

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

CONTROL DE ARENA EN POZOS
PETROLEROS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A

MARIA DE LOS ANGELES GARCIA LUGO

MEXICO, D. F.

1985





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION.	1
I CAUSAS Y PROBLEMAS QUE PRODUCEN EL ARENAMIENTO EN LOS POZOS.	2
II METODOS Y HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE ARENA.	6
II.1 MECANICO.	8
II.2 QUIMICO (RESINAS)	16
II.3 METODOS DE CAMPO PARA MEJORAR EL CONTROL DE ARENA.	19
III EVALUACION DEL EMPACAMIENTO CON GRAVA.	42
CONCLUSIONES.	46
BIBLIOGRAFIA.	50

INTRODUCCION

El arenamiento es un gran problema para la producción industrial de gas y aceite, y se remonta a un tiempo después del descubrimiento histórico del Coronel Drake. En la década correspondiente a 1870 después que fue terminado el pozo Drake, se emitió una patente en los Estados Unidos de un cedazo de arena para pozos petroleros. Los métodos usados en el control de arenas dentro de la industria están basados en la tecnología básica e ideas simples, el equipo y herramienta que en la actualidad se usa es el producto de un largo tiempo de investigación. Sin embargo, los resultados obtenidos en el campo a veces no son satisfactorios, en ocasiones porque no es usada adecuadamente la tecnología disponible.

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer al ingeniero petrolero el como aprovechar los pozos con problemas de arenamiento. Se establecerá el control de arena por medio de datos obtenidos al analizar las muestras del pozo y posteriormente, se designará el método adecuado para el control de arena. En la selección del método adecuado intervendrá principalmente el factor económico.

Los métodos usuales para el control de arena son:

El empacamiento con grava entre el cedazo y la formación y la consolidación por polímeros químicos.

CAPITULO I

CAUSAS Y PROBLEMAS QUE PRODUCEN EL ARENAMIENTO EN LOS POZOS.

I.1) CAUSAS DE LA PRODUCCION DE ARENA.

Para entender que es la producción de arena, deberán de - - ser considerados aquellas formaciones de arena cuyos constituyentes al pozo con la producción de fluidos, como son arenas consolidadas y aquellos granos individuales cementados con sales insolubles (calcita). Así como aquellas arenas no consolidadas que son sometidas a compresión por una fuerza externa, en que los granos son impedidos de movimiento, por esfuerzos que actúan en los planos de contacto, (Fig. 1). El efecto de estos esfuerzos impiden el flujo de arena hacia las perforaciones, por la formación de un arco estable frente a ellas. La estabilidad del arco es creada a partir de las fuerzas intergranulares y resistencias triaxiales que se oponen a las fuerzas de arrastre (fricción) del movimiento -- de los fluidos hacia las perforaciones.

Cuando en la cercanía de las perforaciones converge el - - fluido, este, adquiere una máxima velocidad, aumentando considerablemente las fuerzas de fricción, resultando en el debilitamiento del arco y en el flujo de granos de arena, la formación de otro - arco acontece a una mayor distancia ya que la velocidad del flujo disminuye y bajo esta velocidad, este arco va moviéndose hasta -- desarrollarse el fenómeno descrito anteriormente.

Los siguientes factores influyen en la producción de arena.

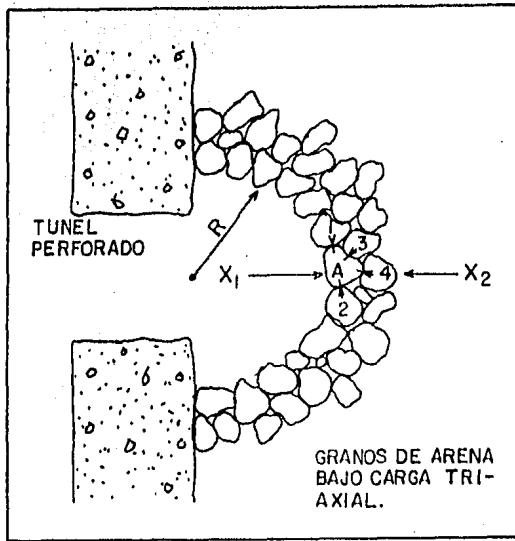


FIG. 1 CONCEPTO DE LA ESTABILIDAD DEL ARCO FORMADO POR LOS GRANOS DE ARENA.

Profundidad del yacimiento.

Gasto.

Material cementante.

Superficie expuesta al flujo.

Tipo de fluidos producidos.

Características de la formación (tamaño de los granos).

Permeabilidad.

Presión del yacimiento.

Los arenamientos pueden detectarse en la superficie observando si existe presencia de arena en la corriente de fluidos producidos del pozo, durante el mantenimiento de las baterías de separación, o bien mediante dispositivos que se instalan en la línea de descarga, los cuales detectan no solo la presencia de arena sino también cuantifican la concentración en volumen de arena en los fluidos producidos. También es posible detectarla cuando se observa que la producción disminuye en forma más rápida que la declinación natural del pozo en condiciones normales o con el cese total de dicha producción.

I.2) PROBLEMAS QUE PRODUCE EL ARENAMIENTO EN LOS POZOS.

El movimiento de arena proveniente de formaciones no consolidadas en pozos productores de aceite o gas, ocasiona problemas tanto en aspectos económicos como de riesgos en las instalaciones, por ejemplo:

a) Interrupción en la producción, ocasionada por taponamiento en la tubería de producción, en ocasiones en la tubería

de revestimiento, en las líneas de flujo, separadores, etc.

En un pózo con entrada de arena se forman tapones en las -- tuberías, que obstruyen el flujo ya que las formaciones arenosas contienen cantidades considerables de arcilla y limo, que al -- reacomodarse con las partículas de arena forman tapones impermeables.

b) Se incrementan los esfuerzos de sobrecarga de las forma ciones, ocasionando colapsamiento en las tuberías de revestimiento.

Las tuberías de revestimiento en el intervalo de producción son sometidas a acortamientos provocados por la compactación del yacimiento al estar éste conformado por una formación no consolidada. El acortamiento de las tuberías es una deformación plástica debida a que las cargas axiales provocadas por las arenas exceden el límite elástico del acero, tales cargas pueden provocar severas deformaciones.

c) El equipo subsuperficial y superficial es dañado por -- erosión de la arena.

Las tuberías que se encuentran en los intervalos de producción son frecuentemente erosionadas en forma severa por la entrada de la arena con los fluidos producidos. Grandes cavidades se -- llegan a formar en los cedazos o tubos cortos (liners) ranurados.

Ocasionalmente la producción de arena viene acompañada de fragmentos de cemento y de formación lo cual indica erosión excesiva en la tubería de revestimiento.

La erosión está en función de varios factores, como:

Distribución de las fases .

Presencia de burbujas de gas.

Distribución y características de los sólidos (velocidad y ángulo de incidencia).

La erosión afecta principalmente a las secciones donde existen cambios de diámetro o dirección, por ejemplo, codos, válvulas, estranguladores, etc.

Daños personales, contaminación y destrucción también son consecuencia de la erosión del equipo superficial.

d) En la superficie se requiere de dispositivos especiales que eliminen la arena del aceite producido.

Otra razón para evitar la producción de arena es eliminar o minimizar los costos por problemas de manejo y/o deposición, particularmente en los equipos superficiales. Remover los sólidos facilita el manejo y evita la formación de tapones de arena, ayudando con ello a cumplir con las reglamentaciones de contaminación para la venta de hidrocarburos.

CAPITULO II

METODOS Y HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE ARENA.

Los métodos para el control de arena pueden quedar agrupados en los siguientes:

II.1) Control Mecánico.

- a) Limpieza periódica.
- b) Introducción de cedazos.
- c) Empacamiento por medio de grava.
- d) Combinación de cedazos con empacamiento de grava.

II.2) Control Químico

- a) Inyección de resinas.

II.3) Métodos de Campo para mejorar el Control de Arena.

- a) Retención mecánica.
- b) Consolidación plástica.

La selección del tamaño apropiado de la grava (o resina), -- uso de los fluidos compatibles con la formación, densidad de los disparos, limpieza y colocación de la grava, son los factores más importantes que afectan la producción del pozo, los siguientes -- puntos a tratar son aquellos que se consideran los más importantes antes de determinar que métodos a seguir en el control de la arena.

1. Limpieza de la tubería de producción.

Este punto es importante ya que sea nueva o usada la tubería deberá de estar libre de residuos, estos pueden removerse por el uso de solventes o bien "conejeándola" para tener la seguridad de que la tubería esta libre después de haberse introducido en -- el pozo, se efectúa un lavado con ácido; este ácido no debe permitirse que reaccione con la tubería y mucho menos que interese el intervalo disparado.

2. Engrasado de la tubería.

Cuando la grasa en las juntas de la tubería, es aplicada de manera inapropiada, al paso de los fluidos en el tratamiento, la grasa es comprimida y acarreada de manera que llega a alojarse en el cedazo o en el tubo ranurado, lo que ocasionaría una reducción en la producción. Se recomienda que se engrase la conexión macho del tubo de manera que al apretarse las juntas, la grasa excedente salga por la parte superior de la conexión hembra.

3. Filtrado de los fluidos.

Una disminución considerable en la producción, puede ser -- ocasionada por el daño a la formación motivado por el contenido - de sólidos en el fluido de terminación o de reparación que se esté usando, estos sólidos al transportarse hacia el intervalo perforado, pueden quedar atrapados en la matriz de la formación o en el túnel de la perforación, de manera que actúen como un estrangulador que altera la permeabilidad.

Se recomienda el uso de una unidad de filtración.

II.1) Control Mecánico.

a) Limpieza periódica.

En yacimientos de baja presión de fondo, al moverse los -- granos de arena hacia el pozo junto con los fluidos producidos, -- cierta cantidad alcanza a salir a la superficie, pero como generalmente la densidad de la arena es mayor que la del fluido producido, parte de los granos de arena tienden a depositarse en el fondo del pozo formando tapones. Cuando el depósito es lento puede recurrirse a limpiar el pozo periódicamente con cubetas o bien por medio -- de la circulación de fluidos.

Las cubetas o desarenadores se emplean en aquellos pozos -- en los que se desea evitar el uso de fluidos de control (pozos con baja presión de fondo fluyendo).

El método por circulación de fluidos se emplea en aquellos pozos donde no es posible hacer uso de cubetas. Consiste en circular un fluido (aceite o agua gelatinizados), con una viscosidad -- adecuada, a través de la tubería con el fin de que al llegar al -- nivel de la arena, ésta sea acarreada y llevada a la superficie -- por el espacio anular.

b) Introducción de cedazos.

El método de control de arena más simple seguro y consistente es el método de introducción de cedazos que impide el paso de la

arena del yacimiento hacia el pozo. Su diseño esta en función del tamaño de los granos de arena que constituyen a la formación -- productora. Para determinar el tamaño de las ranuras es necesario hacer un análisis granulométrico en el laboratorio. (Ver selección de la grava pag.12).

Existen varios tipos de cedazos:

- De tubo ranurado.

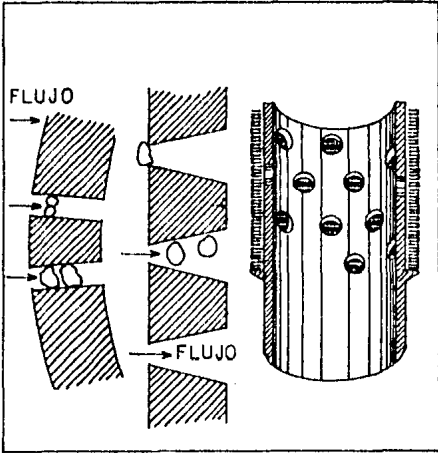
Las ranuras en los tubos pueden ser horizontales o verticales y por lo general tienen forma piramidal bicelada, es decir -- tienen una reducción en la parte exterior del tubo ampliándose -- hacia el interior de éste, con el objeto de que sean autolimpia-- bles con el simple paso de los fluidos y permitan una mejor capacidad de producción del pozo. (Fig. 2).

- De tubo ranurado o perforado y alambre enrollado.

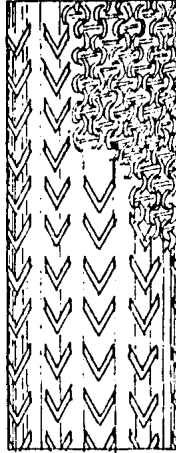
Son tubos que aparte de estar ranurados o perforados tienen alambre de acero inoxidable enrollado a todo lo largo del tubo, - estos cedazos están menos sujetos a corrosión y erosión, que los tubos que únicamente están perforados, pero su costo es más elevado.

- De tubo ranurado preempacado "Hidropack"

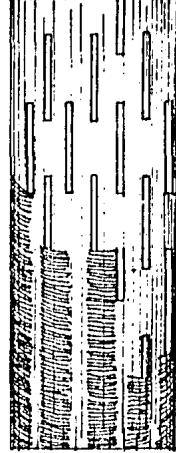
Consiste básicamente en dos tubos ranurados colocados uno - dentro del otro con grava natural o sintética en el espacio anu-- lar existente entre ellos. Particularmente estos cedazos retienen granos muy finos de arena y sedimento (limo), pero como su costo-



ESQUEMA DE UNA SECCION TRANSVERSAL DE UN CEDAZO.



TUBO PERFORADO TIPO-COSTILLA CON CUBIERTA DE ALAMBRE.



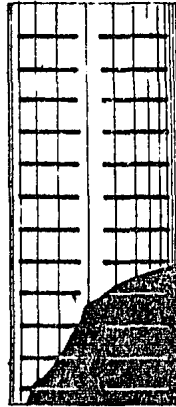
TUBO RANURADO CON CUBIERTA DE ALAMBRE.



TUBO CON RANURAS VERTICALES ALTERNADAS.



TUBO CON RANURAS MULTIPLES VERTICALES.



TUBO CON RANURAS HORIZONTALES.

FIG. 2 RANURAS Y CUBIERTA DE ALAMBRE, CEDAZOS Y TUBERIAS CORTAS.

es mayor y además son fáciles de taponarse con el mismo material - que retienen son menos usados que los otros tipos de cedazos, - - aunque el problema de la obstrucción con limos y lodos, puede solucionarse mediante lavados periódicos con agentes dispersantes de - arcilla, pero ello eleva también su costo.

c) Empacamiento por medio de grava.

El empacamiento por medio de grava, es el de mayor uso, - - utiliza como medio de acarreo de la grava un fluido de alta viscosidad que permite altas concentraciones de grava que son colocadas a través de un cedazo.

El término grava a que hacemos referencia, es una arena sílica de grano uniforme que es introducida al pozo y a las perforaciones y cuya finalidad es retener la arena de la formación.

Cuatro son los métodos clásicos de empacamiento de grava.

1. Empacamiento por circulación.
2. Empacamiento por compresión.
3. Empacamiento por circulación inversa.
4. Empacamiento por lavado del fondo.

Cada uno de estos métodos requiere de diversas herramientas, según la geometría del pozo y se explica a continuación.

1. El método de empacamiento de grava por circulación - - requiere de dos condiciones:

Un empaque exterior y otro interior. El empaque exterior de grava es colocado hacia las perforaciones para que la grava ocupe los espacios de la formación, formados entre la tubería de revestimiento y las perforaciones. La grava es bombeada en forma de -- lechada a través de una tubería franca y aplicando presión, de -- manera tal que parte del fluido se pierde hacia la formación y -- eso dará una buena colocación de la grava. (Fig. 3 A, C y D)

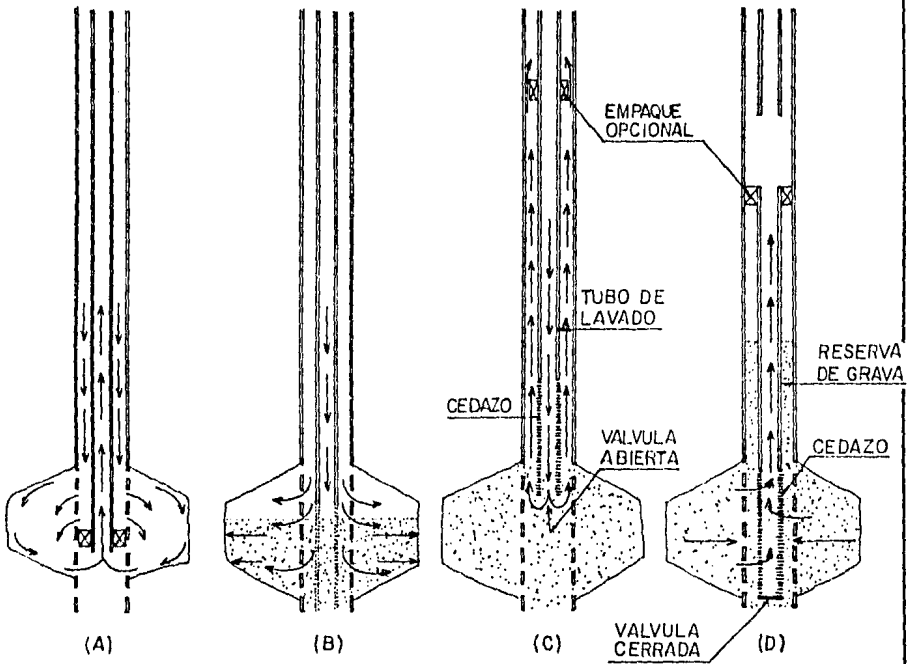
El empaque interior de grava se obtiene al bombear una -- lechada que contenga desde 0.25 a 15 lb de grava por galón de -- fluido, en esta operación se puede emplear una herramienta de doble paso (crossover) (Fig. 4B), esto permite circular de la tubería de producción hacia el espacio anular, donde un cedazo detendrá la grava y permitirá que el fluido se filtre regresando por -- el interior de la tubería hacia el espacio anular y así hasta la superficie.

2. Método de empaquetamiento por compresión.

Este método es empleado con 15 lb. de grava mezclada -- con un galón de fluido de acarreo de alta viscosidad, resultando -- una lechada de densidad promedio de 13.89 lb/gal., esta lechada -- es bombeada a la zona de disparos y forzada a introducirse en -- ellos. Se recomienda el uso posterior de un aditivo reductor de -- viscosidad en el fluido empleado, para limpiar las herramientas y tuberías. (Fig. 3.B)

3. Método de empaquetamiento por circulación inversa.

Este método utiliza de un cuarto a dos galones de grava por



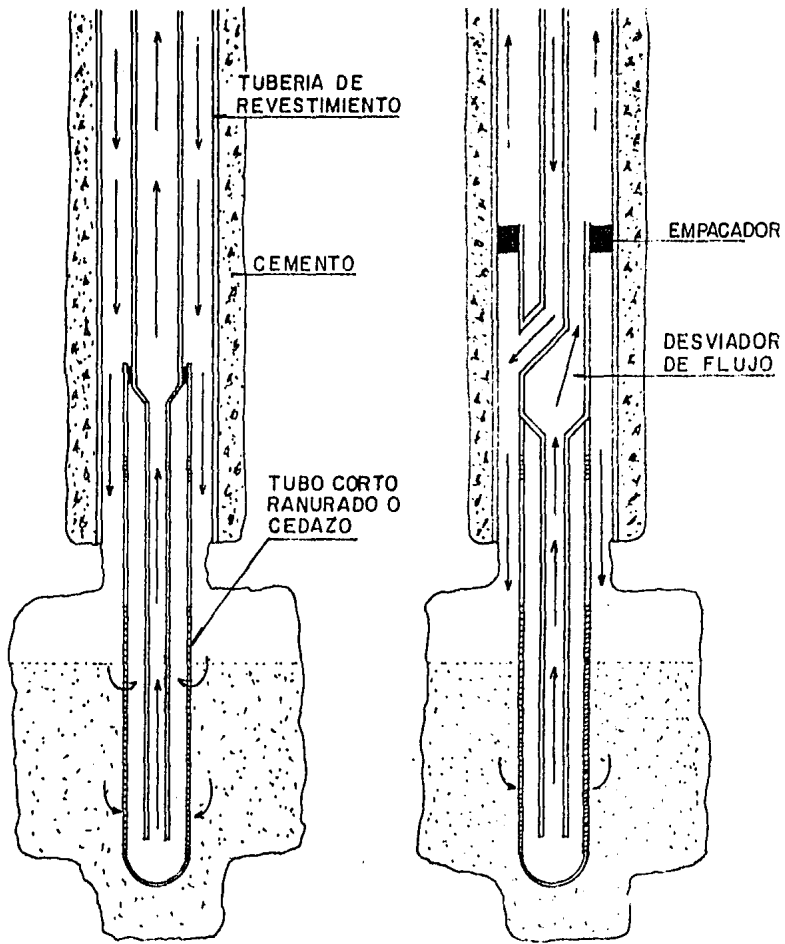
PERFORACIONES DE LAVADO

LA GRAVA ES COMPRI-
MIDA A TRAVES DE -
LAS PERFORACIONES

LAS CAVIDADES Y EL
CEDAZO SON LAVADOS
CON LA GRAVA.

LA GRAVA Y EL CEDA-
ZO EN SU LUGAR, EL
TUBO DE LAVADO ES
RETIRADO PARA INICIAR
LA PRODUCCION.

FIG. 3 INSTALACIONES DE TIPOS COMUNES DE EMPACAMIENTO DE GRAVA.



CIRCULACION INVERSA

(A)

DESVIADOR DE FLUJO

(B)

FIG. 4 EL DESVIADOR DE FLUJO Y LA CIRCULACION INVERSA SON TECNICAS DE EMPACAMIENTO USADAS COMUNTE EN INTERVALOS DE AGUJERO ABIERTO CORTO O DONDE LA SEPARACION DE ZONAS ES NECESARIA.

galón de fluido empleado como transporte, la lechada es circulada por el espacio anular y la grava será retenida en el fondo por el cedazo. El fluido será colocado y circulará a la superficie por el interior de la tubería de producción. (Fig. 4.A)

En este método se asocian ciertas desventajas como son:

- 1) Más tiempo de trabajo del equipo.
- 2) Probablemente queden algunos huecos del empaque frente a la zona de disparos.
- 3) Al bombear la lechada es muy posible se de lugar al - - acarreo de partículas o residuos incrustados en las paredes, del interior de la T.R. o de la T.P. lo que se traduce en daño a la - formación.

4. Método de empacamiento por lavado del fondo (Wash-Down).

Este método consiste en introducir la grava en la superficie y dejar que por caída libre llegue a la zona de producción, posteriormente es armado el conjunto de herramientas que se introducirán en el tapón formado por la grava en el fondo y mediante - circulación, (sin gasto excesivo) permitirá que el cedazo quede - frente a la zona de disparos, cuando cese la circulación la grava se asentará, obteniéndose de esta manera el empacamiento.

Selección de la grava.

La grava deberá de tener una medida adecuada, tal que el -- empaque formado contenga la más fina arena producida, pero que no reduzca el flujo de fluidos hasta tener características antieconó

micas. Saucier en su estudio "Gravel Pack Design Considerations" - indica que el tamaño de la grava que controle de manera uniforme a la arena, deberá ser de cinco a seis veces el diámetro de el 50% del tamaño promedio de la arena. (Gráfica 1).

Para elegir el tamaño adecuado de la grava se recomiendan los siguientes puntos:

1. Obtener una muestra o serie de muestras de la formación (el uso de muestreos de camisas de hule para la obtención de los núcleos representativos de la zona, es indispensable).

2. Realizar un análisis de Sieve.

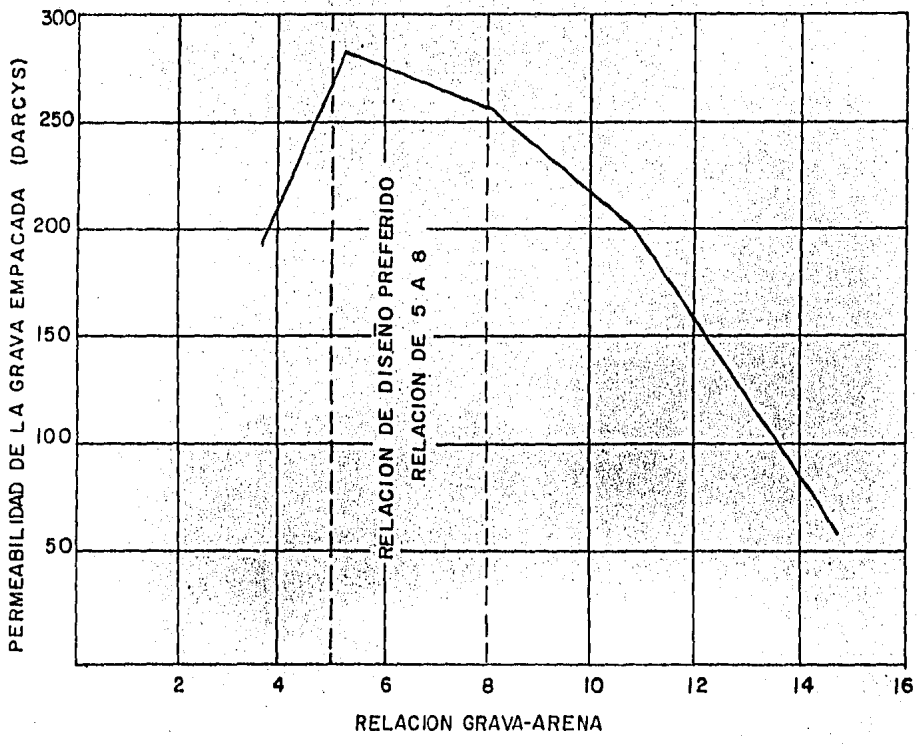
3. Graficar (Fig. 5) el porcentaje acumulativo en peso - - obtenido del diámetro de la arena.

4. Calcular el tamaño de la grava, a partir del diámetro - promedio obtenido de la arena retenida al acumularse el 50% de -- peso de la muestra, no olvidándose de emplear el múltiplo de cinco ó seis.

La muestra del 50% del diámetro más pequeño retenido será - el índice para seleccionar la grava.

Otras características que debe tener la grava son:

1. Insolubilidad.- La grava debe ser de 95 a 98% insoluble ya que de lo contrario pueden crearse huecos en empacamiento - - durante acidificaciones.



GRAFICA I PERMEABILIDAD DEL PUENTE FORMADO POR LA GRAVA EMPACADA

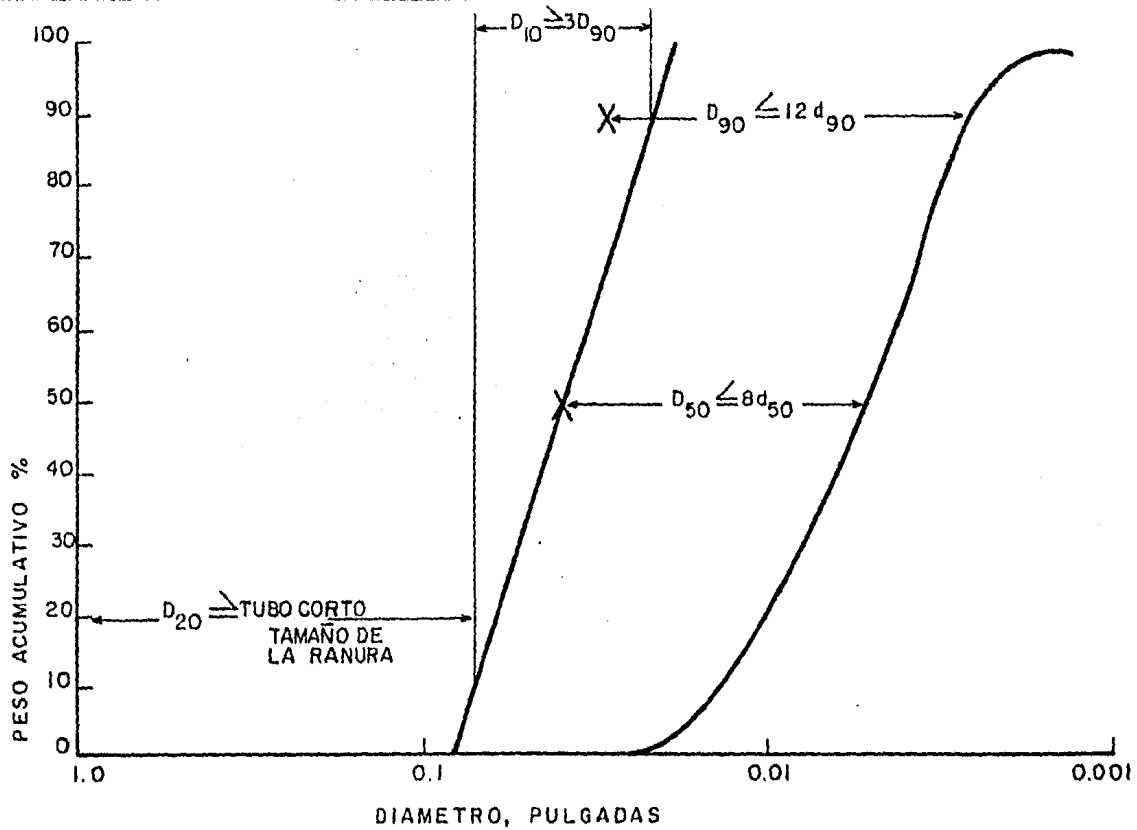


FIG. 5 MEDIDA DEL GRADO DE EMPACAMIENTO DE ARENA

2) Angularidad.- Empacamientos de grava más consistentes - han sido observados cuando se tienen granos redondeados. De cualquier manera la grava angular facilita mejor el puenteo, una redondez de 0.6 ó mayor es recomendada.

3) Compactación.- La compactación de la grava del empacamiento afecta la permeabilidad de éste. El diámetro de poro de un empacamiento flojo o suelto es aproximadamente 0.41 veces el diámetro del grano y para un empacamiento compactado el diámetro de poro se reduce a 0.15 veces el diámetro de grano. Baja viscosidad de los fluidos para empacamiento así como granos bien redondeados dan como resultado alta compactación. Un empacamiento medianamente compactado puede permitir que los granos de arena viajen a través de la grava provocando obstrucciones.

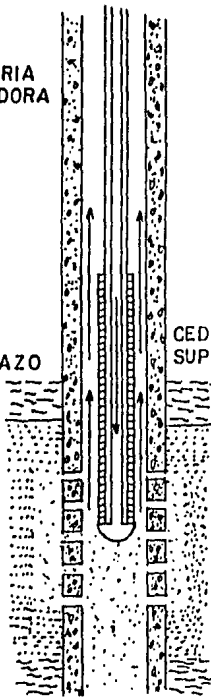
d) Combinación de cedazos con empacamiento de grava.

En este tipo de control la consideración más simple e importante con respecto al diseño, es el tamaño apropiado de las aberturas de los cedazos o del espacio poroso de la grava que constituye el empacamiento, siempre con relación al tamaño de las partículas de la formación productora. (Fig. 6)

Empacamientos efectivos de grava requieren que los granos de arena sean retenidos en la cara exterior del empacamiento. La arena de formación que se mueve dentro del empacamiento llega a formar "puentes", que reducen significativamente la permeabilidad del empacamiento. Lo que da como resultado un decremento en la productividad.

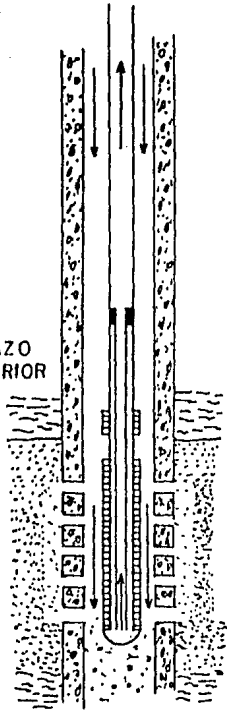
TUBERIA
LAVADORA

CEDAZO



LAVADO
DESCENDENTE

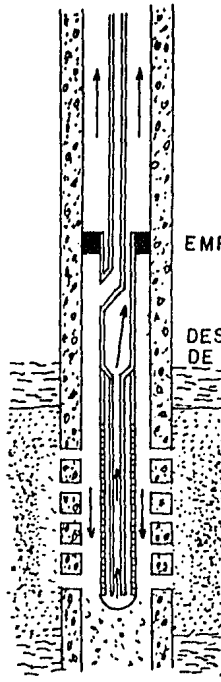
CEDAZO
SUPERIOR



CIRCULACION
INVERSA

EMPAADOR

DESVIADOR
DE FLUJO



DESVIADOR
DE FLUJO

FIG. 6 COMBINACION DE CEDAZOS CON EMPACAMIENTO DE GRAVA (LOS SISTEMAS MAS COMUNES DE EMPACAMIENTO INTERIOR DE GRAVA DEBEN SER EFECTUADOS POSTERIORMENTE A UN LAVADO DE FORMACION).

La determinación del tamaño de la grava y de las aberturas del cedazo se hace de la manera siguiente:

1) Se obtiene una muestra representativa de la arena de -- formación y se procede a su lavado, secado y pesado.

2) A continuación, la muestra se hace pasar a través de -- una serie de mallas o cribas de especificación conocida.

3) Para cada malla se obtiene el peso y porcentaje retenido de la muestra.

4) De entre las mallas utilizadas se elige aquella que - -- haya retenido del 10 al 20% de la muestra. (Fig. 5), Ya que se ha demostrado experimentalmente que este porcentaje representa a los granos mayores, los cuales, al colocarse alrededor del cedazo - -- formarán un empacamiento gradual y natural de los granos más finos.

5) Una vez que se tiene el tamaño de malla, este es multiplicado por 5 y por 8, con lo que se obtiene el tamaño mínimo y - máximo de la grava. Los factores 5 y 8 son determinados a partir de la (Gráfica 1), donde se observa que las permeabilidades mayores para el empacamiento se obtienen con relaciones grava-arena, -- de 5 a 8.

6) El último punto es la determinación del tamaño de las - aberturas de los cedazos, siendo este igual a la mitad del tamaño mínimo de la grava. Con lo que se asegura que la grava no pasará - a través del cedazo.

II.2) Control Químico.

a) Inyección de resinas.

Es un proceso de inyección de productos químicos dentro -- de la formación no consolidada para proporcionar una cementación -- " in - situ " grano a grano de la roca productora. El concepto -- general de la consolidación se ilustra en la (Fig. 7). A este tipo de consolidación se recurre desde hace varios años. Los productos químicos más empleados están constituidos por sistemas de:

Resinas fenólicas.

Resinas de fenol-formaldehído.

Resinas de aminas-formaldehído.

Resinas epóxicas.

Resinas de furano.

Resinas fenólicas-furfural.

El proceso de consolidación de arena es:

1) La resina se introduce al pozo y se inyecta a la forma ción en estado líquido. (Fig. 8).

2) La resina moja los granos de arena y se extiende formando una capa líquida continua.

3) Por efecto de tiempo y temperatura de fondo del pozo, la resina se contrae acumulándose en los espacios reducidos entre los granos o puntos de contacto por efectos de capilaridad y ahí -



FIG. 7 EL OBJETIVO DE LA CONSOLIDACION DE LA ARENA DE FORMACION ES LA DE CEMENTAR LOS GRANOS EN - LOS PUNTOS DE CONTACTO.

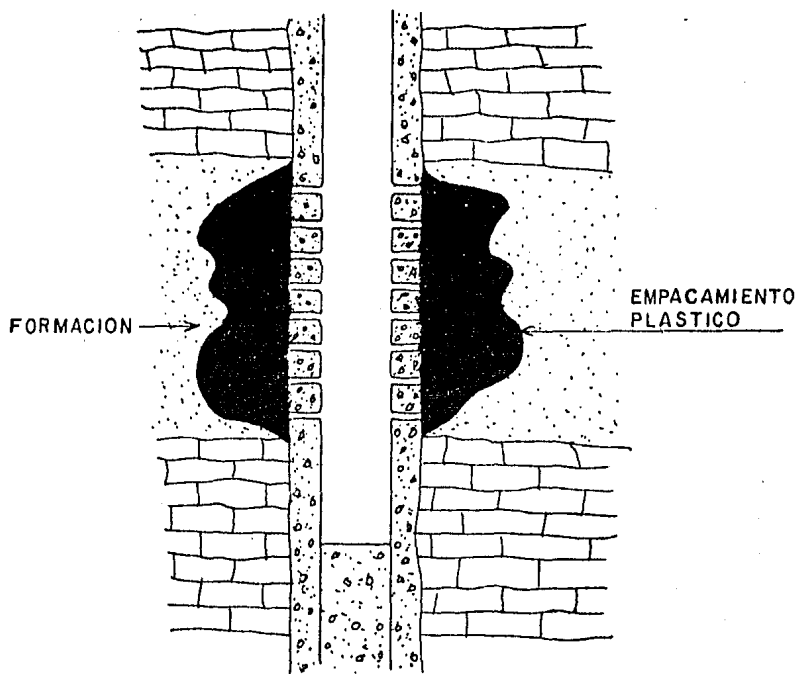


FIG. 8 EMPACAMIENTO PLASTICO DE ARENA

se endurece y solidifica.

4) La resina ocupa solamente un pequeño porcentaje del espacio poroso por lo cual la permeabilidad natural no se reduce en forma apreciable (del 12 al 20% de la permeabilidad natural).

El proceso y tiempo de endurecimiento de la resina, puede controlarse mediante el uso de un agente catalizador, el cual puede estar incluido dentro de la solución de resina o bien dentro de un bache de sobrelavado o de desplazamiento de exceso plástico, por lo que este bache tiene dos funciones; la de desplazar el exceso de plástico de resina y la de activador para la solidificación de la resina, la Figura 9 indica un registro de presión que deberá de tenerse durante la operación de inyección.

Para tener mayor éxito en el proceso de consolidación de la arena, la zona en donde se introducirá la resina deberá estar libre de fluidos y de material de invasión, por lo que en el caso de haber usado fluidos de control que pudieran haberla dañado, será conveniente limpiar la zona por medio de lavados con ácido o con aditivos especiales (dispersantes de arcilla).

También para lograr un mejor contacto de la solución de resina con la superficie de los granos de arena es conveniente usar antes de la solución baches de lavado que desplacen el fluido de la formación y el agua congénita o intersticial mediante el uso de agentes como el alcohol isopropílico, surfactantes o solventes de hidrocarburos. Se tienen mejores resultados cuando los trabajos

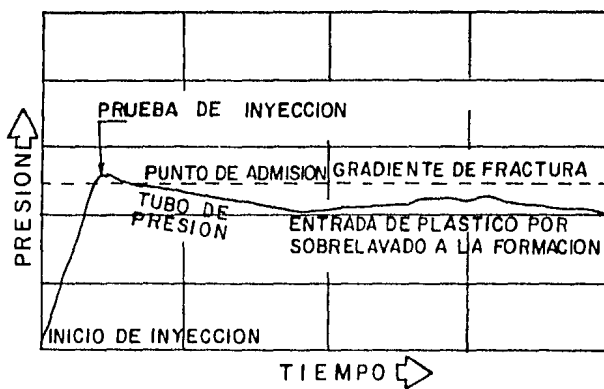


FIG. 9 REGISTRO DE PRESION DE UN TRATAMIENTO PLASTICO, LA PROPORCION DE LA INYECCION ES MANTENIDA ABAJO DE LA PRESION DE FALLA DE LA FORMACION, TAL QUE EL PLASTICO SEA DISTRIBUIDO A TODAS LAS PERFORACIONES.

de consolidación de arena se llevan a cabo durante la terminación del pozo, antes de que por el efecto de acarreo de arena, durante la etapa de producción, formen cavidades en las vecindades del -- pozo.

Estas consolidaciones químicas son más costosas que los - - métodos anteriores. Así mismo el costo total de la consolidación está influenciado por la longitud del intervalo tratado.

II.3) Métodos de campo para mejorar el control de arena.

Con lo enunciado al principio del trabajo se dice que, los yacimientos constituidos por arena no consolidadas, provocan un arenamiento continuo de los pozos terminados en tales formaciones, con la consiguiente reducción de la capacidad productiva de los pozos, y causando en no pocas ocasiones, hasta el cierre de los mismos.

Existen dos métodos generales para el control de arenamiento:

- a) Retención Mecánica.
- b) Consolidación Plástica.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la aplicación de resinas no es recomendable en pozos que tengan las siguientes características:

1. Grandes intervalos disparados.
2. Arenas lutíticas.
3. T.R. en malas condiciones a lo largo de los disparos o muy cerca de ellos.
4. Cementaciones defectuosas.
5. Baja presión de fondo.
6. Escasas reservas para justificar la inversión.

TECNICA DEFICIENTE

A través de la investigación de varios trabajos para el control del arenamiento, incluyendo algunos métodos mecánicos, se observó que se había empleado una técnica deficiente en las reparaciones y entre los factores más determinantes, se puede citar los-

siguientes:

1. El uso de fluidos de reparación no-compatibles con los -- fluidos de la formación y empleados sin tratamiento previo.
2. T.P. sucia o en malas condiciones.
3. Presas y tanques de almacenamiento sucios y contaminados.
4. El equipo empleado en la transportación del fluido, - - igualmente sucio.
5. Falta de limpieza (o muy escasa), en la T.R.
6. Poca o nula limpieza en los disparos.
7. Fluido sucio o contaminado, por no reponerlo o filtrarlo cuando era necesario.

FLUIDO DE REPARACION

La elección del fluido más conveniente para ser usado en las - reparaciones de pozos arenados, debe hacerse con bastante anticipación, a fin de evitar fracasos o dilaciones en el trabajo. La - - elección final del fluido queda supeditada a dos factores, el - - económico y la disponibilidad; aunque no deben olvidarse otros factores que intervienen, como son:

- La presión de fondo.
- El grado de limpieza.
- La compatibilidad del fluido con los fluidos de la formación.

Independientemente del tipo de fluido que se use, éste deberá ser compatible con la formación, con el aceite y el agua producidos por la misma, con el objeto de evitar el daño a la formación por - taponamiento de sólidos, por emulsiones o bloqueo de agua. Para --

evaluar la importancia de estos problemas, se recomienda efectuar pruebas de laboratorio con muestras del aceite y agua producidos por el pozo y el fluido de reparación. También deberán probarse - muestras de la formación con dicho fluido, para observar si no se produce "hinchamiento" de arcillas debido a la hidratación de las mismas. Igualmente, si se usa un fluido sucio, éste puede dañar - la formación al reducir la permeabilidad absoluta por taponamiento de sólidos en suspensión, o bien reducir la permeabilidad - - relativa por conificación, bloqueo de agua, etc.; además, el daño puede ser por el cambio de mojabilidad en aceite del yacimiento - o por el aumento de viscosidad del fluido alrededor del agujero - debido a la emulsión.

En los trabajos de limpieza normalmente se usan los siguientes tipos de fluidos:

Aceite del campo o diesel.

Agua salada del campo.

Salmuera.

Agua de pantano.

Agua de mar.

El Diesel es un excelente fluido de reparación y puede usarse en pozos cuya presión de fondo sea menor que la presión hidrostática de la columna. Su gran ventaja es su grado de refinación y limpieza, sin embargo, su costo representa su mayor desventaja. - De acuerdo con las pruebas de laboratorio, deberán usarse surfactantes para su acondicionamiento.

El Aceite del Campo resulta buen fluido de reparación en -- trabajos donde no se requiere alta densidad del fluido. Deben -- efectuarse pruebas de compatibilidad entre el aceite producido -- por el pozo, sin tratar, y el aceite almacenado en el campo. El -- uso de surfactantes puede ser indicado para evitar la formación -- de emulsiones.

Por otra parte, el aceite almacenado debe analizarse para -- determinar su contenido de parafina, asfaltos, sólidos arcillosos que pudieran causar taponamiento en la formación. Se recomienda -- que la succión de las bombas, se coloquen en la mitad superior -- del tirante del aceite almacenado, para evitar que los sólidos -- asentados en el tanque sean succionados.

El Agua Salada del Campo es el fluido de reparación más -- empleado. Puede ser un fluido ideal, si está limpia y si no proviene de tratadores de aceite donde se hayan usado desemulsifican tes que generen "Mojabilidad en aceite", y por lo tanto, que -- pueda causar daño a la formación. Si el agua salada es obtenida -- de estanques, debe tenerse gran cuidado, ya que ésta se encontrará contaminada por impurezas, agua de lluvia, arcilla, etc.

El método más recomendable para almacenarla, es el empleo -- de tanques de asentamiento recubiertos interiormente con plástico. La succión de las bombas es colocada unos dos metros arriba del -- fondo para evitar el arrastre de materiales finos. Al agua, ya -- limpia, se le harán pruebas de compatibilidad y se usarán surfac-- tantes, a base de agua, con la adición de cloruro de potasio para

evitar la formación de emulsiones y el "hinchamiento" de arcillas. Las concentraciones de las sales correspondientes, se determinarán por procesos de laboratorio.

La Salmuera suele utilizarse cuando no se tiene disponible agua salada del campo. Debe probarse y tratarse en igual forma que ésta.

El Agua de Pantano es el peor de los fluidos que pueden emplearse en cualquier trabajo de reparación, debido principalmente a las características del daño que se ocasionaría a la formación. Por lo general, el agua de pantano tiene baja salinidad y grandes cantidades de finos y sólidos en suspensión. Si se tiene que usar este tipo de fluido, deberá filtrarse y tratarse con cloruro de potasio o de calcio, a fin de evitar el "hinchamiento" de arcillas; también deberán usarse surfactantes. El siguiente análisis, típico de esta clase de aguas, nos muestra el gran contenido de sólidos y la baja concentración de cloruros:

Densidad relativa	1.004	
PH	5.5	
Total de sólidos		
Disueltos	6.600	mg/l
Calcio	100	mg/l
Magnesio	270	mg/l
Cloruros	4,700	mg/l
Bicarbonatos	90	mg/l
Sulfatos	0	mg/l

El Agua de Mar es mejor que el agua de pantano como fluido de reparación, aunque se le debe dar el mismo tratamiento cuidadoso como a los anteriores.

TRANSPORTACION DEL FLUIDO.

Si no se usa un equipo de transportación limpio, todas las medidas que se tomen para obtener un fluido limpio serán inútiles. No es raro encontrar "pipas" o chalanes empleados en la transportación de fluidos que no estén limpios después de cada acarreo, sin importar que clase de fluido transportaron en el acarreo - anterior.

ALMACENAMIENTO EN LA LOCALIZACION.

Antes de transportar el fluido de reparación, ya limpio y libre de contaminación, es necesario asegurarse de que las presas y tanques de almacenamiento en la localización se encuentran limpios, de lo contrario, todo el esfuerzo y dinero empleados -- para obtener un fluido limpio serán desperdiciados. La inversión que se haga para lograr una limpieza absoluta, será menor que la pérdida obtenida al dañar la formación por el uso de fluidos -- sucios y contaminados. La misma limpieza que se recomienda para presas y tanques, deberá efectuarse en las bombas y líneas del sistema. Durante la reparación, el fluido deberá filtrarse o -- reponerse cuando se ensucie o llegue a contaminarse. Una estrecha supervisión en este aspecto, reducirá el daño en la formación -- contribuyendo a un mayor éxito de la reparación. Posteriormente se discutirá con más detalle las condiciones y recomendaciones -- sobre cuando se debe cambiar el fluido.

ACONDICIONAMIENTO DEL POZO

Por lo general, en trabajos de limpieza se acostumbra efectuar ésta, corriendo la T.P. con niple lavador o barrena, recirculando hasta el fondo y así hasta obtener un fluido libre de pedacería. Sin embargo, esta práctica resulta insuficiente en trabajos de empacamiento con grava. El primer paso para lograr una reparación exitosa, es realizar una limpieza apropiada del pozo.

La tubería de producción deberá ser inspeccionada detenidamente y su limpieza deberá efectuarse a base de vapor y cepillo de alambre, removiendo cualquier material extraño que pudiera causar algún taponamiento en los disparos, en la formación misma o en el cedazo. Si se usa tubería recubierta interiormente con plástico, este deberá encontrarse en buenas condiciones para evitar desprendimientos del mismo, durante el empacamiento de la grava.

MANERA DE LAVAR LA T.R.

Por lo general, en los pozos arenados se acostumbra bajar la T.P. con barrena, lavando hasta la cima de los disparos y circulando hasta que el fluido esté limpio; entonces se saca la T.P. y se vuelve a correr con escariador y barrena hasta la misma profundidad. En este punto debe inspeccionarse el fluido y si está sucio, debe ser reemplazado por fluido limpio, ya que será imposible limpiar el pozo usando un fluido sucio. Una vez cambiado este, se lavará el resto de la arena frente a los disparos, repasando varias veces la T.R. para eliminar rebabas que pudieran causar daño al cedazo. En el caso de que la formación admitiera fluido,

el taponamiento que se cause a la formación será mínimo, por el solo hecho de haber reemplazado el fluido sucio a tiempo.

LIMPIEZA DE LOS DISPAROS.

Para estar seguros de que todo el material obturante que se encuentra dentro de los disparos ha sido expulsados, no basta con haber circulado, es necesario el empleo de herramientas adecuadas para lavar, empacador de copas, cubeta hidrostática y sonda.

El Empacador de Copas.- El empacador de copas es una excelente herramienta para lavar los disparos cuando existe comunicación entre ellos por detrás de la T.R. Esta herramienta es de gran utilidad para remover el material dentro de los disparos y atrás de la T.R. aunque no puede usarse en pozos con baja presión de fondo o en formaciones que tomen gran cantidad de fluido.

La Cubeta Hidrostática.- La cubeta hidrostática es empleada para limpiar disparos que no se encuentran libremente comunicados. Cuando es grande el volumen de arena que se va a extraer, se usa una herramienta adecuada para T.P. y para volúmenes pequeños se usa la cubeta la cual se baja con la línea de acero, se efectúa una operación manual en la superficie, habiéndose la cubeta, tanto la arena como la pedacería son succionados, debido a la presión diferencial que se establece por la presión atmosférica dentro de la cubeta, y la presión de fondo afuera de ella. Esta acción de limpieza será mayor cuando la presión diferencial entre el espacio anular y la T.P. sea la máxima. La desventaja de esta herramienta es el tiempo que se tarda para extraer grandes volúme

nes de arena.

El Sondeo.- Es otro método empleado para limpiar los disparos, aprovechando la presión diferencial que produce a través de los mismos. Sin embargo, tiene su limitación en cuanto a la cantidad de arena que puede ser sondeada cada vez, ya que un exceso de esta, puede causar problemas de pesca.

Para estar seguros de haber obtenido una limpieza completa, habrá que redisparar el intervalo productor y/o efectuar un lavo do con ácido cuando sea necesario.

MUESTREO DE LA FORMACION.

Al efectuar la limpieza de los disparos, se tomarán muestras de la arena de la formación que nos servirán para determinar el tamaño de la grava que se usará para empacar la formación y para diseñar el cedazo.

Desde luego que es difícil obtener una muestra representativa de la formación en estas condiciones. La mejor fuente para -- obtener la información deseada son los núcleos, pero si se carece de ellos se tendrá que echar mano de las muestras de arena -- extraídas del pozo; ya que la arena extraída es más gruesa que -- la producida por el pozo, será necesario tomar las muestras obtenidas por los diferentes medios de limpieza empleados y enviarlos para su análisis de granulometría. Posteriormente se discutirán las razones para efectuar dicho análisis.

En formaciones no consolidadas, es más efectivo controlar -- el flujo de arena dentro de la misma formación. Esto se logra por medios mecánicos, colocando y empacando grava de clasificación -- adecuada en las cavidades y fracturas abiertas dentro de la forma ción y con la colocación de un cedazo, debidamente empacado, - - dentro de la T.R.

El empacado de la grava es el paso crítico en la operación - por lo cual este proceso debe ser supervisado rigurosamente. Los datos de campo serán de gran ayuda para la selección y programa-- ción del trabajo, debiendo tenerse gran cuidado en lo siguiente:

Equipo de bombeo.

Equipo subsuperficial.

Clasificación de la grava.

Presiones de inyección.

Métodos de empacado.

Selección y colocación del cedazo.

Equipo de bombeo

El equipo de bombeo debe ser confiable y fácil de manejar, - con una capacidad de 0.25 a 3 bl /min con presiones hasta de - - 500 lb/pg². Durante la operación, tanto los gastos de circulación como las presiones deben ser constantemente vigilados.

Mezcladores de arena

Estos mezcladores son de dos tipos, comunmente llamados - - "Olla" y "Barril". En el primer tipo, la grava es alimentada de -

la "Olla" a la descarga de la bomba, siendo este procedimiento el mejor cuando se usa grava de malla grande, evitando en esta forma que los granos mayores sean triturados por las válvulas y pistones de la bomba. Las desventajas de este mezclador son la falta de control en la dosificación de la arena y además, no permite efectuar una alimentación continua de grava.

En cambio el "Barril" alimenta la grava directamente a la succión de las bombas; este sistema deberá emplearse cuando sea necesario controlar estrechamente la presión de bombeo y la dosificación de arena. Desde luego, este método tiene la desventaja de que los granos de grava más grandes pueden ser triturados al pasar a través de la bomba y si los granos de la formación, podrían causar cierto grado de taponamiento en la misma.

Cabezal de bombeo

El cabezal de bombeo deberá ser de tipo convencional para control de flujo, con sus válvulas adecuadas para permitir el paso de pedacería al establecer circulación inversa a través de la T.P. El arreglo del cabezal deberá tener fácil acceso y las válvulas serán de acción neumática para operarse con rapidez, de tal forma que al efectuar una circulación inversa, se pare el bombeo, solo lo indispensable para cerrar una de las válvulas y abrir la otra.

Como ya se dijo anteriormente, la T.P. deberá encontrarse limpia y si tiene recubrimiento interior de plástico, éste no deberá tener rasgaduras, ya que al bombear la grava, ésta puede

desprender pedazos del mismo causando taponamiento en las perforaciones o en la formación. Además, la T.P. se probará con anterioridad a fin de comprobar que puede resistir por lo menos las presiones calculadas para empaclado.

Empacador recuperable

El empacador recomendado para estas operaciones, será de tipo recuperable y que, además permita efectuar el desplazamiento de la T.P. sin que llegue a desanclarse. Después de colocado el cedazo, el exceso de grava debe ser desplazado por circulación inversa con escaso movimiento de la T.P. También debe tenerse en cuenta que para efectuar la circulación inversa, puede ser necesario desanclar el empacador con una herramienta, mostrada en la (Fig. 10) se evita esa operación y además la formación de puentes dentro de la T.P., lo que ocasionaría el sacar el aparejo del pozo para destapar la tubería. Por lo general, el fluido que se utiliza para empaclar la grava, es el mismo que se emplea en los trabajos de limpieza. En algunos casos, podrá usarse otro tipo diferente, siempre y cuando se hayan efectuado pruebas de compatibilidad con la formación como se especificó anteriormente. Como norma invariable, el fluido empleado deberá estar libre de impurezas, debidamente tratado y que no deje residuos ni forme enjarres.

Empacado de la formación

El tamaño de la grava para empaclar la formación dependerá del análisis de mallas de una o varias muestras de la arena de la formación. Por lo general, se usan dos métodos para calcular el tamaño de la grava, y son los que corresponden al 10% y 50% de --

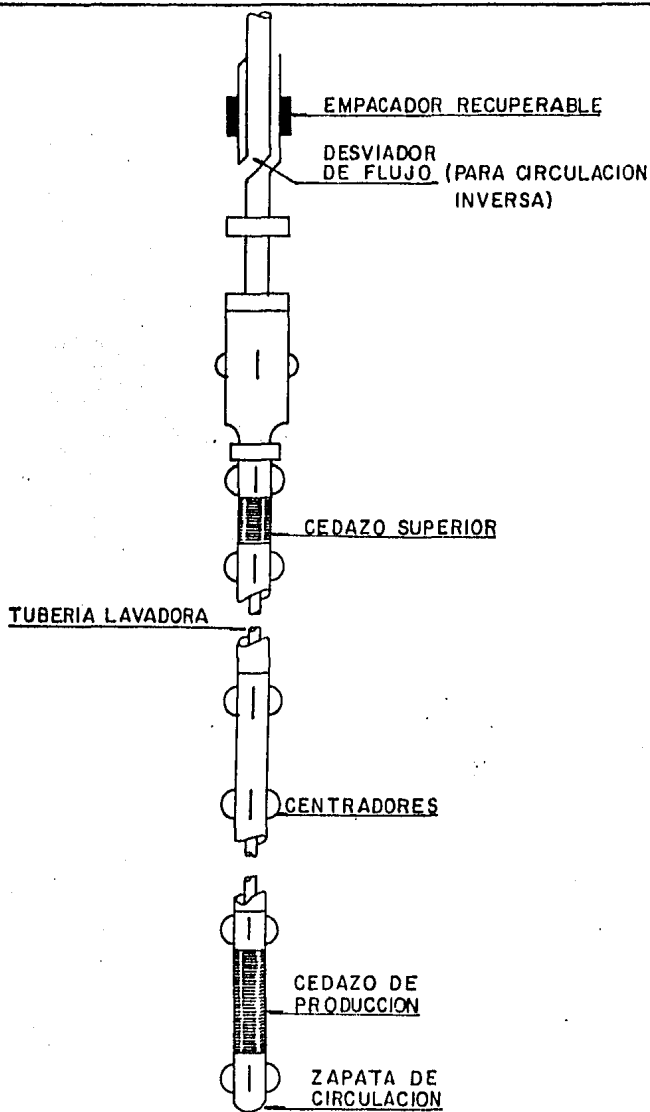


FIG.10 ESQUEMA DE HERRAMIENTAS TÍPICAS DE FONDO DE POZO PARA EMPACAMIENTOS DE GRAVA,(MUCHAS VARIACIONES SON POSIBLES).

peso retenido. Con cualquiera de los dos métodos se tendrá una pequeña discrepancia en cuanto al resultado final, debido a los rangos tan limitados de la grava con que se dispone.

Diámetro de la grava

El diámetro de la grava deberá ser de 4 a 6 veces el tamaño de los granos de arena determinado al 10%, a fin de lograr un buen "puente" de acuerdo con el trabajo efectuado por Coberly y modificado en la práctica por Hill.

El método del 50% recomienda un diámetro para la grava de 5 a 6 veces el valor obtenido (al 50%), para el tamaño más pequeño y de 10 veces, para el tamaño más grande.

El uso que se haga del análisis de mallas, varía considerablemente de acuerdo con la práctica que se tenga. Algunos ingenieros toman muy en cuenta la uniformidad de la arena. Ya que, la variación en la distribución del tamaño del grano puede afectar bastante la gráfica del análisis de mallas y por consiguiente puede influenciar la selección del punto de control del porcentaje. Las prácticas ya recomendadas deberán adaptarse a las condiciones locales y a la experiencia que se tenga al respecto.

Antes de efectuar cualquier trabajo, se tendrá presente la cantidad de grava que se usará, las limitaciones de presión y el número de intentos para lograr un buen empacamiento.

En teoría, la cantidad de grava debería ser igual al volumen

de arena que haya producido la formación aunque generalmente -- este volumen es desconocido. Una regla práctica es considerar -- un saco de grava por cada pie de intervalo disparado. Por otra -- parte, la cantidad de grava que será admitida por la formación no puede conocerse sino a medida que el trabajo avance. La formación permitirá tanta grava hasta que el cedazo quede empacado o bien -- hasta que la presión límite de trabajo sea alcanzada. En la mayoría de los casos, ambos casos se logran al mismo tiempo.

Límite de presión

Por estadísticas de trabajos realizados en la Costa del Golfo, la presión límite será inferior a la presión de fractura, -- en caso de alcanzar o exceder dicha presión, se tendría un empacamiento defectuoso, ya que la arena no sería admitida uniformemente a través de todas las perforaciones. Además, en el caso de que se alcanzara la presión de fractura, pero sin fracturar la formación, se produciría un "sobre-empacamiento"; esto y la acumulación de arena frente a los disparos, provocarían grandes caídas de presión junto al agujero del pozo, en detrimento de la producción.

Existen varios métodos para calcular la presión de fractura de la mayoría de las arenas de la Costa del Golfo; una fórmula -- elemental empleada para calcular una presión capaz de iniciar una fractura vertical, es la siguiente:

$$FP = D/2 + BHP/2$$

donde:

FP = Presión de fractura

BHP = Presión de fondo (presión de formación)

D = Profundidad de la formación

Esta fórmula nos muestra que la presión necesaria para producir una fractura es directamente proporcional a la presión de fondo, algunas veces esto no resulta cierto, ya que dicha fórmula no considera la resistencia que la roca misma opone a ser fracturada.

Un método más exacto, incluye las propiedades de la formación:

$$FP = BHP - KS$$

donde:

K = Coeficiente del esfuerzo de la matriz (adimensional)

S = Esfuerzo de la matriz, a la profundidad de la formación.

Las fórmulas se expresan para unidades consistentes.

De esta fórmula podemos obtener el gradiente de la presión de fractura (FP/D), el cual podemos comparar con los datos de campo.

Presión de inyección

Antes de efectuar el empacamiento, será necesario establecer un gasto de inyección que podría ser 0.25 bl /min. o menor, aunque si la presión de inyección alcanzada está muy próxima a la -- presión de fractura, esta será rebasada hasta con un gasto de - - 3 bl /min. Sin embargo, si la presión alcanzada con el gasto de - .25 bl /min es bastante menor que la presión de fractura, entonces puede escoger una presión de bombeo correspondiente a un gasto de 2 - 3 bl /min. Una presión de inyección normalmente alta, es - - indicativa de que existe taponamiento en los disparos.

Para dar por terminado el empacamiento, debe alcanzarse una presión de 500 lb/pg² arriba de la presión de bombeo que corres-- ponda al gasto de inyección fijado. Esta es la práctica más común en los campos de la Costa del Golfo, y podrá ser aplicable a las-- condiciones que prevalecen en yacimientos arenosos de la Repúbli-- ca Mexicana.

Empacamiento de la formación

Para tener la seguridad de no haber formado puentes al efec-- tuar el empacamiento de la formación, se recomienda desplazar - - toda la grava empacada por circulación inversa, a todo lo largo - del intervalo, realizando entonces un segundo empacamiento. No -- siempre se consigue un buen empacamiento en dos intentos, por - - consiguiente la formación debe ser empacada tantas veces como se-- crea necesario para lograr un buen trabajo.

A veces sucede que al terminar de empacar la formación se -- produce un flujo de grava del agujero, ésto ocurre debido a pre-- siones diferenciales o debido a un empacamiento deficiente; en -- este caso la T.R. se llenará con grava hasta unos cuantos pies -- arriba de los disparos. Esto es muy importante, especialmente -- cuando la grava empleada para empacar la formación es más pequeña que la usada para empacar el cedazo. En otros casos, cuando se -- usa un cedazo de mayor calibre sobre el cual la grava de la forma-- ción no forme puentes, entonces la grava que se use para empacar-- el cedazo deberá ser más grande, dependiendo su tamaño del cali-- bre del cedazo empleado y del tamaño de la grava que se usó para-- empacar la formación.

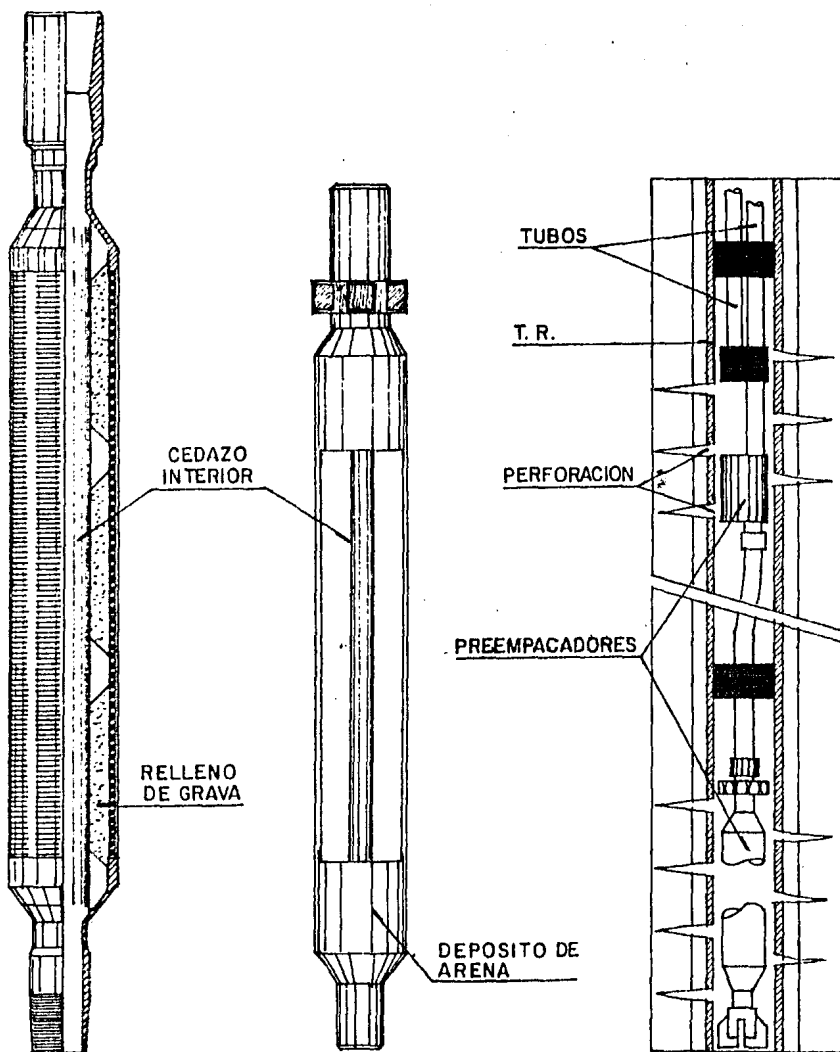
Colocación del cedazo

Después de haber empacado la formación, se coloca un cedazo-- dentro de la T.R. y se empaca con grava ver (Figura 11), a fin de retener el empacamiento de la formación. Es de suma importancia -- tener en cuenta que las ranuras del cedazo sean las adecuadas, -- que el tamaño de la grava sea el correcto y que el empacador del-- cedazo sea el más conveniente.

Se emplean dos tipos de cedazos, el de malla y el de ranuras, aunque el primero es más popular por ser más sólido y más resis-- tente a la corrosión que el tubo ranurado.

Tamaño de la ranura

El tamaño de las ranuras de un cedazo puede ser determinado--



INSTALACION DE
PREEMPACADOR DOBLE

FIG. II CEDAZOS CON ARENA PREEMPACADORES

usando los métodos del 50% ó del 10%. De acuerdo con trabajos --
 experimentales, se ha establecido que la anchura máxima de las --
 ranuras, no deberá ser mayor que el doble del tamaño de la arena
 al 10% para lograr un "puenteo" efectivo. Esto se comprobó al --
 ver que granos esféricos formaban puentes firmes sobre ranuras --
 rectangulares cuya anchura era de dos veces el tamaño del grano.

Con base en la siguiente fórmula experimental se puede --
 calcular el tamaño de las ranuras.

$$SS = 2 D_s + (D_l - D_s) / 2)$$

donde:

SS = Tamaño de la ranura

D_s = Diámetro de la grava más pequeña

D_l = Diámetro de la grava más grande

Fórmula para unidades consistentes.

Esta fórmula nos da resultados aceptables que caen dentro --
 del límite establecido por Coberly de 2 veces el tamaño del --
 grano más grande. Los granos más grandes forman el puente sobre--
 la ranura deteniendo a los más pequeños, produciéndose así el --
 entrelazamiento de los granos de arena.

En términos generales, el tamaño de la ranura será lo suficien--
 temente pequeña para puentear la grava del cedazo, pero al mismo--
 tiempo, lo suficientemente grande como para permitir el paso de --
 finos que atraviesan el empacado de la formación.

Tamaño de la grava para el cedazo

El tamaño de la grava que se usa para empacar el cedazo será igual o mayor que el tamaño de la grava empleada para empacar la formación, el cual se determinará por los métodos ya indicados. - Por consiguiente, el tamaño de la grava para empacar el cedazo, - dependerá del tamaño de la grava empleada para empacar la forma- ción y del tamaño deseado de las ranuras; y definitivamente, el tamaño de la grava para empacar el cedazo no será menor que el - de la grava usada para empacar la formación, ya que de lo contra- rio se produciría un taponamiento por retención de materiales -- finos en el espacio anular. El área de flujo entre la T.R. y el cedazo es menor que el área de flujo existente afuera de la T.R. y por lo mismo la primera es más susceptible de ser taponada, de ahí que debe evitarse la retención de materiales finos o de arena provenientes de la formación en el espacio anular entre el -- cedazo y la T.R. Es erróneo querer retener los materiales finos en esta área.

Empacador

El empacador siempre va en la parte superior del cedazo a -- fin de mantener un empacamiento "apretado" y evitar así el - - movimiento de la grava. Si esta se llegara a mover alrededor del cedazo, podría causar movimientos de la grava de la formación, - destruyendo los puentes que detienen el flujo de arena de la - - formación al agujero.

Los efectos de flujo a través de una columna de grava, - -

fueron investigados por O'Shields y Hawkins. Ellos observaron -- que a gastos bajos no había movimientos de grava, pero que a medida que el gasto aumentaba, la columna de grava se expandía, -- llegando a producir turbulencias, lo cual demuestra que si la -- grava del cedazo no se mantiene firmemente empacada, pueden -- ocurrir serias fallas.

Fluido

El fluido empleado para empacar el cedazo debe ser compatible con el fluido usado para empacar la formación y por tanto, -- con los fluidos de la formación misma. Si fuera necesario, al -- fluido de operación se le agregarán aditivos para el control de la viscosidad y de la pérdida de fluido. Las concentraciones de estos aditivos deberán ser mínimas, a fin de evitar serias pérdidas de fluido. Antes de terminar la operación, se agregará un -- agente "destructor" para romper los efectos de los aditivos -- anteriores. En caso de que el agente "destructor" no sea efectivo, puede hacerse un lavado con ácido, siempre y cuando los aditivos arriba mencionados sean solubles al ácido.

Empacamiento del cedazo

Los métodos usados para la colocación y empacamiento del -- cedazo son los siguientes:

- a) Lavado en T.R. abierta.
- b) "Circulación inversa" con empacador.

Si la grava no ha sido colocada previamente frente al inter-

valo disparado, cualquiera de los dos métodos puede ser usado.-- En caso contrario, el método de lavado será empleado forzosamente.

El empacamiento por circulación inversa es el más recomendable, ya que permite lograr un mayor grado de empacamiento. En -- este método, el cedazo es bajado hasta el fondo y la grava puede ser bombeada a través de la T.R. o de la T.P., dependiendo esto de si se usa empacador o no. Si se tiene alguna otra zona produc tora, o si la T.R. está en malas condiciones, o si se trata de-- un pozo de agujero reducido, se usará empacador con un desviador de flujo a fin de poder bombear la grava a través de la T.P.

En el método de lavado, la grava es colocada frente a los -- disparos en cantidad suficiente para cubrir tanto el cedazo como el "tubo cola" (tubo ciego Fig. 12). Entonces, el cedazo se va - bajando a medida deseada. Las desventajas de este método son, -- desde luego, los empacamientos "suelos" y una distribución - - irregular de la grava, ya que ésta se acomodaría por diferencia de peso entre sus granos y no precisamente por su tamaño.

Después de aplicar estos métodos mecánicos, con buena super- visión, para el control del arenamiento en muchos pozos del Sur- de Luisiana, estos han mostrado una notable mejoría en su produc- ción. Por ejemplo en cinco pozos viejos del campo Hackberry - - Oriente, se incrementó su producción promedio de 16 a 67 bl /día de aceite; anteriormente se habían usado diversos métodos para - controlar el arenamiento sin ningún éxito y que en algunos casos,

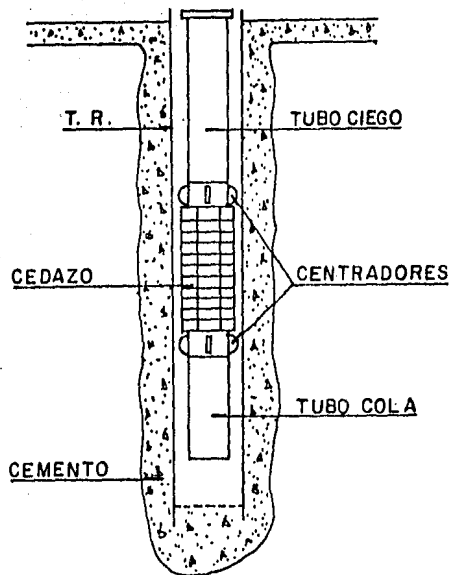


FIG. 12 ARMADO DEL EMPACAMIENTO DE GRAVA

llegaron a causar daño a yacimiento.

El desarrollo del presente trabajo, comprendió básicamente - los siguientes temas:

- Acondicionamiento del pozo y selección del mejor sistema de fluidos.
- Como empacar la formación y colocación del cedazo.
- Como poner el pozo en producción para obtener éxito.

Arranque del pozo

Independientemente del método que se emplee para poner el -- pozo en producción, ya sea por flujo natural, bombeo, sondeo, -- etc., esta operación deberá ejecutarse con mucho cuidado. Es -- necesario fluir el pozo, al comienzo, con un gasto bajo a fin de facilitar el acomodo del cedazo, el "puenteo" sobre las ranuras y la gradual retención de arena proveniente de la formación. Las altas cuotas iniciales de producción provocarán un "apretamiento" excesivo de la grava y por consiguiente un "puenteo" indebido. - Además se producirán grandes diferenciales de presión entre la - grava de la formación y los disparos, causando un empacamiento - excesivo que restringirá el flujo. Esto se agudiza con la acción emulsificante de los fluidos empleados; por lo tanto, debe - - procurarse expulsar éstos fluidos en primer término, lo cual se - logrará al arrancar el pozo con un bajo gasto inicial.

En pozos de gas o con alta RGA, se puede producir un "puen--

teo" indebido por falta de precaución. Un flujo turbulento mantendrá los granos de arena en agitación alrededor del cedazo, -- provocando canalizaciones y posteriormente desgastes por abrasión en las ranuras de la malla. Y en el caso de que el cedazo no -- tenga empacador, este tipo de flujo provocará un desacomodo de -- la grava alrededor del cedazo, produciéndose entonces un nuevo -- y rápido arenamiento del pozo.

III. EVALUACION DEL EMPACAMIENTO CON GRAVA.

En el Golfo de México muchos pozos están terminados con - - empacamiento interior con grava para prevenir la producción de -- arena. Es necesario un método digno de confianza para la evalua-- ción del empacamiento que reduzca los cambios que una reparación-- requiera más tarde. Los registros de campo hechos con herramien-- tas seleccionadas de pozos de pruebas experimentales confirman la aplicación de técnicas del registro eléctrico que proporcionen -- una evaluación cualitativa del empacamiento con grava.

Muchas herramientas de los registros eléctricos tienen capa-- cidad para investigar el espacio anular entre la tuberfa de reves^u timiento y el cedazo en un empacamiento con grava interior. Entre estas están: el neutrón compensado, velocidad acústica, densidad (herramientas que miden el tiempo de disminución del pulso de - - neutrones).

En este trabajo la selección de herramientas usadas para los ejemplos está basado en experiencias previas y factores conocidos de profundidad de investigación y respuesta al metal.

Las herramientas seleccionadas fueron:

1. Un registrador de neutrones compensados, de diámetro de 3-3/8 pg.
2. Un registro de densidad de diámetro de 1-11/16 pg.

3. Un registro de rayos gama de doble espacio de diámetro - de 1-11/16 pg.

Las mediciones fueron hechas en dos pozos de prueba equipados con empaque de grava y cedazo empacado en tubería de revestimiento de 7-pg. y de 9-5/8 pg. La respuesta para varios problemas de situaciones de empacamiento con grava fueron estudiadas haciendo corridas sucesivas en secciones parcialmente empacadas.

El compensador de neutrones, el medidor de densidad y el detector de rayos gama a doble espacio, todos dieron por igual resultados - satisfactorios y en cada uno el pozo respondió a los cambios de densidad de el material dentro del espacio anular entre el cedazo y la tubería de revestimiento.

TEORIA

Registrador de neutrones compensados.

El registrador de neutrones compensados usa una fuente - emisora de neutrones y dos detectores. En éste es de uso convencional el cálculo de porcentajes desde los dos detectores para calcular un radio desde el cual puede ser determinada la porosidad. El registrador de neutrones compensados mide el índice de hidrógeno de una formación por emisión de neutrones a determinada velocidad, dentro de la formación y detectando aquellos que disminuyen su nivel de energía térmica. Esto es posible porque el hidrógeno es el que tiene mayor efecto de disminución de neutrones. Los fluidos que están contenidos en los espacios porosos -

están ricos en átomos de hidrógeno, mientras que el contenido de hidrógeno en la formación rocosa es muy pequeño o nulo. Por lo tanto el registro de neutrones compensados refleja en primer lugar el fluido que llena parte de la formación. Para eliminar parte de los efectos de la cercanía del diámetro del agujero son usados dos detectores. La diferencia en el espaciamiento causa que un detector sea más afectado por el diámetro del agujero que el otro y en seguida se calcula el radio del segundo que está relativamente libre de los efectos de el diámetro del agujero.

El registro de empacamiento con grava utiliza el hecho que los detectores son afectados de manera diferente en el área comprendida entre la formación y la herramienta. Cuando el espacio entre el cedazo y la tubería de revestimiento se llena con fluido la herramienta está investigando una zona con 100% de porosidad aparente. Cuando ese fluido es desplazado con grava la porosidad aparente se reduce en gran medida. El ajuste y calibración propia de las cercanías y lejanías cuando se miden gastos ocasionan lecturas que en las cimas de uno u otro detector sobre las zonas verifiquen que están 100% empacadas y separar zonas que tienen menos del 100% de empacamiento. La separación más grande--mostrará una zona que no está totalmente empacada.

Medidor de densidad

El medidor de densidad usa una fuente de rayos gama y un detector sencillo. La fuente emite rayos gama dentro del diámetro del agujero y en el área circunvecina. Algunos de los rayos gama son repelidos al detector. El número de rayos gama que retornan -

al detector es una indicación de la densidad del material a través del cual viajan. Los materiales que tienen densidad más alta -- originan que más rayos gama sean mostrados y absorbidos, materiales con densidades menores permiten que más rayos gama sean regresados hacia el detector. En un pozo empacado con grava son cons--tantes muchos residuos excepto en el espacio anular entre el cedazo y la tubería de revestimiento. Este espacio puede ser llenado--completamente con grava, parcialmente llenado con grava o tener --áreas vacías que no contengan grava. En cada uno de éstos casos -- el área que no está llena con grava se llena con algún tipo de --fluido. La identificación de zonas no empacadas con grava es -- posible debido a la diferencia de densidades que existe entre la--densidad de la grava y la densidad de un fluido.

Registro de rayos gama a doble espacio.

El registrador de rayos gama a doble espacio consiste en una fuente de rayos gama y dos detectores. Su teoría de operación es la misma del medidor de densidad. Los detectores a doble espacio--nos dan la posibilidad de investigar a diferentes profundidades.

CONCLUSIONES

Se establecen diversos aspectos mecánicos sobre la terminación ó reparación de pozos para el control del arenamiento. Estos proporcionando datos básicos y guías para la planeación y ejecución del trabajo; entre otros, los factores clave que pueden garantizar el éxito son:

El uso de un buen equipo y un fluido adecuado para efectuar la reparación.

Llevar una supervisión rigurosa de las operaciones que se ejecuten dentro del pozo.

A continuación se describe el procedimiento, en forma sintetizada, que se ha empleado exitosamente en varios "pozos problema".

- 1) Efectuar pruebas de compatibilidad entre los fluidos -- de la formación y el fluido de reparación. Comprobar -- si existen problemas de emulsificación y encontrar el -- tratamiento adecuado mediante el uso de surfactantes. -- Siempre que sea posible, se recomienda el uso de aceite de la misma formación como fluido de reparación. Si se tiene que emplear agua salada, agréguese el 1% en peso, de cloruro de potasio para reducir el "hinchamiento" de -- arcillas. Para destruir las emulsiones, úsese un surfac -- tante soluble en agua. Siempre deberá usarse un fluido-

limpio.

- 2) Limpiar la T.P. usando vapor, si es necesario lavar las presas del lodo y las bombas. Las "pipas" para transportar el fluido de reparación deberán estar limpias.
- 3) Bajar barrena y escariador para limpiar la T.R. antes de extraer la arena del fondo, a fin de evitar que la pedacería pudiera causar taponamiento en los disparos, sobre todo si se tiene pérdida de fluido en la formación. Filtrar o reemplazar el fluido de reparación al terminar la limpieza de la T.R.
- 4) Limpiar la zona de disparos ya sea por cubeteo o lavado, de la arena recuperada, tomar las muestras necesarias para determinar el tamaño de la grava que se usará para empacar la formación y el cedazo, y además el calibre de este último.
- 5) Correr empacador de inyección con la T.P. usando "tubo de cola", tratar de establecer inyección a un ritmo de 0.25 bl/min., si la presión observada es menor que la presión de fractura, aumentar la velocidad de inyección a 2 bl/min. Si la presión de inyección, incluyendo la presión hidrostática del fluido, es mayor o cae dentro del rango de 500 lb/pg², arriba de la presión de fractura, lo más probable es que se tenga un taponamiento a la entrada de los disparos o dentro de la formación, en

este caso será necesario efectuar una etapa más de - -
 limpieza, ya sea por sondeo, cubeteo o lavado con ácido,
 e inclusive redisparar el intervalo si fuera lo indicado.
 Al no tener restricciones y después de establecer una --
 presión de inyección menor que la presión de fractura, -
 la formación podrá ser empacada.

- 6) Empacar la formación con una velocidad de bombeo de - -
 2 bl/min. La dosificación inicial de la grava será de --
 0.25 lb/gal. y gradualmente se irá aumentando hasta - -
 obtener dosificación final de 2 lb/gal., lo cual será --
 mantenida hasta alcanzar la presión límite.

- 7) Circular el exceso de grava hasta unos dos metros abajo-
 de los disparos. Repetir el paso 6 si fuera necesario, a
 fin de estar seguros de haber logrado un buen empacado -
 de la formación.

- 8) Efectuar circulación inversa bajando hasta dos metros --
 más abajo de los disparos. Sacar cinco lingadas de T.P.,
 lentamente, para evitar la acción de sondeo, y esperar -
 30 min. Bajar la T.P. hasta dos metros abajo de los dis-
 paros, para comprobar si no hay grava. Si la T.R. está -
 libre, sacar T.P. y empacador. Si hubo regreso de grava de
 la formación al agujero, se recirculará el exceso de - -
 grava, y antes de sacar el aparejo, se llenará la T.R. -
 con grava para empacar el cedazo, hasta unos dos metros-
 arriba de los disparos.

- 9) Dependiendo de los resultados en el punto 8, correr el cedazo y empacarlo ya sea por "lavado" o por circulación inversa". Debe tenerse en cuenta que los juegos de herramientas empleadas son diferentes para uno y otro método, por lo que hay que tener ambos juegos disponibles en el pozo.
- 10) Correr el empacador del cedazo, anclándolo sobre éste.
- 11) Correr el aparejo de producción. Arrancar el pozo con un gasto inicial bajo. Aumentar el gasto gradualmente en el lapso de varios días, hasta obtener la producción óptima del pozo. Si es necesario sondear, hacerlo lentamente, evitando levantar más de 150 m. de fluido por corrida.

BIBLIOGRAFIA

1. Aubert, C.F., Jr., and Bercegeay, E.P.: "Field Tested - - - Methods Improve Sand Control, "World Oil, Three Part Series, (Jan. Mar, 1971).
2. Saucier, R.J.: "Gravel Pack Design Considerations, "paper -- SPE 4030 presented at SPE-AIME 47 th Annual Fall Meeting, -- San Antonio, Oct. 8-11, 1972.
3. Rogers, E.B., Jrs.: "Sand Control in Oil and Gas Wells", Oil and Gas J. (Nov. 1, 8, 15 and 22, 1971).
4. Coberly, C.J., and Wagner, E.M.: "Some Considerations in the Selection and Installation of Gravel Packs for Oil Wells", - Petroleum Technology, AIME Tech. Pub. No. 960 (Aug., 1938).
5. Neal, Marvin R.: "Gravel Pack Evaluation", Journal of - - - Petroleum Technology, September 1983.
6. De Vargas Lourdes.: "Good Sand Control Requires Proper Fluid, Gravel Selection", World Oil, October 1982.
7. Coberly, C.J.: "Selection of Screen Openings for Unconsolidate Sands", Drill. and Prod. Prac. API (1973).

8. George O. Suman: "Sand Control Hand Book", World Oil's - - (1975).
9. Benítez Hernández Miguel A.: "Apuntes de Terminación de - - Pozos", Facultad de Ingeniería, UNAM. Abril 1983.
10. Gómez R. Orlando.: Registro de Pozos, Parte 1. Complementos- Editoriales, México, D.F., 1975.