

Transporte polifásico en el Yacimiento Hidra

J.M. Guy (Total Austral, Argentina)

M. Bernicot (Total C.F.P., Francia)

Informe técnico presentado en las Jornadas sobre Extracción de Hidrocarburos, realizadas en Buenos Aires entre el 17 y el 21 de setiembre de 1990.-

1.- INTRODUCCION

El yacimiento Hidra está produciendo desde hace ya varios meses y prácticamente alcanzó su nivel óptimo de producción.

Su esquema de producción se basa en una solución aún considerada como "no convencional", la de "Transporte polifásico".

Las conductas polifásicas de Hidra vieron evolucionar su comportamiento hidráulico constantemente desde el comienzo con caudal reducido en junio de 1989 hasta las condiciones actuales con diez pozos en producción sobre dos plataformas: Hidro Centro e Hidro Norte.

Los explotadores aprendieron a dominar estas cañerías polifásicas; supieron adaptar sus PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS e, incluso en su momento, modificar los sistemas de control para asegurar el manteni-

miento de la producción. Actualmente, a pesar de que las condiciones operativas han empeorado progresivamente desde la puesta en producción de la segunda plataforma, no se puede imputar ninguna pérdida de producción a una parada ligada, de alguna forma, al comportamiento hidráulico de las cañerías polifásicas.

Con la puesta en marcha inminente del gas-lift, los explotadores deberán otra vez adaptarse a condiciones de funcionamiento totalmente nuevas pero, esta vez, sin ninguna duda, relativamente más estables.

Es interesante puntualizar esta experiencia práctica del dominio de los transportes polifásicos tratando, en la medida de lo posible, de proporcionar una explicación más teórica de los fenómenos encontrados.

En efecto, si somos capaces de concebir, en cierta

Fig 1

SP 6297 V 10 1812 01 REV. 2 .23

HIDRA FIELD LOCATION (TIERRA DEL FUEGO)



forma empíricamente, y luego explotar "sin falta" conductas polifásicas, es necesario convenir que el acercamiento "teórico" deja bastante que desear.

Este acercamiento teórico es lo que nos debería también permitir profundizar la explotación sistemática de la experiencia de Hidra.

2.- RETROCESO HISTORICO

Descubierto en 1982, puesto en producción en

1989, el yacimiento HIDRA es el primer yacimiento costa afuera que comenzó a producir en la Argentina (ver Figura 1).

También es el primer yacimiento que TOTAL AUSTRAL opera en Tierra del Fuego, a tres mil kilómetros de Buenos Aires.

Las reservas se estiman en 47.10^6 bbl y los costos de desarrollo son del orden de los u\$s 250.10^6 por:

- dos plataformas de producción
- una terminal costera
- un puesto de carga

(Ver Figura 2, Esquema del yacimiento Hidra).

Luego de un estudio comparativo entre la solución convencional y la solución "TRANSPORTE Polifásico", el operador eligió esta última y la recomendó a sus socios BRIDAS y DEMINEX.

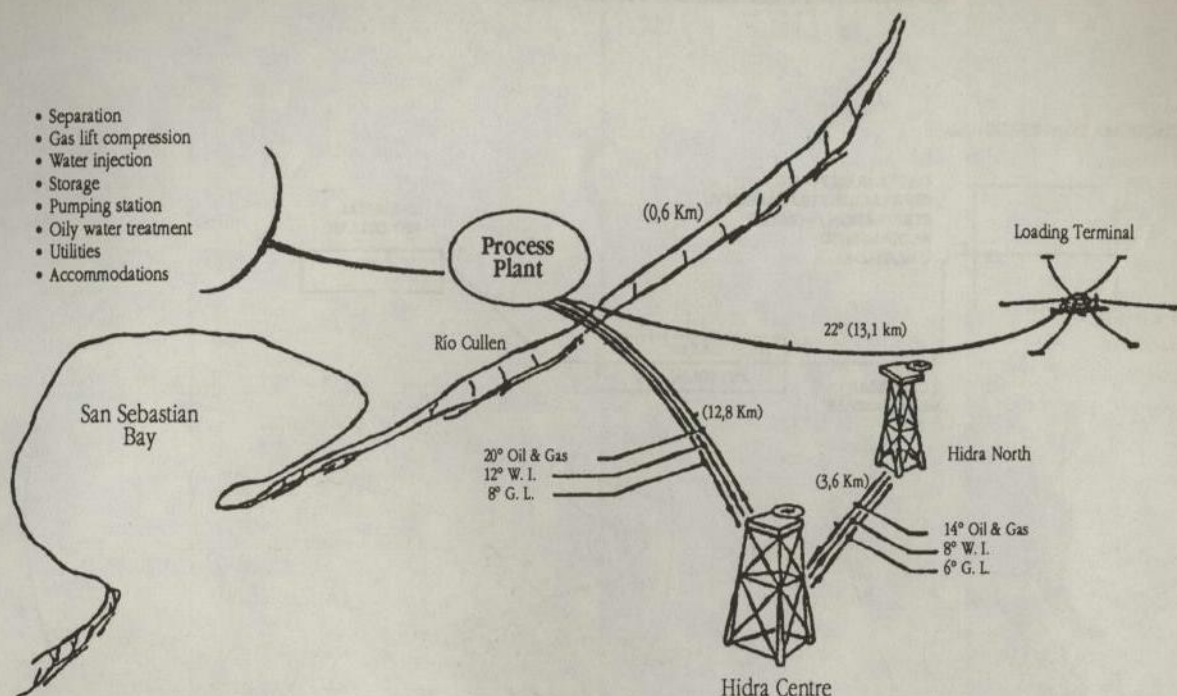
3.- CONCEPCION DEL ESQUEMA DE DESARROLLO

(Ver Figura 3).

3.1. Esquema de Producción "convencional"

Fig 2

HIDRA



Este esquema, muy conocido en Texas y en el Sahara, simplemente ha sido "trasladado" para su uso a todos los mares de la tierra.

El fluido de producción se separa en sus componentes: gas, petróleo y agua.

El gas se seca y se comprime antes de transportarlo por una cañería específica. Para el gas de Hidra hubiera sido necesaria una cañería de 16". El petróleo se bombea en una cañería específica que habría sido de 20" para el petróleo de Hidra. El agua debe ser tratada de manera conveniente antes de volverla al mar.

Todo esto representa equipos relativamente com-

plejos y, por lo tanto, plataformas importantes, de costosa construcción, instalación y sobre todo, mantenimiento.

Para garantizar la continuidad de la producción se necesita un mantenimiento muy pesado y ello exige personal de explotación numeroso y permanentemente presente en el mar.

En el caso del yacimiento Hidra hubiera sido necesario prever alojamiento para más de cincuenta personas (fuera de los períodos de perforación/work-over). Además, el transporte de personal a Hidra se puede hacer prácticamente sólo en helicóptero; por lo

tanto hubiera sido necesario:

- ya sea sobredimensionar el helipuerto para recibir Super Pumas, por ejemplo
- o bien multiplicar las rotaciones con los Daphins que se usan actualmente.

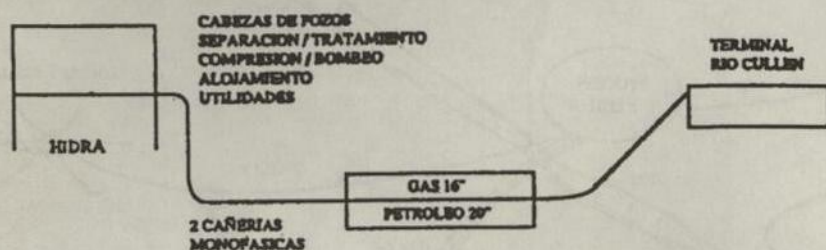
Esta solución convencional era, evidentemente, técnicamente realizable para Hidra e incluso tendría menos riesgos técnicos que la solución con transporte polifásico, considerada por algunos como "no convencional".

3.2. Esquema de producción polifásica

En el esquema de producción con transporte poli-

ESQUEMAS POSIBLES DE PRODUCCION

ESQUEMA CONVENCIONAL



ESQUEMA POLIFASICO

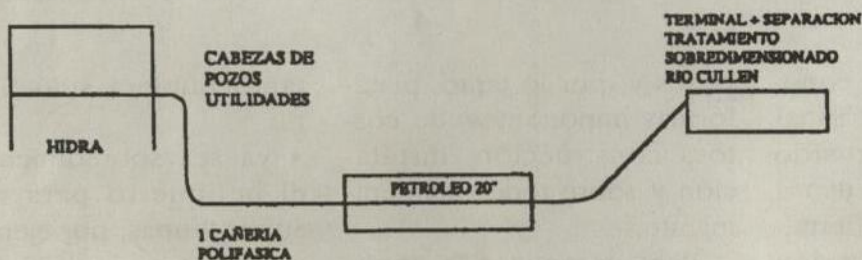


Fig 3

fásico, la producción total se transporta a tierra sin ningún tipo de tratamiento en el yacimiento (ver Figura 2).

La plataforma de producción se reduce a su mínima expresión, es decir una cabeza de pozo (por el momento equipada permanentemente con un separador

de ensayo) con las siguientes utilidades: dos generadores diesel sobre Hidra con las instalaciones de seguridad y transmisión habituales.

Prácticamente, dos plataformas Hidra Centro e Hidra Norte se instalaron en el yacimiento.

La producción de Hidra Norte se transporta hasta Hidra Centro por una cañería de 14" de 3,6 km de longitud (con "risers" de 50 m).

La producción total del campo se lleva desde Hidra Centro a la Terminal de Río Cullen a través de una ca-

ñería de 20" de 12.8 km de longitud.

Las instalaciones de la terminal están sobredimensionadas para recibir flujo de bolsones (bolsones máximo teóricos de 40 m³).

3.2.1. Seguridad de funcionamiento

La seguridad de funcionamiento del campo se ha mejorado en términos globales como consecuencia:

- del traslado a tierra de los equipos de separación/tratamiento/compresión/bombeo que pueden ser explotados y mantenidos en mejores condiciones.
- de la supresión de los equipos permanentes en el mar y la reducción de movimientos de personal.

En efecto, las plataformas incluyen el mínimo indispensable de equipos y requieren muy poco mantenimiento.

3.2.2. Factores favorables

En el caso de Hidra, la elección de la solución polifásica fue facilitada por los siguientes factores:

- a) distancia a la costa relativamente corta (13 km).
- ningún riesgo de coalescencia en línea de bolsones muy largos, incluso en una cañería de 20".
- no hay instalación de bombas polifásicas ya que la presión de cabeza de pozo asegura por sí sola el transporte.

b) Perfil poco accidentado de la cañería de 20"

- subida continua sin ningún punto bajo notable.
- pocos riesgos de "terrain induced slugging" que provoquen la formación de bolsones gigantes.

c) El comportamiento del fluido de producción que, a pesar de su acentuada característica parafinosa, soporta muy bien las condiciones de transporte a temperaturas relativamente bajas.

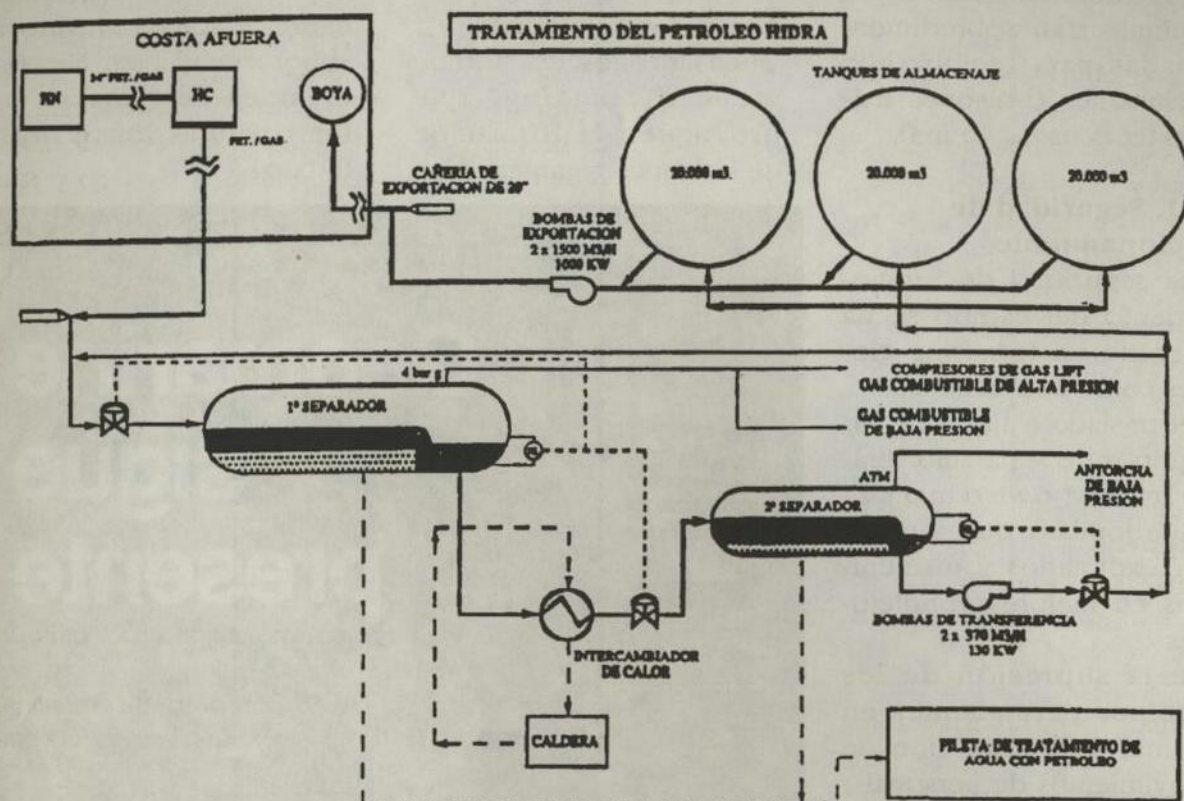
Geomarine sigue presente



**Geoquímica
Gravimetría
Magnetimetría
Offshore, Onshore y Aérea**

Suipacha 268 - 7° Piso - (1355) Buenos Aires - Argentina
Teléfonos 45-9286/0337 - Télex 02-1611 - Telefax 11-1959

Fig 4



3.2.3. Problemas potenciales

Entre los problemas potenciales considerados inicialmente podemos citar:

- La estimación de las pérdidas de carga en línea que determinaban el diámetro de las cañerías.
- El dominio de los flujos de bolsones directamente ligados al sobredimensionamiento de las instalaciones de la Terminal, la elección de sus sistemas de control y los procedimientos operativos.

- El comportamiento de la producción a baja temperatura con costos eventuales para la protección térmica (enterrado, calorífugo, trazado, aditivos...)

a) Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga fueron estimadas con ayuda del programa PEPITE operacional desde 1980.

Los resultados obtenidos son muy apreciables de acuerdo a las viscosidades de fluido; por lo tanto se seleccionaron los valores de viscosidad "teóricos" y ellos,

a su vez, establecieron los diámetros de 14" y 20" para las cañerías polifásicas.

b) Dominio de los flujos de bolsones a la salida de la cañería de 20"

En base a la experiencia adquirida, particularmente en el yacimiento de BEKA-PAI, en Indonesia, se recurrió a:

- la instalación de una válvula de control suplementario a la entrada del separador de la primera etapa.
- un sobredimensionamiento de 40m³ de este separador.

Este sobredimensionamiento asociado al sistema de control de niveles (que también actúan sobre la válvula de entrada) tenía que permitir la recepción sin intervención del operador de la mayoría de los bolsones encontrados en regímenes establecido (ver Figura 4).

Para el caso de los bolsones provenientes de fenómenos transitorios ligados a grandes aumentos de caudal, siempre se corre el riesgo de superar las posibilidades de reacción de los sistemas de control y necesitan una intervención manual del operador. Solo una adaptación de los procedimientos operativos permite limitar este riesgo.

c) Comportamiento del fluido a baja temperatura

El grado de parafina del petróleo de Hidra podía hacer temer lo peor; de hecho, los análisis y ensayos de laboratorio confirmaron que, a pesar de este grado de parafina, el fluido de producción tenía un comportamiento muy favorable.

Al ser poco propenso a depositarse y "coagular" y tener un comportamiento cuasi-newtoniano, se podía prever su transporte con un mínimo de precaución (25 ppm de PPD y 25 ppm de PD se inyectan en funcionamiento normal).

4.- OPERACIONES DE LAS CAÑERÍAS POLIFÁSICAS.

Sucesivamente trataremos - la puesta en marcha inicial de la cañería de 20" por medio de la producción del primer pozo de Hidra Centro.

- el aumento del régimen de la producción (sin gas-lift) sobre Hidra Centro y luego sobre Hidra Norte.

4.1. Puesta en marcha inicial de la cañería de 20" entre Hidra Centro y Río Cullen (ver Figura 5).

1990

UNA TRAYECTORIA PRODUCTIVA

1965

Hace 25 años que realizamos en el país un trabajo en profundidad.

Para brindarle a la industria petrolera argentina, la estructura, la tecnología y la inteligencia que necesita.

Allí yace la clave de nuestro éxito.

- Inspección no destructiva de materiales en la explotación petrolífera.
- Servicio de mediciones físicas en pozos de petróleo y/o gas.
- Servicio analítico de campo.
- Instalaciones para telemetría y/o telecontrol.
- Automatización de Plantas de despacho de combustibles.
- Construcción de conexiones premium para tubing.



Operaciones
Especiales
Argentinas S.A.

PUESTA EN MARCHA DE LA CAÑERÍA DE 20"

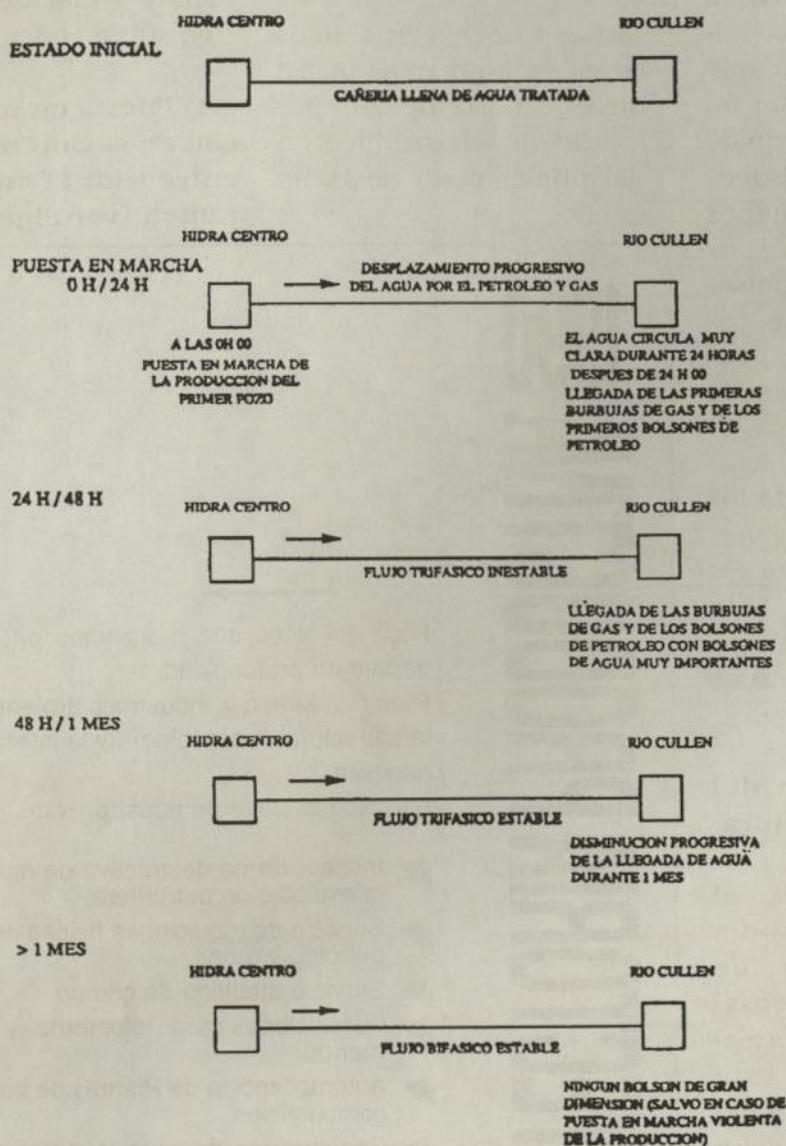


Fig 5

Al finalizar las pruebas hidráulicas, la cañería se llenaba con agua tratada (adicionándole un inhibidor de corrosión y un trazador).

Este agua se desplazó directamente por el fluido del

primer pozo sin utilizar un "pig" intermediario.

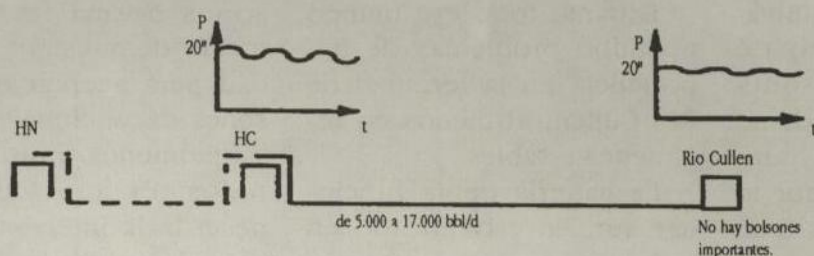
Durante 24 horas, el agua de la cañería circuló hasta Río Cullen muy limpia y sin rastros de hidrocarburo.

Pasadas las 24 horas, los primeros bolsones de petróleo y los primeros bolsones de gas llegaron a la terminal.

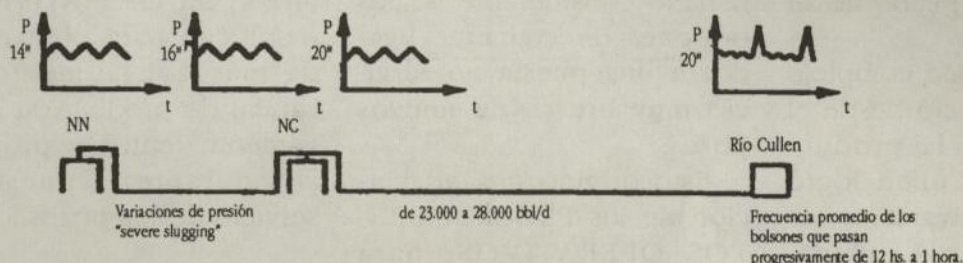
Durante 24 horas se mantuvo un régimen muy

Llegada al régimen de pron de la cañería de 20"

Producción sobre Hidra Centro



Producción sobre Hidra Centro y Norte



Producción sobre Hidra Norte

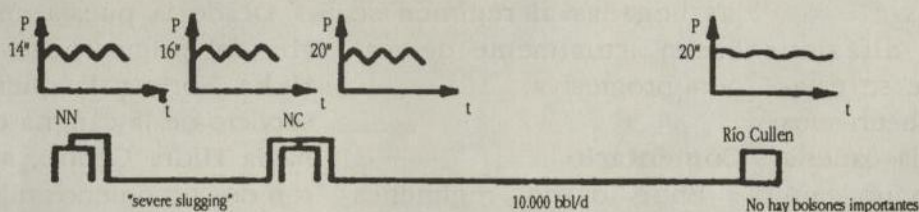


Fig 6

inestable con sucesivos bolsones de gas y bolsones de petróleo y agua.

Pasadas 48 horas, se transformó en un régimen trifásico mucho más estable con llegadas aleatorias de importantes bolsones de agua.

Durante el mes siguiente a la puesta en marcha inicial, la cantidad de agua disminuyó progresivamente a la llegada a Río Cullen.

Al finalizar ese mes, se estableció un régimen anhidro difásico gas/petróleo al "secarse" la cañería.

Comentarios

- Actualmente no disponemos de ningún modelo transitorio trifásico que permita simular este tipo de puesta en marcha.
- Actualmente ese modelo está en estudio en el ámbi-

to de una asociación europea iniciada por la C. E. E. (IFP, SINTEF, BHRA, HARWELL...). Este modelo trifásico será muy complejo ya que, seguramente, deberá pasar por dos o tres revisiones y sólo estará disponible dentro de varios años.

Por el momento debemos conformarnos con algunas consideraciones "cualitativas".

- a) El desplazamiento progresivo del agua por el fluido de producción sólo dio lugar a inestabilidades de poca amplitud. Esto podría explicarse intuitivamente por el hecho de que la cañería presenta una pendiente ascendente continua, sin ningún punto bajo importante; por lo tanto el gas y el petróleo se han desplazado progresivamente a lo largo de la generatriz superior de la cañería y pudieron llegar a Río Cullen al cabo de 24 horas.
- b) El flujo trifásico complejo que se estableció desde el comienzo de la producción en Río Cullen logró vaciar progresivamente toda el agua de la cañería. Esta operación llevó un mes dada la baja velocidad de los fluidos.
- c) El régimen difásico gas/petróleo que se estableció al cabo de un mes de "secado" de la cañería correspondería a un caudal de 5.000 bbl/d y a un GOR de 60m³/m³ para un régimen estratificado en la mayor parte de la cañería, sin ningún problema grave de bolsones en la Terminal.

4.2. Llegada al régimen de producción (ver Figura 6).

4.2.1. Llegada al régimen sobre Hidra Centro

Los cuatro pozos productores fueron puestos en ser-

vicio sucesivamente; la producción pasó de 5.000 bbl/d a 17.000 bbl/d siempre con el mismo GOR: 60 m³/m³.

Durante todo ese tiempo no hubo problemas de importancia en la terminal de Río Cullen, al menos en regímenes estables.

La cañería debía funcionar aún en estratificado en toda la primera parte sin ningún bolsón importante.

Por el contrario, surgió un problema previsto con el tamaño considerable de los bolsones directamente ligados a una puesta en servicio muy brusca de nuevos pozos.

Esto originó una adaptación de los PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS: para evitar problemas transitorios potencialmente peligrosos, las llegadas al régimen se hacen actualmente de manera progresiva.

Comentario

Entre los dos regímenes establecidos correspondientes a la producción de N pozos y a la de N + 1 pozo, el contenido líquido de la línea varía; ésta es la diferencia de "HOLD-UP" que se encuentra a la salida de la cañería difásica bajo la forma de un bolsón único (o de un par de bolsones) de gran dimensión.

Este fenómeno es clásico y había sido señalado tanto en las cañerías de FRIGG en el Mar del Norte, como en

las de BEKAPAI en Indone-

sia y en las de AMAL en Egipto. Los sistemas de control previstos para aceptar bolsones normales, generalmente demuestran incapacidad para aceptar estos bolsones excepcionales ligados a fenómenos transitorios rápidos. Es aquí cuando se necesita la intervención manual del operador para evitar una parada de producción. Esta intervención puede evitarse si los PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS se modifican para obtener nada más que aumentos de caudal de producción relativamente lentos y progresivos durante la puesta en servicio de los pozos.

4.2.2. Llegada al régimen sobre Hidra Norte

Desde la puesta en marcha del primer pozo sobre Hidra Norte y la puesta en servicio de la cañería de 14" hacia Hidra Centro, surgieron dos fenómenos nuevos:

- oscilaciones de presión en la cañería de 14" que están, sin duda, ligadas a un fenómeno de "severe slugging" en el riser de 14" sobre Hidra Centro.
- llegada de bolsones de gran tamaño a la terminal de Río Cullen.

a) Oscilaciones de presión en la cañería de 14"

El perfil de la cañería de 14" es en pendiente descendente hacia el pie del riser

Condiciones de puesta en marcha de la cañería de 20"

P. de entrada=	10 a 12 b	P. de salida=	3 b
T. agua de mar=	8°C	T. aire=	+2°C a -7°C
Caudal de petróleo=	5.000 bbl/d	GOR=	60 m3/m3

Aditivos

Durante el "secado de la cañería			
Desemulsionante=		50 PPM	
Depresor del Punto de Esguerrimiento=		20 PPM	
Luego del "secado"			
Dispersante de parafina=		20 PPM	
Depresor del Punto de Esguerrimiento=		20 PPM	

de 14" sobre Hidra Centro. Este tipo de configuración se aplica para favorecer la aparición de un fenómeno de inestabilidades de grandes amplitudes y se la conoce bajo el nombre de "Severe slugging".

Estas oscilaciones de presión en la cañería de 14" son relativamente importantes (variaciones de 9 bars a 12 bars en pocos minutos). Podrían limitarse, incluso suprimirse, por una simple estrangulación de la cabeza del riser de 14" a la llegada sobre Hidra Centro.

Las pruebas en curso deberían permitir verificar que, en ciertos límites, este no aumentará sensiblemente la pérdida de carga global y por lo tanto, no reducirá la producción de los pozos de Hidra Norte.

Estas oscilaciones de presión en la cañería de 14" se transmiten directamente a la

entrada de la cañería de 20".

Hemos comprobado que, a bajo régimen de producción (Hidra Norte produce mientras Hidra Centro está parada) estas oscilaciones no tenían ningún efecto nefasto sobre la estabilidad del comportamiento de la cañería de 20" en Río Cullen (ningún bolsón de grandes dimensiones).

Por el contrario, en cuanto el caudal de producción aumenta, estas mismas oscilaciones podrían contribuir a la desestabilización del comportamiento de la cañería de 20". Los ensayos y estudios en curso podrían confirmar esta hipótesis.

b) Llegada de bolsones de grandes dimensiones a la terminal de Río Cullen

En régimen estable, es decir, al margen de cualquier maniobra ya sea sobre las

plataformas o en la terminal, se registran importantes bolsones en la terminal en cuanto las dos plataformas están en producción.

La frecuencia de llegada de estos bolsones aumenta regularmente con el caudal de producción.

Caudal total de producción bbl/d	Promedio de bolsones por día
20.000	2
23.000	12
28.000	24

Actualmente, con la producción de 28.000 bbl/d estos bolsones, que duran de 5 a 10', tienen frecuencias que varían de 15 a 90' (promedio: uno por hora).

Estos bolsones están ligados a fenómenos de inestabilidad hidráulica en la cañería de 20" cuyo origen está en vías de análisis.

En efecto, el único "accidente" que se encontró en el perfil de la cañería de 20" lo constituyó un "sifón" ubicado a menos de 900 m de la llegada a Río Cullen.

Este sifón lo causó un tramo en pendiente descendente de sesenta metros de largo. A pesar de su limitado tamaño pero debido a la existencia de este tramo descendente, le atribuimos el origen del fenómeno del "terrain induced slugging" observado en Río Cullen.

Por el momento, mientras se defina y ensaye una

nueva estrategia de control, los operadores proceden a estrangular permanentemente la salida de la cañería de 20" en Río Cullen (tiene el efecto de contribuir a la estabilización del flujo) y pasar a manual el control de las válvulas de nivel de los dos separadores si es necesario.

El sistema de control inicial basado en un proceso de "split-range" entre la salida de petróleo y la entrada del primer separador se dejó de lado. En efecto, este sistema reaccionaba siempre tardíamente y de manera muy lenta para ser eficaz.

Varias estrategias de control de esta válvula de entrada son posibles y algunas ya fueron ensayadas con resultados varios: control sobre la llegada de presión a la salida de la cañería de 20", control para nivel alto...

Parece que la solución más simple para el manejo del tipo de inestabilidades observadas se podría encontrar a nivel de la modulación de la contra presión creada por esta válvula de entrada.

5.- CONCLUSIONES.

El yacimiento Hidra está en producción, las cañerías polifásicas puestas en marcha sin problemas mayores y se explotan con caudales crecientes hasta 30.000 BOPD.

Los operadores aprendieron a manejar los problemas relacionados con el flujo polifásico, particularmente:

- los bolsones ligados a las inestabilidades observadas en regímenes establecidos de alto caudal (sin gas lift).
- Los bolsones ligados a los fenómenos transitorios correspondientes a aumentos muy bruscos de producción.

Con la puesta en marcha de gas-lift, los operadores deberán enfrentar nuevas condiciones de flujo a priori menos inestables.

El primer objetivo se alcanzó: Hidra pasó el examen de eficacia del esquema de producción elegido y la habilidad de los operadores que supieron encontrar, sin ninguna pérdida de producción, las mejores condiciones de explotación.

El segundo objetivo, quizás secundario para la explotación actual de Hidra pero primordial para nuestros futuros desarrollos, todavía falta alcanzar: consiste en la explotación completa de todas las informaciones recogidas sobre el comportamiento de las cañerías polifásicas de Hidra.

Estas informaciones tienen una gran importancia para la verificación de nuestros modelos de simulación. Estos modelos, asociados a los nuevos equipos que se

están probando (bombas difásicas, caudalímetros trifásicos) nos permitirán extender las posibilidades de uso de la PRODUCCION POLIFASICA:

- distancias de transporte más largas
- supresión de los separadores de ensayo
- plataformas realmente inhabitadas
- producción totalmente submarina

Es así como, particularmente con el proyecto de investigación Poseidón, sobre el cual trabajamos desde 1984 con el Instituto Francés del Petróleo y la sociedad estatal noruega STATOIL, vamos a poder emprender la producción en grandes profundidades de agua.

La primera aplicación del Poseidón será muy pronto: quedan por terminar los ensayos de la bomba difásica en el yacimiento SIT en Túnez y luego encontrar un yacimiento para un uso real.

Esta primera utilización será, sin dudas, sobre plataforma o en bajas profundidades de agua, pero con Poseidón hemos puntualizado un concepto que parecería ser muy interesante para yacimientos muy profundos, como por ejemplo en el Mar del Norte noruego, el Golfo de México y, por supuesto, el offshore brasileño.