ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CCENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

“Completación Dual Concéntrica con Bomba Electrosumergible y Flujo Natural de un pozo en el Oriente Ecuatoriano para revestimiento de 9-5/8” y liner de 7”

Evelyn Cecilia Peralta Jaramillo [1]
Frank Esteban Baquerizo Mite [2]
Ing. Héctor Román [3]

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

[1] Ingeniero de Petróleos, e-mail: evy_nyleve@hotmail.com
[2] Ingeniero de Petróleos, e-mail: fbaquer85@hotmail.com
[3] Profesor de Materia de Graduación, Ingeniero de Petróleo, e-mail: hroman@espol.edu.ec

Resumen

Este proyecto tiene como finalidad mostrar una alternativa para el diseño de una Completación Dual Concéntrica con Bomba Electrosumergible y Flujo Natural para revest*imiento de 9 5/8” y liner de 7”. S*e procede a estudiar las propiedades de las rocas y fluidos del campo, se explica los tipos de yacimientos y se estudia brevemente los tipos de empuje presentes.

Se realiza una explicación sobre las Completaciones Duales y se describe las herramientas usadas en nuestra completación, así como el equipo electrosumergible y el ensamblaje para producir por flujo natural.

Se muestra el diseño de nuestra Completación Dual Concéntrica para *revestimiento de 9 5/8” y Liner 7” con el* respectivo análisis técnico y procedimiento operacional, además detallamos los cálculos de las profundidades de la completación dual de nuestro pozo ESPOL FEV-01.

Se explica el estudio económico de la Completación Dual llegando a evaluar la rentabilidad de nuestro diseño, presentando las respectivas conclusiones y recomendaciones de una alternativa eficaz en la Completación de pozos en el Oriente Ecuatoriano.

Palabras Claves: Completación dual concéntrica, Bomba electrosumergible, Flujo natural.

Abstract

This project aims to show an alternative to the design of a Dual Concentric Completion with electric submersible pumps and lined Natural Flow for casing 9 5 / 8" and liner 7". It proceeds to study the properties of rocks and fluids from the field explains the sites and briefly examines the types of push present.

It presents a fully dual explanation and it describes the tools used in our completion and electric submersible equipment and assembly to produce by natural flow.

It shows the design of our Dual Concentric Completion Clad for casing 9 5 / 8" and Liner 7" with the appropriate technical analysis and operational procedure, also detailed estimates of the depths of the dual completion of our well ESPOL FEV-01.

Also explains the economic survey of the Dual Completion reaching assess the profitability of our design, presenting the respective conclusions and recommendations of an effective alternative in the completion of wells in the eastern Ecuador.

Keywords: Completion dual concentric, Electric submersible pumps, Flow natural.

1. Introducción

Los años 70 marcan el inicio del boom petrolero en nuestro país, en esta época el Estado Ecuatoriano concesionó áreas para desarrollar el potencial hidrocarburífero del Oriente, se perforaron y evaluaron reservas de estos campos muchos de los cuales fueron abandonados debido a que su explotación no era rentable.

Nuestro proyecto “Diseño de una Completación Dual Concéntrica BES – FN para revestimiento de 9 5/8” y liner de 7”, tiene como objetivo obtener un método eficaz y seguro para incrementar la producción de dos zonas productivas de un mismo pozo, de manera simultánea, a través de tuberías concéntricas, lo cual permitirá que su producción sea independiente, evitando el flujo cruzado y permitiendo cuantificar su producción y pueda ser fiscalizada.

A partir del diseño del pozo ESPOL FEV-01 realizamos un estudio económico de la Completación Dual Concéntrica y evaluamos la factibilidad de nuestro diseño.

2. Completación Dual

Se entiende por completación la operación de bajar la sarta de producción, que se realiza en un pozo después de la perforación y evaluación de las posibles zonas productoras, o en la reparación mecánica, para dejarlos en condiciones de producir eficientemente los fluidos de la formación o destinarlos a otros usos, como inyección de agua o gas.

Una Completación Dual con bomba electrosumergible es un diseño de doble sarta de tuberías, acoples, accesorios y herramientas que permite producir de dos zonas, individualmente en forma independiente y al mismo tiempo.

Pueden ser:

- Duales Paralelas.
- Duales Concéntricas.

La completación dual concéntrica de nuestro estudio consta de una bomba electrosumergible para producir de una zona, mientras que la otra producirá a flujo natural.

3. Diseño de una Completación Dual Concéntrica

Según lo estipulado en los artículos 30 y 32 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas, se permite la producción separada e independiente de los yacimientos, y la realización de los trabajos de mantenimiento. Es decir, permite producir de varios horizontes productores, sin la mezcla de producciones con diferentes características y compatibilidades.

Nuestro pozo permitirá producir de las arenas U inferior y Hollín superior de manera simultánea y separada.

Un sistema de completación debe facilitar métodos de inyección o producción seguros, eficientes, confiables y económicos. Los criterios de selección y diseño de una completación se basan en los siguientes factores:

1. Consideraciones Mecánicas
2. Ubicación Geográfica
3. Fluidos del Yacimiento
4. Información del Yacimiento
5. Escenarios Operativos

3.1 Diseño del Sistema de Bombeo Electrosumergible

Para diseñar un sistema de bombeo electrosumergible, debe de seguirse el siguiente procedimiento:

1. Recopilación de datos (estado mecánico, producción por estrato productor, presiones estáticas y fluyentes, características de los fluidos a producir y petrofísicos, mecanismos de empuje del yacimiento, etc.).
2. Determinar la productividad del pozo a la profundidad de la bomba o determinar la profundidad de asentamiento de la bomba a una rata de producción deseada.
3. Calcular la cantidad de gas presente en la entrada de la bomba.
4. Relación gas-petróleo.
5. Calcular el volumen de los fluidos a partir de datos de producción.
6. Seleccionar el tipo de bomba a ser implementada.
7. Determinar el tamaño óptimo de componentes.
8. Seleccionar el cable (tamaño, tipo y longitud).
9. Determinar la capacidad del equipo eléctrico.

3.1.2 Diseño del Bombeo con Flujo Natural

Un pozo produce a flujo natural cuando la zona a producir tiene la suficiente energía como para llevar el fluido desde el yacimiento hasta el cabezal de pozo y las facilidades de producción, debido a su alto índice de productividad y capacidad de flujo.

El mecanismo de empuje es un factor importante, pues es la fuente de la energía de presión que causa el flujo de petróleo o gas hacia el pozo, teniendo un sustancial efecto en el rendimiento del reservorio y del sistema de producción a utilizarse.

Los principales tipos de empuje existentes son:

1. Una capa de gas libre que yace encima del yacimiento de petróleo.
2. Un volumen de gas disuelto en el petróleo.
3. Un volumen de agua dinámica subyacente o empuje hidráulico.
4. Empuje por gravedad.

3.2 Completación Dual Concéntrica BES FN con **revestimiento de 9 5/8” y liner de 7”**

En la tabla 1, presentamos la descripción general de los datos del revestimiento y zonas de interés.

CAMPO	**ESPOL**	
POZO	**ESPOL FEV-01**	
COMPLETACION	**BES-FEN 9 5/8" Y LINER 7"**	
DATOS DEL REVESTIEMIENTO		
CASING	**9 5/8"**	**7"**
DIAMETRO INTERNO	8,681	6,276
DIAMETRO EXTERNO	9,625	7
PESO	47	26
RUGOSIDAD	0,00065	0,00065
TOPE	0	9208
FONDO	9225	10560
ZONAS DE INTERES		
	ARENA 1	**ARENA 2**
	ARENA U INFERIOR	ARENA HOLLIN SUPERIOR
INTERVALO	10120' - 10138'	10500' - 10528'
Pws	2710 LPCA	4253 LPC
Pwf	2279 LPCA	2380 LPC
Pb	812 LPCA	435 LPC
BFPD	1400	800
BSW	30%	55%
IP	1,89	0,43
API	21,6	22
Pcab	150 LPCA	150 LPC
BPPD	980	360
BAPD	420	440

Tabla 1. Datos del pozo. Evelyn Peralta y Frank Baquerizo.

3.3 Procedimiento Operacional.

A continuación se describe detalladamente el procedimiento de bajada para una completación dual concéntrica BES-FN para tubería de revestimiento de 9 5/8” y liner de 7”:

1. Armar la empacadura recuperable con tapón expulsable y niple de asiento.

2. Armar el BHA sobre la empacadura recuperable. El BHA consta de los siguientes elementos:

   2.1 Tubo corto de 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.2 Camisa de circulación 2 7/8”, 6,5# N80 EUE Box x Pin 2,313”
   2.3 Tubo corto de 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.4 Tubería de producción 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.5 Blast joint 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.6 Tubería de producción 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.7 Junta de seguridad
   2.8 Tubería de producción 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.9 Tubo corto combinado 2 7/8” 6.5 # N80 EUE Box x Pin
   2.10 Adaptador de 2 3/8” x 2 7/8”
   2.11 Soporte de 2 3/8” 4.6 # N80 EUE Box x Pin
   2.12 Tubo corto 2 3/8” 4,6 # N80 EUE Box x Pin

3. Instalar el By pass tubing, ajustándolo con grapas.

4. Iniciar el armado y corrida del equipo de BES superior, de acuerdo a la siguiente secuencia:

   4.1 Prong 2 3/8”, 4,7# N80 EUE Pin x 2 ½” ACME
   4.2 Sensor de fondo
   4.3 Adaptador
   4.4 Equipo de BES (dejar la descarga sin conectar)

5. Conectar la Y-tool, con la junta receptora de sellos y swivel (conexión de 2 3/8 EUE) y tubo corto de 2 3/8” EUE N80 y conexión rápida.

6. Posteriormente, en la conexión rápida, conectar la Junta telescópica con swivel, válvula de un solo sentido (Check) de 2 7/8”, adaptador de 2 7/8” x 2 3/8” y descarga de la bomba de 2 3/8”. Realizar el recorrido del telescópico, espaciar y alinear las dos sartas.

7. Probar todo el ensamblaje con 500 psi por 5 minutos contra la válvula check del equipo BES y el tapón expulsable de la punta del ensamblaje. Dejar registro de la presión de prueba.

8. Continuar bajando el ensamblaje con tubería de producción 5 ½” 17# N-80 EUE, probar y megar el cable cada 2000 pies, probando la sarta cada 2000’ con 500 psi de presión cada 5 minutos.

3.4 Descripción por secciones de los equipos y herramientas necesarios en una Completación Dual Concéntrica BES-FN

Cuarta Sección de Completación Dual (Tubería Concéntrica Combinada 2 7/8” y 2 3/8”. Sarta Corta)

- Elevación de la mesa rotaria a la sección superior
- Colgador 11" 5000 psi x 2 7/8" -6.5 # N80EUE Box x Box
- Tubo Corto 2 7/8" 6.5 # N80EUE Pin x Pin
- Tubería de Producción 2 7/8" 6,5# N-80 EUE Box x Box
- Tubo Corto Combinado 2 3/8" 4,6# N-80 EUE Box x Pin
- Adaptador 2 7/8" 6,5# N-80 NU Box x 2 3/8 12 UNS Pin
- Espaciador 2 3/8" 12 UNS Box x Pin
- Unidad de Sellos 2,75" Seal Bore 2 3/8"-12 UNS Box x Pin
- Pata de Mula 2 3/8" 12 UNS Box

Tercera Sección de Completación Dual (Tubería Externa “Sarta Larga Superior”)

- Elevación de la mesa rotaria a la sección inferior
- Colgador 11" 5000 psi x 5 1/2" -17 # N80 BTC Box x Box
- Tubo Corto 5 1/2 17" # N80 BTC Pin x Pin
- Tubería de Producción
- Tubo Corto 5 1/2 17" #N80 BTC Box x Box
- Y - tool 5 1/2"17 # N80 BTC Box x Box

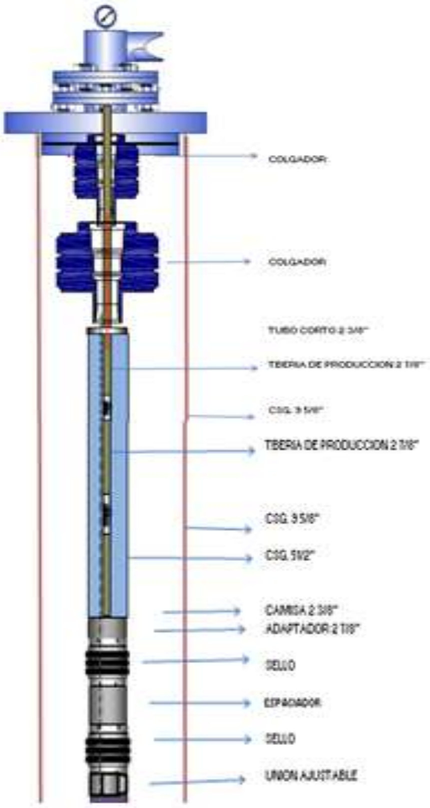

Figura 1. Tercera y Cuarta Sección de la Completación Dual Concéntrica. Evelyn Peralta y Frank Baquerizo.

Bomba Electrosumergible Superior (Sarta Superior)

- Tubo 2 7/8” 6,5# N80 NU Pin x EUE Pin
- Junta Telescópica con Swivel 2 7/8” 6,5 N80 EUE Box x Pin
- Válvula de un solo sentido 2 7/8” 6,5 N80 EUE Box x Pin
- Adaptador 2 7/8” X 2 3/8” 6,5# N-80 NU Box x 2 3/8 12 UNS Pin
- Descarga 2 3/8” 4,6# N-80 EUE Box
- Bomba Superior B 1200 S/400 STG SSD XH6
- Intake B 1200 S/400 STG SSD XH6
- Protector Superior Sello 400
- Motor 150 HP 2325 V 40 A
- Sensor de fondo
- Prong 2 3/8” – 4,7 # N80 EUE Pin x 2 1/2 “ ACME

Segunda Sección de Completación Dual (Tubería BY-PASS “Sarta Corta”)

- Junta receptora de sellos 3 7/16" 10 UNS Pin x Pin
- Adaptador de 3 7/16" x 2 3/8" N 80 EUE Pin
- Swivel 2 3/8" 4,6 N80 EUE Box x Pin
- Tubo corto combinado de 2 3/8" 4,6# P 110 EUE Box x S TL Pin
- Tubo corto 2 7/8" 6.5# N80 Box x Pin
- Tubería By Pass 2 3/8" 4,6 N80 S TL Box x Pin
- Tubo corto combinado de 2 3/8" 4,6 # P 110 S TL Box x NU Pin
- Soporte 2 3/8" 4,6 # N 80 NU Box x Box 1,99" ACME Pasante
- Adaptador 2 3/8" X 2 7/8"
- Tubo corto combinado de 2 7/8" 6,5 # N 80 NU Pin x EUE Pin
- Tubería de producción de 2 7/8" 6,5 # N 80 EUE Box x Pin
- Junta de seguridad 2 7/8" 6,5 # N 80 EUE Box x Pin (50000 lbs)
- Tubería de producción de 2 7/8" 6,5 # N 80 NU Pin x EUE Pin
- Blast Joint 2 7/8" 6,5 # N 80 EUE Box x Pin
- Tubería de producción de 2 7/8" 6,5 # N 80 EUE Box x Pin
- Tubo Corto 2 7/8" 6,5# N80 Box x Pin

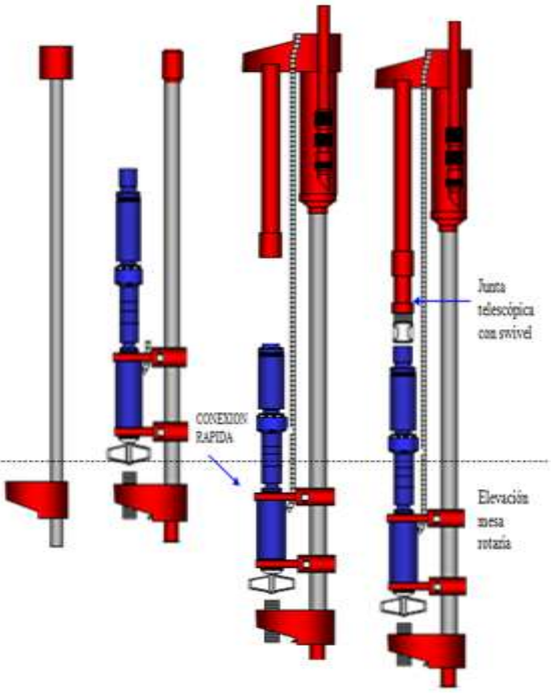

Figura 2. Procedimiento operacional para armar el equipo BES. Presentación Completaciones Duales. Schlumberger, 2008.

Primera Sección de Completación Dual (Empacadura Permanente):

- Empacadura permanente BWB 7 " x 4 " 23-32#
- Coupling junta de sellos 4 ¾”
- Junta receptora de sellos, Seal Bore ID=4", 4 ¾” – 8 UNS Pin x Pin
- Adaptador de 3 ½” 9,3 # N 80 EUE Pin
- Tubo corto de 3 ½” 9,3 # N 80 EUE Box x Pin
- Niple de asiento de XN 3 ½” 9,3 # N 80 EUE Box
- Tapón expulsable de 3 ½” 9,3 # N 80 EUE Box (1800 psi).

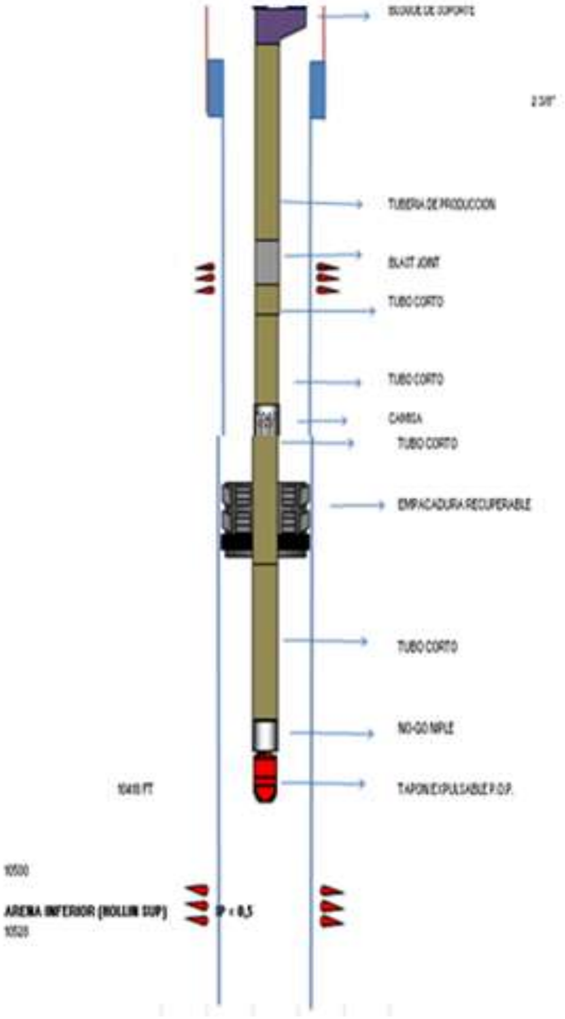

Figura 3. Primera y Segunda Sección de la Completación Dual Concéntrica. Evelyn Peralta y Frank Baquerizo.

3.5 Diagrama de la Completación Dual Concéntrica BES-FN con Revestimiento **de 9 5/8"** y **Liner de 7"**

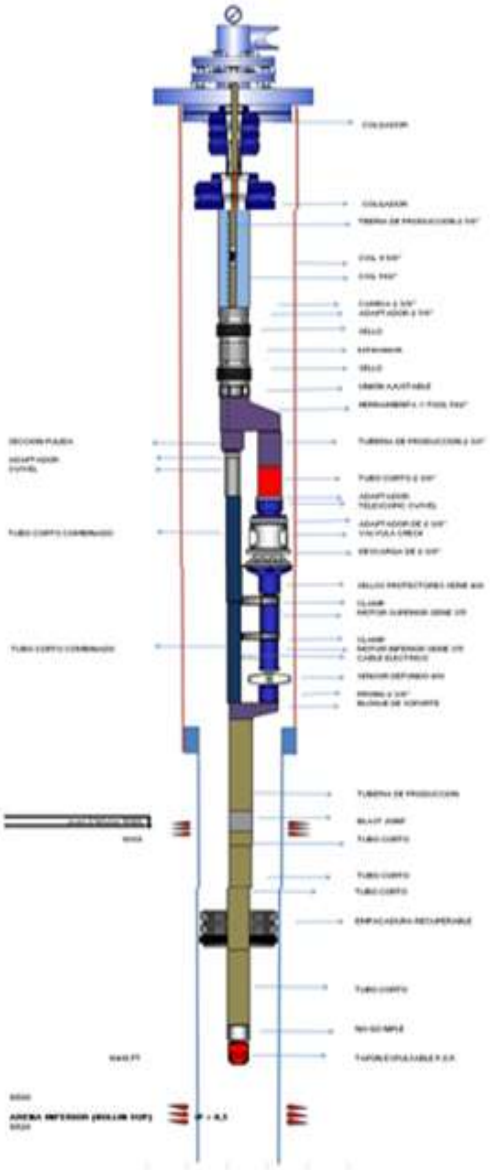

Figura 4. Completación Dual Concéntrica BES-FN para **Revestimiento de 9 5/8" y Liner de 7".** Evelyn Peralta y Frank Baquerizo.

4. Análisis Económico

El análisis económico se realiza partiendo de una producción de 980 BPPD de la arena U inferior y de 360 BPPD de hollín superior. Se considera una tasa de Inflación 3,33%.

Dentro del costo operativo no está incluido el costo operacional del pozo en el evento que se pare la producción por cualquier tipo de trabajo. La estimación del costo operativo es de 7,5 USD/ BBL.
Se considera una declinación anual de producción de 7,5%, es decir del 0,633% mensual. No se considera la devaluación monetaria durante los años de duración del proyecto.

FLUJO DE CAJA			
		Año 1	**Año 2**
INGRESOS			
	VENTA DEL CRUDO	21.903.453,83	20.303.741,68
EGRESOS			
	VARIABLES	16.885,42	17.277,72
	FIJOS	2.716.759,01	2.779.878,29
	DEPRECIACION	52.154,46	52.154,46
	TOTAL DE EGRESOS	**2.785.798,89**	**2.849.310,47**
	UTILIDAD BRUTA (UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS)	19.117.654,94	17.454.431,21
	IMPUESTO 15% PARTICIPACION TRABAJADORES	2.867.648,24	2.618.164,68
	UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	16.250.006,70	14.836.266,53
	25% IMPUESTO A LA RENTA	4.062.501,67	3.709.066,63
	UTILIDAD NETA (UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS)	**12.187.505,02**	**11.127.199,90**
INVERSION INICIAL		**2.704.041,30**	
FLUJO DE CAJA		**- 2.704.041,30**1	
TIR		425%	
VAN		6.784.455	

Tabla 2. Valores Principales del Análisis Económico. Evelyn Peralta y Frank Baquerizo.

En el análisis se considera que el pozo entra a reacondicionamiento a los 12 meses de producción.
Se realiza el análisis económico para un costo de barril de 47 dólares.

Los resultados del análisis económico para nuestro pozo ESPOL FEV-01 están detallados en la Tabla 3.

PRECIO DEL PETRÓLEO USD / BBL	**TIR ANUAL (%)**	**VAN (USD)**	**BENEFICIO / COSTO**	**TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (MESES)**
47	425	6'784.455	15,56	2,4

Tabla 3. Resultados del Análisis Económico

5. Conclusiones

- Una Completación dual nos permite producir de dos zonas productora de forma simultánea e independiente, evitando el flujo cruzado.

- La herramienta y-tool se utiliza en tuberías concéntricas, para permitir el cambio del sentido del flujo de la zona de mayor producción (zona superior o inferior), pudiendo colgar la bomba eléctrica a un lado del y-tool o en la zona del by pass tubing, encapsulándola o colgándola, la cual dependerá de la productividad de cada una de las arenas.

- Cuando existen problemas de subsuelo ya sea por falta de nivel del fluido o formación, debido a daño de formación, formación de incrustaciones, parafinas y /o asfáltenos, se pueden realizar tratamientos de estimulación, usando tubería flexible tanto para estimular como remover escalas.

- En las completaciones con BES-FN se usan empacadura recuperable y camisa de circulación encima de la misma para control del pozo.

- En el diseño del espaciamiento de la completación electrosumergible se debe considerar el espaciamiento de la empacadura permanente +/- 100 pies arriba del primer punzado y para la bajada de la bomba eléctrica sumergible superior se debe calcular el nivel dinámico a partir de la presión fluyente del pozo y el asentamiento de la BES, considerando que debe estar en sumergencia para evitar problemas de cavitación de la misma.

- Se produce un aumento de reservas a producir debido a la aceleración de la producción, por adición de un nuevo horizonte productor y al incremento de producción del pozo, debido a que dos zonas producirán en forma simultánea, lo que significa un tiempo de la recuperación de la inversión muy corto.

6. Recomendaciones

- A futuro, el diseño dual concéntrico nos permitirá adicionar una completación electrosumergible, en la zona inferior que produce a flujo natural, debido al agotamiento de la energía del yacimiento, pudiendo bajarse con empacadura o encapsulada.

- Como norma, se deben realizar reuniones de seguridad y pre trabajo, entre todas las compañías involucradas en el proyecto de bajada de la dual concéntrica, para discutir los posibles riesgos asociados a la operación y elaborar un manual, o posible modificación del existente, sobre los procedimientos operacionales, tanto para la armada, como para la bajada y prueba de la completación a ser aplicada. Además, riesgos de contaminación o remediación ambiental, y seguridad industrial.

- Inspeccionar en las bodegas, los equipos y misceláneos a ser utilizados en la bajada de la completación dual concéntrica, la cual, deberá efectuarse antes de efectuarse el reacondicionamiento, de ser llevadas a la locación donde se está llevando a cabo el reacondicionamiento, con el fin de evitarse la falta de material, mal estado de cada una de las partes o equivocación en las especificaciones de los accesorios, tuberías y equipos. Este chequeo comprenderá el conteo de tuberías, medidas o partes que conforman la completación dual concéntrica.

- Utilizar empresas de servicios con experiencia, debido al alto riesgo que implica la armada, bajada y prueba de una completación dual, para así evitar fallas técnicas en la instalación de los diferentes equipos, riesgo de pescado, accidentes, demora en la instalación, entre otros, lo cual incrementará los costos y aumentará los tiempos de taladro.

7. Agradecimientos

Agradecemos a Dios por bendecirnos cada día y darnos fuerzas para salir adelante.

A nuestro Padres por ser nuestro pilar fundamental en esta etapa de estudios.

A todos los profesores que nos inculcaron conocimiento y respeto a la carrera, en especial al Ing. Héctor Román por su apoyo incondicional brindado en la realización de esta tesina.

8. Referencias

[1] Completación Dual Concéntrica, Pozo Sacha-165D. Análisis de Factibilidad. Ing. Héctor Román, Ing. Gonzalo Echeverría e Ing. Juan Chiriboga. PETROPRODUCCION, 2004.

[2] Dual ESP Concentric Completion MDC-17. Schlumberger, 2009.

[3] Facilidades de superficie II Autor: Ing. Edgar Riofrío Andrade - Junio 2006.

[4] Procedimiento para Completación Dual Concéntrica MDC-14. Schlumberger, 2008.

[5] Apuntes de clases. Completación. Ing. Héctor Román. ESPOL, 2009.

[6] Apuntes de clases. Geología General. Ing. Edison Navarrete. ESPOL, 2007.

[7] Seminario Completaciones usadas en pozos del oriente ecuatoriano. Ing. Héctor Román. ESPOL, 2009.

[8] Completación de Pozos http://www.scribd.com/doc/25992887/INDICE-III-Completacion-1-Tuberia

[9] Específicaciones de Herramientas http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/431/1/CD-0411.pdf