

CAPÍTULO 5

MÉTODOS NO CONVENCIONALES DEL CONTROL DE POZOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se describen de manera general los procedimientos para el control de pozos de forma no convencional. Es decir, que la experiencia del personal que controlará el pozo es suficiente para entender el comportamiento del programa operativo. Es complejo explicar de forma detallada cada uno de estos temas. Es importante que se de continuidad en su análisis para desarrollar una metodología aplicada a cada caso. Por lo tanto los métodos existentes se describen a continuación.

5.2 MÉTODO DE LUBRICAR Y PURGAR¹

Este método se aplica en pozos donde no se puede efectuar la circulación del fluido de perforación, donde las altas presiones elevan sus valores permisibles en la superficie o cuando en el interior de la sarta de perforación se tiene una obstrucción originada al solidificarse un tapón.

El método es utilizado cuando el brote de la formación es gas y al encontrarse éste en la superficie, un determinado volumen de fluido puede ser bombeado dentro del pozo, se hace una pausa de varios minutos (aproximadamente entre 10 y 30 minutos), para que el gas migre a través del nuevo fluido de perforación; entonces, se purga una cantidad de gas al exterior del pozo.

Las etapas de lubricar y purgar se repiten, hasta que el gas ha sido reemplazado por el fluido de perforación. Este se precipita y va formando una columna hidrostática.

El método no controla completamente un pozo, pero si permite disminuir la presión en superficie, mientras se coordinan las siguientes operaciones o se instala en el pozo una unidad de equipo Snubbing para trabajar bajo condiciones de presión.

Se debe dar un tiempo razonable para que el fluido de perforación comience a ejercer presión hidrostática. Puesto que se está “adicionando” una columna hidrostática en el interior del pozo; puede purgarse la “contrapresión” en una cantidad igual al aumento de la presión hidrostática. Para comenzar la lubricación y el purgado, debe inyectarse fluido de perforación al pozo, el cual deberá cuantificar contando el número de emboladas o por medio del tanque de viajes; con el fin de calcular la longitud del fluido bombeado. Obteniendo este valor podrá estimarse el aumento en $[\text{kg} / \text{cm}^2]$ de la presión hidrostática, para que este valor sea la presión a purgar en la superficie.

Es necesario mantener las presiones al mínimo, ya que al no darse tiempo para que descienda el lodo, puede suceder que se pierda fluido al comenzar a purgar el pozo en la superficie. La espera debe cuidarse, sobre todo cuando es profundo el pozo.

La secuencia de lubricar el fluido de perforación, esperar a que se forme la columna hidrostática y posteriormente purgar el incremento; debe repetirse hasta que los cálculos reflejen que el espacio anular está lleno y se haya disminuido la presión en la tubería de revestimiento hasta 0 $[\text{kg} / \text{cm}^2]$.

PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO LUBRICAR Y PURGAR

1. Calcular la presión hidrostática que será ejercida por 1 [BI] de lodo.
2. Bombear lentamente un determinado volumen de lodo en el pozo. La cantidad elegida dependerá de muchas condiciones diferentes y así pueden cambiar durante el procedimiento. El aumento de la presión en la superficie se puede calcular mediante la aplicación de la Ley de Boyle ($P_1V_1 = P_2V_2$) y darse cuenta de que por cada barril de lodo bombeado en el pozo disminuye el tamaño de la burbuja.
3. Permitir que el gas migre a la superficie. Este paso podría tomar bastante tiempo y depende de una serie de factores como el peso de lodo y la viscosidad.

4. Purgar el gas desde el pozo hasta que la presión en la superficie se reduzca a un valor igual a la presión hidrostática el lodo bombeado. Es muy importante purgar únicamente el gas. Si en cualquier momento del procedimiento de lodo llega a la superficie y se comienza a purgar, el pozo debe ser cerrado y se debe permitir que el gas migre.
5. Repita los pasos 2 al 4 hasta que todo el gas se halla purgado o se halla alcanzado la presión en la superficie deseada.

NOTAS: Se recomienda utilizar una unidad de alta presión, para superar la presión del pozo. Al principio las presiones serán elevadas pero se minimizarán por la cantidad del fluido de perforación inyectado.

El uso de este método dependerá del conocimiento que se tenga del pozo:

- Estado mecánico
- Geometría de la sarta de perforación
- Antecedentes
- Parámetros registrados

5.3 MÉTODO DE REGRESAR FLUIDOS CONTRA-FORMACIONES (BULLHEDING)^{2, 3}

Este método consiste en bombear contra-formación la capacidad de la o las tuberías de la sarta de perforación o a través de un aparejo de producción o sarta de perforación.

El método se lleva a cabo cuando no hay obstrucciones en la tubería y puede lograrse la inyección de los fluidos del pozo, dentro de la formación sin exceder ningún límite de presión. Se desplaza todo el volumen en el interior de la tubería con la cantidad necesaria de un fluido de perforación o un fluido de reparación.

Durante la etapa de perforación de un pozo, cuando se presenta un brote y dependiendo las condiciones; puede utilizarse esta técnica. Como es el caso de un brote con fluidos de

ambiente amargo y corrosivo (H_2S o CO_2); donde luego de efectuar el cierre del pozo, analizar la situación y tomar la decisión a seguir; sea recomendable regresar los fluidos contra-formación (Bullheading) en lugar de sacarlos a la superficie y los consiguientes riesgos a la instalación del equipo y los trastornos respiratorios para el equipo de trabajo.

PROCEDIMIENTO

1. Determinar las presiones de las tuberías con el pozo cerrado, TP y TR con su límite de cada una a la presión interna.
2. Tener los cálculos de volúmenes que se pretendan bombear. Elaborar una hoja de control de brotes con su cédula de trabajo contra el total de emboladas para desplazar los fluidos hasta el extremo de la tubería o la barrena.
3. Al iniciar la operación, la bomba debe superar la presión del pozo, la cual podrá ser mayor que la presión en la tubería de perforación al cerrar el pozo (PCTP). A medida que la presión reducida de circulación está inyectando contra-formación la lectura en el manómetro, disminuirá conforme el fluido de control se acerca a la formación.
4. Al llegar el fluido a la formación, al no ser del mismo tipo del brote, causará una resistencia a la inyección contra-formación, incrementando la presión de bombeo.
5. Cuantificar el total de emboladas y parar la bomba.

DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS:

- Deberá cuidarse en no rebasar ninguna presión máxima permisible, cuidando los valores de la hoja para el control de brotes y lectura en los manómetros.
- Si en los cálculos se previno un sobre desplazamiento del fluido de control se determinará inyectarlo en la misma etapa.
- Si el pozo aún registra presión, sucedió que el gas migró hacia arriba durante el bombeo contra-formación o bien el fluido utilizado no tenía la densidad requerida. Por lo que se evitará no fracturar la formación a la profundidad de la zapata de la tubería de revestimiento y en los demás puntos del sistema de control.
- En operaciones de mantenimiento de pozos (workover), el inyectar contra-formación (Bullheading) puede tener limitaciones, en función al intervalo productor en

explotación y condiciones del yacimiento cuando se pretenda aplicar este método. Podrá suceder que, los fluidos que aporte el intervalo productor sean demasiado viscosos, resultando que la operación se prolongue por bastante tiempo.

- Al aplicar el método por el interior de la tubería, es recomendable represionar el espacio anular de la TR para evitar una ruptura por el exterior de la TP. Por lo que deberán tenerse registradas las presiones internas a su límite de ruptura para no excederlas.
- El gas es un fluido más penetrable en relación al aceite y al agua salada. Por lo consiguiente puede ser menos necesario fracturar si el brote es gas.
- El control contra-formación es una técnica común en un escenario de perforación. Cuando el pozo está perforado horizontalmente, es altamente fracturable, si la formación la componen carbonatos simples. Este no es un método recomendado para un pozo perforado verticalmente donde varias formaciones están expuestas a lo largo de la longitud del pozo.
- En un escenario de reparación, en un pozo vertical u horizontal donde haya un agujero revestido, la mayoría de las formaciones son separadas por las tuberías de revestimiento y hay más control respecto a cual formación se regresarán los fluidos del brote utilizando este método.
- El gas siempre causará problemas de migración, siendo recomendable agregarle al fluido de control viscosificantes que retarden este proceso durante la operación de control.
- El yacimiento puede tener baja permeabilidad y tal vez se requerirá exceder la presión de fractura, sin llegar al límite de ocasionar una pérdida de circulación.
- Inyectar los fluidos contra-formación (Bullheading) no está limitado a bombear por el espacio anular. Sin embargo las fricciones por este espacio son considerablemente menores que por dentro de la tubería de perforación. Esto permite una mayor disponibilidad en la presión de bombeo por el espacio anular, cuando se efectúa una operación contra-formación. Los siguientes aspectos deberán ser considerados:
 - a) El brote puede estar arriba de una zona muy débil del pozo.
 - b) El lodo podrá bombearse a un alto gasto en el cual el gas migre hacia arriba.
 - c) Suficiente permeabilidad o fracturas inducidas o naturales pueden presentarse al forzar contra-formación los fluidos.

- d) Si la permeabilidad presente es suficiente y no se desea incluir una fractura adicional, las presiones en superficie no deberán excederse al tener en consideración las presiones de fractura calculadas.

5.4 MÉTODO DE CONTROL DINÁMICO⁴

Se aplica este método en casos especiales, cuando por alguna causa no se puede estrangular la descarga de un pozo o controlarlo por medio de otro pozo de alivio.

El método utiliza las pérdidas de presión por fricción y la presión hidrostática de un fluido de control, el cual es bombeado por la sarta de trabajo en el fondo del pozo de alivio hasta el pozo que fluye descontrolado; permitiendo el uso de fluidos ligeros de control dinámico que son sustituidos posteriormente por otro adecuado que controle la presión de formación.

La velocidad del fluido inyectado deberá ser suficiente para que la suma de las caídas de presión por fricción y la columna hidrostática exceda la presión de formación. Esta velocidad debe sostenerse hasta que el fluido de control de mayor densidad estático desplace al fluido de control dinámico más ligero.

Este método antes de aplicarlo, involucra efectuar una serie de cálculos porque la presión de fondo es bastante difícil de predecir. Por lo que solamente personal con experiencia, altamente calificado, certificado y familiarizado con este método deberá utilizarlo con las limitaciones que en cada pozo en particular se presenten.

5.5 MÉTODO DE CIRCULACIÓN INVERSA⁵

Al efectuar un control de pozo con la técnica de circulación inversa como su nombre lo indica es lo opuesto a una circulación directa. La bomba es preparada para bombear por el interior del espacio anular de la TR y el retorno es a través de la tubería hacia el múltiple de estrangulación.

Para su aplicación los principios son los mismos a cualquier método de presión de fondo constante. Para este caso no se establecen ni presiones, ni régimen de circulación. Durante la operación se atiende el manómetro de la TR para controlar la presión de fondo del pozo. Al aumentar la bomba de lodos se determina estabilizar la presión de fondo y se establece una determinada presión de circulación. Ahora la contrapresión se ejercerá por la tubería de perforación por medio del estrangulador correspondiente.

VENTAJAS AL EFECTUAR UNA CIRCULACIÓN INVERSA

- a) Es el camino más rápido y corto para circular del fondo a la superficie.
- b) El brote de un fluido se desalojará fuera del pozo de una manera segura.
- c) De presentarse problemas, éste queda dentro de la tubería de mayor resistencia.
- d) En operaciones de reparación (Workover); el fluido empacador confinado en el espacio anular es bastante denso y viscoso que sus características pueden controlar la formación, sin tener que recurrir a preparar grandes volúmenes en superficie.
- e) En la operación de control, las pérdidas de presión por fricción son menores.

DESVENTAJAS AL UTILIZAR UNA CIRCULACIÓN INVERSA

- a) En operaciones de perforación, algunas formaciones débiles, es posible que no soporten la presión adicional. Para operaciones de reacondicionamiento (Workover) deberá determinarse el estado de la TR y sus condiciones; ya que al intentar altos regímenes de bombeo dan por consecuencia altas presiones.
- b) Si la tubería contiene gas se tendrán trastornos para establecer y regir parámetros de bombeo y de presión. Si lo hay en la TR, la presión de bombeo puede incrementarse.
- c) Si el sistema circulatorio contiene densidades diferentes, causarán complicaciones para determinar las presiones por ejercer.
- d) No es recomendable utilizar esta técnica cuando se considere el riesgo de taponar con recortes, residuos u otros materiales, las aberturas de circulación, los orificios y las toberas de la barrena.

- e) En la circulación el gas llegará a la superficie demasiado rápido, que en una circulación directa; al tener la bomba operando a la velocidad deseada, por lo que debe tenerse el tiempo de "atraso" de la TP disponible para mantener constante la presión en TR hasta desplazar el volumen completo de la tubería.

Utilizando esta técnica pueden tenerse complicaciones si la densidad del fluido no tiene la densidad apropiada para controlar la formación, Deberá determinarse si será desplazada la tubería y el espacio anular y posteriormente se densificará o se utilizará el método de densificar y esperar. Si es un fluido empacador con elevada densidad podrá presentarse una pérdida de fluido o fractura de la formación.

Debe prepararse y aplicar una hoja de control de brotes con su cédula de trabajo contra emboladas, con la finalidad de utilizarla como una guía.

Si la tubería está llena de gas de la formación, mientras se circula con el fluido de control, no pueden calcularse con precisión las variaciones de las pérdidas de presión por fricción.

Bajo estas condiciones se puede calcular el incremento estimado en la tubería y este valor puede disminuirse en la presión del estrangulador.

5.6 TÉCNICAS ALTERNAS DE DESVIACIÓN DE FLUJO⁶

5.6.1 TÉCNICA DE DESVIACIÓN DE FLUJO

El control de un brote cerrando el pozo, no deberá considerarse cuando sólo está cementada una tubería de revestimiento superficial en una formación tal que transmita las presiones que se desarrollan durante la operación de control.

Todas las zapatas relativamente cercanas a la superficie, se asientan en formaciones no consolidadas. Si se presentara un descontrol subterráneo, la posibilidad de un riesgo superficial alrededor de la tubería de revestimiento se incrementa en probabilidades; también se debe considerar que, generalmente, las formaciones superficiales son zonas

de presión normal y los volúmenes de gas son realmente pequeños; la mejor forma de mantener el control superficial es desviando el flujo del brote, en lugar de cerrar el pozo y generar un descontrol subterráneo tal que llegue a la superficie por fuera de la tubería de revestimiento, para este fin se utilizará el desviador de flujo.

Cuando se utiliza este sistema, es posible controlar el pozo circulando lodo con la velocidad suficiente para vencer la aportación de fluidos, esto dependerá de la densidad y la velocidad del flujo que pueda manejarse con seguridad. La velocidad de la bomba deberá ser tan alta como lo permitan las limitaciones del equipo; además, este bombeo deberá iniciarse de inmediato. Es aconsejable bombear lodo de una densidad tal que pueda soportar la formación expuesta. Si en algún momento se agota el lodo se recomienda bombear agua para reducir el riesgo de incendio. Cuando el pozo es marino se utiliza agua de mar. Si los fluidos se desvían por un tiempo prolongado es posible que la zona del brote se agote y que el agujero se derrumbe.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA DE DESVIACIÓN DE FLUJO

VENTAJAS

- a) Evita el fracturamiento de la superficie expuesta debajo de la zapata de la tubería de revestimiento superficial.
- b) Transporta los fluidos producidos a una distancia segura del pozo.
- c) Permite perforar a la profundidad establecida.
- d) Se puede manejar el brote.

DESVENTAJAS

- a) El pozo no está bajo control total. Por lo tanto, el problema puede complicarse.
- b) Tendrían que manejarse grandes volúmenes de fluido invasor.
- c) El volumen de fluido para cerrar el preventor deberá consultarse de acuerdo a su tamaño, para verificar que se tiene capacidad de fluido acumulado (de requerirse, agregará otro banco de acumuladores).

5.6.2 TÉCNICA DE ESTRANGULACIÓN LIMITADA

La técnica de estrangulación limitada como método de control, está apoyada en principios básicos. Durante la operación del control de un brote, si la presión en el espacio anular tiende a elevarse arriba de un valor fijo predeterminado, el estrangulador necesitará ajustarse como sea necesario y controlar la presión a un valor igual o menor al valor establecido. También durante el cierre inicial, si la presión de cierre tendiera a incrementarse a un valor superior del fijado, inicie inmediatamente el bombeo y, con ello el estrangulamiento será ajustado, controlando la presión a un valor inferior al determinado. Se entiende que la presión mínima necesaria en el estrangulador deberá ser suficiente para disminuir el continuo flujo al agujero, hasta que la presión hidrostática necesaria para controlar el pozo pueda ser alcanzada a través de la circulación de lodo con densidad adecuada.

PROBLEMAS ASOCIADOS CON ESTA TÉCNICA

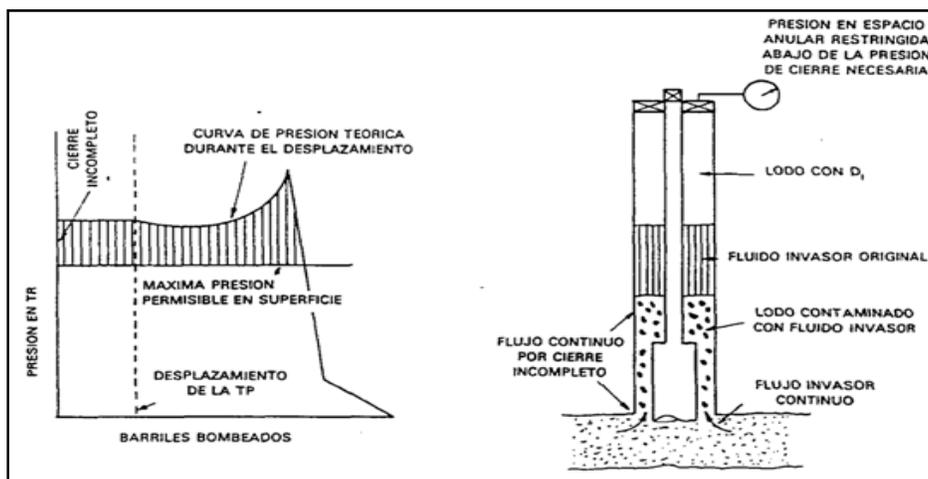


Figura 5-1. Técnica de estrangulación limitada del cierre total.

En algún momento durante la operación del control de un brote si la presión superficial en la TR, necesaria para mantener una presión de fondo constante igual a la presión de formación, es reducida en la medida que se evite exceder un valor máximo predeterminado, puede ocurrir una situación de desbalance, permitiendo otro flujo en el espacio anular. Si esta situación de desbalance continúa, todo el espacio anular se llenará

con lodo contaminado, lo que hará necesario una alta presión en la superficie en caso de que el pozo se requiera controlar.

Otro de los problemas más peculiares que está asociado con los brotes, es la geometría del pozo.

Esto es, conforme se avanza en profundidad, el diámetro del agujero es menor. Por lo tanto, un pequeño brote en una geometría reducida del pozo necesitará un manejo de presiones más altas en superficie que él mismo brote en una geometría mayor, como se muestra en la siguiente figura.

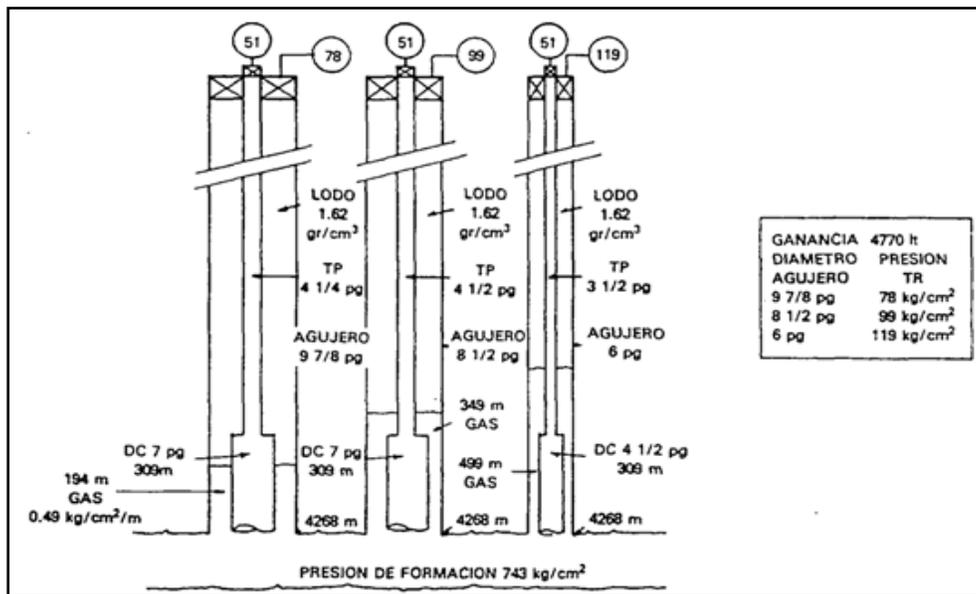


Figura 5-2. Efectos de las presiones en diámetros diferentes.

Un brote en diámetros pequeños es potencialmente más peligroso que en diámetros mayores. Por lo que, un volumen pequeño en diámetro pequeño podría exceder la máxima presión manejable en superficie.

El tipo de fluido invasor afecta la técnica de estrangulador reducido, ya que las características físicas de este fluido por si solo son causa del grado de contaminación del lodo; dentro de estas características está la capacidad de expansión, el gasto de entrada y la densidad.

Los efectos de la contaminación del lodo repercuten en las caídas de presión por fricción que se deben vencer para mover el fluido fuera del espacio anular.

Las pérdidas por fricción incrementan el total de las presiones aplicadas a la formación, reduciendo la presión que se necesita en la superficie para balancear las presiones de formación. Pero cuando la presión en la tubería de revestimiento es reducida por debajo de la requerida (como en el caso cuando existe una restricción de presión en la superficie), se presenta un flujo adicional y contamina el fluido de perforación. Este fluido contaminado normalmente genera más pérdidas de presión por fricción que el lodo sin contaminar. Por lo tanto, si el fluido invasor contaminara todo el sistema, las caídas por fricción se incrementarían de tal forma que sería difícil mantener una baja presión en la superficie.

Bajo las mismas condiciones de presión y permeabilidad, el agua salada y el aceite entran al pozo a menor gasto que el gas. Por lo tanto, la detección de un brote de agua salada o aceite deberá ser con un volumen mínimo incrementado en presas.

5.6.3 MÉTODO VOLUMÉTRICO⁷

Si por alguna razón la circulación en el pozo no puede ser establecida para desplazar el gas a la superficie, será necesario controlar su migración (por diferencia de densidades), así como la expansión.

El método volumétrico se puede aplicar en las siguientes situaciones:

- Cuando no hay tubería dentro del pozo y no se puede hacer stripping.
- En caso de que la tubería esté tapada.
- En el momento en que la densidad de control es inalcanzable a la profundidad de la tubería y no se puede hacer stripping.
- En caso de que no se pueda establecer circulación.

Conviene señalar que el método volumétrico sólo se lleva a cabo cuando el fluido invasor es gas y el fluido de perforación es base agua.

Las operaciones normales de control podrán continuarse una vez desalojado el gas, ya que mientras se soluciona el problema que impide la circulación, no habrá el peligro que involucre el represionamiento del pozo.

Permitir la migración de gas bajo control, es una técnica que sólo se debe emplear en caso de emergencia.

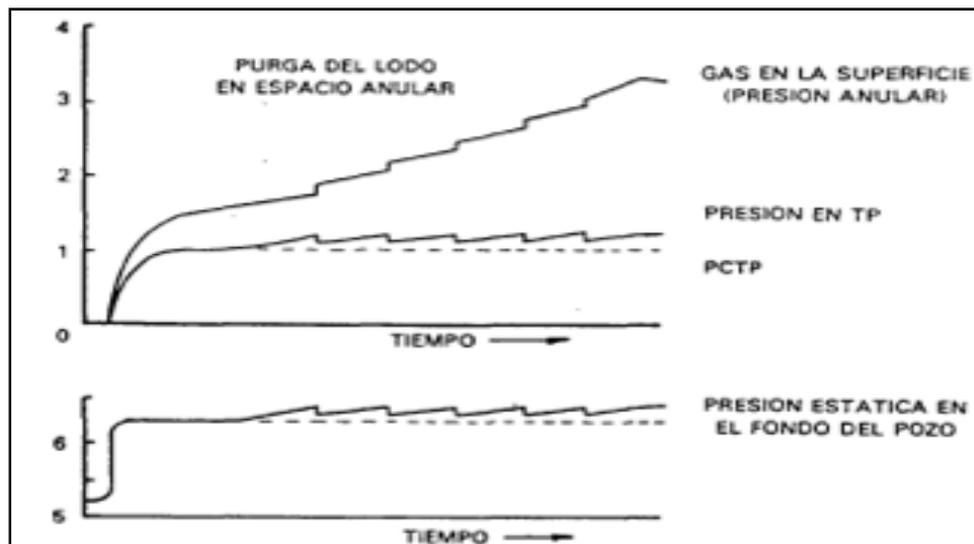


Figura 5-3. Migración del gas, método volumétrico a condiciones estáticas.

Una expansión excesiva del gas reducirá la presión en el fondo del pozo y permitirá la entrada de más gas; una pequeña expansión causará un incremento de presión que posiblemente creará una pérdida por fracturamiento debajo de la zapata.

Bajo estas condiciones, la presión en la tubería de perforación es monitoreada manteniéndola entre 50 y 100 [lb/pg²] arriba de la presión original de cierre (PCTR), purgando lodo del espacio anular para que esta presión sea balanceada.

La presión registrada en el espacio anular se incrementará cuando el lodo sea purgado del mismo, en tanto que la presión en la tubería de perforación debe monitorearse entre los límites prefijados, para no permitir la entrada de más gas; para ese propósito es necesario un manómetro de presión de rango adecuado.

Este procedimiento puede continuarse hasta que el gas llegue a la superficie. El gas que se purga necesita ser sustituido por un fluido (lodo), de este manera, prácticamente resulta que la primera parte del método del perforador se ha llevado a cabo.

La aplicación de esta técnica se puede efectuar cuando se tengan las siguientes situaciones:

- Las bombas del equipo se encuentran fuera de servicio y no se cuenta con la unidad de alta presión.
- La tubería de perforación está fuera del pozo y los arietes ciegos se encuentran cerrados.
- La tubería de perforación está arriba del fondo, de tal manera que la densidad equivalente para controlar la presión de formación a esa profundidad, no se puede conseguir.
- La tubería de perforación o la barrena está tapada.

Para calcular el volumen que deberá purgarse mientras el gas migra hacia la superficie se utiliza el siguiente procedimiento de control:

1. Registre la presión de cierre en la tubería de revestimiento (PCTR).
2. Permita un aumento de $7 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$ por encima de la PCTR; $\text{PCTR}=\text{PCTR}+7 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$.
3. Permita un incremento de $3.5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$ por encima de la PCTR anterior; $\text{PCTR}_2=\text{PCTR}+3.5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$.
4. Purgue una determinada cantidad de lodo que genere una presión hidrostática igual al incremento seleccionado en el paso anterior ($3.5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$).
5. Permita un incremento de $3.5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$ por encima de la PCTR anterior y purgue hasta que el gas llegue a la superficie.
6. Descargue un volumen equivalente de $3.5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$ de gas al quemador.
7. Bombee un volumen de lodo original para generar $3.5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$ de presión hidrostática y repetir hasta que salga el gas.

El purgado del pozo se efectuará con tal rapidez para permitir que la presión en la TR se mantenga constante. La cantidad de lodo purgado dependerá del factor de capacidad del pozo y de la densidad del lodo, así como del incremento de presión seleccionado (3.5 [kg / cm²]). Esta cantidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{35.2 \times FCA}{DP} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

- V: Volumen de lodo que debe purgarse, [lt]
- FCA: Factor capacidad del agujero en donde está localizado el brote, [lt / m]
- DP: Densidad de lodo a purgar, [gr / cm³]

El aumento inicial de 7 [kg / cm²] es un factor de seguridad, el cual permitirá que la presión se incremente (en 3.5 [kg / cm²] adicionales) para después purgar el volumen calculado. Esta purga debe hacerse lo más rápido posible para que la presión en la tubería de revestimiento permanezca constante. El volumen de lodo purgado deberá desviarse a un tanque donde se puedan hacer mediciones precisas.

Después que se haya purgado el volumen calculado, deberá permitirse que la presión en la tubería de revestimiento aumente 3.5 [kg / cm²] nuevamente, antes de purgar otro volumen igual al calculado. Este procedimiento deberá repetirse hasta que el gas del brote llegue a la superficie, siendo cada ocasión más frecuente. Una vez que lo anterior ocurra, se podrá cerrar el pozo y la presión no se incrementará.

5.6.4 TÉCNICAS PARA UN DESCENTROL SUBTERRÁNEO⁸

Cuando ocurre un descentrol subterráneo, los fluidos se conducen de una formación a otra. La zona receptora debe ser un intervalo poroso y permeable (una formación fracturada o una debilitada expuesta por la rotura de la tubería de revestimiento).

La dirección de flujo en un descentrol, es importante para poder establecer el procedimiento de control. La causa que lo provocó puede dar la pauta para determinar la dirección, ya que la mayoría de los descentrols subterráneos ocurren después de que los

preventores se han cerrado. Cuando se presenta un brote durante la perforación, el flujo será normalmente del fondo del pozo a una zona superior.

Esto se basa en dos suposiciones:

- a) La zona superior será fracturada más fácilmente que la zona inferior.

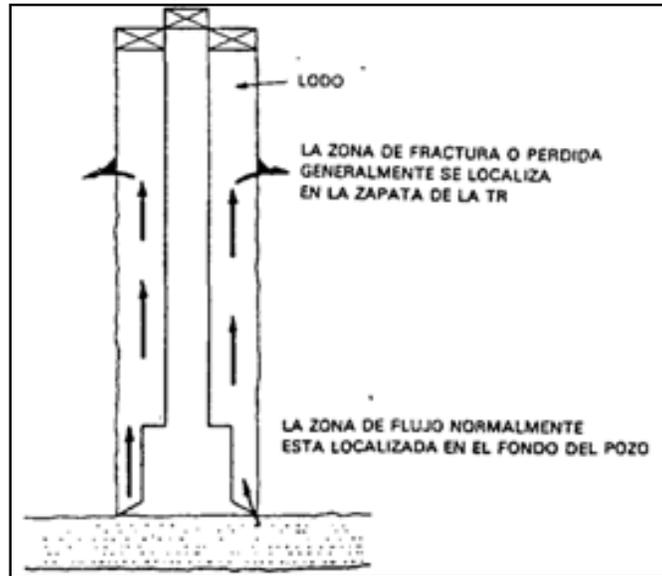


Figura 5-4. Zonas de flujo y de fractura en un descontrol.

- b) Que la zona que aportó el brote inicial, será la fuente única del flujo de fluidos.

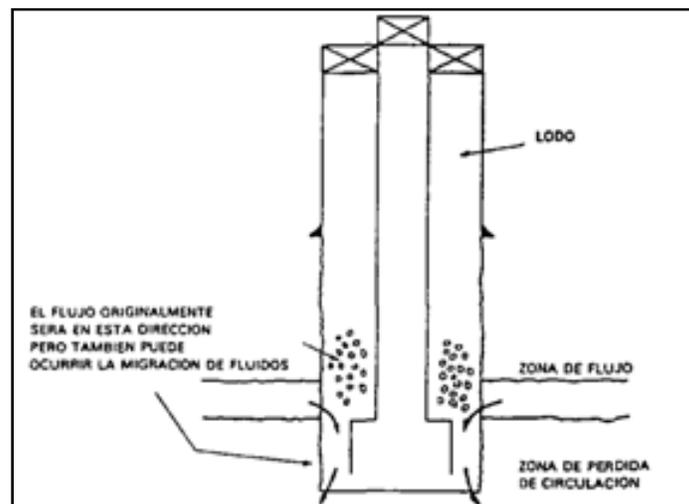


Figura 5-5. Efecto al encontrar una zona de pérdida de circulación.

El flujo puede ser directo de una zona superior a una inferior, si la pérdida de circulación (o la zona ladrona) está cerca o en el fondo del pozo. Esto ocurre normalmente cuando la barrena encuentra la zona de pérdida durante la perforación. Cuando esta zona es encontrada, el nivel del lodo en el pozo se abate y la presión hidrostática no es suficiente para controlar la presión de formación de la zona superior.

INDICADORES DE UN DESCONTROL SUBTERRÁNEO

- Incremento en las presiones de las tuberías de perforación y de revestimiento con una subsecuente reducción. Cuando el brote es detectado y los preventores se cierran, la presión en la superficie comienza a incrementarse hasta balancear la presión de fondo. Si la presión en el espacio anular genera densidades de lodo equivalentes a la presión de fractura, esta última será alcanzada, lo cual aliviará las presiones en el pozo y las reducirá en el espacio anular.
- Las presiones fluctuantes o inestables indican un descontrol subterráneo y pueden resultar de un fluido inestable (de una o varias formaciones) o de una formación fracturada, la cual cierra o abre de acuerdo al cambio de presiones en el intervalo. Así, las presiones de las tuberías de perforación y revestimiento pueden fluctuar uniforme o independientemente una de otra. Si la formación se cierra o se crea un puente alrededor de la tubería de perforación, la presión en la tubería de revestimiento puede estabilizarse y la presión en la tubería de perforación continuará cambiando.
- La presión en la tubería de perforación puede ser tan alta como en la tubería de revestimiento en un descontrol subterráneo; usualmente esto es el resultado de que fluidos de la formación (particularmente gas) entren en la tubería de perforación al momento que el descontrol se ha iniciado.
- Lo contrario de las altas presiones puede ocurrir en algunos casos. Si el lodo sale fuera de la tubería de perforación, se observarán reducciones en la presión de la tubería de perforación (y en algunos casos será cero) si no entran otros fluidos a la tubería.
- La falta de comunicación entre estos dos puntos es debido a la pérdida total de circulación en el pozo.

-
- En la mayoría de los casos de descontrol subterráneo, la comunicación entre el espacio anular y la tubería de perforación será mínima o nula. La presión en la tubería de perforación o viceversa.

PROCEDIMIENTOS PARA SOLUCIONAR UN DESCONTROL SUBTERRÁNEO⁹

En la mayoría de los casos de descontrol subterráneos no existe un procedimiento de trabajo para su control; sin embargo, en este tipo de descontrol y en algunas situaciones específicas, para que los procedimientos sean más efectivos se requieren conocimientos de:

- La causa del descontrol subterráneo.
- La localización de la zona ladrona.
- Ubicación de la zona de flujo.
- Presión de formación.
- Limitaciones en los procedimientos propuestos.

Los procedimientos más comunes en situaciones de descontrol subterráneo son:

- Bache de lodo.
- Tapón de barita

5.6.4.1 PROCEDIMIENTO BACHE DE LODO

La situación más común es cuando un descontrol subterráneo ocurre en una zona profunda y sólo hay una tubería de revestimiento superficial asentada. En este caso, una gran longitud de formación expuesta está sometida a una densidad equivalente alta de lodo dando como resultado posibles fracturas.

El procedimiento más exitoso para este tipo de descontrol, es colocar un bache de lodo pesado en el pozo, debajo de la zona de pérdida.

El objetivo de esto, es generar una mayor presión en el agujero con la presión hidrostática del lodo pesado y el de baja densidad.

La combinación requerirá una presión menor en la tubería de revestimiento para balancear la presión de formación. A pesar que el bache pesado usualmente tiene una densidad mayor que el equivalente al gradiente de fractura en la zapata, no presentará un problema de pérdida de circulación siempre y cuando el lodo no sea circulado arriba de este punto.

Después que el descontrol ha sido atendido, se deberán tomar varias acciones para restablecer las condiciones para perforar. La zona fracturada deberá ser cementada para resolver el problema de pérdida de circulación.

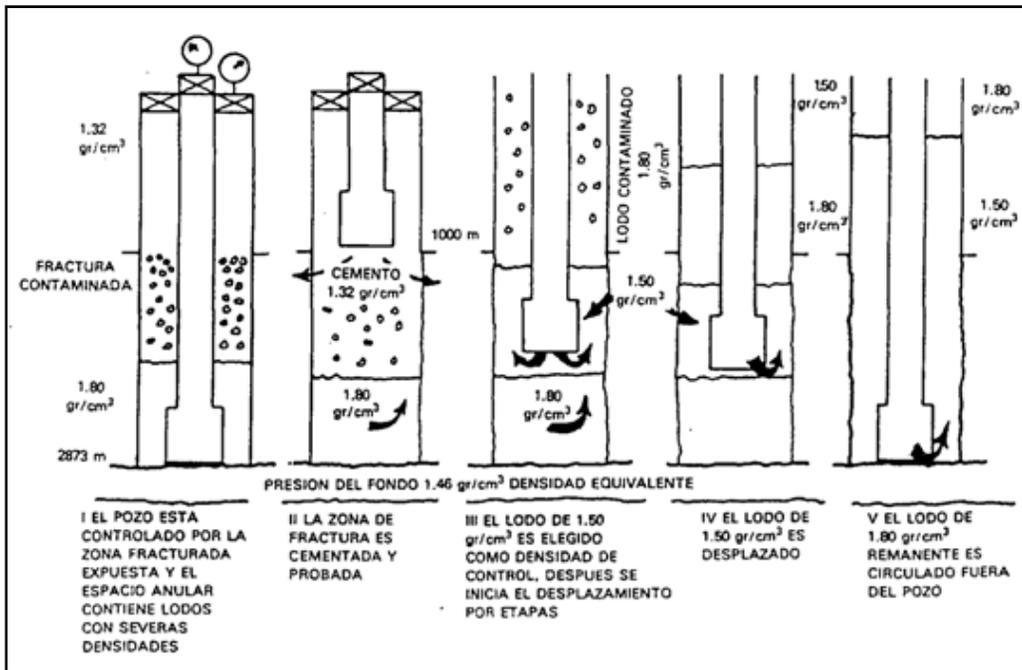


Figura 5-6. Secuencia requerida en una situación de descontrol subterráneo.

El lodo original en el espacio anular debe acondicionarse a una densidad suficiente para controlar la presión de formación; pero también se tiene que evitar exceder el gradiente de fractura de las formaciones expuestas. El lodo pesado usado para controlar el pozo, debe circularse por etapas para evitar volver a fracturar la zona de pérdida.

5.6.4.2 PROCEDIMIENTO TAPÓN DE BARITA

Este es otro procedimiento usado para controlar un descontrol subterráneo. Este tapón está diseñado para que se forme un puente de barita en el agujero, el cual debe sellar el descontrol y permitir que un lodo pesado sea circulado arriba de dicho tapón. La técnica no está basada en el control de pozo a través de un incremento de presiones hidrostática (como si se usara un procedimiento con lodo pesado), sino más bien un puente efectivo.

5.7 MÉTODOS INADECUADOS PARA CONTROLAR UN POZO¹⁰

Los métodos incorrectos para tratar de controlar un pozo son:

- Regresar fluidos a la formación
- Empleo de densidad excesiva
- Nivel de presas constante
- Mantener constante la presión en TR
- Levantar la barrena a la zapata al detectar un brote

5.7.1 REGRESAR FLUIDOS A LA FORMACIÓN

Es común intentar regresar fluidos a la formación cuando se presenta un brote, evitando la necesidad de implementar un procedimiento de control adecuado. Esta situación implica que la FORMACIÓN SEA FRACTURADA antes que el bombeo pueda realizarse, y lo más probable es que el fluido invasor no entre en la zona que originalmente lo aportó, a no ser que el fluido circulado sea agua limpia. Al no permitir la admisión del fluido invasor, las presiones manejadas para inyectar la burbuja abrirían otros intervalos con un gradiente de fractura mayor al de la formación aportada, con el consecuente riesgo de romper el sello en la zapata de TR.

Sin embargo, existe una situación limitante, la cual se presenta cuando ocurre un brote que contenga ácido sulfhídrico. Es preferible la inyección a la formación que circularlo a la

superficie; sobre todo cuando no se han implementado los planes para este tipo de contingencia.

5.7.2 EMPLEO DE DENSIDAD EXCESIVA

Debe evitarse controlar un pozo mediante un lodo de densidad mayor de la necesaria. Un lodo con exceso de densidad puede causar PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN E INICIAR UN DESCONTROL SUBTERRÁNEO o cuando menos incrementa los esfuerzos por presión ejercidos en la zapata, en la formación expuesta y en las conexiones superficiales.

5.7.3 NIVEL DE PRESAS CONSTANTE

Un breve examen puede conducir a una persona a concluir que manteniendo el nivel de presas constante al circular un brote con ayuda del estrangulador, se evitará la entrada adicional de fluidos. Esto es correcto siempre y cuando el brote sea de líquidos (fluidos incomprensibles). Si el brote fuera de gas o de algún fluido que contenga gas, la consecuencia de usar este método sería circular el gas sin permitirle que se expandiera. El efecto sería el mismo que permitir la migración de la burbuja de gas sin dejarla expandirse (incremento por la velocidad de bombeo) y, como ya se explicó, esto provocaría aumento de presión en todos los puntos del pozo, lo cual no es conveniente.

NOTA: Como es posible determinar con precisión el tipo de fluidos presentes en un brote, este método nunca debe emplearse.

5.7.4 MANTENER CONSTANTE LA PRESIÓN EN TR

Otro método de control que algunas personas utilizan consiste en mantener constante la presión en el espacio anular a medida que se bombea lodo de control. Si el pozo tiene un factor de volumen anular constante (en la sección que ocupan los fluidos invasores) mientras se bombea fluido de control y si los fluidos son incomprensibles, este método y el del "Ingeniero" son equivalentes. Si el factor de volumen no es constante como generalmente ocurre, la altura de la columna de fluidos invasores cambiará de acuerdo con el factor de volumen y esto causará VARIACIONES EN LA PRESIÓN DE FONDO.

Si el fluido invasor es gas debe permitírsele que se expanda adecuadamente y bajo control al circularlo hacia fuera. El hecho de mantener la presión en TR constante permitirá que el gas se expanda con mayor rapidez que la necesaria. Esto sacará del pozo más lodo, lo que creará disminución en la presión hidrostática y a su vez permitirá la entrada de más fluidos de la formación. Los efectos mencionados pueden pasar desapercibidos durante un tiempo, debido a que mientras el brote está en la parte inferior del pozo hay pequeñas variaciones en la sección transversal del espacio anular y el gas se expande lentamente. Esto ocurre cuando el gas está cerca de la superficie y sufre expansión súbita, lo que se reflejaría como una sobrepresión en el espacio anular.

5.7.5 LEVANTAR LA BARRENA A LA ZAPATA AL DETECTAR UN BROTE

Una práctica errónea debido a la posibilidad de atrapamiento de la sarta en agujero descubierto al detectar un brote, es tratar de levantar la barrena a la zapata. Esta operación implica el uso de densidades más altas en el fluido de perforación para controlar la presión de formación, mayores esfuerzos aplicados en la zapata entrará fluido adicional al pozo por efecto de sondeo y porque no se ejerce la contrapresión requerida para restablecer el control secundario.

5.8 RAZONES ESPECÍFICAS PARA SELECCIONAR UN MÉTODO DE CONTROL

Se tiene que tomar en consideración la etapa de control en que se encuentra el problema y, con base en ello, se definirá el método de control por emplear.

CONTROL PRIMARIO

En esta etapa, el control se establece sólo con la presión hidrostática ejercida por fluido de perforación y, si es la adecuada, se evitará el brote.

CONTROL SECUNDARIO

En esta etapa el control se establece con la presión hidrostática del fluido de perforación y la presión ejercida desde la superficie, tratando de evitar el fracturamiento de la formación, dañar la TR y las conexiones superficiales de control. El control primario deberá restablecerse rápidamente. Los casos en que se presenta esta etapa son:

BROTOS POR DESBALANCE: Son causados por incremento de presión de formación y por no contar con la densidad suficiente del fluido de perforación. El desbalance, por lo general, no debe rebasar un valor de densidad equivalente de $0.06 \text{ [gr / cm}^3\text{]}$. Para este tipo de brote se tendrá que utilizar el método de densificar y esperar.

BROTOS INDUCIDOS: Son causados por reducción de presión hidrostática, pérdida de circulación, densidad inapropiada, falta de llenado correcto, efecto de suaveo, etc. Si la TP se encuentra fuera del fondo y no se puede introducir tubería, entonces se debe circular con densidades de control. Es muy importante evaluar el pozo para tomar esta decisión; cualquier volumen adicional que entre complicará el control y aumentará los riesgos, por ello deberá considerarse la posibilidad de bajar la tubería a presión para intentar el control con una densidad menor.

OBSERVACIÓN: Si en una zona de presión anormal se presenta:

- Un brote al estar perforando, entonces es por desbalance.
- Un brote al estar circulando, entonces es inducido.

CONTROL TERCIARIO

Cuando se pierde el control secundario, generalmente por mala planeación, se presenta un descontrol de pozo, pudiendo ser:

- Superficial
- Subterráneo

Para restablecer el control primario, se requiere implementar técnicas y equipo especiales; además, para seleccionar el método a utilizar, el responsable del pozo debe tomar en cuenta las siguientes variables, mismas que afectan el empleo de cada método:

- Disponibilidad de barita en la localización (en pozos exploratorios se debe tener como mínimo un volumen tal que se pueda incrementar la densidad del lodo en un equivalente a $0.12 \text{ [gr / cm}^3\text{)]}$, así como capacidad en el equipo para su manejo.
- Profundidad de asentamiento de la zapata de la TR con relación a la profundidad total del pozo (mínimo deberá estar entubado a 113 [m] del pozo).
- Tiempo mínimo requerido para circular el brote fuera del pozo.
- Posición de la tubería o la barrena al momento del brote.
- Máxima presión permisible en el espacio anular.
- Posibles zonas de pérdidas de circulación.
- Magnitud y naturaleza del brote.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
 2. Schlumberger. **Well Control Manual**. 1999 Revision 0.
 3. Enterprise Oil. **Well Control Manual**. 2001. October revision.
 4. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
 5. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
 6. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
 7. Enterprise Oil. **Well Control Manual**. 2001. October revision.
 8. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
 9. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
 10. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Wellcap.
-