidades progresivas instaladas en dos pozos cíclicos, debido a los problemas presentados por éstos es sus cierres y arranques(con el sistema de bomba electrosumergible), se decidió aplicar ésta tecnología para conseguir un caudal constante; de ésta manera se hablará de aspectos técnicos, especificaciones y procedimientos entre otras cosas.

1. HISTORIA DEL CAMPO

El campo Caño Limón fue descubierto el 13 de julio de 1983 por la Compañía OCCIDENTAL DE COLOMBIA, INC. con el pozo Caño Limón 1, produciendo de la formación Mirador Inferior 3.425 barriles de petróleo por día (BOPD). El campo Caño Limón produce principalmente de la arenisca Mirador, a una profundidad promedio de 7.600 pies, aunque se tienen pequeñas contribuciones de alguna importancia de la formación Carbonera Superior.

La energía del yacimiento está constituida por un empuje frontal de agua. El petróleo tiene una presión de burbuja aproximadamente de 50 psi y una relación gas-petróleo de 10 pies cúbicos de gas por barril fiscal de petróleo; por lo tanto, en la vida productiva del yacimiento no se formará fase gaseosa.

El 1 de julio de 1980, ECOPETROL y OCCIDENTAL DE COLOMBIA, INC. firmaron el Contrato de Asociación Cravo Norte para exploración de petróleo en un bloque de 5 millones de hectáreas, ubicado en el departamento de Arauca.

A finales de 1984 fue declarado campo comercial y a partir de esa fecha ECOPETROL participa en la producción y comparte la inversión en un 50%. El 8 de diciembre de 1985 se inició la producción comercial con 19 pozos perforados con una producción promedio de 80.000 barriles de fluido por día.

Actualmente el campo Caño Limón tiene 228 pozos perforados con una producción promedio de 100.000 BOPD y 1'780.000 Bbls. de agua para un corte de agua de 93%.

La operación la realizan conjuntamente ECOPETROL y OCCIDENTAL DE COLOMBIA, INC. ECOPETROL es el operador del oleoducto mientras OCCIDENTAL DE COLOMBIA, INC. opera el campo.

1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El campo de petróleo “Caño Limón” está ubicado 60 Km. al occidente de Arauca, ciudad capital del departamento de Arauca, por la vía que conduce a Arauquita y hacia el centro del país. Está ubicado en el área del contrato denominado “Cravo Norte A”, que es una de las siete áreas de exploración que OCCIDENTAL opera en la región de Los Llanos.

El bloque “Cravo Norte” abarca 260.000 hectáreas localizadas en el extremo norte de los Llanos Orientales entre las poblaciones de Arauquita y el caserío de “La Yuca”. El campo está localizado aproximadamente medio kilómetro al sur del río Arauca.

2. GEOLOGÍA

Las arenas que conforman los yacimientos del campo Caño Limón comprenden del Cretáceo al Oligoceno. Estas arenas son deltáicas pobremente consolidadas, con una profundidad promedio de 7600 ft. El mecanismo de producción es un empuje hidráulico activo.

El campo se encuentra situado sobre el arco de Arauca en el flanco Norte de la cuenca de los Llanos Orientales. Al Norte se encuentran las cuencas de Barinas y Apure. Al Este se encuentra el escudo granítico de Guyana y al Oeste, la cordillera de los Andes.

La región norte de los llanos es un flanco monoclinal de la cuenca que desciende en dirección Oeste con buzamientos muy leves. Esta zona está afectada por un fallamiento significativo orientado en dirección noreste – suroeste.

El campo comprende tres cierres estructurales, cada uno asociado con un área productiva, denominados Caño Limón, Matanegra y la Yuca. Estas estructuras aparentemente fueron formadas por el movimiento lateral de la falla Caño Limón, y el desplazamiento asociado de las fallas convergentes Matanegra y La Yuca.

El campo se puede dividir en tres estructuras: Matanegra, Caño Limón – La Yuca y Redondo.

La estructura Caño Limón – La Yuca está compuesta por pliegues anticlinales con cabeceo suroeste unidos entre sí por un área sinclinal. Estos pliegues presentan buzamientos leves. Los buzamientos más altos

son observados en el flanco sureste de la estructura La Yuca contra la falla del mismo nombre.

La estructura Matanegra es el área mas alta del campo. Esta zona contiene el mayor número de zonas productivas. Esta estructura es un yacimiento separado de la estructura Caño Limón – La Yuca y por lo tanto tiene un contacto agua – aceite diferente.

La sección estratigráfica del campo comprende 9200 ft de columna sedimentaria y se extiende desde el Precretácico hasta el Cretáceo reciente.

Se presentan tres discordancias en la secuencia estratigráfica: Una basal que separa la sección precretácica de los sedimentos del Cretáceo Superior, una media entre el Cretáceo Superior y el Carbonera Inferior Eoceno y una superior entre el Carbonera Inferior y la sección basal de la formación Carbonera Superior del Oligoceno.

Los estratos productores del campo Caño Limón comprenden cuatro formaciones sedimentarias, de las cuales, la más importante es la formación Carbonera Inferior / Mirador del Eoceno la cual contiene el 80% del petróleo total “in situ” del campo.

Las otras formaciones productoras son el K1 y el K2A pertenecientes al Cretáceo tardío (Cenoniano) y la formación Carbonera Superior perteneciente al Oligoceno. Estos estratos se subdividen después teniendo en cuenta las diferencias litológicas y petrofísicas identificables.

Tabla 1. Subdivisión estratigráfica de zonas productoras del campo Caño Limón

<i>EDAD</i>	FORMACIÓN	MIEMBRO	ÁREAS PRODUCTORAS*	ESPESOR (m – ft)	
Oligoceno Temprano a Mioceno Medio	Carbonera Superior	Superior C4	CL – LY	9 – 30	
		Basal C5	CL – LY – MN	10 – 30	
Cretáceo Superior a Eoceno Tardío	Carbonera Inferior (Mirador)	M1A	CL – LY – MN	80 – 260	
		M1B	CL – LY – MN		
		M1C1	CL – LY – MN		
		M1C2	CL – LY – MN		
		M2A	CL – LY – MN		
		M2B	CL – LY – MN		
		M3A	CL – LY – MN		
		M3B	CL – LY – MN		
		M3C	CL – LY – MN		
		M4A	CL – LY – MN		
		M4B	CL – LY – MN		
Cretáceo	LK1	K1	A MN	76 – 250	
			B MN – LY		
			C MN – LY		
			D MN – LY		
			E MN – LY		
		K2A		1 MN	76 – 250
				2 MN	
				3 MN	
				4 MN	

* Las abreviaciones CL, LY y MN significan Caño Limón, La Yuca y Matanegra respectivamente.

A, B, C, D y E son arenas pertenecientes al miembro K1.

1, 2, 3 y 4 son arenas pertenecientes al miembro K2A.

En Colombia y en especial en el campo Caño Limón la secuencia estratigráfica con interés petrolífero se analiza a partir del Cretáceo Superior y es denominada cobertura productiva.

La sección del Cretáceo corresponde a las formaciones Guadalupe y Gachetá, compuestas principalmente por areniscas finas, cuarzosas con intercalaciones de arcillolitas; su espesor es superior a los 150 m. En el campo Caño Limón se ha dividido el Cretáceo en cuatro unidades operacionales limitadas por discordancias; estas son K3, K2A, K2B Y K1, de la base al tope. La finalidad de esta división es puramente práctica. Las unidades K3 y K2B no son productoras en el campo Caño Limón. Las unidades K2A y K2B están separadas por una arcilla continua de origen marino. La unidad K2A es productiva en la estructura Matanegra.

El reservorio K2A es en general homogéneo y presenta buena continuidad lateral. El espesor aproximado de esta unidad es de 270 ft (82 m).

El Cretácico K2 fue acumulado en un ambiente marino y por contenido palinológico se le atribuye una edad Senoniana.

La unidad K1 ha sido dividida en tres miembros: Inferior, Medio y Superior. Está constituida por intercalaciones de arena, en su mayoría macizas, calcáreas y lutitas. Presentan permeabilidades más bajas que otras arenas productivas. El espesor promedio de las arenas K1 es de 250 ft.

El miembro inferior de K1 corresponde al Sentoniano – Campaniano. Está caracterizado por un cuerpo arcilloso lutita La Yuca. El ambiente de depositación es prodelta.

El miembro medio presenta areniscas calcáreas las cuales son un nivel de referencia excelente para las correlaciones estratigráficas. No constituyen cuerpos almacenadores de crudo en grandes cantidades, debido al alto grado de bioperturbación.

El miembro superior de K1 está compuesto por intercalaciones de areniscas arcóscicas de grano fino a medio intercaladas con lutitas. Estas arenas son las más importantes productoras de aceite en la unidad K1 y poseen excelentes porosidades y permeabilidades. Posiblemente estas areniscas se depositaron en ambientes cercanos a la costa.

Las unidades K1 y K2 están separadas por una arcilla de considerable extensión lateral que sirve de sello para el petróleo acumulado en el miembro k2 y que determina el contacto agua – aceite diferente al del miembro K1 y Mirador.

En el campo Caño Limón, la sección del Terciario está conformada por cuatro formaciones: Carbonera Inferior / Mirador, Carbonera Superior, León y Guayabo, compuestas en general por areniscas arcillosas, areniscas arcóscicas, cuarcíticas, por arcillolitas y algunas intercalaciones de lutitas. Su profundidad promedio es de 7600 ft. aproximadamente.

La formación Carbonera Inferior / Mirador está conformada por arenas deltáicas de amplia distribución y están presentes en todos los pozos perforados hasta hoy. Se ha dividido en seis unidades correlacionadas con el objeto de optimizar su explotación. Estas arenas presentan excelentes características petrofísicas y son productivas en todas las estructuras del campo Caño Limón. El espesor es de 260 ft. Están conformadas principalmente por areniscas, las cuales constituyen dos tercios de la formación, presentan granos de cuarzo de tamaño medio a conglomerático con buena selección, alternando con lutitas y arcillolitas. Estas areniscas son consideradas de buena calidad y presentan altas permeabilidades. Las intercalaciones de arcillolitas y lutitas dividen la formación en cuatro miembros (M1, M2, M3 y M4 de acuerdo a la nomenclatura de la compañía), los cuales a su vez se han subdividido para optimizar la explotación.

La formación Carbonera Superior está conformada por areniscas de grano grueso a medio y de regular a buena selección, las cuales son reconocidas como areniscas deltáicas de canal. Está compuesta por cinco miembros (del tope a la base C1, C2, C3, C4 y C5), de los cuales solo C4 y C5 han resultado productivos, los cuales tienen un espesor promedio de 248 ft. en el área Caño Limón – La Yuca y de 214 ft. en la estructura de Matanegra.

Las formaciones León y Guayabo no son productoras y proceden del Mioceno Medio. La formación León está conformada casi en su totalidad

por lutitas con una serie de areniscas de unos 60 ft. de espesor en la mitad de la formación. La formación Guayabo con un espesor promedio de 5400 ft, está conformada básicamente por arcillolitas abigarradas, lutitas pardas y grises con intercalaciones de areniscas arcillosas con partes conglomeráticas.

3. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO CAÑO LIMÓN

El campo Caño Limón está conformado por la zona de producción de petróleo (pozos), dos áreas de facilidades de producción donde se trata el crudo (Production Facilities # 1 - PF1 y Production Facilities # 2 - PF2) y adyacente a PF1 esta el área de la primera estación de bombeo (Pump Station 1 - PS1) donde se bombea el crudo tratado hacia el puerto de Coveñas en el mar Caribe.

La producción del campo proviene de seis yacimientos llamados Caño Limón, Matanegra, La Yuca, Caño Yarumal, Redondo y Caño Verde, con un área de 100 Km² aproximadamente.

La tasa de producción mensual de crudo total actualmente en promedio es de 100.000 bbl. El crudo es extraído con bombas electrosumergibles diseñadas para levantar el fluido a la superficie y descargarlo en un sistema común de recolección (gathering system) que conecta todo el campo con las facilidades de producción PF1 y PF2.

3.1 FACILIDADES DE PRODUCCIÓN PF1 Y PF2



Foto 1. Vista general de las Facilidades (PF2)

El propósito de la facilidad es separar el agua, los sedimentos y el gas del fluido proveniente de los pozos. El gas separado se quema en una tea, su proporción es muy pequeña, no vale la pena recuperarlo (5 - 10 ft³ de gas por barril de crudo). El agua es tratada y enviada a unas piscinas de enfriamiento para luego disponerla en las lagunas, el crudo se almacena para bombearlo al oleoducto desde la estación de bombeo PS1.



Foto 2. Tanque de tratamiento FWKO de 100000 Bbl de capacidad

Cuando entra el fluido de los pozos es enviado a los tanques de lavado llamados FWKO (Free Water Knock Out) a través de unas botas de gas. Una pequeña cantidad de gas se separa en las botas. El gas separado es recolectado en un sistema llamado de alta presión y luego de separarle los condensados pasa a la tea donde se quema. El condensado es reinyectado a la línea de aceite limpio proveniente de PF2 y el agua se reinyecta al sistema de los FWKO's.



Foto 3. Sistema de gas condensado

El fluido total proveniente de los pozos entra a los FWKO's, en los cuales el aceite y el agua se separan por gravedad ayudados por una serie de placas de desviación, dispersión y un químico desemulsificante. El agua pasa a través de la pierna de agua que hidrostáticamente realiza el balance para mantener dentro del tanque los colchones de aceite y agua.

Una pequeña cantidad de gas separada en los tanques pasa a un sistema de baja presión y termina luego en una tea de baja presión .

Foto 4. Tea de baja y alta presión



El aceite pasa por rebose de los FWKO's a los tanques de almacenamiento; de estos es transferido a PS1 usando las bombas de transferencia y unidades de medición (LACT) marca Daniels.



Foto 5. Tanques de almacenamiento de capacidad 100000 Bbl



Foto 6. Bombas de transferencia de los tanques de almacenamiento

El agua separada en los FWKO's pasa a los tanques de cabeza de agua. Esta agua contiene aproximadamente aceite disuelto entre 40 y 50 ppm. En estos tanques de cabeza se produce alguna segregación de crudo por gravedad, el cual es recolectado y bombeado nuevamente a los FWKO's.



Foto 7. Tanques cabeza de agua

El agua para tratar es bombeada, de los tanques de cabeza por bombas hacia las celdas de flotación llamadas WEMCOS, donde la mayoría del aceite es

separado con la ayuda de un químico clarificador. El agua limpia sale de las WEMCO's con menos de 10 ppm de aceite. La nata aceitosa es enviada a los FWKO's nuevamente.



Foto 8. Desnatadores (WEMCO)

El agua de este proceso es enviada a las piscinas de enfriamiento: una piscina de recibo, otra intermedia y otra de entrega, de donde se toma el agua mediante bombas que la envían a un cabezal de boquillas de enfriamiento. El agua en forma de neblina se junta con el aire y se enfría, va a una piscina de enfriamiento que la dirige luego a unas lagunas.



Foto 9. Piscinas de enfriamiento



Foto 10. Piscinas de tratamiento

La capacidad de almacenamiento total del campo se puede resumir así:

Tanques de almacenamiento en PS1:

TK-101 (41722 Bbl); TK-102: (41722 Bbl); TK-103: (41722 Bbl); TK-106: (470 Bbl); TK-107: (396 Bbl); TK-108 (95429 Bbl); TK-109 (93988 Bbl); TK-110 (93941 Bbl).

En los tanques de almacenamiento de PF1:

TK-203A (34974 Bbl); TK-203B (34989 Bbl); TK-204A (1661 Bbl); TK-204B (1661 Bbl).

En los tanques de almacenamiento de PF2:

TK-703A (84741 Bbl); TK-703D (77680 Bbl); TK-704A (1661 Bbl); TK-704B (1661 Bbl).



Foto 11. Anillos instalados en los FWKO's

Además, en los FWKO's se han colocado anillos móviles cuya función es bajar la altura de la interfase agua-crudo, permitiendo que se almacene una cantidad determinada de crudo en caso de emergencia; así:

En PF1:

FWKO-202A (19600 Bbl); FWKO-202B (18200 Bbl).

En PF2:

FWKO-702A (18200 Bbl); FWKO-702B (18200 Bbl); FWKO-702C (18200 Bbl);
FWKO-702D (18200 Bbl); FWKO-702E (12600 Bbl); FWKO-703B (12600 Bbl);
FWKO-703C (12600 Bbl).

Entonces se tiene una capacidad de almacenamiento así:

Capacidad en tanques de almacenamiento: 648.418 Bbl.

Capacidad de almacenamiento en FWKO's: 148.400 Bbl.

Capacidad total de almacenamiento en el campo: 787.423 Bbl.

En la figura 1 se observa el esquema general del sistema de producción.

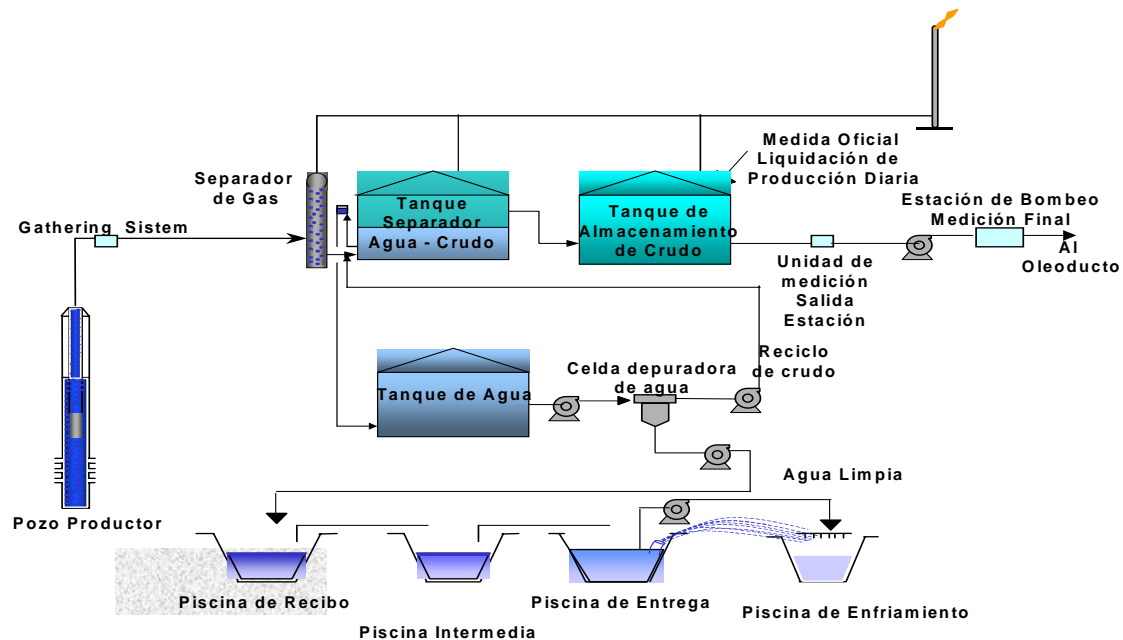


Figura 1. Diagrama del sistema general de producción

3.2 BOMBEO

El crudo almacenado en PS1 es sacado de los tanques por cinco bombas alimentadoras y luego pasa la succión de cinco bombas principales que elevan la presión hasta 2200 psi para desplazar el producto a PS1-A ubicada en Banadía. Luego a PS2 (Samoré); de donde es bombeado a PS3 (Toledo), posteriormente a PS4 (Orú) y finalmente a Ayacucho y Coveñas. En Ayacucho el oleoducto se une a una red existente que conecta con Barrancabermeja y Cartagena.



Figura 2. Trazado Oleoducto Caño Limón - Coveñas

Las bombas que llevan el crudo al oleoducto son movidas por motores que pueden operar con diesel o crudo de 8 cilindros en línea con 3379 HP a 720 RPM.



Foto 12. Estación de bombeo PS1

3.3 EQUIPO CONTRA INCENDIO Y OTROS

Este aspecto es uno de los más importantes dentro del campo, es por ello que los equipos contra incendio se consideran críticos. Existen tanques de agua y espuma, bombas y skids, que alimentan las redes de protección contra incendios de las facilidades y de las salas de máquinas, la mayoría de estos equipos actúan automáticamente por sistemas de control que detectan humo o chispas y que operan las válvulas que permiten el paso de esos fluidos al sitio del conato o del incendio. Las bombas principales de estos equipos son movidas por motores diesel de bajo caballaje (menos de 200 HP).



Foto 13. Sistema contra incendios

Obviamente todas las operaciones que se han mencionado hasta ahora cuentan con su instalación completa de válvulas, tuberías, sirenas, controladores, interruptores, instalaciones eléctricas, instrumentos de medición y demás accesorios necesarios para su funcionamiento. Además en un campo de éstas características se debe contar con equipos que no son de operación pero si de mantenimiento o logísticos: vehículos, grúas, puente-grúas, elevadores, montacargas, tornos, fresadoras y máquinas herramientas en general, compresores de aire para instrumentación o arranque de máquinas, instrumentos de mantenimiento predictivo, etc.

En cuanto a instrucción; la compañía prepara algunas charlas, conferencias y prácticas contraincendios, en las cuales participa todo el personal de la compañía.



Foto 14. Prácticas contra incendios

3.4 GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

La operación del campo petrolero sería imposible sin ayuda de la energía eléctrica. Para cubrir las necesidades de energía requerida se tienen dos métodos complementarios de consecución; la importación o compra de energía al sistema nacional y la generación propia en plantas de fuerza en PF1 y PF2.

La interconexión con el sistema nacional es realizada con la subestación ISA en Caño Limón. La línea viene de la subestación los Palos de Bucaramanga a 230 KV, en Caño Limón se reduce el nivel a 34.5.

Se tienen dos centrales de generación; en PF1 seis generadores con capacidad de 2.2 MW cada uno y en PF2 cuatro generadores con capacidad de 8 MW cada

uno. Adicionalmente se tienen tres generadores de respaldo que mantienen energía en los equipos esenciales de cada área.



Foto 15. Motor de la planta de fuerza.

Los seis generadores de PF1 son accionados por motores diesel de 8 cilindros en línea con 3379 HP a 720 RPM, los de PF2 con motores diesel de 16 cilindros en V con 11842 HP a 600 RPM. La máquina puede operar con combustible diesel o crudo de producción, sin embargo siempre se debe parar o arrancar con combustible diesel, para evitar que se pegue. El crudo de producción para ser usado es bombeado desde los tanques de almacenamiento de la facilidad hasta unos módulos de centrifugación donde tres unidades separan por acción centrífuga los lodos dejando el crudo purificado para enviarlo a los tanques de consumo diario. Luego el crudo es bombeado por la bomba de crudo, pasa por unos calentadores y filtros hasta llegar a las bombas inyectoras y a los inyectores de cada cilindro. La lubricación del motor es forzada por una bomba mecánica acoplada directamente al motor. Una bomba de prelubricación acoplada a un motor eléctrico, sirve para lubricar las parte móviles durante el arranque. El calor absorbido por el aceite durante su tarea es removido en un radiador por ventiladores (Fan Coolers), luego es filtrado y se retorna a la máquina. El agua de enfriamiento circula a través de las camisas y las culatas de la máquina removiendo el calor de la combustión y el calor generado por fricción en los pistones, el circuito de agua tiene una bomba de recirculación en camisas y una para válvulas y una tanque de reserva elevado, para mantener el

nivel de refrigerante, este se enfría en el radiador. La mezcla de combustible del motor es sobrealimentada por turbocargadores, uno para cada banco o línea de cilindros.

3.5 EQUIPO ELECTROSUMERGIBLE

De acuerdo a las características del campo, se ha determinado que el método de levantamiento artificial más apropiado para la producción del campo es el bombeo electrosumergible.

El equipo electrosumergible esta dividido en dos grupos; el equipo de superficie y el equipo de fondo.

3.5.1 Equipo de superficie

Lo conforman los equipos que permiten suministrar la potencia eléctrica necesaria para operar los equipos de fondo, de acuerdo a los parámetros de diseño.

Una instalación típica consta principalmente de un transformador reductor (SDT), el controlador del motor, el transformador elevado (SUT), la caja de venteo o de conexiones y el cabezal del pozo. La potencia en superficie se mide en KVA y varia entre 125 y 1000 KVA.



Foto 16. Transformador elevador

El transformador reductor (SDT) permite reducir el voltaje de la línea de distribución de alta tensión, al voltaje requerido en la entrada del controlador de frecuencia. En el campo se tienen en la actualidad 208 pozos en funcionamiento; el voltaje promedio con que trabajan varía de acuerdo al tipo de motor, bomba y caudal a producir.



Foto 17. Transformador reductor

El controlador del motor es utilizado para regular el arranque y los parámetros de operación del motor desde superficie. Permite controlar y mantener la frecuencia a la cual el operador desea que trabaje el motor de la bomba, al tiempo que permite mantener la relación Voltios/Hertz del equipo.

Existen tres tipos de controladores: El arrancador directo, el arrancador suave y el controlador de frecuencia variable. El arrancador directo posee protección por sobrecarga y baja carga, y opera el motor a una frecuencia de 60 Hertz.



Foto 18. Arrancador directo

El arrancador suave está diseñado para controlar la corriente y el voltaje durante el periodo de arranque, de tal forma que el voltaje es incrementado de forma gradual hasta alcanzar el voltaje de los 60 Hertz nominales del sistema.



Foto 19. Arrancador suave

El controlador del sistema o variador, controla el voltaje de tal forma que la frecuencia de operación regula la velocidad de la bomba, obteniendo un amplio rango de caudales de acuerdo al tipo de bomba.

El variador consta de un sistema de control inteligente que le permite maniobrar las funciones de las variables para optimizar la producción. Este equipo puede ser programado en modo de frecuencia, de tal forma que la frecuencia permanece constante y la corriente puede variar. Otra forma de programación es el modo corriente, en el cual la corriente permanece fija y varía la frecuencia para ajustar la carga del motor a la corriente máxima fijada. El campo cuenta con variadores Robicom; este tipo de arrancador no tiene SUT y además, la onda de frecuencia de salida es de doce pasos (en los otros es de seis) por ello es un poco más senoidal y por ello no produce armónicos y hay menor potencia disipada. Hay variadores tipo "Oil Cooled"; reciben este nombre ya que vienen refrigerados con aceite, del tipo Integrate Control System y con variador tipo REDA.



Foto 20. Variador

El transformador elevador permite incrementar el voltaje del controlador de frecuencia al nivel tensión necesaria para que el motor opere eficientemente.

La caja de venteo constituye el punto de conexión eléctrica entre el cable de potencia de subsuelo con el cable proveniente del sistema de control. También permite ventear cualquier migración de gas proveniente del pozo a través del cable.

El cabezal de pozo cuenta con los accesorios que permiten conectar el sistema de potencia de superficie con el cable de potencia de fondo, pasándolo a través del colgador de tubería. Hay de tres tipos: tipo “pig tail”, que básicamente es conector a lado y lado, pero con el inconveniente de que la unión de cable es un punto débil y por este puede fallar el cable. Pero tiene la propiedad de que crea un buen sello hidráulico y por ello tiene buena garantía por alta presión.



Foto 21. Pig Tail



El tipo “Pack Off”, donde el cable entra con empaques sin necesidad de cortarlo, pero no presenta buenas garantías de sello hidráulico a alta presión.



Foto 22. Pack Off

Y el tipo “Quick Connector”; ésta es una mezcla de los dos tipos; ya que presenta la unión de cable pero con un nuevo sistema y además se recubre con una resina que crea un buen sello hidráulico. Evita la colocación de la caja de venteo.



Foto 23. Quick Connector

3.5.2 Equipo de subsuelo

Está conformado básicamente por el cable de potencia, el motor, el sello y la bomba.

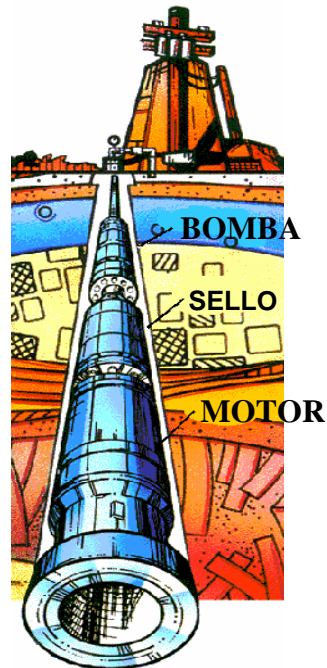


Figura 3. Equipo electrosumergible de fondo

El cable de potencia es un conductor de tres fases, a través del cual se transmite desde superficie la corriente eléctrica requerida para el motor. La temperatura, el voltaje y la corriente del motor rigen su diseño. Esta dividido principalmente en dos partes; la parte más profunda que es cable plano, debido al diámetro exterior de la bomba. Y la parte superior, que es cable cilíndrico.

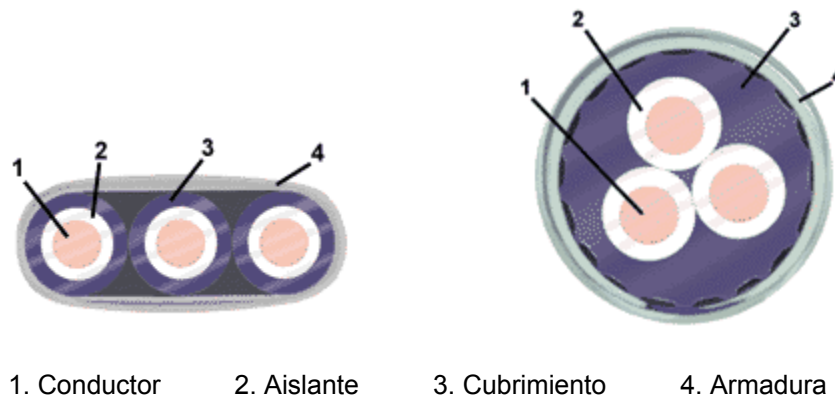


Figura 4. Cable plano y cable redondo.

El motor es el elemento encargado de suministrar la potencia necesaria para mover la bomba. Consiste en un motor trifásico bipolar, el cual utiliza el principio básico de los motores de inducción magnética, jaula de ardilla. Las principales partes del motor son: el estator, conjunto de rotores y otros elementos mecánicos.

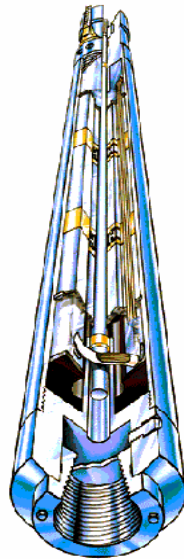


Figura 5. Motor de la bomba electrosumergible.

El motor internamente se encuentra lleno de un aceite refinado de alta capacidad dieléctrica y conductividad térmica, cuya principal función es mantener lubricadas sus partes giratorias, y en menor escala transferir el calor producido por el motor durante su operación a la carcasa de donde es disipado por el fluido de producción. Un motor se diseña de acuerdo a los requerimientos de potencia de la bomba, al gradiente del fluido y a la cabeza dinámica total a ser levantada. El caballaje de los motores varía desde 76 HP hasta 760 HP.

El sello consiste en un conjunto de cámaras las cuales pueden ser de tipo laberinto o de tipo bolsa de expansión. El sello cumple las siguientes funciones:

- Evitar la transferencia al motor del esfuerzo axial producido por el empuje de las etapas de la bomba y la cabeza del fluido.
- Evitar la contaminación del motor con el fluido del pozo.

- Permitir la expansión del aceite dieléctrico de los motores debido al incremento de la temperatura en el pozo y a su funcionamiento.

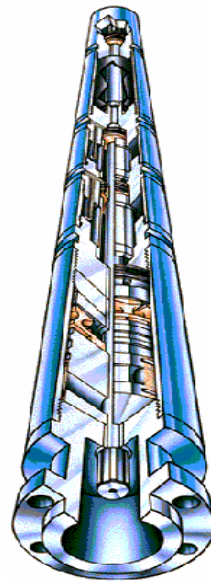


Figura 6. Sello de la bomba electrosumergible.

La bomba consiste en un arreglo de varias etapas de tipo centrífugo. Cada etapa consta de un rotor o impulsor rotativo y de un estator o difusor estacionario. El número y tipo de estas etapas son determinados de acuerdo a la producción deseada y a la cabeza total por levantar.

En la bomba, el impulsor de la primera etapa recibe el fluido que entra por el "intake". La velocidad inicial del fluido de entrada es cero. El primer impulsor toma el fluido entre sus alabes y le imprime cierta velocidad, entregándolo a la siguiente etapa con una velocidad inicial. La configuración geométrica del difusor permite convertir la energía cinética del fluido en presión, gracias a los cambios en el área y velocidad de flujo. Luego, el siguiente impulsor toma el fluido y cambia la presión a energía cinética. El proceso continúa de esta forma hasta llegar a la última etapa en donde el fluido alcanza la descarga de la bomba con una presión acumulada a lo largo de todas las etapas, que le permite vencer la columna hidrostática hasta la superficie.

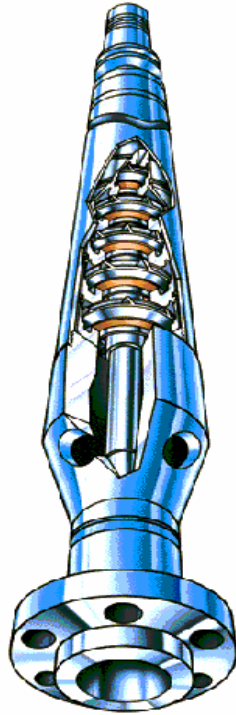


Figura 7. Bomba electrosumergible



Foto 24. Intake

El campo cuenta con diferentes tipos de bombas; la más utilizadas son las KC15000 y KC20000, también se usan: KC12000, GC8200, GC4100, GC6100,

GC2900, HC19000, FC1800, GC1700, FC650, FC450, GC1150, GC1200, FC1600, DN1750, FC2100, GN4000, TG5600, HN13500, HR21000, HC27000 y HC35000.



Foto 25. Sello, Motor y Bomba

3.6 BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS

Las bombas de Cavidades Progresivas PCP (Progressing Cavity Pumps), son bastante utilizadas en la actualidad. Esta tecnología apareció hace aproximadamente 20 años como una alternativa de levantamiento artificial. Inicialmente se utilizaron para crudos viscosos, pero en la actualidad ofrecen gran flexibilidad, pudiendo ser utilizados dentro de un amplio rango de crudos. Desde crudos pesados de 6° API hasta crudos livianos de 42 ° API, para temperaturas de hasta 270 °F. Además, los sistemas PCP pueden aceptar un GOR hasta del 40 % y una producción de arena hasta del 60%.

La instalación de un sistema PCP es una solución interesante para optimizar la producción, pues logra reducir tanto los costos de inversión , como los de operación, sí se compara con las instalaciones electrosumergibles (ESP). Varios casos de campo han demostrado la reducción en los costos por barril de petróleo, al tener un menor consumo de electricidad (reducción de la relación BOPD/kWh) y unos menores costos de mantenimiento.

3.6.1 PRINCIPIO DE LA BOMBA DE CAVIDADES PROGRESIVAS PCP

La PCP puede definirse como un engranaje helicoidal constituido por dos piezas ensambladas entre sí:

- *Estator.*
- *Rotor (única parte móvil).*



Figura 8. Rotor y estator

El rotor es una pieza de acero de alta resistencia, torneada externamente como una hélice de “ n ” lóbulos. Se conecta a una sarta de varillas que le transmite el movimiento de rotación desde superficie. El estator es la pieza externa fija constituida por una camisa de acero y revestido por material elastómero torneado internamente como una hélice de “ $n+1$ ” lóbulos, el cual se pega al acero con un pegamento de gran adherencia. El estator se conecta a la tubería de producción.

Rotor y estator no son concéntricos. Sus ejes son paralelos y la distancia entre los mismos es constante. Ésta distancia es la **excentricidad** de la bomba.

Cuando el rotor gira en un sentido, su eje gira alrededor del eje del estator en sentido contrario. La geometría de la bomba está definida por tres parámetros:

- Diámetro del rotor, D
- Excentricidad de la bomba, E
- Paso del estator, P

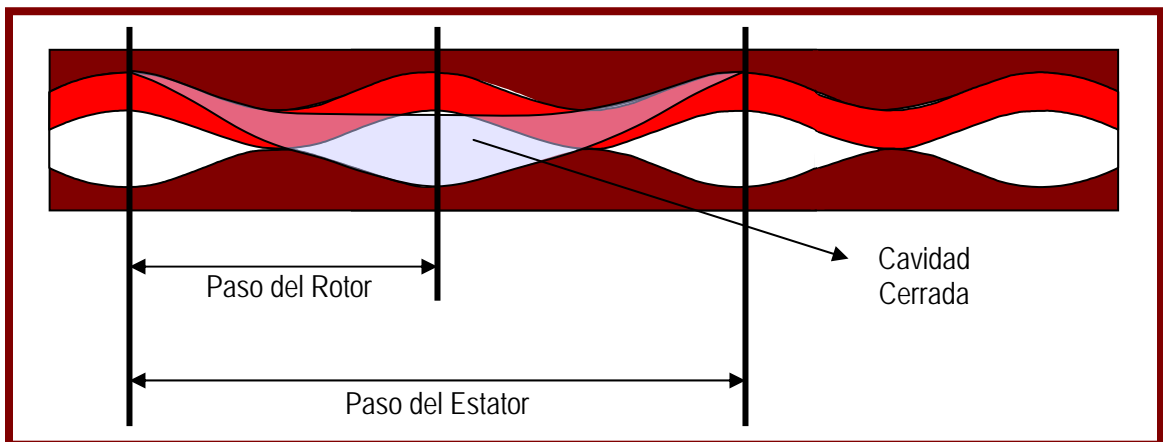
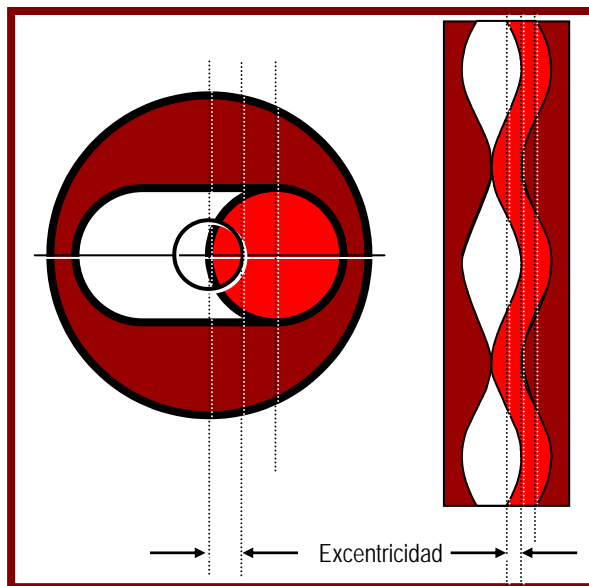


Figura 9. Pasos de la bomba

Figura 10. Excentricidad



Esta geometría permite la formación de dos o más cavidades separadas, lenticulares, y en forma de espiral. La longitud de una cavidad, como puede observarse en la figura, es igual al paso del estator. Cuando el rotor gira a la derecha las cavidades se mueven axialmente de uno al otro extremo del estator, desde la succión hasta la descarga de la bomba. La presión incrementa en forma lineal desde la succión hasta la descarga.

En una sección transversal, el número de cavidades separadas será hasta una más que número de lóbulos del rotor:

- Bombas 1:2 tienen dos cavidades desfasadas cada 180°
- Bombas 2:3 tienen dos cavidades desfasadas cada 120°
- Bombas 3:4 tienen dos cavidades desfasadas cada 90°

Figura 11. Lóbulos



3.6.2 Características operacionales

Una bomba tiene una función doble:

- Desplazar un volumen dado de fluido por día, de la succión a la descarga, y
- generar, entre succión y descarga, la presión requerida para desplazar éste volumen.

De acuerdo con esto, existen dos principios básicos para el diseño de sistemas con bombas de cavidad progresiva:

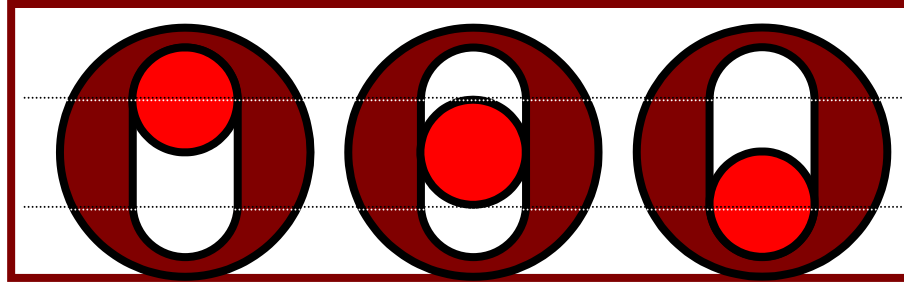
- Volumen

El desplazamiento de las PCP es constante y sin pulsaciones, y es función, como ya se dijo, del tamaño de las cavidades y de la velocidad de operación del sistema. El tamaño de las cavidades depende de su geometría, la cual es gobernada por cuatro parámetros:

- Relación de Radios
- Paso del Estator, P
- Excentricidad, E
- Diámetro del Rotor, D

El desplazamiento se calcula a partir de los tres parámetros D, E y P que definen la geometría de la bomba, en la figura se muestra que el área del fluido es constante:

**Figura 12.
Bomba 1:2**



En bombas de geometría 1:2 : $A = D \times 4E$

Para la cual:

A = Área de Flujo Transversal

D = Diámetro del Rotor

E = Excentricidad

Por cada vuelta del rotor el fluido avanza una distancia igual al paso P; el desplazamiento es entonces igual a 4DEP. Finalmente, el caudal es igual al desplazamiento por el número de vueltas del rotor en un día. A continuación se listan las ecuaciones utilizadas.

$$V = K \times D \times 4E \times P$$

$$Q = K \times D \times 4E \times P \times N$$

$$v = [Q (\pi^2 (4E + D)^2 + P^2)] / (V \times K)$$

Para las cuales:

V = Desplazamiento de la Bomba (m³/D/RPM o Bls/D/RPM)

D = Diámetro del Rotor (milímetros o pulgadas)

E = Excentricidad (milímetros o pulgadas)

P = Paso del Estator (milímetros o pulgadas)

Q = Tasa de Flujo (m³/D o Bls/D)

N = Velocidad de Operación (RPM)

v = Velocidad de Flujo (mm/seg o pulg/seg)

K = Constante (SI: 5.7 x 10⁻⁶ o IP: 5.94 x 10⁻¹)

- Presión y Deslizamiento:

La capacidad de levantamiento neto de las PCP es función directa del número de cavidades (etapas de la bomba) o líneas de sello y, en menor grado, de la geometría de la bomba. La presión diferencial dentro de la bomba se va sumando de una etapa a la siguiente; así, a mayor número de etapas, mayor capacidad de levantamiento, y la altura de descarga será proporcional al número de etapas o, más exactamente, al número de etapas menos una, pues a cada extremo de la bomba se encuentra una cavidad abierta que no genera aumento de presión.

La altura de descarga de una etapa varía de 70 a 100 psi, de acuerdo con los diferentes modelos existentes. Para poder generar presión diferencial entre cavidades, éstas deben estar selladas herméticamente, lo cual se obtiene con un rotor de diámetro ligeramente mayor al estator. Este diseño es posible gracias al recubrimiento interno del estator con el elastómero. Finalmente podemos enumerar los factores que influyen en la eficiencia del levantamiento:

- ◆ Número de Etapas
- ◆ Dureza del Elastómero
- ◆ Longitud del Paso del Rotor
- ◆ Interferencia entre Rotor y Estator

Las líneas de sello Rotor-Estator pueden ser deformadas por la presión diferencial entre etapas, permitiendo el deslizamiento del fluido entre cavidades. El deslizamiento puede ser definido como: *“Una reducción en la tasa de flujo como consecuencia de una presión diferencial mayor a la presión atmosférica”*. Según ésta definición, el deslizamiento afectará, principalmente, la eficiencia volumétrica de la bomba pues ocasiona una pérdida o reducción del volumen total producido.

La cantidad de deslizamiento es determinada por la presión diferencial a través de la bomba, y básicamente depende de:

- ◆ Capacidad de levantamiento, o número de líneas de sello
- ◆ Viscosidad del fluido
- ◆ Ajuste de interferencia Rotor-Estator, el cual es función de:
 - ◆ Tamaño del rotor
 - ◆ Expansión térmica del elastómero
 - ◆ Hinchamiento químico del elastómero

El deslizamiento es independiente de la velocidad de operación.

Para manejar el ajuste de la interferencia existen tres tipos básicos de rotores, los cuales se escogen de acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas:

- Undersize (subdimensionado)
- Standard
- Oversize (sobredimensionado)

Lo normal es bajar un rotor standard, pero sí se tienen resultados de hinchamiento del elastómero obtenidos a partir de la prueba de compatibilidad realizada, se puede pensar en la utilización de un rotor undersize, el cual inicialmente proporcionará una menor eficiencia volumétrica, pero al presentarse el hinchamiento del elastómero como consecuencia de la temperatura y el corte de agua, la interferencia o sello será la adecuada y la eficiencia de la bomba mejorará.

Elastómero

Un elastómero se define como un material que puede ser deformado repetidamente en al menos dos veces su longitud original y retornar rápidamente a sus condiciones o dimensiones iniciales. Esta propiedad equivale a la elasticidad, y gracias a ella se hace posible la existencia de una interferencia

entre rotor y estator, la cual determina el sello entre cavidades y por consiguiente la eficiencia de la bomba.

El elastómero debe tener una alta resistencia a la falla por fatiga debido al gran número de ciclos que se debe cumplir durante su funcionamiento, y además, resistencia al ataque químico del fluido y a la abrasión de las partículas suspendidas en éste. De acuerdo con esto, se deben controlar los siguientes parámetros:

- Módulo de elasticidad (mPa)
- Dureza (Shore A)
- Resistencia a la abrasión

Como las propiedades de los elastómeros pueden modificarse en función de los parámetros que caracterizan el fluido presente a la succión de la bomba, se recomienda desarrollar pruebas de compatibilidad química para escoger el elastómero que mejor se adapte a las condiciones existentes, pues su selección es un factor crítico en el buen funcionamiento en la vida de la bomba.

Los cambios más comunes en las propiedades mecánicas de los elastómeros son los siguientes:

- El hinchamiento, que origina una interferencia excesiva, y como consecuencia de ello un torque elevado y un calentamiento del elastómero.
- El endurecimiento, ocasionando deterioro en la elasticidad, y como consecuencia la falla de la bomba.
- El reblandecimiento, disminuyendo el sello entre las cavidades, y como consecuencia, el deterioro de la eficiencia de la bomba.

Cada compañía posee sus propios elastómeros, pero en forma general se pueden clasificar en cuatro categorías de acuerdo con su composición:

- a) De Caucho: Es la formulación más común, y normalmente consiste en un polímero (o co-polímero) butadieno, que se identifican como NBR. Estos ofrecen la mejor combinación de propiedades mecánicas y la resistencia al ataque químico para la mayoría de aplicaciones. En la mayoría de los casos se agregan otros aditivos, como el acrilonitrilo en diferentes proporciones (entre el 15% y el 50%), el cual aumenta la resistencia a los aromáticos y origina una variación en distintas propiedades (aumenta resistencia a la tensión y a las altas temperaturas, pero degrada las propiedades mecánicas y la resistencia a la abrasión). Los cauchos acrilonitrilos absorben agua y se reblandecen. Contrario a lo que podría pensarse, son excelentes para ser aplicados en el bombeo de pozos con altos cortes de agua, debido a que el caucho es humectable al agua, lo que hace que se forme una película de aceite que previene la absorción de agua.
- b) HNBR: Es un butadieno-acrilonitrilo hidrogenado, el cual es mejor que el caucho en cuanto a la resistencia al H_2S y a la temperatura. Sin embargo, las investigaciones continúan, para encontrar un aditivo, que como el acrilonitrilo en los cauchos, permita aumentar la resistencia a los aromáticos.
- c) Fluorocarbono: Los elastómeros con éste grupo funcional se han desarrollado para soportar el ataque químico (aromáticos y gases ácidos) y las altas temperaturas. Sin embargo, tiene limitantes en cuanto a la cantidad de moldeo, razón por la cual sólo es aplicable a bombas de series pequeñas, a menos que se haga un co-polímero con butadieno.

- d) Clorosulfonato Polietileno: Permite la fabricación de elastómeros con una resistencia a la abrasión excelente y con otras propiedades mecánicas similares a los cauchos. Sin embargo, no tiene buena resistencia a los hidrocarburos livianos en estado líquido; tiene buena resistencia al CO₂ y su resistencia al contenido de agua es mejor que la del caucho. De acuerdo con esto, se utilizan para pozos de gas.

3.6.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA PCP TÍPICO

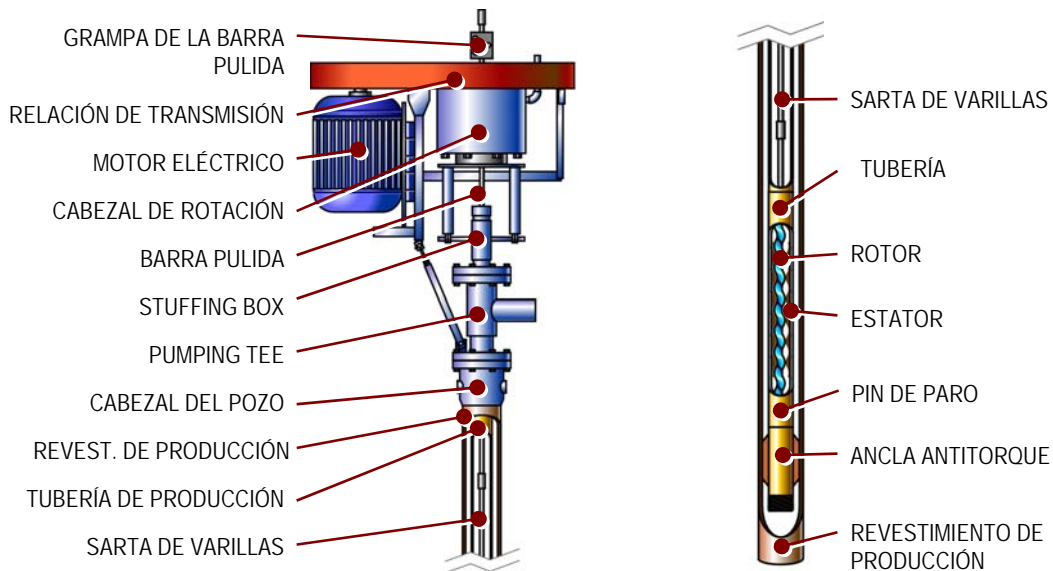


Figura 13. Componentes de un sistema PCP

3.6.3.1 ELEMENTOS DE FONDO

Accesorios y elementos de la tubería de producción:

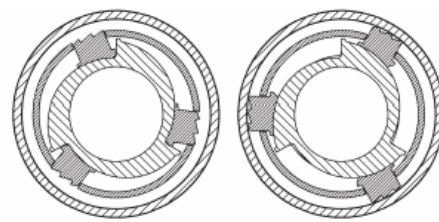
- Ancla antitorque

Es la parte terminal de un sistema PCP, la cual se instala por debajo del pin de paro, para evitar el desprendimiento de la tubería como consecuencia de la fricción y las vibraciones que se producen durante su funcionamiento. Cuando la sarta de varillas gira hacia la derecha, la fricción entre el rotor y el estator hace que la tubería también tienda a girar hacia la derecha, en el sentido de su desenrosque. A esto se suman las vibraciones producidas por el giro excéntrico del rotor dentro del estator, las cuales aumentan con el diámetro y la velocidad de la bomba.

El ancla se corre en el pozo, y al alcanzar la profundidad requerida, se fija por medio de una cuñas verticales a las paredes del casing, a través de la aplicación de un par de torsión derecho de aproximadamente 300 lbs-ft. Al arrancar la bomba, el par de torsión generado permite que las cuñas se agarren a la tubería, lo que impide el giro del estator. Para desengranar el ancla, se debe parar la operación de la bomba y relajar el torque aplicado inicialmente.



Figura 14. Ancla antitorque



Grapas Retraidas Grapas Desplegadas

- Ancla de gas

Se utiliza en los casos extremos, cuando no se logra una reducción adecuada de la RGL, la cual actúa como un separador de gas de fondo. Su función es la de

separar el gas libre del líquido y hacer que el gas migre fuera de la bomba hacia el espacio anular. Esta ancla va instalada debajo del ancla de torsión.

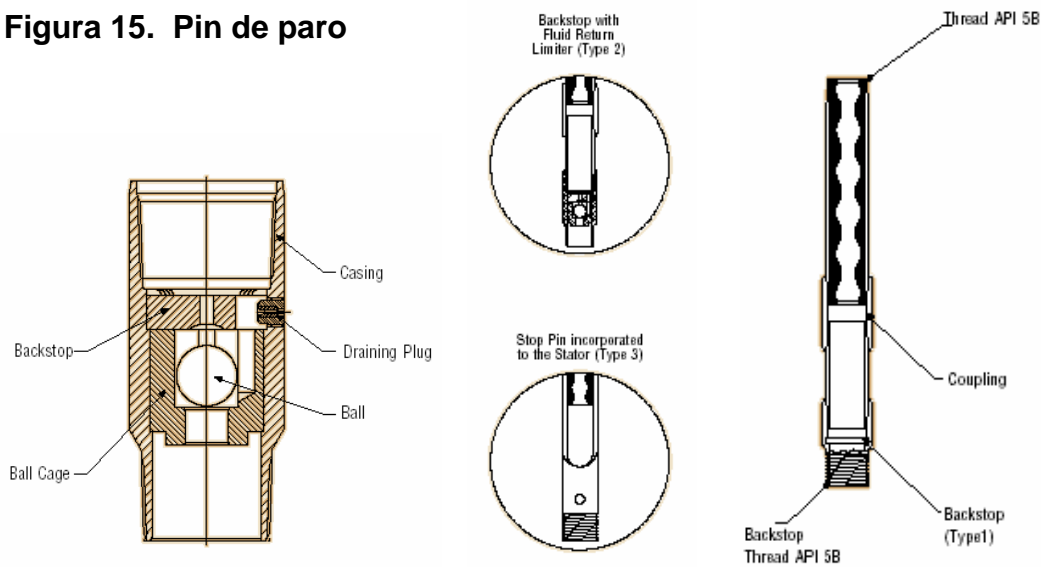
- Stop pin o pin de paro.

Es un componente importante de la bomba que va roscado al extremo inferior de la misma. Sus funciones son las siguientes:

- ❖ Servir de tope al rotor cuando se realiza el espaciado del mismo.
- ❖ Servir de “pulmón” al alargamiento de la sarta de varillas al funcionar la bomba.
- ❖ Servir de succión de la bomba.

Su extremo inferior permite la conexión de otra herramienta de fondo como es el ancla antitorque o de gas, en caso de que sea necesario.

Figura 15. Pin de paro



- Estator de la bomba

- Tubería de producción

Elementos de la sarta de varillas

- Rotor de la bomba
- Sarta de varillas: En los equipos PCP, las varillas son utilizadas para transmitir al rotor el movimiento de rotación generado por el sistema de impulsión en superficie. Las fuerzas aplicadas a las varillas son las siguientes:
 - Una carga axial constante
 - Un par de torsión que transmite el movimiento de rotación y que, también, es constante.

La combinación de estas fuerzas induce un esfuerzo que no debe sobrepasar un valor máximo admisible, con el fin de prevenir cualquier falla o daño permanente en éstas.

- Centralizadores y acoples de varilla: Son centralizadores no rotatorios que van instalados en los extremos de las varillas. Constan de tres elementos:
 - Un vástago hecho de acero, cuyos extremos tienen el mismo tipo de rosca de las varillas.
 - Una camisa de plástico, resistente a la arena y a los aromáticos, la cual gira libremente alrededor del vástago.
 - Dos cupling o acoples de varillas.

El diámetro externo de la camisa de plástico es ligeramente menor al diámetro interno de la tubería. Hay un modelo de centralizador para cada combinación existente de varilla: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ ", 1", 1 $\frac{1}{8}$ ", 1 $\frac{1}{4}$ " y tubería: 2 $\frac{7}{8}$, 3 $\frac{1}{2}$, 4 $\frac{1}{2}$..

En los pozos desviados o inclinados se utilizan los centralizadores para eliminar el roce entre las varillas y la tubería. La cabeza del rotor debe tener la posibilidad de efectuar libremente su movimiento excéntrico, razón por la cual nunca se debe instalar un centralizador al extremo del rotor.

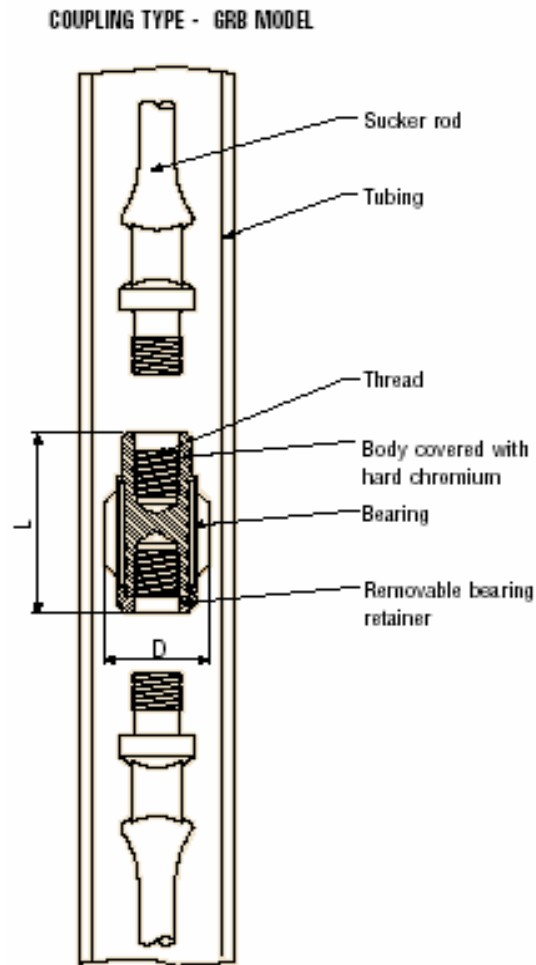


Figura 16. Centralizador

3.6.3.2 Generalidades de los elementos de instalación en superficie

Cada unidad de potencia instalada en superficie consta de un cabezal y un sistema motor.

Cabezal

Todos los modelos deben incluir un stuffing box o prensaestopa, un eje hueco impulsor, una barra lisa (hexagonal) y un freno de retroceso. El cabezal o Drive head tiene tres funciones básicas:

- a) Transmitir a las varillas el movimiento rotacional, es decir, el torque entregado por el sistema motor.
- b) Soportar la carga axial debida al peso de las sarta de varillas y por la columna de fluido en el tubing.
- c) Aislar la unidad del fluido del pozo.

Se conecta a la "T" de flujo (Pumping Tee) a través de una unión de golpe o de una brida.

- Pumping Tee

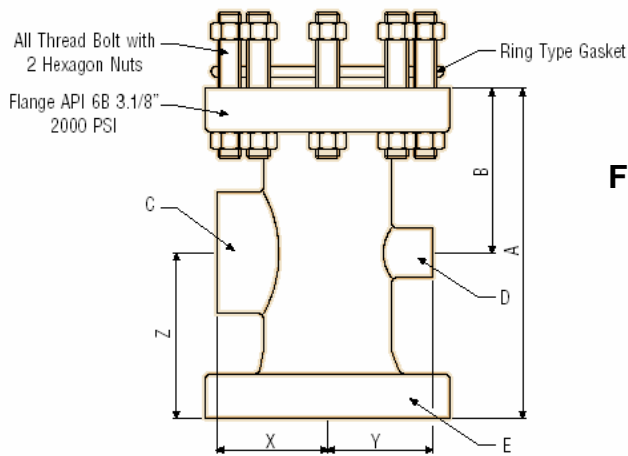


Figura 17. T de flujo

- Barra Pulida
- Poleas y bandas
- Stuffing Box o prensaestopa

El stuffing box se utiliza para aislar el cabezal del fluido del pozo. En el gira una barra pulida de 1¼" ó 1½ " de diámetro y contiene un juego de empaquetaduras hechas de una combinación de teflón y grafito, las cuales, al ser resistentes a los fluidos abrasivos optimizan la vida del sello. Esto también se consigue a través

del sistema de lubricación, el cual permite que la barra pulida opere a menor temperatura. Un anillo que se ajusta por encima de las empaquetaduras sirve para acoplarlas a la barra pulida y reducir las pérdidas de fluido por la prensaestopa.

- Back-Spin Brake

El freno de retroceso o “backspin brake” es una parte esencial del cabezal, pues al detenerse la unidad de impulsión (como consecuencia de un shut down), hay dos fuerzas potenciales que tienden a hacer girar el sistema motor en sentido inverso:

- El par de torsión requerido para levantar el fluido convierte la sarta de varillas en algo similar a un potente resorte que tiende a liberar su energía por giro inverso del eje de impulsión.
- El fluido que se encuentra en la tubería por encima del nivel dinámico ejerce sobre la bomba una presión que tiende a hacerla girar en sentido inverso, ocasionando que la bomba actúe como un motor.

Ambos efectos se suman y sin la presencia de un freno, el sistema motor podría alcanzar velocidades excesivas, que además de dañar el sistema, constituyen un potencial de riesgo severo. La principal función del freno es entonces, controlar la velocidad de retroceso (backspin speed) y limitándola a un valor determinado, y en segundo lugar, liberar el torque acumulado en las varillas en caso de que la bomba se bloquee.

- Eje Hueco motriz y Eje Hexagonal

El eje hueco transmite el torque al eje hexagonal, el cual en funcionamiento, se conecta a la parte superior de la barra pulida. El diseño del eje hueco permite el paso de la barra pulida y, por lo tanto, permite el levantamiento de la misma, con el fin de retirar el rotor del estator, mientras se mantiene sello en la cabeza del pozo. Esta operación permite lavar la bomba por circulación inversa y limpiar la

arena, la cual se aglomera alrededor de la descarga; además, el desplazamiento del eje hexagonal a través del eje hueco permite el ajuste preciso del espaciamiento del rotor dentro del estator.

El eje hexagonal es de 2 ft de longitud, y también constituye una pieza importante de seguridad, ya que permite que el rotor funcione verticalmente en el estator mientras se mantiene una conexión al freno. Esto frenará la fricción estática entre el rotor y el estator, y con esto, ayuda a deshacerse de la excesiva cabeza de fluido, la cual puede presentarse en caso de pega del rotor. Una cabeza excesiva de fluido puede causar una alta velocidad de retroceso, la cual debe ser controlada por el freno del cabezal.

El conjunto sarta de varillas, barra pulida y eje hexagonal se encuentra suspendido de una grapa que se encuentra fijada al eje hexagonal y apoyada en el extremo superior del eje impulsor hueco. Esta grapa solamente soporta el peso del conjunto. No transmite el torque, así que no existe riesgo de perder el agarre de la barra pulida.

El eje impulsor es soportado por tres grandes rodamientos de rodillo esféricos de alta capacidad:

- Un rodamiento axial de empuje que soporta la carga axial
- Dos rodamientos radiales que mantienen el eje en posición axial.

Sistema de potencia

El sistema que suministra y transmite el torque al eje de impulsión consta básicamente de un motor y un sistema reductor de velocidad.

Motor

La mayoría de las unidades PCP utilizan un motor eléctrico, aunque también resulta aceptable utilizar un motor hidráulico.

Sistema reductor de velocidad

Un sistema de reducción permite el ajuste de la velocidad de la bomba y la transmisión del torque al eje motriz. Esto puede ser alcanzado con velocidad fija o variable:

a) Velocidad fija: la reducción de velocidad es alcanzada a través de un conjunto de correas y poleas del sistema y/o con una caja reductora.

b) Velocidad variable: El sistema motor consta con un conjunto de poleas y bandas y/o con una caja reductora; y para permitir variación de velocidad se utiliza una combinación de motor eléctrico y convertidor de frecuencia o variador. Con la utilización de un variador que incorpora la tecnología Vector Flux Drive (VFD) se consigue un control preciso del voltaje, la corriente, la velocidad y el torque del motor. Esto permite un continuo monitoreo y posibilita una rápida adaptación al cambio en las condiciones de fondo.

Los variadores VFD poseen varias características diseñadas específicamente para la operación de las PCP. El torque límite protege de roturas de las varillas, y se puede optimizar la producción de acuerdo con lo siguiente:

- Proporciona control de velocidad
- Proporciona una up/down velocidad de revolución independiente
- Reduce el consumo total de potencia
- Incrementa RPM por encima del 20% de una unidad de control convencional
- Minimiza el desgaste del equipo
- Permite sensar la posición de la barra pulida
- Proporciona un monitoreo continuo de la velocidad instantánea y promedio de la bomba.

- Controlador de llenado mínimo que proporciona un control de apagado de los pozos con pobre influjo (bajo nivel).
- Utiliza algoritmos de llenado de la bomba para optimiza la producción por un ajuste independiente de la velocidad, de acuerdo con el aporte del pozo.

Figura 18. Variadores



Poleas y bandas: Cada compañía cuenta con su propio programa específico para el diseño de poleas y bandas. Los datos requeridos son los siguientes:

- Potencia del motor,
- Velocidad del motor,
- Velocidad requerida para la bomba,
- Diámetro del eje del motor,
- Diámetro del eje impulsor del cabezal,
- Diámetro mínimo de la polea impulsora,
- Distancia mínima y máxima entre los centros de las poleas,
- Factor de servicio requerido,

- Tolerancia sobre la velocidad de la bomba

La velocidad mínima disponible con un sistema motor de velocidad fija depende de los siguientes factores:

1. Tipo de cabeza
2. Número de polos, que determina la velocidad del motor eléctrico:
 - 4 polos: velocidad cercana a 1740 rpm.
 - 6 polos: velocidad cercana a 1160 rpm.
3. Tipo de bandas, que determina la relación máxima de velocidad entre la polea impulsora y la tipo impulsada:
 - bandas tipo estándar: del orden 4/1
 - bandas tipo síncrono: del orden 6/1

Barra Pulida: Consiste en una barra de 1 ¼” o 1 ½” de diámetro que se coloca entre el extremo superior de la sarta de varillas y el eje hexagonal. Sus funciones son básicamente:

- Transmitir el torque a las varillas.
- Gracias a su longitud, permitir el levantamiento del rotor fuera del estator con el fin de poder lavar la bomba por circulación inversa. Por lo tanto, su longitud debe sobrepasar la del rotor en mínimo 5 pies.

4. OPERACIONES DE WIRELINE

La unidad de "wireline" o cable delgado se utiliza en Caño Limón para mantenimiento, servicio y reacondicionamiento de pozos. En labores de registros de presión y producción, ésta unidad se encarga de desasegurar y/o asegurar el pozo al inicio o final del trabajo.

Por desasegurar el pozo se debe retirar la válvula de seguridad y el tapón sellante ubicado en la herramienta "Y" para permitir la introducción de las sondas. Aunque las herramientas pasan a través de la válvula de seguridad sin problemas, esta se retira para evitar inconvenientes, como el cierre imprevisto de la misma, con la subsecuente ruptura del cable y pérdida de la herramienta. Por ésta razón para desasegurar el pozo primero se debe retirar la válvula y luego el tapón sellante.

Al finalizar el registro para retornar el pozo a producción éste se asegura instalando el tapón sellante y la válvula de seguridad de última.

La herramienta para retirar o asentar la válvula o el tapón consta de "GS Running Rand Pulling Tool" con pin que rompe hacía abajo, martillo mecánico, martillo hidráulico y barras de peso. El cable se conecta a la herramienta en el "Rope Socket", pasa a través del lubricador el cual va armado sobre los soportes de la unidad y apoyada en el "GIN POLE", terminando en la unidad de cable.

La unidad de cable delgado consta de un carrete pequeño de aproximadamente 14 pulgadas de diámetro. El tambor está diseñado para almacenar entre 15000 y 20000 pies de cable que puede variar entre 0.092" y 0.018" de diámetro. El cable que actualmente se usa en Caño Limón es de 0.018".

4.1 HERRAMIENTAS

HERRAMIENTA DE PESCA DEL TAPON (PULLING TOOL)

Este dispositivo permite pescar al tapón (Blanking Plug) a través de su cuello superior, antes de iniciar las operaciones de medición y registro. Posee un pin de seguridad el cual puede ser fracturado cuando se presentan dificultades en su extracción.

5. REGISTROS DE PRESIÓN

Con el fin de conocer las propiedades de la roca reservorio y la presión promedio del fluido, información básica para la ingeniería de yacimientos, se realizan las pruebas transientes de presión, midiendo de forma continua respecto al tiempo la variación de presión de fondo producida por un cambio en la tasa de fluido. Los resultados de la prueba se analizan usando modelos matemáticos de variada complejidad hasta obtener ajustes aceptables y así reproducir el comportamiento de la prueba. Estos parámetros se asumen como promedio del sistema real.

De ésta manera se determina:

IP: Índice de Productividad.

S: Magnitud y extensión del daño de formación.

K : Permeabilidad de la roca.

Pr: Presión promedio del yacimiento.

Φ : Porosidad de la formación.

Existencia de barreras de flujo dentro del volumen de drenaje del pozo.

Tanto para pruebas de presión como de producción se necesita que el yacimiento se encuentre totalmente estabilizado. Además se necesita:

a) Información del estado mecánico del pozo.

b) Información de yacimiento.

c) Información de producción.

Actualmente se corren en Caño Limón las pruebas de presión que se describen a continuación:

SGS: Gradientes estáticos de presión.

MRT: Pruebas de tasa múltiple.

PBU y PDD: Pruebas de ascenso y descenso de presión respectivamente, pero que van incluidas en el registro de producción PLT.

Estas pruebas son programadas de acuerdo a la necesidad de tener datos actualizados del yacimiento.

5.1 PRUEBAS DE PRESIÓN

Iniciación:

- * Solicitar a producción el pozo y coordinar la apagada del mismo.
- * Desasegurar el pozo.
- * Instalar lubricador y preventoras.
- * Comparar los coeficientes de la herramienta con los del computador.
- * Medir presión y temperatura del medio ambiente.
- *.Bajar la herramienta hasta las velocidades de interés, a las velocidades apropiadas.
- * Correlacionar profundidad con CCL y determinar fondo.

Desarrollo

- Gradiente Estático de Presión, SGS
- Ubicar la herramienta en cada uno de los tres puntos de acuerdo al programa; uno central, uno 50 pies. por encima y otro 50 pies. por debajo.
 - Registrar presión y temperatura hasta estabilización y por 10 menos durante 30 min.

Este tipo de prueba requiere un tiempo de cierre mínimo de 24 horas al momento de empezar a registrar. Se realiza cuando:

- La bomba presenta un comportamiento anómalo.
- Por una producción muy diferente a la esperada.
- La última prueba se hizo hace más de 2 años.

- Pruebas de Tasa Múltiple, MRT

- Ubicar el sensor 100 pies por encima de las perforaciones.
- Medir la presión en el fondo durante 15 min. con el pozo cerrado.
- Arrancar el pozo con la primera de las cuatro frecuencias de prueba y chequear que la tasa de producción esté de acuerdo con la estimada según la gráfica de diseño de la bomba.
- Dejar fluir durante 4 horas a menos que no exista tendencia a estabilización de la curva de P vs. t, registrar durante la prueba los valores de caudal y corte de agua del medidor de flujo MICRO MOTION.
- Llevar el pozo a la nueva frecuencia después de 4 horas y repetir el proceso. De igual forma para las frecuencias restantes.
- Después de llegar a la última frecuencia se deja fluir el pozo durante 12 horas o más hasta asegurar los efectos de límite del yacimiento.
- Apagar la bomba.
- Tocar fondo nuevamente para analizar si hubo producción de arena.

El tiempo mínimo de estabilización es de 12 horas. Se realiza éste tipo de prueba cuando:

- Es un pozo nuevo.
- Pozo después de "Workover".
- Por comportamiento anómalo de la bomba.
- Última prueba hecha hace más de 2 años.

Finalización:

- Sacar la herramienta a las velocidades adecuadas.
- Chequear la herramienta una vez llegue a superficie.
- Asegurar el pozo.
- Coordinar con producción la arrancada del mismo.

Reporte final:

- Gradiente Estático de Presión.

- Presión y temperatura final para cada uno de los puntos.
- Gráficos de Presión y Temperatura vs Profundidad.

- Prueba de Tasa Múltiple

- Presión y temperaturas finales estabilizadas para cada una de las tasas de flujo.
- Gráficas de Presión y Temperatura vs tiempo.
- Tasa de flujo cada hora, producción de aceite, agua y presión de cabeza.

5.2 HERRAMIENTA DE REGISTROS DE PRESIÓN

La herramienta es la misma para gradientes estáticos como para multiratas. Se pueden utilizar dos configuraciones dependiendo del sensor de presión/temperatura utilizado, los demás componentes permanecen igual.

DESCRIPCION DE SUS PARTES

1) *Absorbedor de golpes o Nariz:*

Absorbedor de golpes cuando el sensor de presión/temperatura es de diafragma capacitivo ó nariz ("bullnose") cuando el sensor es de cristal de cuarzo.

2) *Sondas de presión/temperatura:*

Pueden ser de diafragma capacitivo o de cristal de cuarzo.

a) Sonda de diafragma capacitivo:

Su principio de funcionamiento se basa en la capacitancia obtenida por un condensador, en el cual una de las placas es móvil y sometida a presión . La variación en presión ocasionará una variación en la distancia entre placas con la subsecuente variación de la capacitancia del condensador, siendo luego convertida en una señal de frecuencia.

Para determinar la temperatura se utiliza una resistencia de platino. El valor de la resistencia de platino responde proporcionalmente al cambio de temperatura.

Su máxima velocidad de bajada o subida durante la prueba es de 230 pies/min para pozos verticales y de 180 pies/min para pozos desviados.

b) Sonda de cristal de cuarzo:

Su principio se basa en la frecuencia natural de oscilación de un cristal de cuarzo, la cual a su vez controla un oscilador. Este cristal de cuarzo es afectado por la presión, ocasionando una variación en su frecuencia natural que son reflejadas en el oscilador . Su máxima velocidad de bajada o subida durante la prueba es de 200 pies/min en pozos verticales y de 150 pies/min para pozos desviados.

Estas frecuencias emitidas tanto de las sondas de cristal de cuarzo como de las de diafragma capacitivo son procesadas en superficie por el programa específico de la compañía fabricante de las mismas, el cual utiliza éstas frecuencias como

datos de entrada para ecuaciones polinómicas, arrojando como resultado los valores de presión y temperatura.

3) *Barras eléctricas de peso:*

Barras de 5 pies con diámetro de 1-11/16" y ubicadas antes o después de los sensores. Cuando el pozo es desviado se recomienda usar 3 barras por efectos de determinación de fondo ya que la fricción puede hacerla confusa.

4) *Localizador de collares (CCL):*

Es la herramienta que permite el control de profundidad, correlacionando los collares registrados con los obtenidos durante la corrida del registro de evaluación de la cementación (CBL) . El CCL consta de un bobinado de alambre ubicado entre 2 magnetos cilíndricos cuyos polos se encuentran opuestos. A medida que el localizador pasa por un collar la variación de espesor de metal distorsiona el campo magnético que envuelve al bobinado. Esto induce voltajes de polaridad opuesta en el bobinado en la medida que cada extremo de los magnetos pasa por el collar. Este voltaje se registra en superficie como picos de la señal.

5) *Cabeza de la herramienta:*

Constituye la unión entre el cable eléctrico y la sonda. Aloja el punto débil y posee cuello de pesca.

6. REGISTROS DE PRODUCCIÓN

Los registros de producción tienen por objeto identificar y evaluar la naturaleza del flujo de fluidos durante la etapa productiva de los pozos.

En Caño Limón los registros de producción tienen como función principal determinar el perfil de flujo por medio de medidores tipo hélice y sirven para:

Evaluación del Completamiento y Trabajos de Reacondicionamiento:

- Determinación del perfil de flujo.
- Determinación del índice de productividad.

Monitoreo del Yacimiento:

- Determinación del comportamiento histórico del perfil de producción.
- Determinación del avance del frente de agua.
- Determinación de tasas óptimas de producción.

Diagnóstico de problemas:

- Determinación de flujos cruzados.
- Detección de anomalías en el diámetro interno del revestimiento.

6.1 PRODUCTION LOG TEST, PLT



Foto 26. Registro PLT

Se utiliza el método de las múltiples pasadas, registrando la respuesta de rotación de la hélice a través de los intervalos abiertos a cinco velocidades en direcciones tanto ascendentes como descendentes. Para cada zona se grafica la respuesta de rotación y las velocidades de cable, con lo cual se calculan las velocidades de flujo y el perfil de producción del pozo.

La programación de éstas pruebas de producción se realiza de acuerdo a la necesidad de actualizar el perfil de producción de los pozos, o en los siguientes casos:

- Cuando es un pozo nuevo.
- Pozo después de reacondicionamiento ("Workover").
- Aumento abrupto del corte de agua.
- Última prueba hecha hace más de 2 años.

La información que se necesita para correr un registro de producción es:

- a) Estado mecánico del pozo

- Profundidad efectiva
- Llenado de arena
- Rat-hole
- Profundidad del "Blanking Plug"
- Profundidad del "Entry Guide"
- Profundidad de la válvula de seguridad

b) Información de Producción

- Caudal
- Corte de agua
- Limitaciones del pozo
- Frecuencia de la bomba (Prueba)
- Frecuencia de la bomba (Normal)

c) Información de Yacimiento

- Intervalos abiertos
- Índice de Productividad
- Pozos que éste afecta
- Punto de burbuja
- Densidad del agua
- Salinidad agua de formación
- Densidad del aceite
- Relación Rs

d) Parámetros de la prueba

- Frecuencia de la bomba para el periodo de flujo (PDD)
- Profundidad de estabilización

Procedimiento General para correr un registro de producción

1. Solicitar a producción el pozo y coordinar la apagada del mismo.
2. Cerrar la válvula lateral.
3. Desasegurar el pozo e instalar lubricador de 7" y válvulas preventoras.
4. Hacer un " Dummy Run" para determinar fondo, utilizando CCL, sensor de rayos Gamma y barras de peso.
5. Armar la herramienta combinada de registro de producción PLT compuesta por la hélice motorizada, sensor de densidad por presión diferencial, sensor de

presión de cristal de cuarzo, sensor de rayos Gamma (GR) , CCL y/o barras de peso.

6. Verificar en superficie con agua y aire la calibración del gradiomanómetro.
7. Bajar la herramienta hasta perforaciones.
8. Correlacionar profundidad con CCL y GR sin tocar fondo.
9. Ubicar el sensor de cristal de cuarzo en el punto de estabilización y medir parámetros de fondo.
10. Cargar el programa de presión en el computador para el periodo de flujo (PDD).
11. Arrancar el pozo a la frecuencia de la prueba.
12. Esperar estabilización del pozo.
13. Cargar el PLS ("Production Log Sopiesware") .
14. Hacer pasadas con el pozo fluyendo a las velocidades de 30, 60, 90, 120 y 150 pies/min desde 5 pies arriba del fondo hasta 200 pies arriba de las perforaciones. Tomar lecturas estacionarias entre perforaciones.
15. Ubicar de nuevo el sensor de presión de cristal de cuarzo en el punto de estabilización y repetir el procedimiento anterior pero para el periodo de cierre (PBU).
16. Sacar la herramienta, asegurar y arrancar el pozo.

Una vez concluida la prueba se deben entregar 2 reportes:

1. Reporte Preliminar de la Información Adquirida: Con la secuencia de eventos y una interpretación bajo condiciones de flujo y de cierre.
2. Reporte Final: Elaborado por la compañía de servicios y entregado en un plazo máximo de 48 horas con información como:
 - Tabla de datos de estabilización, horas, Qt, Qw, Qo y BSW.
 - Puntos de medición de la sonda.
 - Perfil estimado de flujo.
 - Interpretación del registro.
 - Información tanto de pozo fluyendo como de pozo cerrado:

Registro Compuesto
Pasadas bajando y subiendo; parámetros de fondo
Lecturas estacionarias
Gráfico y listado de estabilización
-Correlación y determinación de fondo.

6.2 HERRAMIENTA PARA REGISTROS DE PRODUCCIÓN

Los registros de producción pueden ser corridos utilizando cualquiera de las 2 sondas disponibles en el campo:

-PLT: Production Log Tool
-CPLT: Combinable Production Log Tool

Actualmente la herramienta que se está bajando es la CPLT, sin embargo la diferencia entre las sondas consiste en mejoras realizadas en el cartucho de telemetría.

PARTES DE LA HERRAMIENTA CPLT

La herramienta consta de las siguientes partes:

a) Hélice Motorizada (MFBS) ó (CFM2)



Foto 27. Herramienta PLT

La "Motorized Full Bore Spinner" (MFBS) es la herramienta que registra determinación el perfil de flujo. Consta de una hélice rotatoria de 4 aspas, protegida por una jaula de 4 brazos.

La hélice y los brazos pueden ser retraídos o expandidos en un rango de diámetros de 1-11/16" a 5" (apertura total) para la hélice y 8-1/2" (revestimiento de 9-5/8") para la jaula. Esta operación la hace un motor localizado encima de la hélice que es accionado por una señal desde superficie. La respuesta de la hélice en rotaciones por segundo (RPS) son convertidas en pulsos y enviados a través del cable eléctrico por medio del cartucho de telemetría.

b) Centralizador Mecánico (TTG-1)

La función del centralizador mecánico "Thru Tubing Guide" es centrar la herramienta para obtener valores mas reales de densidad. Posee 3 brazos colapsables mecánicamente. Es opcional su colocación.

c) Tarjeta Motorizada de control (CMCC)

La tarjeta motorizada de control es un mecanismo especial exclusivo del CPLT, el cual permite abrir o cerrar la hélice por medio de un comando en el computador.

d) *Registrador de Presión de Cristal de Cuarzo (CHMS)*

El principio de funcionamiento se basa en un cristal de cuarzo, el cual controla un oscilador. La presión del fluido causa una distorsión que hace variar la frecuencia entre 5.0 y 5.0170 Mhz (200-11,000 psi). Puesto que la frecuencia también depende de la temperatura, la medida de frecuencia se corrige por ésta, gracias al "Resistance Temperatura Device" (RTD), suministrando de ésta manera una mejor resolución y exactitud de los datos de presión.

e) *Registrador de Densidad, Presión y Temperatura (CPLS)*

La CPLS suministra una medición simultánea de densidad, presión y temperatura.

-Densidad: Es medida con un gradiomanómetro que posee un diafragma lleno de silicona. La presión del pozo se transmite a 2 puntos separados 21" el uno del otro, y la presión diferencial es transmitida a un sensor de presión equipado con un "RTD" para corregir por temperatura, dando al gradiomanómetro una mayor exactitud en la medición. Con la diferencia de presión y la distancia entre los 2 puntos se calcula la densidad, que se debe corregir por inclinación con la ayuda de un acelerómetro. El acelerómetro determina la inclinación del pozo y de la herramienta mejorando la exactitud y la resolución vertical del gradiomanómetro.

-Presión: Tiene un cilindro en cuya base hay una cavidad expuesta a la presión. En el exterior del cilindro se ubican 2 bobinados, uno de referencia y otro activo. La presión diferencial hace que la parte activa del cilindro se deforme, lo cual cambia la resistencia del bobinado activo.

-Temperatura: Es medida con una resistencia de platino expuesta al fluido, de similar funcionamiento al descrito en los registros de presión.

f) Cartucho de Telemetría

El Cartucho de Telemetría digitaliza y envía por pulsos en canales de tiempo las señales de salida de cada uno de las sensores.

g) Localizador de Collares (Incluido en el CPLC)

Otra herramienta para el control de profundidad y de igual funcionamiento al descrito en los registros de presión.

h) Sensor de Rayos Gamma (CGRS)

El sensor de Rayos Gamma suministra un medio para el control de la profundidad, midiendo estadísticamente la radiación natural de la formación, la cual varía de acuerdo a la litología de la misma.

i) Adaptador y Cabeza

El adaptador sirve como conector y sustituto de 1-11/16" (adaptador) a 1-3/8" (cabeza) .

Otras características/ventajas de la herramienta son:

-Posee un convertidor de alta velocidad de voltaje a frecuencia, que permite la autocalibración en subsuelo de la electrónica.

-El procesamiento a tiempo real permite obtener mas rápidamente resultados en el sitio del pozo (PLQL "Production Logging Quick Log") y mejora el control de calidad de los datos.

3. PERFORACIÓN



Foto 28. Taladro de Perforación

Actualmente la compañía está utilizando dos equipos para perforación, distribuidos uno, en la parte de exploración y el otro en la parte de desarrollo del campo. Se describirá a continuación la forma en que se desarrolla ésta operación.

-Con un martillo hidráulico se introduce un tubo conductor de 20", 94 lb/pies a una profundidad de ± 40 pies.

-Se perfora el hueco de superficie con broca de 17-1/2" hasta una profundidad de 800 pies sí el pozo es vertical ó de 2000 pies si es direccional. Se baja y se cementa casing de superficie de 13-3/8", N-80 BTC hasta la profundidad perforada.

-Se corta el tubo conductor de 20", se solda el cabezal del revestimiento, "casing head" al revestimiento de 13-3/8" para poder instalar las preventoras. De arriba

hacia abajo las preventoras son: la anular, "Hydrill" y una preventora doble de ariete donde el superior que es ciego, "blind ram" y el inferior que es de tubería, "pipe ram".

-Se perfora con broca de 12-1/4" de 10 a 15 pies de la nueva formación y se realiza el "Leak off Test",

-Se termina de perforar el hueco de producción con broca de 12-1/4" hasta la profundidad de interés, que en promedio es de 8000 pies.

-Se corren registros en hueco abierto: MSF, LLD, LLS, GR, CALIPER, SPIEST y DENSIDAD-NEUTRON, ETC.

-Se baja casing de producción de 9-5/8", 47 lb/pies, N-80 dejando el tope del cemento aproximadamente a 5000 pies.

-Se entrega el pozo con un flanche ciego sobre el "tubing spool" y se inicia la movilización del equipo hacia el próximo pozo.

-Después de concluida la operación y transcurridos unos días se evalúa el trabajo de cementación tomando el registro correspondiente, CBL.

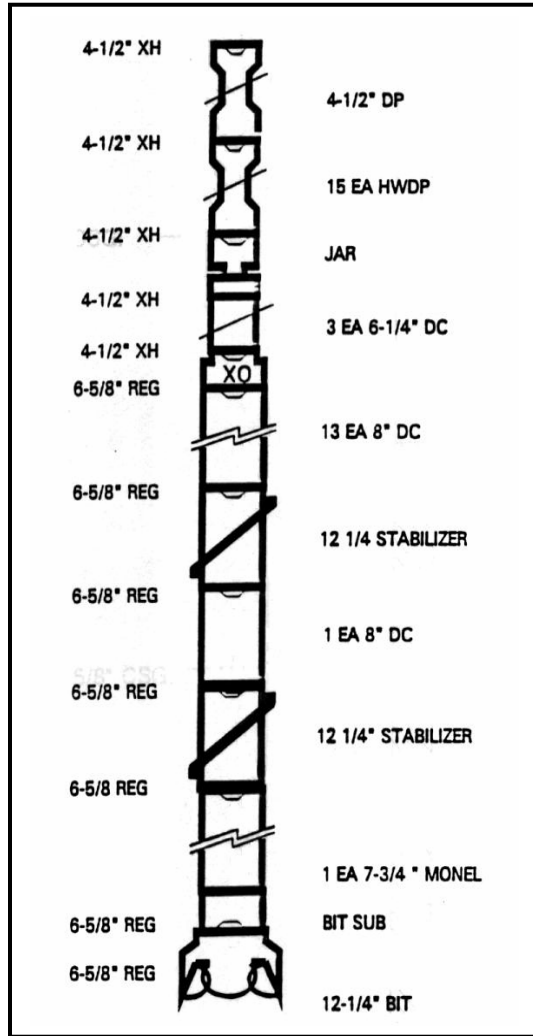


Figura 19. Arreglo de Fondo

8. CAÑONEO

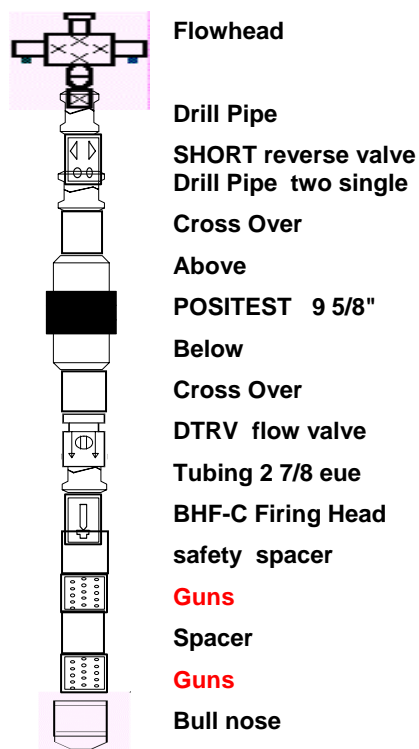


Figura 20. Sarta de cañoneo

Para producir las arenas se hace necesario entonces cañonear a las profundidades establecidas según los análisis de registros realizados por ingeniería de yacimientos, el procedimiento seguido es el siguiente:

-Ensamblar la herramienta y bajarla al pozo.

-Correlacionar profundidad con gamma ray, para garantizar que los cañones estén ubicados a la profundidad deseada.

-Asentar el empaque y verificar su sello, presurizando en superficie el anular con 100 psi y observando que esta presión no caiga.

-Colocar la cabeza de cañoneo y soltar la barra de disparo.

La barra en su recorrido descendente rompe unos pines, abriéndose una camisa por debajo del empaque y permitiendo así que los fluidos entren al pozo.

Debido al depletamiento del yacimiento los fluidos no tienen la suficiente energía para subir a superficie. Sin embargo se utiliza un colchón de agua, calculado con base en la presión de fondo esperada. Este colchón de agua controla el pozo evitando flujo de fluidos en superficie. De ésta manera el aceite desplazará el colchón hasta tener una cabeza que iguale la presión de fondo. A su vez el colchón de agua desplazará el aire por encima de éste, el cual se detecta en superficie a través de una manguera sumergida en un balde de agua, permitiendo tener una referencia de lo que pasa en el pozo desde la entrada de fluidos hasta su "muerte".

-Desasentar el empaque por tensión.

-Se corre un CCL y un gamma ray para verificar fondo

-Retirar la herramienta del pozo.

-Se baja el completamiento de acuerdo a la diseñado para el pozo.

-Coordinar con producción la arrancada del pozo.

9. EQUIPO DE COMPLETAMIENTO



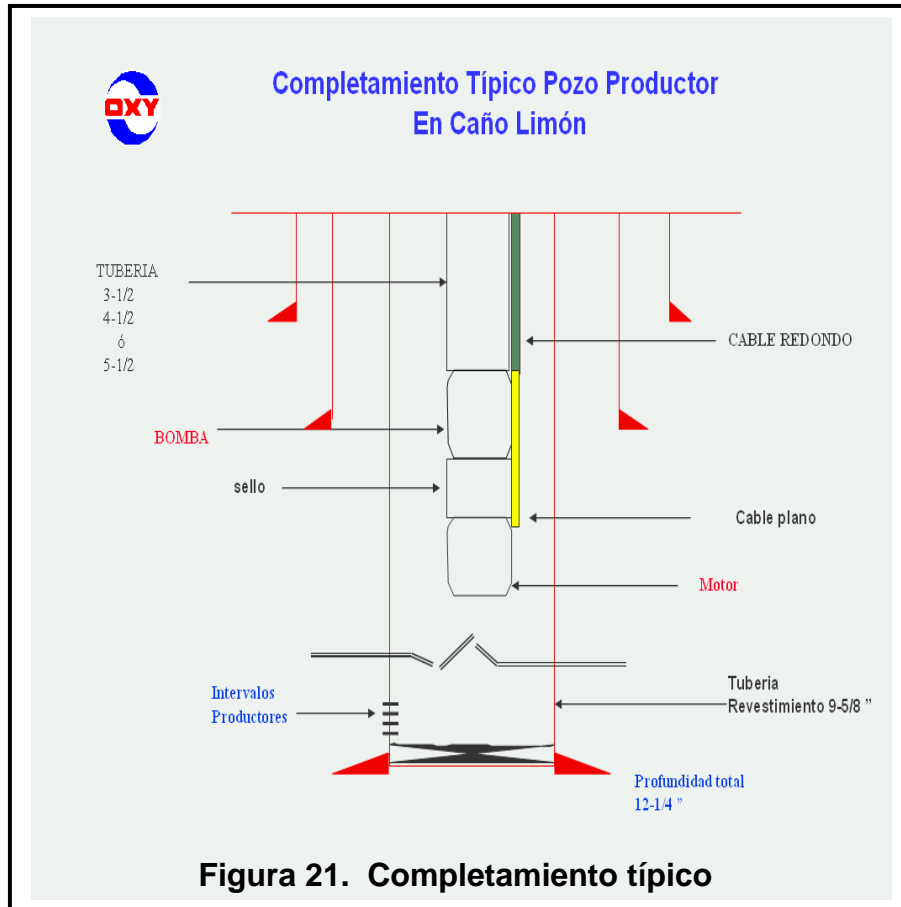
Foto 29. Torre para Servicio a Pozo

El completamiento que existe en Caño Limón es del tipo simple y es realizado por un rig (“Chivo”) encargado de los servicios a pozo. Este completamiento consiste de una sola sarta de tubería de producción de 4-1/2" a de 3-1/2" que llega hasta una profundidad promedio de 2500 pies colocada dentro del revestimiento de 9-5/8".

Todos los intervalos cañoneados se producen por la misma sarta de producción.

Este tipo de completamiento ofrece las siguientes ventajas:

- Suministrar altos caudales de producción
- Facilitar la instalación de bombas electrosumergibles
- Bajas inversiones iniciales y bajos costos de operación



Este completamiento simple tiene la desventaja de carecer de control individual de los intervalos y dificultar la eliminación de zonas productoras de agua.

El completamiento simple reemplazó al doble, que a pesar de permitir el control individual de los intervalos productores reducía los caudales posibles y aumentaba las inversiones iniciales y costos de operación. Estos completamientos consistían de dos sartas de 3-1/2" colocadas dentro del revestimiento de 9-5/8" y se utilizaron durante las primeras etapas de producción del campo.

Para el completamiento simple instalado en Caño Limón existen 4 alternativas:

a) Con herramienta tipo "Y" y empaque

- b) Con herramienta tipo "Y" y sin empaque
- c) Sin herramienta tipo "Y" ni empaque
- d) Sin herramienta tipo "Y" pero con empaque

Las alternativas más utilizadas en el campo son las opciones b) y c).

9.1 TUBERIA DE PRODUCCIÓN

La tubería de producción es el medio de flujo de los fluidos del pozo desde la profundidad de inmersión de la bomba hasta superficie.

Se conecta directamente a la bomba cuando el completamiento carece de la herramienta tipo "Y" o a ésta última cuando está presente en la instalación.



Foto 30. Tubería de Producción

Algunas de sus especificaciones son:

a) *Diámetro externo*

Actualmente en Caño Limón se utiliza tubería de producción de 4-1/2" o 3-1/2", Este diámetro externo de la tubería se determina directamente con un compás calibrador.

b) Peso por pie lineal

El peso seleccionado para un diámetro externo de tubería determina el diámetro interno ó de deriva ("drif").

El diámetro de deriva es el diámetro máximo de una barra ("conejo") de 3 pies de longitud que pasa fácilmente a lo largo de una junta de tubería. El conejo se pasa por cada junta antes de ser bajada dentro del pozo. Las juntas que no permitan el paso del conejo se rechazan.

El peso por pie lineal de la tubería de producción usada en Caño Limón es:

-12.75 lb/pies para tubería de 4-1/2"

-12.75 Lb/pie para tubería de 3-1/2"

c) Grado de la tubería

El grado del acero del que está hecha la tubería determina la resistencia y dureza de la misma. La selección del grado de tubería para un pozo se hace con base en la resistencia a la tensión, la resistencia al estallido y la resistencia al colapso que se requiera, además de la disponibilidad.

El grado de la tubería de producción en Caño Limón es N-80.

Conociendo el diámetro externo (4-1/2"), el peso (12.75 lbs/pie) y el grado(N-80) se determina:

PRESIÓN DE COLAPSO	PRESIÓN DE REVENTÓN	RESISTENCIA A LA TENSIÓN
<i>7500 psi</i>	<i>8430 psi</i>	<i>288040 lb</i>

d) Tipo de acoplamiento

Los diversos tipos de acople disponibles para tubería se pueden dividir en:

(1) Con acoplamientos:

Cuando los extremos son machos y los acoples hembras.

(2) Con juntas (o acoples) integradas:

Son secciones de tubería que tienen rosca externa (macho) en un extremo y rosca interna (hembra) en el otro.

La conexión de tubería tiene "UPSET" cuando el terminal de la junta es más grande que la parte principal del cuerpo y un "NON UPSET" en caso contrario . Así, el tipo de acople que se seleccione para un uso particular se basa en las condiciones de operación, las necesidades de resistencia a la tensión, limitaciones de espacio, clase de completamiento y la disponibilidad.

La tubería de producción en Caño Limón es CAJA x PIN por lo tanto no necesita acoples.

e) Rango de longitud

La longitud de la tubería de producción en Caño Limón es de 31 pies.

El rango de longitud de la tubería seleccionada para un pozo depende de la altura del equipo a utilizar y de la disponibilidad.

9.2 EMPAQUES

Los empaques se utilizan para segregar fluidos y presiones en el espacio anular entre la tubería y el revestimiento, o sólo en el revestimiento cuando no hay tubería.

Los empaques actualmente utilizados en Caño Limón son:

Tapón Puente (Bridge Plug)

Empaques dobles de Completamiento.

9.2.1 Tapón puente

Se usan para sellar el fondo del pozo y/o aislar las zonas a producir de las ya producidas. Los modelos de "Bridge Plug" usados en Caño Limón son:

-El Drill SV Squeeze Packer

-Modelo PR

Empaque EZ Drill SV Squeeze Packer

Esta herramienta actualmente se utiliza en Caño Limón como retenedor de cemento en cementaciones remediales ó "squeezes", sin embargo también se encuentra instalado como "bridge plug" en varios pozos.

Modelo PR

El modelo "PR Bridge plug" es una herramienta de diseño modular que puede ser convertida de tapón puente a retenedor de cemento para ser sentada mecánicamente o con "wireline".

9.2.2 Empaques dobles de completamiento

Estos empaques de completamiento segregan fluidos y presiones en el espacio anular del revestimiento/tubería donde encuentra dos sartas de tubería que penetran el empaque. Actualmente se están usando en Caño Limón debido a la necesidad de una sarta adicional por donde pasar la alimentación de potencia al motor y así evitar que el cable se trence al efectuar cualquier movimiento.

Estos empaques dobles reemplazaron a los empaques sencillos usados en los primeros años cuando los pozos produjeron naturalmente.

Los empaques de doble sarta utilizados en Caño Limón han sido los siguientes:

- Empaque MPL
- Empaque Twin Seal
- Empaque Uni- Packer XXVI 1- HO

Empaque MPL

El empaque MPL sirve como "tubing hanger" y/o como empaque recuperable de producción con especiales características diseñadas para acomodarse al uso de bombas electrosumergibles.

Empaque Twin Seal

Diseñado para facilitar el uso de bombas electrosumergibles.

Empaque Guiberson

Es un empaque de producción de doble sarta, hidráulicamente sentado, sostenido mecánicamente y recuperable por corte. Usado para operaciones de producción con presión moderada, particularmente cuando se sienta el empaque sin manipulación del tubing o después de que el cabezal del pozo ha sido instalado.

9.3 EQUIPO AUXILIAR DE COMPLETAMIENTO

HERRAMIENTA TIPO "Y"

La herramienta tipo "Y" se utiliza en instalaciones de E.S.P para permitir el paso de herramientas para la toma de registros de fondo con cable eléctrico, mientras el pozo esta fluyendo.

Foto 31.
"Y" Tool



Características/Beneficios

- Se mantiene un control sobre los parámetros de producción y el comportamiento del yacimiento.
- Se obtienen excelentes estudios para el control de la producción de agua.
- Es liviano y ofrece una alta eficiencia hidráulica.
- Puede correrse en revestimiento de producción de diámetro externo superior a 9-5/8", 53.5 lb/pie y puede instalarse con tubería de 3-1/2" o 4-1/2".

Partes de la herramienta "Y"

a) Cuello

El cuello de la herramienta tipo "Y" tiene conexiones de 3-1/2" con rosca NUxEUE ó EUExEUE dependiendo de las series del motor y bomba a ensamblar.

Sí el ensamblaje incluye bombas o motores serie 562 o 513, se recomienda: NUxEUE.

Sí el ensamblaje incluye bombas y motores serie 540: EUExEUE.

b) Cuerpo

El cuerpo de la herramienta está diseñada en forma de "Y" con dos brazos de 3-1/2" de diámetro exterior. En el brazo no-centrado se conecta la bomba y en el brazo centrado se cuelga el tubo instrumento.

c) Silla

La silla es el asiento del tapón ciego y se encuentra en el brazo centrado de la herramienta tipo "Y". La silla tiene la función de permitir sello junto con el tapón ciego, evitando que haya recirculación de fluido a través de la herramienta "Y" cuando el pozo esté produciendo.

d) Tapón ciego o "blanking plug"



Foto 32. Tapón Ciego

Utilizado para taponar la parte inferior de la herramienta “Y”, con un sistema de alivio para evitar problemas de pegas por un diferencial de presión y reducir el riesgo de ruptura de la unidad de cable.

Va ubicado en la silla y su función junto con ella es la de proporcionar sello para evitar la recirculación de fluido a través de la herramienta “Y” cuando el pozo está produciendo.

e) Swivel o Excéntrica

La swivel soporta el peso del tubo instrumento conectado al cuerpo de la herramienta “Y”. Tiene la función de facilitar la conexión del tubo instrumento girando libremente, además de tener diámetro interno no centrado. El diámetro interior de la swivel no centrado debe quedar mirando hacia la parte externa de la herramienta tipo “Y”, opuesta a los brazos de la misma, de manera que cuando se conecte el tubo instrumento, éste quede alineado con el cuerpo de la bomba que se está instalando. De ésta manera se evita que el tubo instrumento quede doblado hacia dentro por diferencia de diámetros.

Es prácticamente un acople con conexión inferior descentrada que permite orientar el tubo instrumento de tal forma que no interfiera con la operación de la bomba electrosumergible.

f) Adaptador o Acople de tubería de instrumentos

Permite la conexión rápida del tubo instrumento al ensamblaje total de la herramienta. Tiene la función de conectar el tubo instrumento con la swivel. La parte inferior del adaptador se rosca al último tubo del tubo instrumento y se asegura a la swivel por medio de tornillos que se ajustan a través del cuerpo de la misma.

g) Unión Telescópica

Se utiliza para facilitar la posición de la abrazadera con respecto al tubo instrumento y a la carcasa de la bomba, cuya elongación interna es suficiente para obtener la ubicación exacta en el sitio y momento que se necesite.

h) Tubo Instrumento

El tubo instrumento tiene la función de permitir el paso de las herramientas de prueba en las instalaciones de bombeo electrosumergible, con el fin de monitorear el yacimiento mediante datos de presión, temperatura y producción obtenidos a condiciones de fondo de pozo.

El tubo instrumento se puede instalar con juntas de extensión dependiendo de si la longitud a bandear de éste, al levantar la polea viajera a su máxima altura (5 pies por debajo de la corona del pozo) es mayor de 24 pies o mayor de 15 pies en pozos desviados, o si la junta de extensión cuando al levantar es menos de 15 pies y la última sección de la sarta es un tubo de 24 pies.



Foto 33. Tubo Instrumento

i) Tubo PINxPIN

Es un tubo corto de un pie que facilita la conexión del tubo instrumento al "entry guide" pues el último tubo del tubo instrumento termina en caja al igual que el acople del "entry guide".

j) Entry Guide

Este acople facilita por su forma la entrada y recuperación de las herramientas al terminar una prueba de monitoreo. Debe quedar localizado por debajo del ensamble motor-bomba. Tiene una longitud de 0.70 pies.

SILLA TIPO "R"(NO GO)

En la "R Seating Nipple" se coloca una válvula de cheque "standing valve" Tipo RB-2 que permite el asentamiento hidráulico del empaque. Va ubicada en un tubo por debajo del empaque de producción, y se ajusta con las llaves de potencia.

VÁLVULA RB-2

Esta válvula se instala en la silla tipo "R", se baja y se recupera con wireline antes o después de asentar hidráulicamente el empaque. Posee una bola que hace sello al bombear por el tubing presurizando el sistema. Posee además un empaque que hace contacto con la superficie lisa de la silla tipo "R", de ahí la importancia de que en verdad sea lisa para evitar fugas.

SILLA TIPO "B"

En la "B Nipple" se sienta la válvula de seguridad. Se instala a ± 250 pies de profundidad y posee en la parte externa de su cuerpo la conexión para la línea de control.

VÁLVULA DE SEGURIDAD

La válvula de seguridad "Flapper" se utiliza para cerrar el pozo en casos de emergencia. Esta se controla hidráulicamente desde superficie con una línea de control de alta presión. La válvula puede abrirse o cerrarse desde superficie con el tablero de control tipo OTIS variando la presión de operación.

Existen dos tipos de válvula de seguridad:

-BFVE: La cual posee un ecualizador en el "Flapper" que iguala las presiones arriba y abajo de la válvula, evitando así problemas en el "flapper" cuando existe una diferencia grande de presión.

-BFV: La cual no tiene ecualizador.

Antes de instalar la válvula, ésta se debe probar en superficie asegurando que el "flapper" abra y cierre sin problemas, además de probar que su sistema de seguridad de flujo funcione correctamente y no presente fugas.

Una vez instalada con wireline se presuriza la línea desde el tablero de control OTIS para abrirla. La presión de la línea se mantiene mas a menos a 1 ,200 psi hasta que el "flapper" de la válvula esté completamente abierto, siendo lo anterior una señal de que la válvula esta funcionando normalmente. Por seguridad se deja presionada la línea a 3,500 psi para mantener la válvula de seguridad abierta.

De ésta manera se controla el flujo de fluidos en el tubing con la válvula de seguridad y en el anular con el empaque de completamiento.

10. CABEZAL DE PRODUCCIÓN

El equipo de cabeza de pozo es el equipo que suministra un sello entre la sarta de tubería de completamiento y el espacio anular del revestimiento/tubería y es el medio para controlar y registrar la producción del pozo desde superficie.

En Caño Limón, la típica cabeza de pozo consta de 3 secciones:

Sección A: Cabezal del revestimiento de producción.

Sección B: Carrete de la tubería de producción.

Sección C: Árbol de navidad.



Foto 34. Árbol De Navidad

10.1 SECCIÓN A : CABEZAL DEL REVESTIMIENTO

El cabezal del revestimiento de producción, "casing head" conocido también como carrete o malacate de revestimiento tiene la función de sostener el revestimiento de 9-5/8".

La parte inferior del cabezal del revestimiento se solda al revestimiento de superficie de 13-3/8" una vez éste ha sido cementado, con el fin de poder instalar preventoras y continuar perforando hasta la profundidad deseada.

La sarta de revestimiento de 9-5/8" una vez introducida al pozo se cuelga a tensión al calgador de revestimiento, "casing hanger" que luego es colocado en el cabezal de revestimiento.

Por su forma esquizable a manera de medias lunas, el colgador es fácilmente introducido en el cabezal de revestimiento una vez la sarta de revestimiento se sobretensióne 25,000 lbs, se suelta quedando aprisionada en el colgador y éste último apoyado y soportado en el cabezal de revestimiento.

De ésta manera se aísla el espacio anular entre las sartas de revestimiento de 13-3/8" y 9-5/8".

La sección A consta de las siguientes partes:

(1) Cabezal de 13-3/8" x 13-5/8", tipo C-22-BP, 3,000 psi. presión de trabajo con dos salidas de 2" rosca L.P (Line Pipe).

(2) Válvula O.C.T modelo 120, máxima presión de trabajo 3,000 psi. 2" rosca L.P. Esta válvula comunica el anular entre el revestimiento de 13-3/8" y revestimiento de 9-5/8".

(3) Tapón ciego con rosca Line Pipe de 2".

10.2 SECCIÓN B: CARRETE DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

El carrete de la tubería de producción, "tubing spool" tiene la función de soportar peso del equipo de completamiento. Se instala antes de introducir la sarta de completamiento al pozo e inmediatamente arriba del cabezal del revestimiento.



Foto 35. Tubing Spool

La última sección de tubería de producción, cable de potencia y línea de control se introducen al pozo conectadas al colgador de tubería, "tubing hanger" que luego es colocado en el carrete de tubería.



Foto 36. Tubing Hanger

Por su forma, el carrete de tubería suministra asiento al colgador de tubería, además de poseer unos tornillos laterales de fijación que evitan que el colgador se mueva hacia arriba en caso de que se desarrollen presiones bajo él, que tiendan a levantarlo de su sitio.

La sección B consta de las siguientes partes:

(4) Colgador del revestimiento de producción, tipo C-22, 12" x 9-5/8" OD.

(5) Cuerpo del carrete de producción C-29-ET, 10-3/4" ID, flanches de 13-5/8" x 11", 30000 psi. con 2 salidas de 2-1/16" rosca L.P. 5000 presión de trabajo.

(6) Ensamble de sello "Pack-off Assy", BG-PE, 10-3/4" x 9-5/8" OD.

(7) Válvula O.C.T modelo 120, máxima presión de trabajo 3,000 psi. 2-1/16" rosca L.P. Esta válvula comunica el anular entre el revestimiento de 9-5/8" y la tubería de producción de 4-1/2".

10.3 SECCIÓN C: ÁRBOL DE NAVIDAD

El Árbol de navidad es una colección de válvulas, conexiones y accesorios que permiten el acceso al pozo perforado así como el control y manejo de la producción. Se instala después de bajar el equipo de completamiento e inmediatamente arriba del carrete de tubería.

Las válvulas grandes usadas en los árboles de navidad son del mismo tipo, de compuerta, pero tienen diferentes nombres según su posición.

La sección C consta de las siguientes partes:

(8) Colgador de tubería TC-ECC, 10" x 4-1/2" 8RD-8RD, con orificio para adaptar el conector de potencia a través del colgador y puerto para instalar la camisa de sello de 1-1/4" que comunica la línea de control con superficie.

(9) Adaptador rotante del flanche A-2-D-EC, 11" x 4-1/16", 3000 psi presión de trabajo con orificio de 1/4" para adaptar al sello de camisa "Fitting" para conectar la línea de control. Orificio para el conector de potencia parte superior penetrador del colgador de producción y puerto con salida 1/2" en el flanche para probar el mismo.

(10) Dos válvulas maestras O.C.T.,F.E modelo 120, 4-1/16", 3000 psi presión de trabajo.

(11) Bloque base T-608, 4-1/16" x 4-1/16", 3000 psi presión de trabajo.

(12) Adaptador B-11-AO, 4-1/16" x 4-1/2" 3000 psi presión de trabajo, rosca tipo EUE-8RD con tapa para trabajos de cable delgado.

(13) Válvula lateral O.C.T.,F.E. modelo 120, 4-1/16" 3000 psi presión de trabajo.

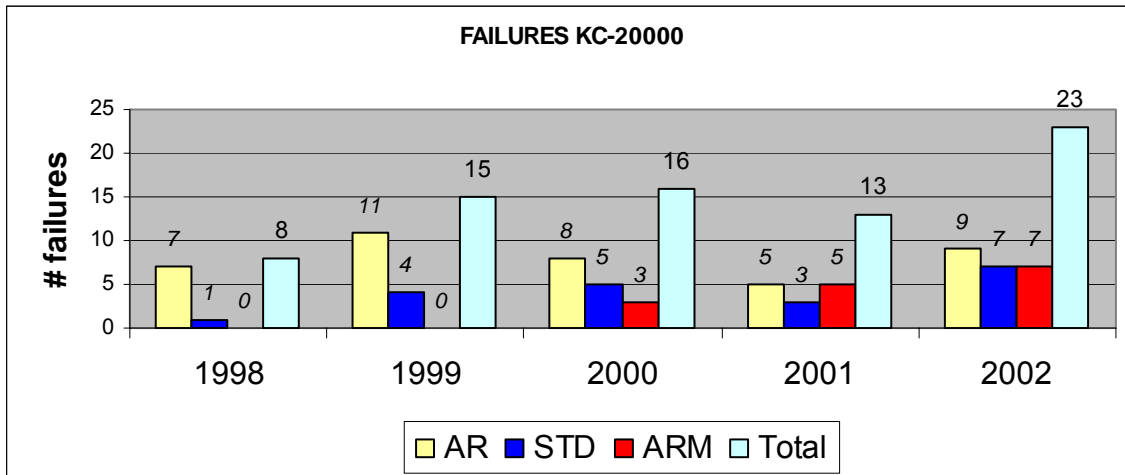
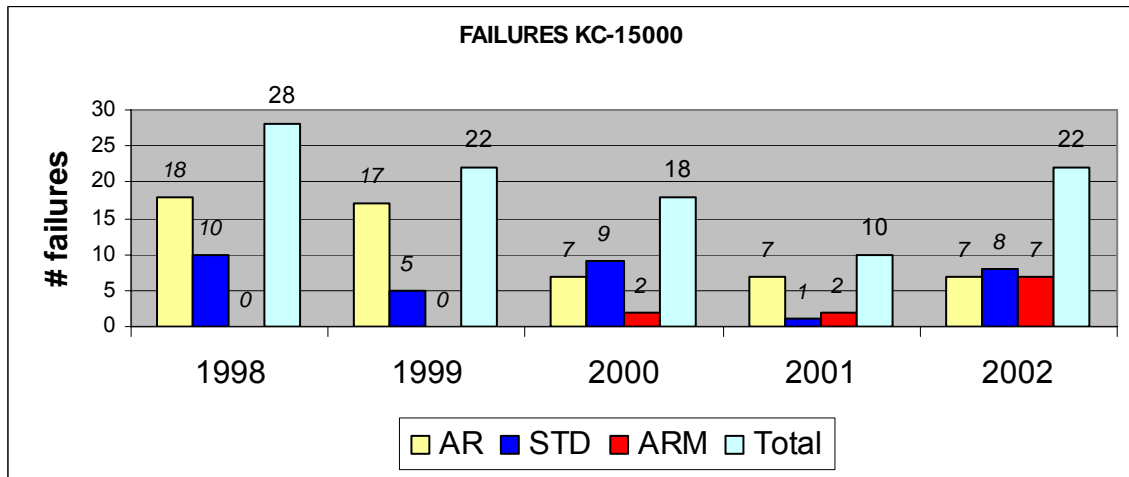
11. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS BOMBAS KC-15000 Y KC-20000

En el campo Caño Limón como bien es conocido se utiliza el bombeo electrosumergible como sistema de levantamiento artificial; y en la mayoría de los casos se usan bombas del tipo KC-15000 y KC-20000, debido a su buen comportamiento y capacidad de manejo de grandes caudales de fluido.

Estas bombas a su vez se clasifican en AR, ARM o STD, según la resistencia a la abrasión que tengan; debido a ésto se hizo un análisis estadístico su comportamiento en los últimos cinco años.

Aquí se presenta el estudio realizado y los resultados obtenidos.

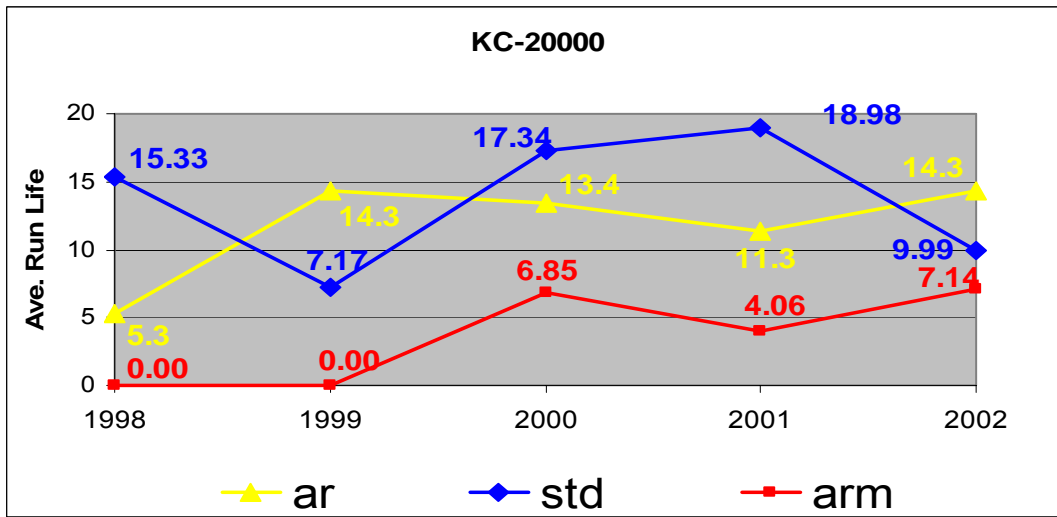
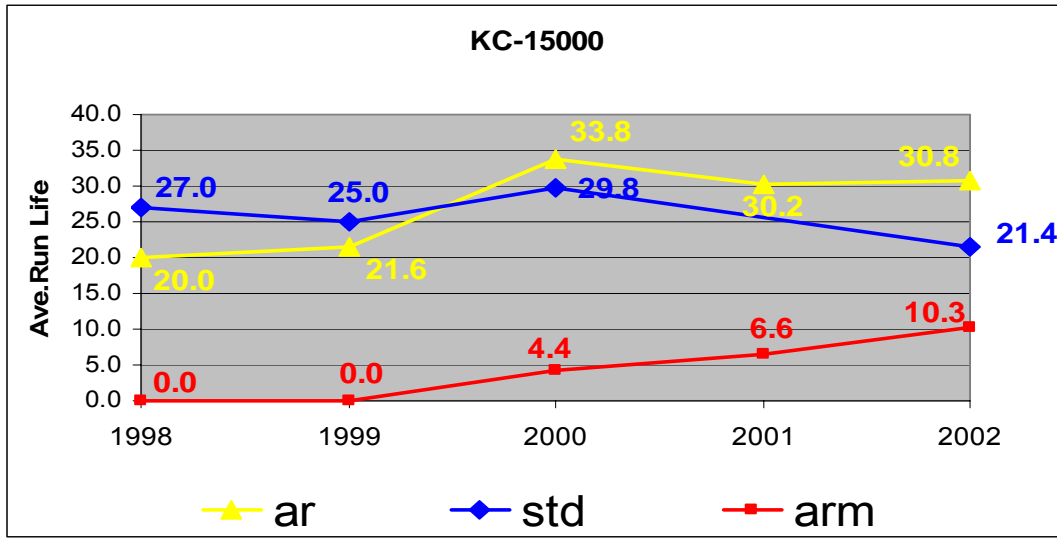
Figura 22. Número de fallas del equipo ESP



En los primeros tres años la cantidad de fallas de la KC-15000 supera a la KC-20000, en los últimos dos años la KC-20000 supera por corto margen a la otra.

Cabe resaltar que las fallas representadas son del equipo ESP, sin discriminar si fue por bomba, sello o motor.

Figura 23. Run life promedio para cada bomba



Se observa que para las dos bombas los tipos STD Y AR tienen el mejor promedio de vida útil.

Tabla 2. Fallas debidas a la bomba

FAILURES POR AÑO KC-15000						
	1998	1999	2000	2001	2002	TOTAL
AR	5	4	3	0	5	17
STD	4	1	4	0	5	14
ARM	0	0	0	0	5	5
Total	9	5	7	0	15	36

FAILURES POR AÑO KC-20000						
	1998	1999	2000	2001	2002	TOTAL
AR	0	5	3	1	4	13
STD	0	3	4	1	3	11
ARM	0	0	2	4	4	10
Total	0	8	9	6	11	34

AVERAGE RUN LIFE KC-15000						
	1998	1999	2000	2001	2002	TOTAL
AR	23.2	24.5	38.7	0.0	29.9	28.2
STD	30.9	19.5	30.6	0.0	23.4	27.3
ARM	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	12.2
Total	26.6	23.5	34.1	0.0	21.9	25.7

AVERAGE RUN LIFE KC-20000						
	1998	1999	2000	2001	2002	TOTAL
AR	0.0	10.3	12.7	8.8	25.2	15.3
STD	0.0	8.2	19.9	18.5	9.9	13.8
ARM	0.0	0.0	8.6	4.4	6.5	6.1
Total	0.0	9.4	15.0	7.5	14.3	12.1

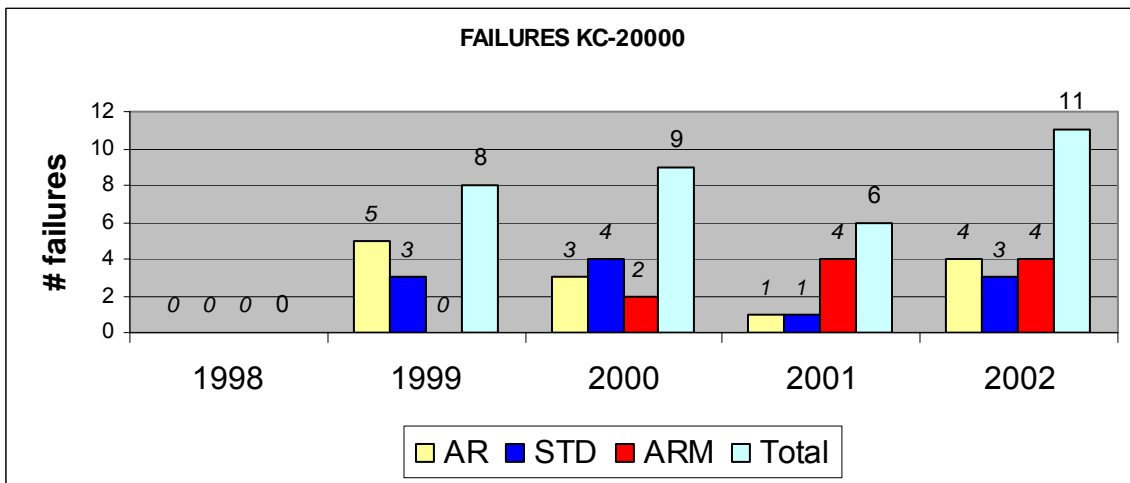
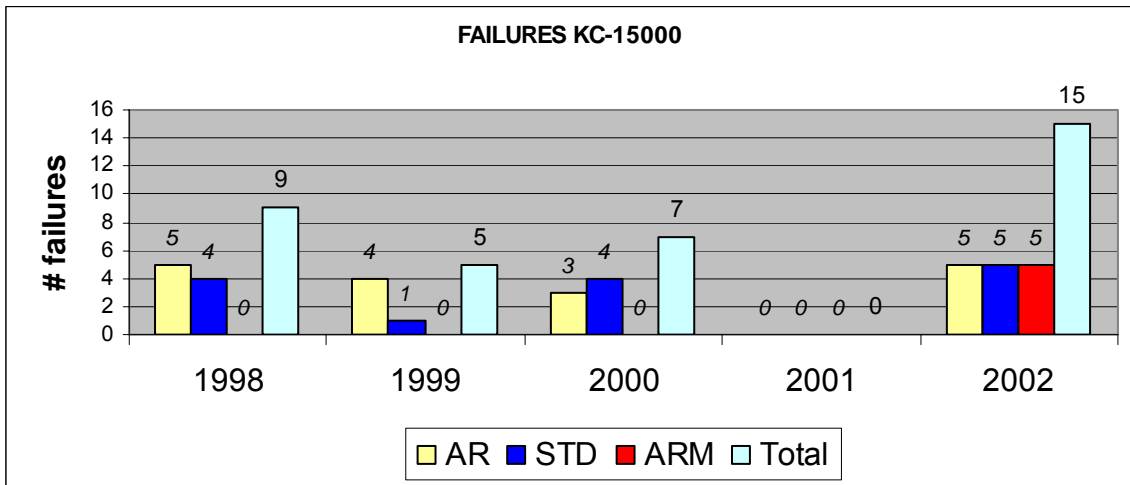
Tabla 3. Número de instalaciones

# INSTALATIONS KC-20000				
YEAR	AR	STD	ARM	TOTAL
1998	12	3	3	20
1999	9	4	7	20
2000	9	9	1	19
2001	5	3	5	13
2002	12	13	6	31
TOTAL	47	32	22	103

# INSTALATIONS KC-15000				
YEAR	AR	STD	ARM	TOTAL
1998	9	3	3	15
1999	8	0	5	13
2000	9	3	3	15
2001	7	4	2	13
2002	12	6	4	22
TOTAL	45	16	17	78

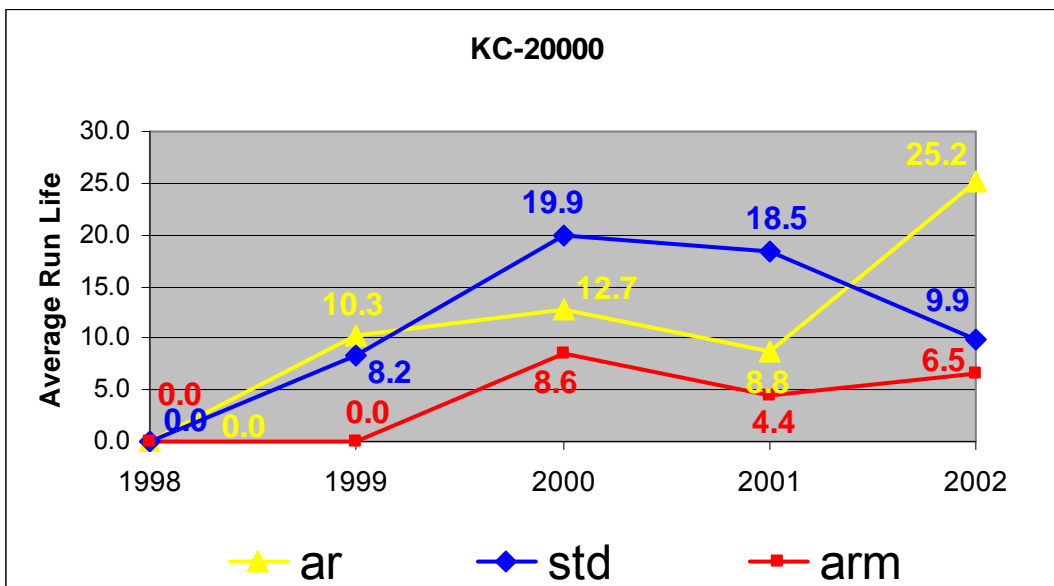
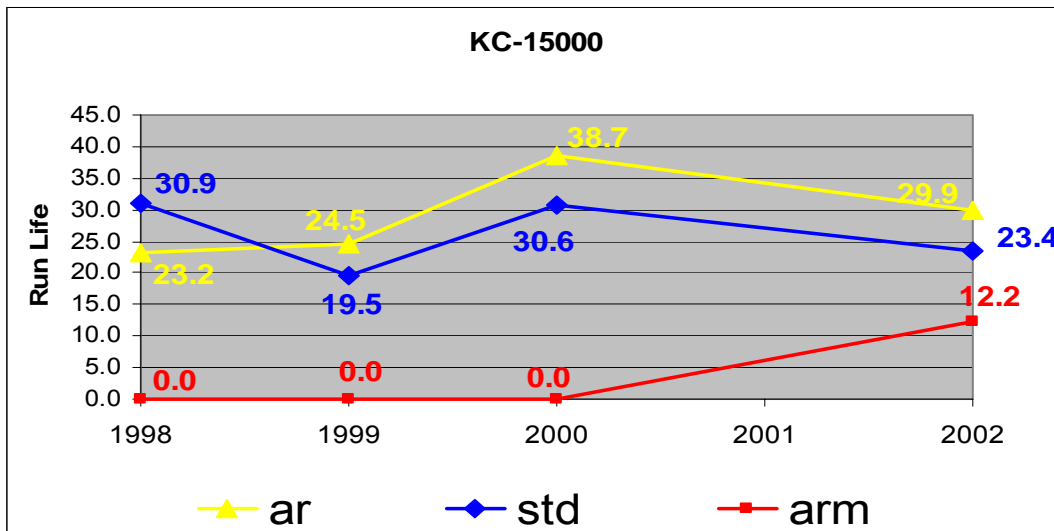
Para las dos bombas predomina la instalación del tipo AR sobre las otras dos en cada uno de los cinco años.

Figura 24. Fallas exclusivamente de la bomba



En ésta comparación se presenta únicamente las fallas por bomba, donde se observa un número un poco mayor para las KC-20000.

Figura 25. Run life promedio para fallas debidas a la bomba



En cuanto al tiempo de vida de las bombas, las KC-15000 AR y STD presentan un mejor comportamiento que las otras.

Figura 26. Resumen de fallas por bomba

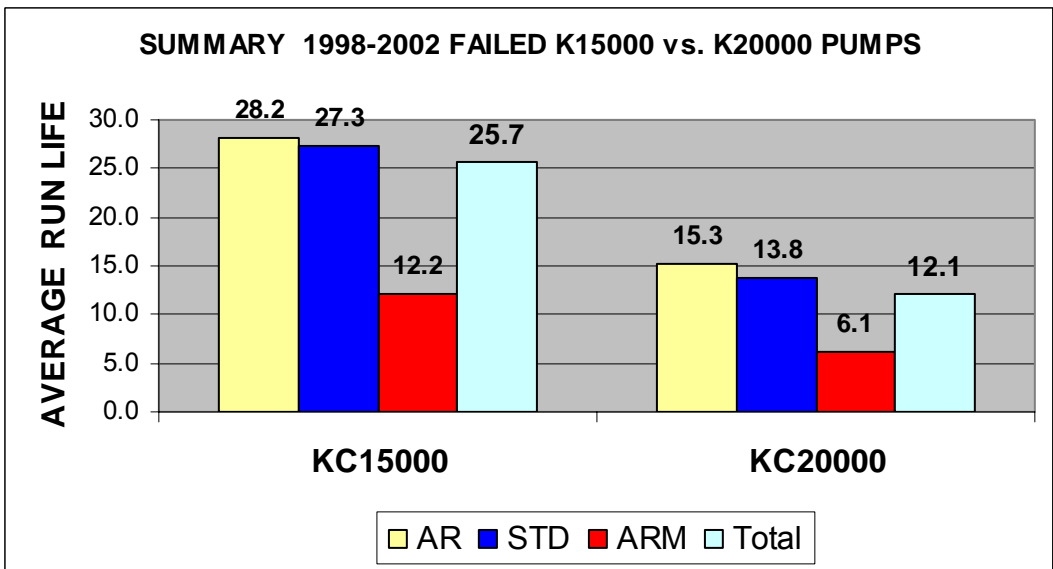
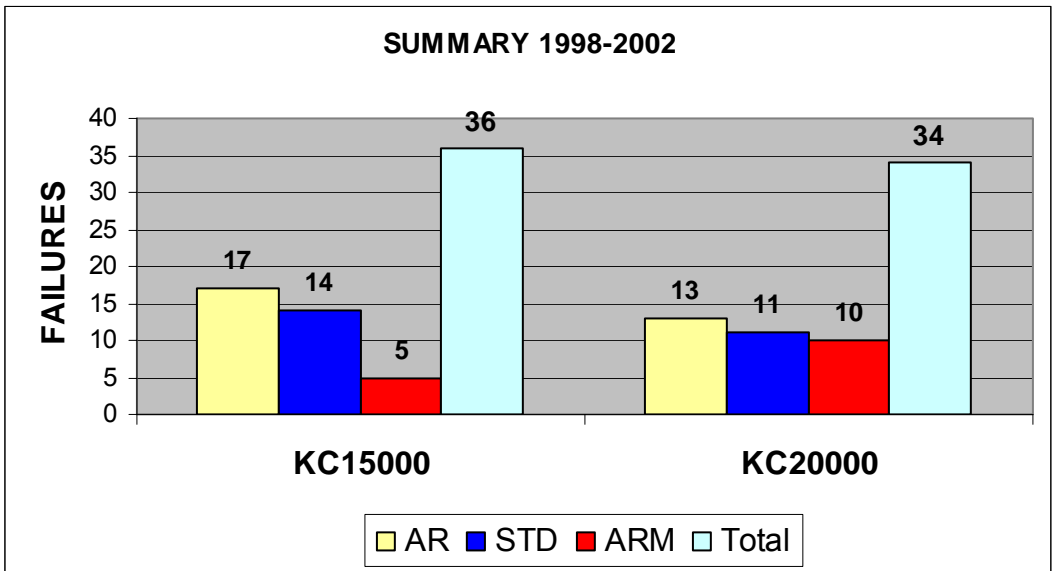


Figura 27. Diseño en AUTOGRAPH

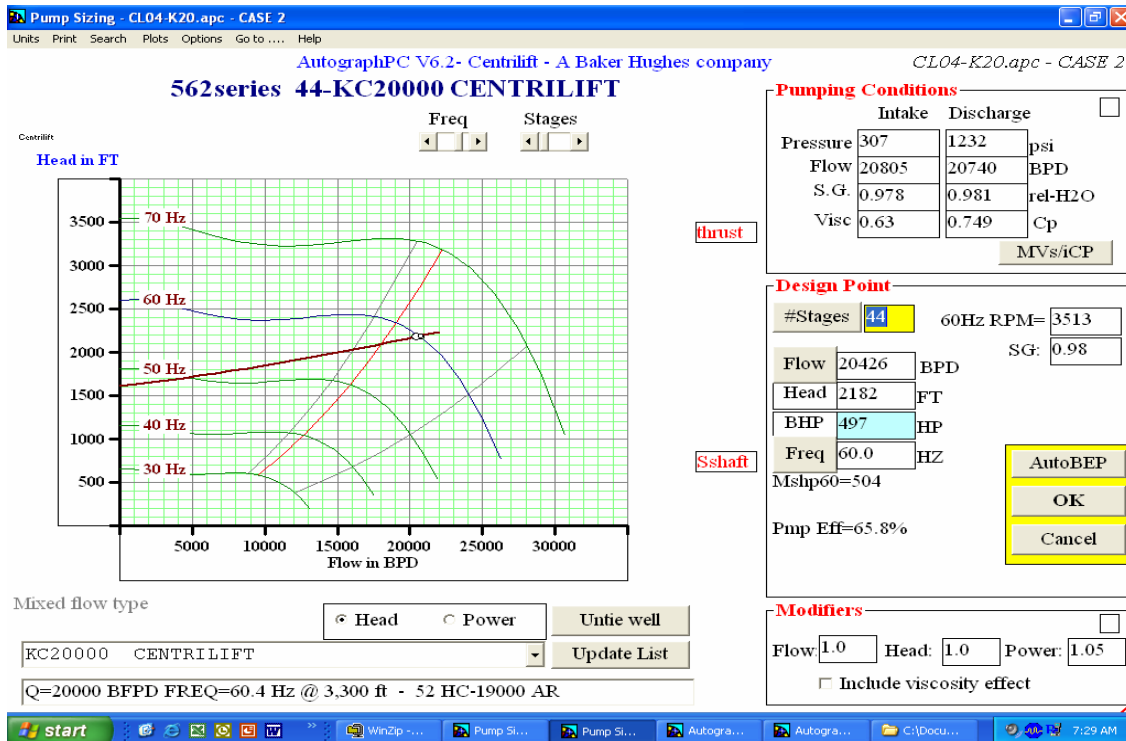
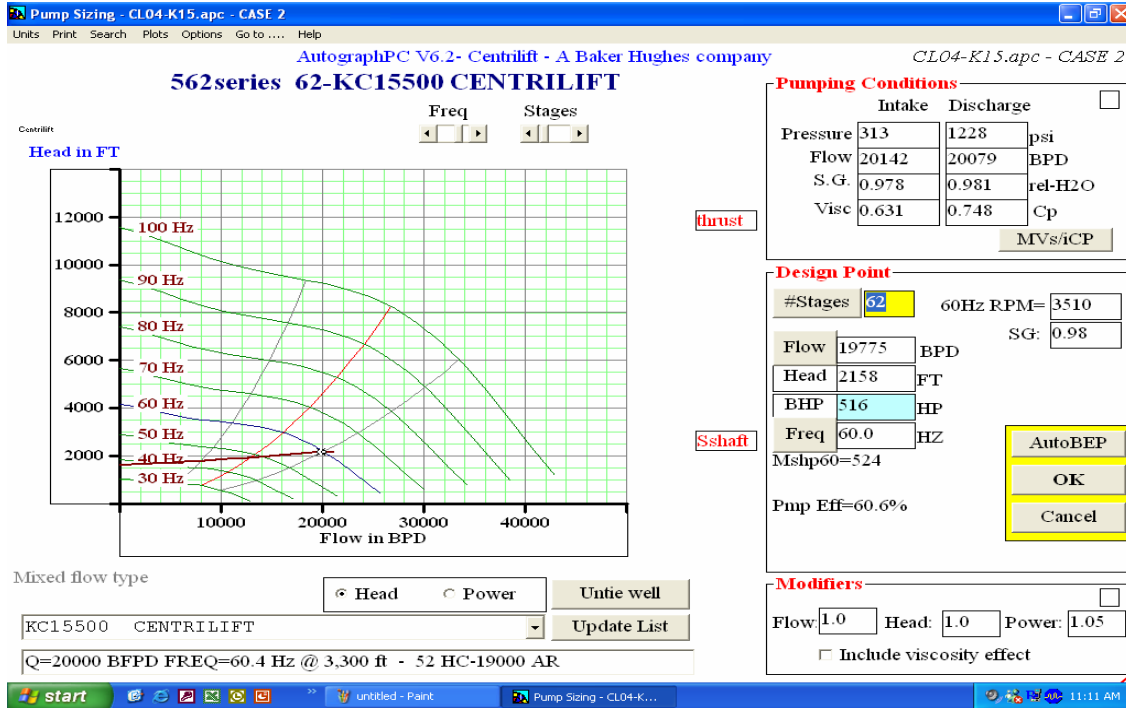


Tabla 4. Resultados obtenidos

AUTOGRAPH DESING

		DESING KC15000 Vs. KC20000								
		STAGES	Q (BFPD)	% H2O	GAIN / LOSS FLUID - OIL		POSITION CURVE	Hz	Motor HP	% MOTOR LOAD
CL-04	K-20	44	20400	97			0.6	60	600	83
	K-15	62	19800		-600	-17	1.0	60	600	86
LY-46	K-20	60	20700	92			0.8	56.7	600	100
	K-15	78	19900		-800	-61	1.1	58.4	600	100
	K-15	78	22000		1300	104	1.3	61.7	760	95
CY-17	K-20	90	16600	96	-1400	-56	0.5	53.1	760	100
	K-20	75	17800		-200	-8	0.5	58.1	760	100
	K-15	93	18000				0.7	59.7	760	100

Se hizo la simulación en tres pozos diferentes utilizando para cada uno una bomba KC-15000 y una KC-20000 para determinar si es viable el cambio de una por otra sin afectar significativamente la producción.

11.1 CONCLUSIONES

- La KC-15000 ha tenido mayor vida que la KC-20000 en todos los tipos (AR, ARM, STD). Sin embargo, después del cambio de diseño de la KC-20000AR se observa un incremento en su vida.
- En la KC-20000-STD la corta vida (13.8meses) comparada con la de la KC-15000-STD (27.3meses) se debe a su menor rango de operatividad en Downthrust. En 2003 hay 2 fallas (LY12, LY44) prematuras de KC-20000. con 3.3meses por desgaste de Downthrust.
- Para ambas bombas (KC-15000 y KC-20000) la de menor vida es el tipo ARM. Esto se debe al problema del hongo (posible por no soportar 2 impulsores).
- En el 2000 y 2001 la KC-20000-STD duró más que la KC-20000-AR por el problema de la arandela de Downthrust. En la AR la arandela duraba más tiempo y cortaba más el faldón que en la STD. También los pedazos de faldón hacían más daño a los hongos AR, causando más destrucción en la AR.
- DISEÑO: La KC-15000 muestran buen desempeño operando en Upthrust (+/-20000 bfpd). Estas etapas no han mostrado desgaste por Upthrust.

11.2 RECOMENDACIONES

- Mantener el NO uso de la ARM (en serie “K”) por el alto riesgo de falla (al romper los hongos ARM).
- Preferir la KC-15000 sobre la KC-20000 donde las condiciones de diseño lo permitan (dado su mayor Run Life histórico).
- Preferir la KC-15000-AR sobre la KC-15000-STD. Históricamente las AR muestran promedio un incremento de 6 meses de Run Life.

12. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE INSTALACIONES PCP EN CAÑO LIMÓN

Los resultados de las instalaciones PCP en Caño Limón no son alentadores debido a las fallas prematuras que reportaron ambas instalaciones en los pozos LY-94 y LY-97. Sin embargo, sí se consigue justificar estas fallas como resultado de la falta de experiencia y coordinación existente para la selección, instalación y control de los equipos instalados, tanto por parte de los fabricantes, como del cliente, puede realizarse un balance más crítico y menos pesimista para estas instalaciones.

A continuación se hace una comparación de costos involucrados en la instalación y operación de las bombas PCP. Se revisaron los costos de los equipos ESP instalados previamente en los pozos LY-97 y LY-94, y los costos de las nuevas instalaciones PCP, y los resultados fueron los siguientes:

12.1 INSTALACIÓN LY-97

Tabla 5. Sistema PCP#1 La Yuca 97

<u>EQUIPO INSTALADO</u>			
BOMBA:	GEREMIA 48.40-1200	MOTOR:	50 HP, BALDOR
ROTOR	Standard		61 Amp./460 V, 1185 RPM
ELASTÓMERO	NBRA		
DESP. NOMINAL:	2.4 BFPD/RPM	VARIADOR	50 HP, WALS
EFIC. VOLUMETRICA:	85%		60 Amp., 460 V
CABEZAL:	BMW MG	VARILLAS	1" High Strenght
PROFUNDIDAD:	5501 ft		
RELACIÓN DE TRANSM.	3.5:1		

Bomba y Equipo de fondo: Geremia PCP 48.40-1200, Single Lobe W.

- El primer número representa el número de etapas de la bomba. Cada etapa levanta 100 psi al 100% de eficiencia
- El segundo número indica el diámetro del rotor en milímetros.
- El tercer número indica BFPD @ 500 rpm.

Compuesto por:

- Rotor: Standard de cromo de 2.36" de OD
- Estator NBRA de 4" de OD con capacidad de levantamiento de 258 BFPD @100 rpm y una altura de descarga de 11,200 ft.
- Varillas: 181 de 1" x 30' ELECTRA API Clase "T", grado "HS" con torque límite de 1500 Ft-Lb.

El desplazamiento nominal de la bomba es 2.4 BFPD/RPM

Eficiencia Volumétrica: 65%

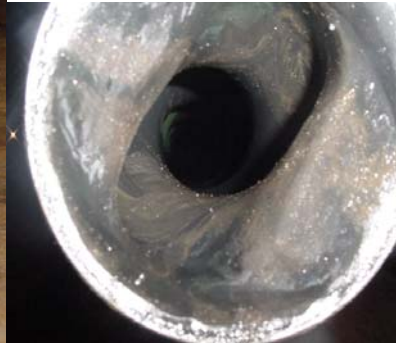
Elastómero: NBRA (co-polimero butadieno con alto contenido de nitrilo).

Se desarrollaron pruebas de compatibilidad con cuatro elastómeros, de acuerdo con las normas ASTM (D-2240, D-412 y D-471) por parte del grupo de tecnología de Weatherford. Basados en los resultados de éste ensayo de inmersión, se concluyó que el **NBRA** presenta el mejor equilibrio de propiedades (pequeñas variaciones de volumen, resistencia a la rotura, elongación y dureza), siendo considerados el elastómero más adecuado para el estator PCP, una vez que la temperatura de fondo es inferior a 212 °F.

*Pin
De
paro*



Estator



*Ancla
antitorque*

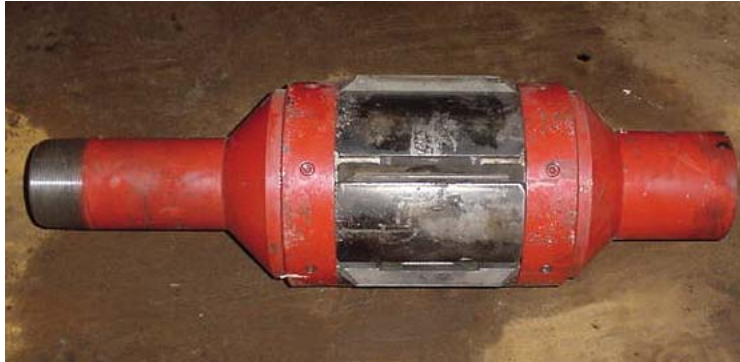


Foto 37. Elementos usados en la instalación

Cabezal: BMW MG compuesto por una barra pulida de 1-1/2". Esta estructura puede aceptar motores entre 30 y 125 Hp, con 1200 rpm. Relación de poleas 3.5:1

- Barra pulida: de 1-1/2" x 16' AISI 1045. Torque máximo 2800 ft-lb

Foto 38. Cabezal LY-97



Motor: Baldor Nema B, 50 HP, 1200 RPM, 460 Volt, 60 Hz., 3 PH (trifásico)
model ECP 4312F4

Variador: PCP -1100-460-050-V-N-F00, 50 HP

Datos y parámetros de funcionamiento:

Parámetros de control:

- RPM de la barra lisa: Este valor puede ser leído en el variador.
- RPM en el motor: Para obtener este valor se debe tener en cuenta la relación de poleas entre el cabezal y el motor. La polea del cabezal tiene un diámetro de 28" y la del motor de 8", para una relación de poleas de 3.5
Así $RPM_{motor} = RPM_{barra\ lisa} * 3.5$
- Torque del motor: puede ser leído y equivale a :
 $(5252 * HP_{nominal}) / RPM$ y representa el porcentaje de carga.
- Torque de la barra lisa: Se obtiene multiplicando el torque del motor por la relación de poleas. Se debe tener en cuenta que este valor no supere la resistencia al torque de las varillas.
- Repetición: La frecuencia del motor se obtiene de acuerdo con las RPM del motor. $Hz = (RPM_{motor} * 60Hz.) / 1185$
- BFPD Nominal: Se obtiene multiplicando las rpm de la barra lisa por el desplazamiento nominal.

En este contrato no existe ninguna garantía, expresa o implícita de adecuabilidad o de otra forma, por el hecho de que las condiciones del pozo son inciertas y que para prestar servicios, el CONTRATISTA tiene que usar información formulada por otra parte (Occidental), el CONTRATISTA (Weatherford), por este motivo, no se compromete a garantizar la efectividad de sus equipos o resultados de los servicios.

Costo PCP#01:US\$ 86,700 Costo ESP#02:US\$ 63,554

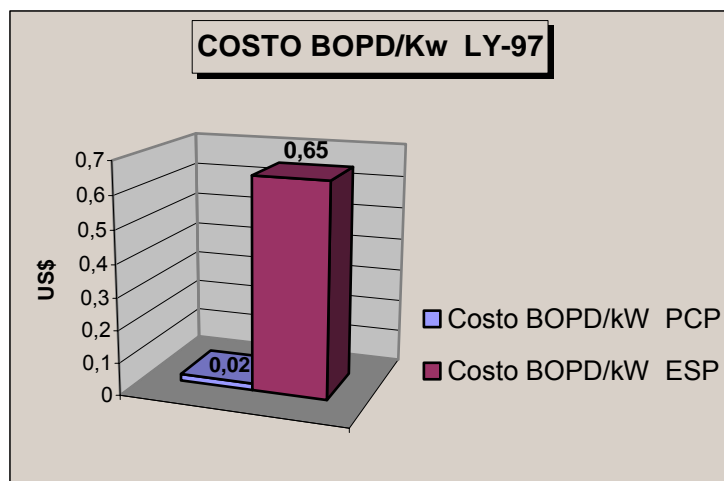
Costo Total: US\$ 98,479 Costo Total US\$ 80,936

Tabla 6. Comparación de costos LY-97

DATOS PCP		DATOS ESP	
FECHA ARRANQUE:	MAYO 11, 2003	FECHA ARRANQUE:	ENE. 27, 2002
RUN LIFE:	10	RUN LIFE	467*
PRODUCCIÓN PROM DIARIA:	300 BOPD	PRODUCCIÓN PROM. DIA	115 BOPD
ACEITE ACUM CON PCP:	2,935 Bls	ACEITE ACUM CON ESP#2:	53,289 Bls
		ACEITE CON ESP (tiempo Equiv.)	1,150 Bls
CONSUMO ENERGIA:	10.3 kWh	CONSUMO ENERGÍA ESP:	127.7 kWh
COSTO PROMEDIO ENERGIA:	0.0245 US\$/kWh	COSTO BOPD/kW: US\$	0.65 BOPD/kW
COSTO BOPD/kW: US\$	0.02 BOPD/kW	ACEITE ACUMULADO ESP:	129,852 Bbls

Al pozo LY-97 se le realizó pulling para instalar el equipo PCP, pero sin presentar falla, aunque si con una pérdida de eficiencia considerable. La producción promedio diaria con la instalación ESP corresponde al promedio de acuerdo con su Run Life, pues de lo contrario se obtendría un promedio engañoso debido a que las condiciones del pozo eran cíclicas.

**Figura 28.
Comparación
de
BOPD/Kw
LY-97**



La tabla anterior muestra que hay un aumento en producción durante la instalación PCP y una reducción considerable en el costo involucrado en el consumo de energía. Durante un estudio realizado se demostró que las

instalaciones ESP de bajo caudal mostraban un consumo de energía por encima del promedio y recomendaron la instalación de PCP's en pozos con producción inferior a 1300 BFPD. Los resultados obtenidos están de acuerdo con esta apreciación. Los costos involucrados en la instalación de estos equipos son prácticamente similares, pero el run life obtenido al inicio de este proyecto no permite creer en su total viabilidad.

12.2 INSTALACIÓN LY-94

Especificación y Descripción del Sistema PCP La Yuca 94

Las siguientes tablas resumen los equipos instalados y los datos de producción alcanzados por la instalación PCP#1 en LY-94. Posteriormente se reportará una descripción más detallada y una explicación de las especificaciones utilizadas, debido a que aunque existen normas ISO para nombrar bombas PCP, cada fabricante utiliza nomenclatura particular.

Tabla 7. Sistema PCP#1 La Yuca 94

<u>EQUIPO INSTALADO</u>		<u>DATOS DE PRODUCCION</u>	
VARILLAS:	1.00" high strength	FECHA ARRANQUE:	MAYO 10, 2003
ESTADOR:	KUDU 60 TP 2600, 199P	RUN LIFE:	27
ROTOR:	60 TP 2600, 95°/200°F, CH	PRODUCCION PROM DIARIA:	115 BOPD
DESP. NOMINAL:	0.83 BFPD/RPM	ACUM MAYO, 2003:	1,763 Bls
EFIC. VOLUMETRICA:	85%	ACUM CON PCP (05/31/03):	1,763 Bls
CABEZAL:	KUDU VH-100 HP-18 T	CONSUMO ENERGIA:	
MOTOR:	40 HP, US MOTORS	COSTO BOPD/KW:	
VARIADOR	40 HP, HEAVY DUTY ABB	ACUM CON ESP (11/30/02):	48,549 Bls
PROFUNDIDAD:	7164 ft		

Bomba

- Modelo: KUDU Industries Inc. PCP 60 TP 2600 Serie 2-⁷/₈

De acuerdo con las especificaciones de las bombas KUDU, cada modelo está designado por dos números que la caracterizan:

- El primer número es una aproximación del fluido generado en m^3/d a 500 rpm y altura cero ($60 \text{ m}^3/\text{d}$ ó 415 BFPD). Este volumen depende de dos parámetros, el desplazamiento de la bomba y la velocidad de ésta en rpm.
- El segundo número indica la altura de descarga nominal en metros (2600 m ó 8600 pies). Esta altura de descarga está en función principalmente del número de etapas y, en menor grado, de la geometría de la bomba.
- La serie corresponde al tamaño de las roscas del estator, en este caso $2\text{-}\frac{7}{8}$ EUE. Cada serie tiene un diámetro específico para el estator (3.70" de OD).

➤ Componentes Principales:

- Estator: 60 TP 2600, 199P: El último valor corresponde a la especificación para las características del elastómero utilizado para el revestimiento interno del estator, el cual es un co-polímero butadieno-acronitrilo con 50% de nitrilo, cuya temperatura de servicio alcanza los 248 °F.
- Rotor: 60 TP 2600, 95°/200°F, CH

➤ Desplazamiento Nominal: 0.83 BFPD/RPM

➤ Eficiencia Volumétrica: 85%



Foto 38. Rotor y cabezal en LY- 94

Equipo de Superficie:

Cabezal

- Modelo: KUDU VH-100 HP-18 T

Especificaciones:

- Capacidad de carga Axial: 18 Toneladas (33000 lbs)
- Velocidad Máxima nominal de rotación: 750 rpm
- Máxima potencia del motor: 75 kw (100 HP), 1160 rpm
- Temperatura ambiental de servicio -40 a +40 °C
- Capacidad del cárter del aceite de lubricación: 5 litros
- Diámetro del eje impulsor: 3 1/8"
- Capacidad de freno: 2520 ft*lb
- Temperatura ambiental de servicio: (-60 a +130°F)
- Relación de poleas: 3.05:1



Foto 40. Cabezal

Características Importantes:

- El sistema reductor de velocidad es un conjunto de poleas y bandas
- La contrarrotación o back spin está controlada por un freno de disco automático y de manejo hidráulico. La velocidad de back spin se puede ajustar fácilmente por un botón de control.
- Se conecta a la tubería de producción por medio de una unión de golpe o brida
- Contiene soporte para motor.
- El guardabanda acepta poleas impulsadas hasta de 31.5" de diámetro. Se desarma fácilmente para quitar las poleas.

Motor

Eléctrico y trifásico 40 HP, US MOTORS

Variador

VSD, 40 HP Heavy Duty, ABB

Datos y parámetros de funcionamiento:

Parámetros de control:

- RPM de la barra lisa: Este valor puede ser leído en el variador.
- RPM en el motor: Para obtener este valor se debe tener en cuenta la relación de poleas entre el cabezal y el motor, la cual es de 3.05. Así $RPM_{motor} = RPM_{barra\ lisa} * 3.05$.
- Frecuencia: La frecuencia del motor se obtiene de acuerdo con las RPM del motor. $Hz = (RPM_{motor} * 60Hz.) / 1185$.
- BFPD: Pueden obtenerse multiplicando las rpm de la barra lisa por el desplazamiento nominal.

El Contratista garantiza el funcionamiento de los equipos dentro de los parámetros de diseño seleccionados con base en la información de yacimientos suministrada por OXYCOL. Esta garantía es de diez (10) meses contados desde la fecha del acta de iniciación y puesta en marcha del equipo, en donde el CONTRATISTA reemplazará sin ningún costo para OXYCOL los equipos fallidos, siempre y cuando se compruebe que éstos hayan sido atribuibles a defectos de fabricación, mala selección y diseño de los equipos, o procedimientos inadecuados para la instalación y operación de los mismos.

Costo PCP#01: US\$ 109,380 ESP#01: US\$ 155,645
Costo Total PCP # 01 US\$ 120,540 ESP # 01: US\$ 164,870

Tabla 8. Comparación de costos LY-94

DATOS PCP		DATOS ESP	
FECHA ARRANQUE:	MAYO 10, 2003	FECHA ARRANQUE:	SEP 18, 2001
RUN LIFE:	27	RUN LIFE : (D)	349
PRODUCCIÓN PROM DIARIA:	135 BOPD	PRODUCCIÓN PROM. DIA	139 BOPD
ACEITE ACUM CON PCP:	3,159 Bls	ACEITE ACUM CON ESP#1:	48,548 Bls
CONSUMO ENERGIA:	10.8 kWh	ACEITE CON ESP (Tiempo Equiv.)	3,753 Bls
COSTO PROMEDIO ENERGIA:	0.0245 US\$/kWh	CONSUMO ENERGÍA ESP:	147 kWh
COSTO BOPD/KW: US\$	0.06 BOPD/kW	COSTO BOPD/KW: US\$	0.62 BOPD/kW

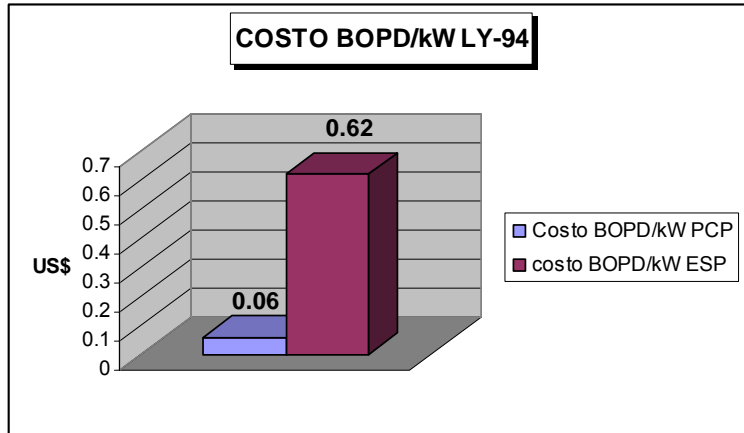


Figura 29. Comparación BOPD/Kw en LY-94

La tabla anterior muestra que no se reporta un incremento considerable en la producción promedio reportada por el pozo, aunque se están obviando los efectos de declinación y la pérdida de eficiencia mostrada por la instalación anterior, en la cual no se descarta un problema de daño asociado con emulsiones producto de la interacción de fluidos producida, tal vez por la instalación de Gravel Pack durante el completamiento inicial, impidiendo una buena limpieza inicial. Sin embargo, se observa una reducción considerable en el costo involucrado en el consumo de energía.

12.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las instalaciones PCP permiten reducir los costos en consumo de potencia por barril producido en un 96%.
- La producción de petróleo con PCP's se puede incrementar en pozos de baja tasa al menos en un 50% debido naturalmente a que se obtiene una producción constante, no cíclica (el ciclo de producción de estos pozos obligaba a mantenerlos cerrados al menos un día).
- Se recomienda un mayor control y supervisión de las instalaciones que se diseñan para garantizar que están acordes con las necesidades de Occidental, ya que no se justifica bajar equipos que se presume tienen riesgos de falla.
- No permitir que el funcionamiento de los equipos supere una velocidad de 200 rpm, sobre todo si el pozo es desviado, pues hay un alto riesgo de desgaste.
- En particular, no se considera viable la aplicación de un sistema PCP en LY-94, a menos que se utilice Corod (Varilla continua), la cual solo requiere acoples en el fondo y en el tope de la sarta de varillas, reduciendo los riesgos de falla y prolongando la vida del tubing en pozos direccionales, como al que se hace referencia. En caso contrario, se recomienda utilizar una instalación ESPCP que evite los riesgos inherentes al uso de varillas, en pozos con severo dog leg.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Bases de Datos y Reportes con Información Disponible Sobre La Aplicación del Bombeo Electrosumergible en Caño Limón. Las Bases de datos utilizadas son: Field Data Gathering System (Wells Being Monitored), Graphic System (Well performance), Production Reporting System, Reservoir Management System (Production/ Injection log test), Equipos(Taller), Artificial Lift System (Pulling/ Instalation).

BROWN, Kermit E. The technology of Artificial Lift Methods, Vol. 2ª. 1975.

CENTRILIFT. Submersible Pump Handbook. Claremore, Oklahoma, 1995.

CORREDOR, J. A. y DAVILA C. D. “Evaluación del Tiempo Optimo de Operación de las Bombas Electrosumergibles K15000 Tipo Estándar para el Campo Caño Limón”. Proyecto de Grado de la Fundación Universidad de América, 1993.

CRAFT, B. HOLDEN, W. GRAVES, D. Well Design: Drilling and Production, 1962.

OCCIDENTAL DE COLOMBIA. Electrical Submersible Pumping System Applications Seminar, 1992.

www.spe.org

www.weatherford.com