

Diseño y Ejecución
de pozos horizontales
Perforados en la Reserva
de Llanquanelo

Ing. Hugo Bazzara
Ing. Pedro C. Oviedo
Ing. Dario E. Collareda

REPSOL-YPF

ARGENTINA

INTRODUCCION

La reserva de la Laguna de Llanquanelo se encuentra ubicada en la zona sur de la provincia de Mendoza en Argentina, a 40 km. al SE de la ciudad de Malargüe, esta inmersa en el centro de un área petrolera que lleva ese nombre, descubierta en 1937 por manifestaciones superficiales de hidrocarburo y que ha sido explotada intermitentemente por distintas compañías petroleras.

Es un área protegida por una organización mundial conocida como RAMSAR, esta organización surgió a través de un convenio que se firmó en la ciudad de Ramsar, Irán, en 1971, y entró en vigor en 1975. Al 1° de Marzo del 2000, contaba con 119 estados miembros y muchos otros estaban preparando su adhesión. Ramsar es el único convenio medioambiental que se ocupa de un ecosistema específico (humedales).

Para los fines del tratado, “ **son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.**”

Los humedales pueden conservarse mediante un **uso racional**, definido como la *“utilización sostenible que otorga beneficios a la humanidad de una manera compatible con el mantenimiento de las propiedades naturales del ecosistema”*. A su vez, el uso sostenible es *“el uso humano de un humedal que permite la obtención de un máximo de beneficio de manera continuada para las generaciones presentes, al tiempo que se mantiene el potencial para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras”*. La protección estricta es una forma más de uso sostenible.

El desafío mutuo que tomaron YPF y Ramsar fue demostrar que la explotación petrolera puede realizar un uso racional de los humedales mediante la explotación de los recursos del subsuelo manteniendo el potencial del mismo para las generaciones futuras.

ANTECEDENTES

Los pozos del yacimiento perforados en campañas anteriores, fueron en general más profundos que el que nos ocupa hoy, se entubaron con cañería de 20 pulgadas (pulg.) como conductor (hasta 20/30 mts), cañería guía 13 3/8" (hasta 200 mts), cañería intermedia de 9 5/8 pulg. (al tope de la formación de interés) y finalizaron generalmente con liner de 7 pulg. ranurados y engravados (mesh 20), la instalación de producción es de cañería 3 1/2 pulg. J-55 9,3 lbs/ft con asiento de bomba tipo N-14-30 y caño de cola agujereado.

El yacimiento tiene 14 pozos perforado por YPF entre 1966 y 1978, luego la Union Oil perforó 8 pozos entre 1981 y 1985, todos ellos fuera de la reserva ecológicas, en el momento de la perforar el pozo YPF.Nq.LLA-2001 (Llancanelo), existían 7 pozos en producción.

Con la cañería intermedia atravesaron niveles de arcillas medianamente reactivas, estas generalmente se perforaron con lodo inhibido con KCl en concentraciones relativamente altas (>15.000 ppm) y en algunos lugares se utilizaron lodos formulados con PHPA.

La producción se realiza actualmente por el método de inyección cíclica de vapor, a razón de 1 mes de inyección y 9 meses de producción con caudales iniciales de 30/40 m³/día (188/250 bbls/día) y finales de 2 m³/día (13 bbls/día) consiguiendo una producción promedio de 10 m³/día (63 bbls/día).

La formación productora se denomina Grupo Neuquen, divididas en tres niveles Green, Olive y Blue, se describen como areniscas y areniscas conglomeradas intercaladas con arcilitas, las características petrofísicas del área son : porosidad 15%; permeabilidad 100/300 md; espesor 35 mts; Temperatura de fondo 56°C (68.8°F); presión de fondo 100 kgs/cm² (1422 psi); Grado API del petróleo : 12/14.5° pesado según UNITAR, predominante aromático; viscosidad 3800 cp (a 60°C).

DESARROLLO

En el momento de realizar el programa del pozo, la protección ambiental fue un punto que, condiciono dentro de los limites razonables las decisiones de diseño, en este aspecto, las metas a lograr y los puntos a tener en cuenta se definieron en forma precisa, sin esto, los esfuerzos innecesarios se hubiesen multiplicado al igual que los gastos, un punto fundamental en el cuidado del medio ambiente fue saber que hay que protegerlo y no mejorarlo, también se asumió que el impacto ambiental sería inevitable, lo que se pretendía hacer era tratar de minimizarlo.

Otro punto de importancia fue el tipo de producción que se realizaría en el pozo, dado que la producción de petroleo pesado no esta muy desarrollada en Argentina, se le dio prioridad al diseño de producción y se configuró un pozo en el que este lograra el mejor resultado.

Tratemos ahora cada aspecto del pozo en particular que en conjunto definieron el mismo:

Tipo de pozo: El primer punto que se planteo fue el método de producción, la inyección de vapor no era la solución ideal desde el punto de vista ambiental, es bien conocido que la mayor contaminación que hoy sufre el planeta es la “ contaminación térmica”, esto se intenta resolver a futuro para poder realizar una producción asistida y mejorar así la producción del pozo.

Por la razón expuesta anteriormente y para mejorar la producción promedio del yacimiento se opto por un pozo horizontal, el cual se preparo para una futura inyección de vapor si esto fuese posible, pero que se debió evaluar el proyecto actual sin esta posibilidad.

Como mecanismo de producción se opto por una bomba tipo PCP, la cual se alojo al tope de la formación productora y dentro de la cañería de 7 pulgadas de diámetro.

El engravado en este tipo de pozo y para no introducir más incertidumbre dentro de un proyecto nuevo y para realizar un ensayo de comportamiento se decidió reemplazarse por caño tipo filtro, dejando este tipo de computación para una segunda etapa.

Trayectoria de pozo : Una vez decidido el planteo de un pozo horizontal se comenzó a trabajar sobre el tipo de trayectoria a realizar; en este aspecto se ha realizado una buena y basta experiencia en pozos pilotos entubados hasta fondo con cañería de 7 pulgadas de diámetro y luego ramas laterales abiertas mediante cuñas tipo Whipstock recuperables entubados en su tramo curvo con cañería de 3 ½ pulg. y packer anular a pozo abierto (nivel de complejidad II), esto nos permite colocar la bomba sobre el fondo y lograr un nivel de sumergencia mejor aun a el logrado con pozos de radio corto, además, el casing hasta superficie actúa como separador de gas lo que reduce el problema de cavitación en la bomba, también la cámara de fondo, que puede ser tan profunda como nosotros queramos, permite espaciar la necesidad de intervenciones al pozo por problemas de decantación de arena; la desventaja en este sistema es que, se debe perforar primero el pozo piloto, entubarlo y cementarlo, fijar la cuña y realizar la ventana, para posteriormente perforar el tramo horizontal, esto eleva el costo y el tiempo de ejecución del pozo.

En el pozo de Llancanelo por tener petróleo pesado y viscoso la separación de gas es escasa por lo que la cavitación en la bomba no era un problema que nos inquieto, además dado que la presión de capa es de 100 kg/cm² tampoco faltaría nivel para el trabajo eficiente de la misma, la producción con arena si puede ser un problema en la vida útil del pozo, pero un estudio costo-beneficio entre las necesidades de servicios más frecuentes al pozo y el costo de realizar el tipo de pozo al que nos referimos anteriormente, nos indicó que este ultimo no se justificaba.

Finalmente se opto por un pozo de radio medio con la bomba de producción al tope de la capa de interés, como el punto de aterrizaje se encontraba a 35 mts verticales verdaderos de esta se necesito tener al menos 50° de inclinación en ese punto, para no provocar pata de perro severas (> 25°/30 mts) luego del zapato de 7 pulg. (Anexo 1).

Entubación : Desde el punto de vista del medio ambiente, los fluidos que se utilizan en nuestra industria son los más cuestionados, por lo que, cuando tratamos de mejorar nuestras operaciones de perforación en este aspecto, el lodo es lo primero que

entra en discusión; el problema se puede enfocar por dos lados: uno es el volumen de fluido a manejar en el pozo y otro los productos químicos que lo componen.

En cuanto a los diferentes proyectos evaluados en cuanto a configuración de pozos, podemos mostrar las diferencias en el anexo 2, en el se muestran tres tipos de pozos, el tipo I es que se realizó históricamente, cañería conductora de 20 pulg., cañería guía de 13 3/8 pulg., intermedia de 9 5/8 pulg. y liner de 7 pulg.; El tipo II se planteó al inicio del proyecto por parte de Union Oil; El tipo III fue el que en definitiva quedó como proyecto definitivo para resolver el problema de volúmenes de superficie.

En el anexo 3 se muestra la diferencia de volumen entre las tres opciones, la columna más importante para este aspecto es la de "volumen recuperado" que el volumen que queda remanente en cada tramo y que será el que necesite una disposición final en superficie.

Del volumen recuperado para el pozo tipo I, se hubiese obtenido una reducción del 32.3 % con el tipo II y en el tipo III el 45.4 %.

Finalmente en programa de lodo la formulación se realizó de tal forma que el lodo del segundo tramo sirvió como base para el tercero y por lo tanto no hubo descarte, esto redujo el volumen a tratar en superficie en un 80 % respecto del tipo de pozo inicialmente utilizado en la zona (tipo I).

El diagrama de entubación tal como lo muestra el anexo 1 (tipo III), nos permitió reducir los volúmenes de fluido a manejar en el pozo, en lo que respecta a lodo como también a los colchones de cementación, comenzando por una guía de diámetro 9 5/8 pulg., la profundidad de entubación fue resuelta luego de estudiar los antecedentes de la zona, que mostraban un nivel de basalto en superficie y una pérdida en la interfaces del mismo con los conglomerados suprayacentes (56 mbbp), durante la perforación se previó pérdidas de circulación, la utilización de obturante estuvo restringida a la mínima cantidad posible para no crear problemas de contaminación en superficie, para aislar todos estos problemas más los niveles de agua potable que existen en la zona se decidió colocar la cañería guía en 200 mts.

La cañería intermedia fue de 7 pulg. de diámetro, se corrió hasta el tope de la formación de interés por dos razones, por un lado, esta fue la que dio sello al nivel productor del pozo, así la última cañería no necesitó ser cementada, por otro la totalidad de la instalación de producción se alojó dentro de esta, que es el diámetro más

corriente en Argentina, así se favoreció la provisión de materiales de producción, para favorecer el trabajo de la bomba, esta se colocó lo más profundo posible, lo cual implicó que esta cañería también entubaría una porción de la curva, lo cual limitó la severidad de la misma para preservar las varillas de bombeo y así nos definió el KOP del pozo.

Finalmente el liner de producción fue de 5 pulg. de diámetro, con cupla integral para facilitar su deslizamiento en el pozo, tipo filtro, sin engravar.

Para solucionar el problema de necesidad de engravado se barajaron dos posibilidades, caño filtro (tipo Parisi) o caño ranurado, dentro de las dos tomamos por costo y para realizar una experiencia la segunda opción, después de un estudio de granometría de la arena y canto rodado del pozo, se definió que la densidad de ranuras sería de 144 ranuras/metro, de 1 pulg. de largo x 0,06 pulg. de ancho - perfil cónico.

En cuanto al sistema de vinculación del liner, para no perder profundidad en la bomba de producción se realizó el mínimo cruce y se reemplazó el colgador de liner por un embudo de rosca rápida.

Tipo de lodo de perforación : Un punto de indiscutible peligrosidad para el medio ambiente, es la contaminación química, por el volumen de lodo respecto de los demás fluidos manejados en cada proyecto, es donde mayor atención debió prestarse, a pesar que los productos químicos de los colchones de cementación son normalmente más agresivos.

Químicamente los lodos también fueron estudiados, los antecedentes indicaban que la formación conocida como Terciario, formada por areniscas, areniscas conglomeradas, intercalaciones arcillosas, basaltos olivínicos y yeso con limos arcillosos, son medianamente reactivas y por lo tanto es aconsejable una adecuada inhibición con KCl, en pozos de referencia se trabajó con (>16.000 ppm), que se logra con >35 kg/m³ de KCl , esto no está permitido depositarlo a cielo abierto y nos obligaba a realizar un pozo inyector que en la zona no existía.

Se propusieron varias alternativas de lodo buscando reemplazar el potasio por otro tipo de inhibidor, se realizaron ensayos teniendo como base de referencia agua potable, además se analizó, un lodo cálcico al yeso, PHPA con KCl, biopolímero con KCl, (estos dos como comparación), y dos lodos con fluido Drill ing con diferentes concentraciones.

Se realizaron ensayos de dispersión (Anexo 4), y ensayos de Swell Meter (Anexo 5 y 6), finalmente se opto por un sistema de PHPA en el tramo intermedio y el sistema Drill ing para el tramo de interés, este ultimo con la dosificación de 10 kg/m3.

Una vez decidido el tipo de lodo a utilizar se completo las pruebas con ensayos de toxicidad, estos arrojaron los siguientes resultados:

ENSAYO DE TOXICIDAD

1. MUESTRAS ENSAYADAS:

a) Tramo 250 - 850 mts: Muestra 1

Bentonita	Kg/m3	30
PHPA	Lts/m3	5
Reductor de filtrado	Kg/m3	4
Detergente	Lts/m3	4
NaOH	Kg/m3	1
Lubricante extrema presión	Lts/m3	5

b) Tramo 850 – 1450 mts: Muestra 2

Viscosificante	Kg/m3	3
Inhibidor cationico	Lts/m3	10
Almidón modificado	Kg/m3	6
Almidón	Kg/m3	10
KOH	Kg/m3	1
Estabilizador de pozo	Kg/m3	5
Lubricante	Lts/m3	8

2. EC50 determinado:

Muestra 1: 108196 mg/lit (MZA10TB.E15)

Muestra 2: 86599 mg/lit (MZATBSF2.E15)

Cementación : La cementación también es un punto a considerar en el tema ambiental, la programación de los colchones fue un tema fundamental, pues son ellos los que aparecen en superficie y normalmente tienen los productos más agresivos.

Guía : Se programa un colchón de agua como separador, sin inhibidores de arcillas, con un exceso de 2.5% para prever el mayor calibre, en este punto se prefirió completar por anular desde boca de pozo a recibir el exceso de cemento en superficie.

En la cañería intermedia se busco programar los colchones de tal manera que no llegaran a superficie, en este el punto se intento balancear dos extremos, entre colchones más agresivos pero de menor volumen o menos agresivos y más largos.

Luego de realizados los ensayos nos quedo un programa compuesto por colchones cortos, para que se lograra el barrido necesario el primer colchón fue un gelificado para limpiar el revoque de las paredes del pozo, luego el colchón mecánico, más tarde el químico y finalmente un colchón lavador, con esta secuencia el primer colchón lavador y parte del segundo llegaron a salir a superficie, estos fueron compuestos por polímeros que actuaban como gelificante, ácido utilizados como buffer y surfactantes.

Los desplazamientos se realizaron con lodo de perforación el cual luego era reutilizado para perforar tratándolo con ácido cítrico, con esto si bien el costo del tratamiento no justificaba la recuperación del mismo, el volumen de descarte ahorrado fue de 27.6 m³ (173 bbls) que es aproximadamente un 5% del volumen total del pozo y un 34% respecto del fluido a descartar.

Para la programación de los colchones se tuvo en cuenta la composición química de los aditivos, la caracterización de los mismos tiene tres indicadores:

Salud : Que indica la peligrosidad de estos para con las personas y animales

Inflamabilidad : Como su nombre lo indica expresa el índice de combustibilidad de los mismos.

Reactividad : Indica la capacidad a reaccionar y/o desprender subproductos en determinadas condiciones.

El código se divide en :

0 = Mínimo ; 1 = Ligero; 2 = Moderado; 3 = Serio; 4 = Muy Grave

La tabla de productos utilizados en estos colchones se califican de la siguiente manera.

NOMBRE DEL PRODUCTO	SALUD	INFLAMABILIDAD	REACTIVIDAD
Colchón Mecánico (sistema)	1	3	0
Silice	1	3	0
Gelificante	1	0	0
KCl	1	0	0
Buffer	3	1	3
Surfactante	2	3	0
Buffer	2	0	0
Activador	1	0	0
P.A.S.	1	0	0

NOTA : Todos los código están de acuerdo con : NFPA 704 National Fire Protection Association; NPCA : National Paint & Coating Association;HMIS : Harzadous National Identification System.

El lavado de los equipos se realizó en locación para supervisar esta tarea, descargando el fluido en contenedores. Los cuales eran evacuados al repositorio.

Sistema de circulación de lodo: El sistema de circulación de lodo fue del tipo cerrado (Anexo 7), este consistió en agregar al equipo normal de control de lodos, una zaranda secadora que recibió los descartes del circuito principal (zaranda, desarenador y desilter), una centrifuga que proceso los descartable de la zaranda secadora para terminar la limpieza que inicio la misma, pero que también se pudo utilizar en el circuito de piletas del equipo, como equipo adicional camión portacontenedores, los cuales recibieron los recortes desde las zarandas del equipo, de la zaranda secadora y también los descartes de la centrifuga, estos contenedores se modificaron colocándoles una tapa, esto ayudo en los movimiento de los contenedores hasta el lugar de deposito de los recortes aumentando la capacidad de carga de los mismos, el equipamiento se completo con bombas de trasvaso neumáticas, para extraer de los contenedores el exceso de liquido antes de ser transportados y mantener drenada la bodega de la boca de pozo.

Tambien se utilizo un camión de vacío para la limpieza de piletas, pues las compuertas y Valvulas de descargas fueron selladas y no se utilizaron en ningún momento durante todo el pozo.

Equipo perforador: Tambien fue modificado para este trabajo, primeramente se trabajo en las zonas más expuestas a derrames, estas son las bombas de cargas y descarga y bombas de lodo, a todas estas se les colocaron bandejas inferiores para que retengan cualquier perdida de fluido.

A todas las piletas se colocaron sobre una membrana impermeable que con un cordón de suelo natural también impermeabilizado actuaba de presa antiderrame.

No se construyeron canales de drenaje, por lo que el lavado de equipamiento con agua estaba prohibido, esta fue el cambio de conducta que más se noto en la operación, pues el lavado se realizó con hidrolavadora y siempre que no produjera derrame o contaminación en la locación, el vaciado de las piletas se realizo mediante un camión de vacío, estos líquidos se retiraron de la locación y se llevaron a una pileta impermeabilizada de disposición transitoria distante 55 km. de la locación, una vez terminado el pozo se realizaron los análisis correspondiente para evaluar la peligrosidad del residuo y prepararlo para su disposición final.

El tema de silenciadores fue tratado específicamente, pues el humedal es un punto de reunión de aves migratorias, estas son muy influenciables por el nivel de ruido en el medio ambiente, por lo tanto se modificaron los silenciadores y luego se realizo un estudio de nivel de ruido en la locación y zonas aledañas, esto se expreso en la tabla siguiente, por la ubicación de los puntos relevados ver el anexo 8.

NIVEL SONORO PUNTUAL

PUNTO	Leq dB (A)	Lmáx dB (A)	Lmín dB (A)	Lpico dB (A)	OBSERVACIONES
1	81.0	87.0	79.5	95.5	
2	75.0	76.3	73.3	82.0	
3	75.5	79.1	73.2	82.0	
4	69.5	70.1	68.3	82.7	
5	69.6	70.5	69.0	75.2	
6	74.0	80.9	66.5	84.3	
7	71.1	81.7	66.3	88.3	
8	75.6	78.2	75.0	82.0	
9	75.3	78.0	72.6	82.0	
10	76.6	77.9	75.7	81.0	
11	76.9	81.9	74.2	86.0	
12	76.6	81.6	68.9	87.4	
13	76.0	76.8	75.1	80.1	
14	75.3	76.9	74.3	81.7	
15	72.1	76.9	67.3	82.1	
16	69.1	76.8	65.1	78.4	
17	72.6	75.5	56.7	78.5	
18	60.2	67.0	59.8	71.5	
19	68.3	73.1	64.5	77.7	
20	63.8	62.0	61.1	67.2	
21	67.0	73.9	65.3	78.2	
22	65.3	69.5	63.7	74.5	
23	39.8	42.0	37.7	43.5	Aprox. A 2000 mts de la fuente direcc. E

Nota : Leq : Lectura equivalente dB (a);Lmáx : Lectura máximo en dB (A);Lmín: Lectura mínimo en dB (A)Lpico : Lectura pico en dB (A)

Otro punto de modificación respecto a la practica normal en nuestras locaciones, fue los pozos sumideros de los trailers, esto se reemplazaron por cisternas estancos sin tratamiento químico, que eran evacuados a la cloaca de la ciudad de Malargüe una vez al día, cada compañía fue responsable de las conexiones, las cuales obviamente también debían ser totalmente estancas, al finalizar el pozo todos los sumideros fueron removidos y los pozos rellenados.

Instalación de producción : La instalación final de producción se realizó con tubing de 2 7/8 pulg. de diámetro, con ancla de fondo y caño de cola ranurado,

bomba de producción tipo PCP y varilla de 1" de diámetro, hasta la fecha se realizó solo una intervención para limpieza de pozo con coiled tubing.

Programa versus real : La curva real vs la teórica muestra una ROP promedio real mejor a la esperada en el tramo horizontal respecto del programa, esto se debió a que la limpieza del tramo horizontal fue mucho mejor a la esperada y por lo tanto se pudo espaciar las carreras de calibre, también el conjunto direccional se estabilizó, logrando una excelente respuesta lo cual nos permitió perforar todo el tramo sin realizar correcciones de rumbo ni ángulo. (Anexo 9).

CONCLUSIONES : Este trabajo logro su objetivo, que fue realizar el pozo demostrando que cuando se siguen lineamientos claros, en busca de objetivos razonables, la industria del petróleo puede desarrollarse preservando el medio ambiente.

La necesidad de preservar el medio ambiente no puede detener el desarrollo económico de las zonas que cuentan con esta posibilidad, ni tampoco, la explotación de las mismas pueden quitarle potencial a futuras generaciones de desarrollar esas mismas áreas en otros negocios productivos.

Realizar los procedimientos necesarios para estas operaciones es un trabajo arduo, pues debemos reconocer primeramente, cuales son los requerimientos mínimos para la preservación de un ecosistema, pues cada uno de ellos tiene sus propios puntos débiles, sin llegar a cuidados extremos que entorpecen la explotación de un recurso y no aportan beneficios al mismo.