



2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**EQUIPOS HIDRAULICOS ESPECIALES
PARA EL MANTENIMIENTO DE POZOS,
CASO DE LA TUBERIA FLEXIBLE.**

T E S I S

Que para Obtener el Título de:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A :

Olivares Torralba Aciel



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.

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.- PRINCIPALES SISTEMAS HIDRAULICOS	
I.1.- GENERALIDADES	4
I.2.- SISTEMAS HIDRAULICOS	5
I.2.1.- Equipo Snubbing	5
I.2.2.- Equipo de Tubería Flexible	14
I.3.- SISTEMAS HIDRAULICOS Y ESPUMA	17
CAPITULO II.- SISTEMA HIDRAULICO DE TUBERIA FLEXIBLE	
II.1.- INTRODUCCION	20
II.2.- COMPONENTES BASICOS	21
II.2.1.- Transporte	24
II.2.2.- Cabina de Control	27
II.2.3.- Consola de Control	29
II.2.4.- Grúa Hidráulica	30
II.2.5.- Carrete Hidráulico	32
II.2.6.- Tubería Flexible Continua	35
II.2.7.- Paquete de Potencia y Bombas Hidráulicas	41
II.2.8.- Cabeza Inyectora	45
II.2.9.- Preventores y Cabezal	51
II.2.10.- Componentes Adicionales	62
II.3.- PESOS, CAPACIDADES Y ESPECIFICACIONES	63
II.3.1.- Pesos	63

II.3.2.-	Capacidades	64
II.3.3.-	Especificaciones	65
II.3.4.-	Especificaciones de la Tubería Flexible	67
CAPITULO III.- PRINCIPIOS DE OPERACION		
III.1.-	INTRODUCCION	69
III.2.-	CIRCUITOS PRINCIPALES DEL SISTEMA	70
III.2.1.-	Circuitos Hidráulicos	70
III.2.2.-	Circuitos Neumáticos	84
III.3.-	INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA	90
III.3.1.-	Colocación del Trailer de la unidad de Tubería Flexible	90
III.3.2.-	Puesta en Marcha del Paquete de - Potencia	91
III.3.3.-	Instalación de los Preventores y Cabeza Inyectora en el Cabezal	92
CAPITULO IV.- PROCEDIMIENTOS DE APLICACION		
IV.1.-	INTRODUCCION	94
IV.2.-	OBSERVACIONES Y PRECAUCIONES GENERALES	95
IV.2.1.-	Observaciones Generales	96
IV.2.2.-	Precauciones Generales	97
IV.2.3.-	Descontrol de la Tubería Flexible	99
IV.3.-	PROCEDIMIENTOS DE LAS INTERVENCIONES	102
IV.3.1.-	Remoción de Material no Consolidado	103
IV.3.2.-	Remoción de Parafinas	107
IV.3.3.-	Acidificación	115

	PAGINA
IV.3.4.- Circulación para "matar" un pozo	119
IV.3.5.- Cementación	124
IV.3.6.- Uso de Tubería Flexible con ni-- trógeno	130
IV.3.7.- Limpieza con Turbo-Barrena (dyna drill)	146
IV.3.8.- Limpieza del Lodo de Terminación	152
IV.3.9.- Limpieza de Líneas Superficiales de Flujo	154
IV.3.10- Instalación Permanente	156
IV.3.11- Inducción de Pozos Geotérmicos	159
IV.3.12- Tratamiento de Pozos Inyectores de Agua	163
 CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 167
 N O M E N C L A T U R A	 169
 B I B L I O G R A F I A	 170

I N T R O D U C C I O N

En la actualidad las necesidades de energía que la sociedad requiere para alcanzar un grado cada vez más alto de desarrollo, ha originado la búsqueda de nuevas tecnologías que le permitan aprovecharla en toda su capacidad. La fuente principal de energía en la cual se ha basado el avance firme y acelerado de los diferentes países, es hasta la fecha, la extracción de Hidrocarburos de las capas superficiales de la corteza terrestre, sin embargo, es perfectamente conocido que la explotación de este energético requiere de toda una industria que apoyada en una Tecnología eficiente y dinámica, le permitan optimizar los procesos de exploración, explotación y transformación de los Hidrocarburos, con el fin de obtener de ellos el máximo beneficio posible.

El desarrollo de los campos petrolíferos es una secuencia de operaciones que se inicia desde la búsqueda de las estructuras con condiciones favorables para la acumulación de fluidos, hasta la extracción de los hidrocarburos a superficie, considerando los factores que originan una explotación eficiente y racional. La Ingeniería Petrolera tiene bajo su responsabilidad esta explotación y el desarrollo de los campos petrolíferos, de modo que es muy importante que las Tecnologías que le permiten la extracción de estos energéticos, día a día se renoven y actualicen al mismo ritmo al cual se van haciendo más complejas las condiciones para su explotación. Una vez que se ha logrado la comunicación del yacimiento hacia superficie, mediante la construcción de un pozo petrolero, es necesario que la producción obtenida se mantenga, requiriéndose que el pozo reúna las condiciones apropiadas para lograrlo. Los problemas se presentan ya sea por condiciones adversas del yacimiento ó por condiciones mecánicas del pozo. Además se debe mantener un programa de mantenimiento y servicio a los pozos, con la finalidad de lograr

que se encuentren siempre en condiciones óptimas de explotación.

El mantenimiento y conservación de pozos petroleros en condiciones satisfactorias de explotación requiere la intervención a los mismos en forma oportuna y segura. Las causas por las que los pozos se intervienen son múltiples y dependiendo de los problemas a solucionar, se selecciona el tipo de intervención, los equipos y los procedimientos requeridos. Entre los equipos más versátiles para el mantenimiento y reparaciones de pozos en explotación se encuentra el EQUIPO HIDRAULICO DE TUBERIA FLEXIBLE que se utiliza desde mediados de los años 60's⁽¹⁾. en diversos tipos de intervención permitiendo su realización en forma rápida, confiable y segura. El sistema de Tubería Flexible está diseñado para proporcionar el máximo funcionamiento con un mantenimiento simple⁽²⁾.

El objetivo del presente trabajo es proporcionar la información necesaria para el aprendizaje rápido de las técnicas básicas requeridas en las distintas operaciones, así como de los procedimientos para las intervenciones del Equipo Hidráulico de Tubería Flexible. Además de ofrecer los conceptos del funcionamiento de cada uno de los componentes del equipo y de su operación en conjunto, con la finalidad de que el operador de la unidad tenga una herramienta más para el mantenimiento y reparación del equipo.

Inicialmente, en el Capítulo I, se presentan los dos principales sistemas hidráulicos que se tienen actualmente para las intervenciones en pozos profundos, para comprender sus ventajas y limitaciones, además se presenta el empleo de espuma al trabajar con ambos sistemas. Posteriormente en el Capítulo II, se hace una descripción de los principales componentes del equipo de Tubería Flexible en forma independiente e indicando sus capacidades, pesos y especificaciones de la mayoría de ellos y en especial de la Tubería Flexible para conocer sus limitaciones y alcances en condiciones de operación. A continuación en

* referencias al final del trabajo.

el Capítulo III, se explica el funcionamiento en conjunto de los diferentes elementos del sistema de Tubería Flexible, formando los circuitos Hidráulicos y Neumáticos que hacen posible la operación total del equipo, así como su Instalación sobre la localización y la puesta en marcha para iniciar adecuadamente las intervenciones. En el Capítulo IV, se describen los procedimientos más recomendados que deben seguirse para la aplicación del equipo de Tubería Flexible en sus distintas intervenciones a los pozos para solucionar los problemas existentes, indicando las observaciones y precauciones generales. Por último en el Capítulo V, se indican las conclusiones del presente trabajo y las recomendaciones para lograr que mediante el empleo del equipo de Tubería Flexible, los pozos se mantengan siempre en condiciones apropiadas de operación.

CAPITULO I

PRINCIPALES SISTEMAS HIDRAULICOS

I.1.- GENERALIDADES

En distintos campos petroleros se tienen varios tipos de equipos hidráulicos los cuales están capacitados para operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos profundos. Cada tipo de equipo tiene sus propias ventajas dependiendo de la operación a realizar y de su disponibilidad, sin embargo algunos sistemas de equipo incluyen una combinación de esas ventajas para una mayor flexibilidad; sus características principales son su transportabilidad y características de operación.

Los sistemas hidráulicos Snubbing y Tubería Flexible actualmente tienen una aplicación continua en diversos campos, utilizándose como equipos de reparación y mantenimiento, así como para evitar daños a la formación ⁽³⁾ cuando se efectúan trabajos de terminación de pozos. La finalidad de este capítulo es describir ambos sistemas, enfatizándose sus ventajas principales y sus limitaciones. Es necesario hacer notar que una descripción más detallada de las características y aplicaciones del equipo de Tubería Flexible se presenta en los capítulos subsecuentes.

Posteriormente en este capítulo se menciona el uso de ambos sistemas con espuma como fluido circulante, manteniendo los pozos bajo presión, para comprender los beneficios que produce la utilización de los sistemas hidráulicos en los procesos de mantenimiento a los pozos petroleros.

1.2.- SISTEMAS HIDRAULICOS

Los sistemas hidráulicos Snubbing y Tubería Flexible se aplican en un amplio rango de profundidades en los pozos, de manera que son los más empleados actualmente en las operaciones de mantenimiento y reparación de pozos con presiones de hasta 350 kg/cm² y 7000⁽⁵⁾ metros de profundidad. A continuación se describen las características mecánicas y de operación de ambos sistemas:

1.2.1.- EQUIPO SNUBBING^(3,4,5)

El procedimiento Snubbing el cual permite que la tubería pueda ser trabajada a través de un estopero y con presión en el pozo ha sido desarrollado desde hace ya algún tiempo⁽⁴⁾. El equipo Snubbing actual es esencialmente un ajuste del principio Snubbing mencionado, para tener mayor flexibilidad y operaciones hidráulicas. Los sistemas iniciales fueron construidos para manejar pequeñas sargas, con tubería de 2 3/8 pg. de diámetro como máximo, actualmente se manejan eficientemente con tuberías de hasta 3 7/8 pg. de diámetro⁽⁵⁾. Esto es una razón para que el equipo Snubbing tenga un amplio rango de operaciones.

El arreglo general de los elementos principales de un Equipo Snubbing se muestra en la figura (I.1). La capacidad del equipo depende del número y tamaño de los cilindros, así como de la presión del sistema hidráulico. Es necesario indicar que la capacidad requerida de los sistemas Snubbing se han incrementado gradualmente a medida que los procedimientos fueran mejorados y aplicados a pozos profundos, actualmente se tienen 2 equipos Snubbing, de carrera corta y de carrera larga⁽⁵⁾, su elección depende de la longitud del pozo a tratar y de la operación a efectuar. En las tablas (I.1.1) y (I.1.2) se indican las características de operación para diferentes modelos de equipo Snubbing. Las aplicaciones de sistema son variadas, a continuación se --

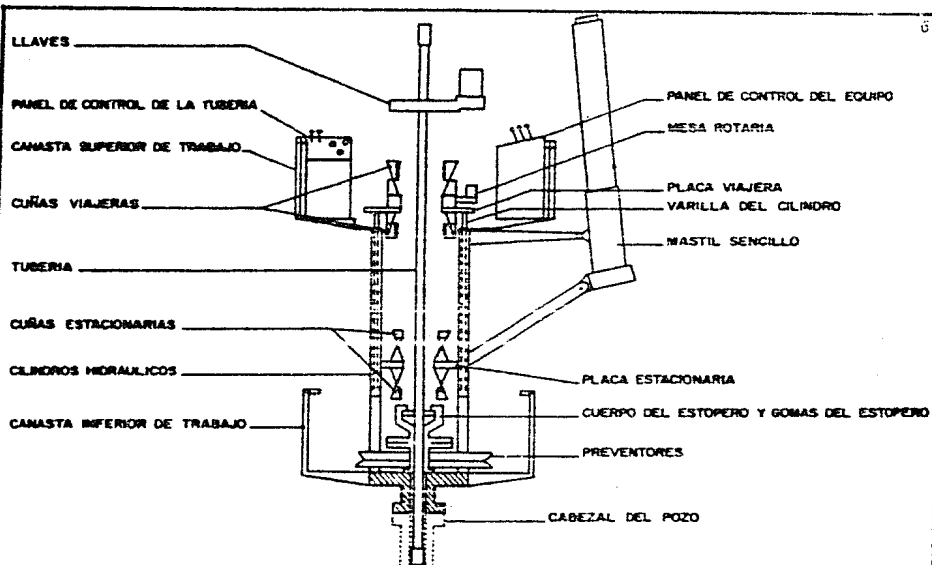


FIG. 1.1.- ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN EQUIPO SNUBBING HIDRAULICO

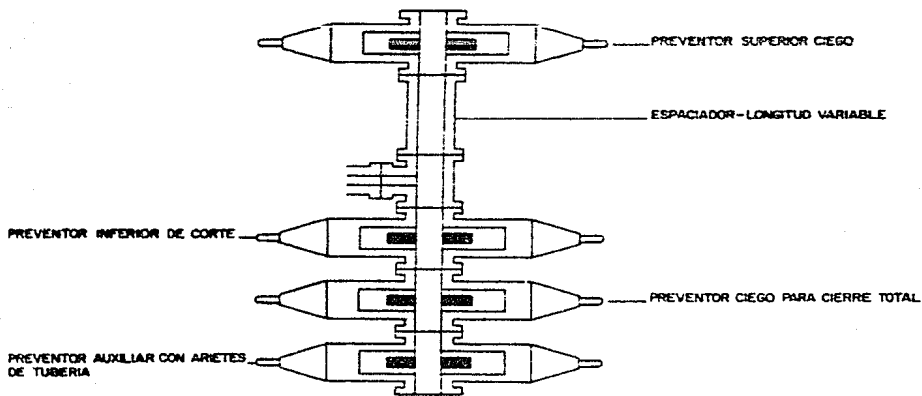


FIG. 1.2.- CONJUNTO DE PREVENTORES EMPLEADO EN LAS OPERACIONES DEL EQUIPO SNUBBING

mencionan algunas de las más importantes^(3,5).

PRINCIPALES APLICACIONES DEL EQUIPO HIDRAULICO SNUBBING

- 1.- REMOCION DE TAPONES DE ARENA
- 2.- CIRCULACION
- 3.- ACIDIFICACION
- 4.- PESCAS
- 5.- MOLIDO
- 6.- CEMENTACION
- 7.- INSTALACION DE SARTAS DE TERMINACION
- 8.- NUEVAS TERMINACIONES
- 9.- DISMINUCION DE DAÑOS A LA FORMACION
- 10.- OPERACIONES CON ESPUMA

TABLA I.1.1

CARACTERISTICAS DE LAS UNIDADES SNUBBING DE CARRERA LARGA

	MODELO HRL 120	MODELO HR 142
Máxima carga en el gancho (kgs)	53500	64600
Máxima carga del socavamiento (empuje) (kgs)	27200	32400
Velocidad descendente del bloque (m/min)	57.01	60.97
Velocidad ascendente del bloque (m/min)	54.26	59.75
Velocidad descendente @ máxima carga (m/min)	27.13	29.87
Velocidad ascendente @ máxima carga (m/min)	13.71	15.34
Peso del mastil (kgs)	6350	7250
Peso de los largueros (patines) (kgs)	2940	2940
Peso total del trailer (kgs)	27200	28100
Peso del paquete de potencia (kgs)	4000	4500
Potencia (HP)	238	318
Motor (estandar)	6V-71N	8V-71N
Rango de los diámetros de tubería (pg)	1 - 3½	1 - 5½
Torque de la rotaria (estandar) (m/kgs)	671.95	2015.8
Carrera (metros)	10.97	10.97
Máximo diámetro a través de la unidad (pg)	8	8

TABLA 1.1.2

CARACTERISTICAS DE UNIDADES SNUBBING DE CARRERA CORTA

	MODELO HRS 150	MODELO HRS 225	MODELO HRS 340	MODELO HRS 460	MODELO HRS 600
Máxima capacidad de arraste (kgs)	68380	106880	154260	208710	272230
Máxima capacidad de socavación (kgs)	29910	54440	85460	99810	117960
Velocidad descendente del bloque (m/min)	110.01	85.95	54.27	48.78	42.07
Velocidad ascendente del bloque (m/min)	85.67	88.72	67.99	46.95	36.59
Velocidad descendente del bloque máxima carga (m/min)	27.44	21.34	13.41	24.39	9.76
Velocidad ascendente del bloque máxima carga (m/min)	11.89	10.98	7.62	11.89	4.27
Peso del gato con 3 cuñas (kgs)	3170	6800	7710	10890	15420
Peso del paquete de potencia (kgs)	4080	4530	4530	4990	4990
Potencia (HP)	238	318	318	360	360
Motor (estandar)	6V-71N	8V-71N	8V-71N	8V-92N	8V-92N
Rango de los diámetros de tubería (pg)	1-2 7/8	1 - 5½	1-7 5/8	1-8 5/8	1-8 5/8
Torque de la rotaria (m/kgs)	1881	3359	3359	4434	2687
Carrera (metros)	3.05	3.05	3.05	3.05	4.27
Máximo diámetro a través de la unidad (pg)	8	11	11	11	15

Es obvio que la unidad Snubbing debe ser trabajada según la capacidad de la tubería y el peso máximo esperado. Muchos equipos hidráulicos están diseñados para operaciones de 175 y 210 kg/cm², como máximo. Un simple cálculo del área total del cilindro multiplicado por la presión hidráulica, proporcionará la capacidad de carga del sistema (extracción del agujero). Similarmente, el área anular total ó el área total del cilindro menos el área total de la varilla, multiplicada por la presión Snubbing proporcionará la capacidad de Snubbing. La capacidad de Snubbing debe ser igual a la presión del pozo multiplicada por el área de la herramienta, tubería o cople que esté siendo jalada a través del estopero menos el peso de la sarta y herramientas en el agujero⁽³⁾. El "gato" de 4 cilindros proporciona una flexibilidad adicional, si la máxima capacidad requerida es 50% o menor que el rango de la unidad, se puede utilizar la presión máxima en dos de los cuatro cilindros del equipo. Eliminando dos de los cilindros, la velocidad de la operación puede incrementarse al doble con un sistema HP ajustado. Así la velocidad de extracción o inyección de una sarta puede ser a mayor velocidad con un 50% de la capacidad del sistema.

El eslabón débil en la operación del sistema Snubbing es frecuentemente el elemento sellador⁽³⁾. Se tienen algunas alternativas para sellar dentro y fuera del agujero. Se puede emplear un elemento de hule o un estopero como se muestra en la figura (I.1). Este tipo de elemento es normalmente operado a 140.6 kg/cm² como máximo, pero algunos han sido usados actualmente a presiones de hasta 316 kg/cm². Cuando se encuentren pozos con altas presiones, los estoperos se "apilan" usando una válvula de seguridad ajustada a una presión intermedia entre dos estoperos. De esta manera la presión a través de cualquiera de los estoperos está limitada. El estopero es usado normalmente en unidades de tuberías pequeñas.

Para la aplicación a altas presiones, unidad Snubbing es usual

mente equipada con dos pequeños preventores de acción hidráulica ó un preventor gemelo con adecuados arietes de tubería, como se muestra en la figura (I.2). Los pequeños preventores o el gemelo son operados rápidamente desde un panel de control en la canasta del operador. Cuando se va a extraer una tubería de gran diámetro, los preventores más grandes se deben "apilar" abajo del "gato" sobre el cabezal como se muestra en la figura (I.2). Las presiones que pueden ser manejadas en todas las intervenciones dependen del rango de preventores disponibles. Los arietes de trabajo están equipados con arietes frontales. Para eliminar los reemplazos costosos de los arietes frontales se colocan elementos sellantes de reemplazo normal, sobre ellos.

De esta manera, las unidades Snubbing pueden manejar altas presiones de 492.2 kg/cm^2 , levantar pesadas sartas de tubería de 270,000 kg⁽⁵⁾ ó más y permitir movimientos ascendentes y descendentes con facilidad con los modernos sistemas hidráulicos. Otra característica de este sistema es que permite la rotación de la sarta. Las operaciones de lavado y muchas herramientas en el agujero asociadas con tuberías grandes requieren rotación de la sarta. El medio para la rotación puede ser visto en la figura (I.1). Una mesa rotatoria colocada sobre la cima de la placa viajera proporcionará el toque requerido para muchos trabajos de "Snubbing". Las operaciones de perforación son manejadas mucho mejor con la barrena en el agujero. La carga lateral sobre las varillas del cilindro es limitada y la pesada carga del torque debe ser aliviada con la mesa viajera en una posición baja o con la varilla del cilindro retractada.

Siempre debe considerarse la necesidad de emplear los preventores adecuados, para dar una mayor seguridad a las operaciones. Los equipos Snubbing están equipados como se muestra en la figura (I.2), con arietes de corte, arietes ciegos, arietes de seguridad y dos arietes de trabajo. Estos son operados hidráulicamente desde la posición alejada del operador, estación re-

mota y usualmente se tiene una tercera estación local. Una total capacidad de "retención" es obtenida por la fuente de potencia hidráulica además de la unidad sellante asociada con los preventores. Esta "retención" puede ser efectuada con sistemas Neumáticos y tanques de aire ó con un acumulador hidráulico cargado con bombas. De este modo en el caso de una falla del acumulador es posible controlar la extracción de tubería -- del pozo.

Las fuentes de energía tienen una amplia variedad de configuraciones. Los "caballos de fuerza" diseñados para un paquete de potencia deben ser adecuados para ejecutar todas las funciones necesarias en un lapso de tiempo razonable. Las características de carga y velocidad de los "gatos" Snubbing, discutidas anteriormente son factores determinantes, pero además, los circuitos hidráulicos deben ser considerados para las presiones y volúmenes del aceite hidráulico a fin de:

- 1).- Operar los malacates para mover rápidamente la tubería -- cuando viaja ó sale del agujero.
- 2).- Girar la mesa rotatoria.
- 3).- Operar los preventores y equilibrar las válvulas.
- 4).- Mantener la capacidad de contrapresión de los preventores.
- 5).- Operar las cuñas de las tuberías (si se emplean cuñas hidráulicas).
- 6).- Operar las llaves para tubería.

Las unidades portátiles diseñadas principalmente para trabajar en el mar, sobre una área remota, incorpora otra característica la cual es muy deseable para servicios severos. Un motor gemelo y una caja de engranes proporcionan derivación de la potencia para las bombas hidráulicas, las cuales, cuando se distribuyen adecuadamente, permiten reducir al máximo las operaciones snubbing con un motor completamente fuera de servicio.-

Esta característica es importante en las operaciones de fracturamiento ó acidificación, ya que permite que el trabajo se efectúe con mayor rapidez y con un ahorro de energía.

Se tiene una precaución especial en la planificación de la operación snubbing cuando se emplean herramientas especiales en el pozo. Los empacadores, motores de fondo de pozo, equipo perforador, herramientas de pesca, etc. deben ser manejados por el "gato" Snubbing. Las cámaras igualadoras deben ser adecuadas en tamaño para pasar y contener estas herramientas. Las dimensiones físicas del "gato" deben permitir la inserción y extracción de las herramientas. Tanto la placa fija como la viajera que soportan las cuñas deben ser calibrados a las dimensiones adecuadas.

Los sistemas Snubbing están equipados normalmente con todo el equipo auxiliar para manejar la tubería y con los requerimientos de circulación como en una sarta normal. Se tienen bombas de circulación; las bombas pequeñas para unidades lavadoras de arena, son impulsadas hidráulicamente desde el paquete de potencia. La distribución del flujo y los depósitos, son similares al de una sarta de perforación, las llaves y las herramientas de tubería; elevadores, etc. también son similares en cada uno de los casos.

Por otra parte una clase de unidades ligeras⁽⁵⁾ han sido ampliamente utilizados en la costa fuera del Golfo, para reparación de pozos sobre plataformas sencillas de peso limitado, en las cuales es inseguro el uso de sartas normales. Un ejemplo que favorece al Sistema Hidráulico Snubbing es la operación de "matar" un pozo con lodo. Los ahorros con el equipo Snubbing regularmente se aproximan del 20 al 30%. El ahorro con el tiempo de operación el cual es regularmente requerido para "limpiar" un pozo que ha sido sobrecargado con lodo, es muy significativo, resultando en un ahorro de dinero muy importante⁽³⁾. - Esto es otra característica de las operaciones efectuadas con-

el Sistema Hidráulico Snubbing que ha ocasionado que su empleo sea cada vez con mayor frecuencia, además de que el equipo está en un continuo estado de desarrollo para ampliar su rango de aplicaciones⁽⁴⁾.

I.2.2.- EQUIPO DE TUBERÍA FLEXIBLE^(3,5,6,7)

El Sistema Hidráulico de Tubería Flexible, tiene como ventajas principales sobre otros sistemas hidráulicos, la eliminación de las juntas tubulares⁽³⁾, su continuidad y la flexibilidad de la tubería para ser manejada con mayor eficiencia. Esta unidad está diseñada para ser transportada y operada con rapidez, de manera que al llegar a la localización, la grúa hidráulica montada en el trailer, remueve el equipo de preventores y la cabeza inyectora de Tubería Flexible del trailer y los instala sobre la cabeza del pozo. La larga tubería flexible almacenada en un carrete hidráulico, se suelta para ser jalada hacia el dispositivo alineador instalado antes de la cabeza inyectora y posteriormente inyectada en el pozo para efectuar la operación requerida. Todas las mangueras hidráulicas para la operación de la unidad permanecen conectadas en todo momento tanto durante el transporte como en la operación. Un panel de control, la bomba para la circulación de los fluidos, el tanque de almacenamiento, el equipo hidráulico para la rotación del carrete de tubería y el paquete de potencia hidráulico, están contruidos integralmente sobre la plataforma del tracto-camión. Los estribos de acción hidráulica estabilizan al trailer durante el desarrollo de la operación. El peso total del sistema es de aproximadamente 30,840 kg⁽³⁾, el tracto-camión cuenta con una capacidad de hasta 40,000 kg⁽⁵⁾.

La Tubería Flexible es introducida o extraída rápidamente del agujero. Esto no es sólo una ventaja desde el punto de vista de costo de unidad por tiempo de operación, sino también algunas prácticas de terminación son dependientes del tiempo para-

tener éxito. Los problemas de producción de arena y presencia de arcillas hinchables por ejemplo, se incrementan severamente a medida que el tiempo para la operación se prolonga. La cantidad de desprendimientos de roca en el fondo del agujero es reducida si el pozo es inmediatamente "inducido" a fluir. Igualmente la colocación de ácido en el agujero con la tubería y su desplazamiento mientras se mueve y retira rápidamente la tubería, utilizando el equipo flexible eliminará parte de la corrosión resultante en la T.R. Y LA T.P. Además algunos compuestos químicos son muy limitados en tiempo para alcanzar la finalidad por la cual fueron empleados, la utilización del equipo de tubería flexible ayuda notablemente a que la colocación de los químicos en el agujero sea más rápida y por lo tanto se obtengan mejores resultados de ellos.

Es preciso indicar que el uso de la tubería flexible tiene algunas limitaciones. La sarta de tubería flexible no puede ser girada como la tubería con juntas en la unidad Snubbing, sin embargo el porcentaje del pozos que requieren de esta característica es pequeña y no limita el uso de este equipo. También físicamente, el diámetro de la tubería está limitado, inicialmente se utilizó la tubería flexible de 3/4 de diámetro externo con 0.060 pg. de pared, en la práctica actual, la tubería de 1 pg. de diámetro con 0.060 pg. de pared es predominantemente empleada con mejores características hidráulicas, actualmente se tiene tubería flexible de hasta 1 1/2 pg. de diámetro⁽⁵⁾. El área pequeña del flujo es una limitación para trabajar gastos grandes y en algunas ocasiones resultan en muy altas pérdidas de presión. La tubería flexible esta sujeta a daños en algunos casos como un resultado del abuso mecánico. Su operación dentro de la tubería de diámetro grande presenta severos esfuerzos de curvaturas para cualquier tipo de tubería flexible. Así la tubería de 1 pg. de diámetro que se utiliza con más frecuencia puede ser empleada con seguridad para sólo 30 ó 40 aplicaciones como máximo⁽³⁾. La operación de doblés y el procedimiento de enderezamiento en la Cabeza Inyectora provoca

esfuerzos que dañan cíclicamente a la tubería. La presión hidráulica es utilizada para impulsar la tubería hacia o desde el pozo, mediante una cadena de rotación que ejerce dicha presión sobre la tubería. La abrasión de la cabeza inyectora y el movimiento de la tubería flexible dentro de las tuberías -- del pozo, provoca un adelgazamiento en una dirección axial sobre ella y por lo tanto es factible de que se presente una ruptura en la tubería. Las operaciones efectuadas a una alta velocidad de inyección pueden provocar un doblés repentino en caso de existir un bloqueo en la entrada del pozo.

Las costuras de las soldaduras efectuadas en las reparaciones de fugas de la tubería flexible es un procedimiento muy controlado, ya que frecuentemente es una fuente de fallas ocasionales. Estas son más sensibles a medida que la tubería opera en el pozo. Las tuberías flexibles pueden ser reparadas en el campo, si se tienen carretes disponibles para enrollar en ellos la tubería hasta alcanzar la sección defectuosa. Las reparaciones se logran cortando la sección dañada y posteriormente soldando. Se han hecho esfuerzos para desarrollar técnicas de soldaduras "flash" pero aún no se han logrado resultados satisfactorios ⁽³⁾.

La tubería flexible está fabricada en acero de bajo carbón, altamente dúctil, la costura soldada es mejor para lograr las características de flexibilidad. Las secciones de tubería ya fabricadas, son tratadas con calor y posteriormente unidas a la longitud deseada.

El uso del sistema de tubería flexible se ha incrementado, debido al desarrollo de herramientas diseñadas para operaciones especiales. De manera que los empacadores pueden ahora ser instalados con tubería flexible de 1 pg. en el interior de las tuberías grandes. Se tienen herramientas para desviar la carga en las válvulas mientras se opera en el agujero. Se emplea también para etiquetar la tubería de producción cuando se al--

canze el niple, para establecer una profundidad de referencia. Además los equipos de tubería flexible pueden ser utilizados - con aire, espuma ó nitrógeno y con el apropiado equipo de bombeo auxiliar, se puede lograr la presurización requerida.

Similarmente al equipo Snubbing, se tienen actualmente equipos de Tubería Flexible tanto para pozos profundos como para pozos someros, con tuberías flexibles de hasta 1½ pg. de diámetro, - con las mismas características hidráulicas, para eliminar algunos problemas de los pozos en forma más económica⁽⁶⁾.

1.3.- SISTEMAS HIDRAULICOS Y ESPUMA ⁽³⁾

El equipo de espuma está familiarizado con los sistemas hidráulicos, Snubbing y Tubería Flexible, de modo que frecuentemente - se ha clasificado como otro de los equipos que pertenecen a -- los sistemas hidráulicos, empleados para operaciones de reparación y mantenimiento de los pozos petroleros profundos⁽⁵⁾.

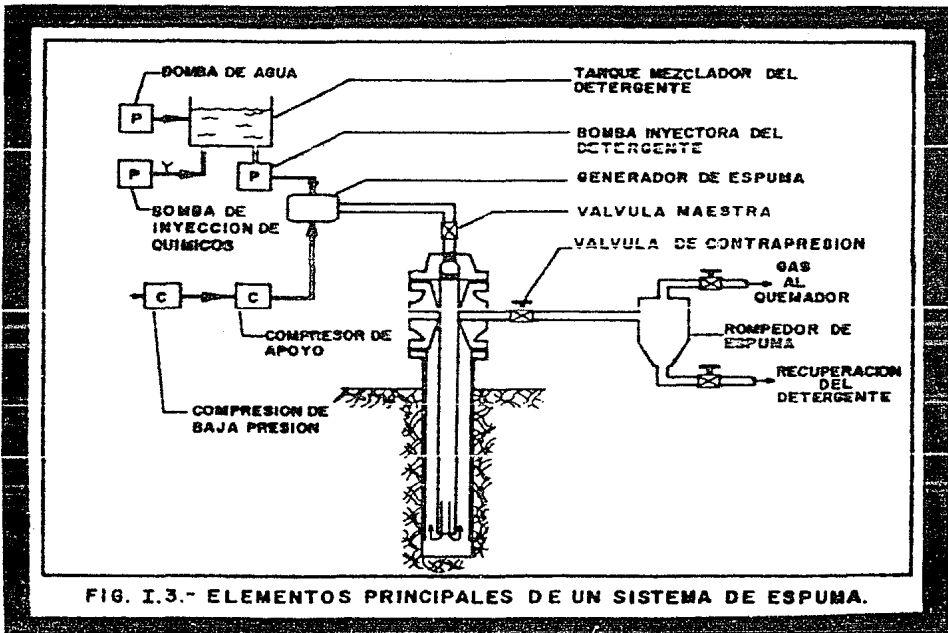
La perforación con aire es un antecesor de la espuma, ésta por tener mejor capacidad de "arrastré" es mucho más segura en el levantamiento de los recortes.

Generalmente el empleo de la espuma con los sistemas hidráulicos requiere del conocimiento de la presión de fondo del pozo, la exactitud de este valor depende de los datos hidráulicos -- adecuados, estos son, profundidad del pozo, diámetro de la tubería del sistema hidráulico empleado, diámetros de la T.P. y -- T.R., densidad de la espuma, regímenes de flujo, gastos de corte, densidad de los sólidos, gastos de fluidos aportados por - el pozo, etc. En ambos sistemas hidráulicos, los factores que se pueden controlar son⁽³⁾:

- 1).- Diámetro de la tubería del sistema (ya sea tubería flexible o con Snubbing).
- 2).- La contrapresión en el cabezal controlable con una válvula superficial.
- 3).- Volúmenes de gas ó líquido en la espuma.
- 4).- Gasto de espuma.

Dentro del equipo generador de espuma, los compresores empleados actualmente son alimentados con diesel debido a los requerimientos de caballos de fuerza. Tomando aire a temperatura ambiental para pozos de baja presión, requieren compresores -- que produzcan como mínimo $210 \text{ (kgm/cm}^2\text{)}$ ó que la tubería esté lo más cerca posible a la cabeza del pozo para eliminar pérdidas de presión. Para altas presiones de inyección un compresor de refuerzo debe ser usado. Además las unidades de espuma pueden recibir gas natural a presión como unidad de potencia. En ocasiones la presión del gas natural es de $42.2 \text{ (kgm/cm}^2\text{)}$ - se emplea en dos etapas de compresión de 200 H.P. con una presión de inyección de $246.1 \text{ (kgman/cm}^2\text{)}$. Lo más común es emplear aire o nitrógeno para presurizar, algunos operadores se niegan a utilizar gas natural para este objetivo, particularmente en costa fuera. Una característica de la espuma es que el gas sin importar su tipo, es contenido dentro de una "burbuja", y la ignición no puede ocurrir, al menos que el gas esté libre - para co-mezclarse con el aire, con espuma los incendios en el agujero se evitan. Ya en superficie la burbuja se romperá debido a la reducción de la presión, posteriormente la espuma se conduce hacia una localización remota para su rompimiento natural o hacia una localización segura. Además, la espuma auxilia a mantener dentro de la "burbuja", el H_2S en caso de ser producido por el pozo. Manteniendo intacta la espuma con contrapresión hasta una razonable distancia de la cabeza del pozo, se logra la seguridad del personal. Otro elemento empleado frecuentemente en los sistemas snubbing y tubería flexible es la bomba de inyección de detergente.

La operación coordinada de los Sistemas Hidráulicos Snubbing - Tubería Flexible en conjunto con espuma como fluido circulante aparece como una futura alternativa para alcanzar los objetivos de reparación y mantenimiento de pozos en forma más rápida y eficiente.



CAPITULO II

SISTEMA HIDRAULICO DE TUBERIA FLEXIBLE

II.1.- INTRODUCCION ^(1,8)

El sistema hidráulico de tubería flexible es un conjunto de componentes mecánicos e hidráulicos que se emplean generalmente para efectuar operaciones de reparación o mantenimiento en pozos petroleros ⁽⁸⁾ de hasta 7300 metros de profundidad y con una presión máxima permisible de 350 kg/cm^2 ^(1,8), sin necesidad de extraer la sarta de producción.

Las características principales de este equipo son la alta velocidad de extracción e introducción de tubería flexible debido esencialmente a su continuidad, la rapidez en la movilidad del equipo de una localización a otra y su fácil e inmediata instalación en el pozo a tratar. Originando con esto un gran ahorro de tiempo y dinero en las reparaciones a los pozos petroleros.

En este capítulo se describen los componentes principales del equipo de tubería flexible y posteriormente se enuncian los pesos, capacidades y especificaciones de ellos, a fin de tener una visión más amplia y correcta de sus elementos y comprender su funcionamiento cuando operan conjuntamente para lograr los objetivos de sus aplicaciones.

II.2.- COMPONENTES BASICOS ^(3,5,6,8,9)

Los componentes principales del sistema hidráulico de tubería flexible que hacen posible las operaciones de reparación en pozos petroleros profundos son los siguientes:

- 1.- TRANSPORTE
- 2.- CABINA DEL OPERADOR
- 3.- CONSOLA DE CONTROL
- 4.- GRUA HIDRAULICA
- 5.- CARRETE HIDRAULICO
- 6.- TUBERIA FLEXIBLE CONTINUA
- 7.- PAQUETE DE POTENCIA Y BOMBAS HIDRAULICAS
- 8.- CABEZA INYECTORA
- 9.- PREVENTORES

En la figura (II.1) se muestran esquemáticamente los componentes básicos del sistema.

Además, cuando la profundidad de los pozos es somera o intermedia, se emplean unidades de tubería flexible con algunas variantes en el diseño de sus componentes principales⁽⁶⁾, con la finalidad de ahorrar tiempo y dinero en las operaciones de reparación. Este tipo de unidad se muestra en la figura (II.2).

En el presente trabajo se presentan las características y aplicaciones de los equipos de tubería flexible disponibles para operar en pozos petroleros profundos.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellos, mencionado sus características principales, para tener una idea más acertada de su diseño mecánico. Se describen en-

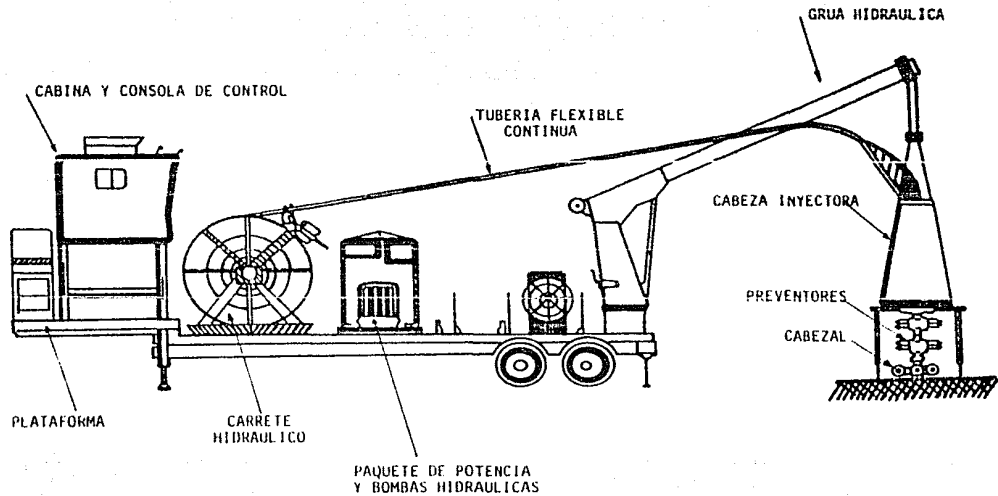
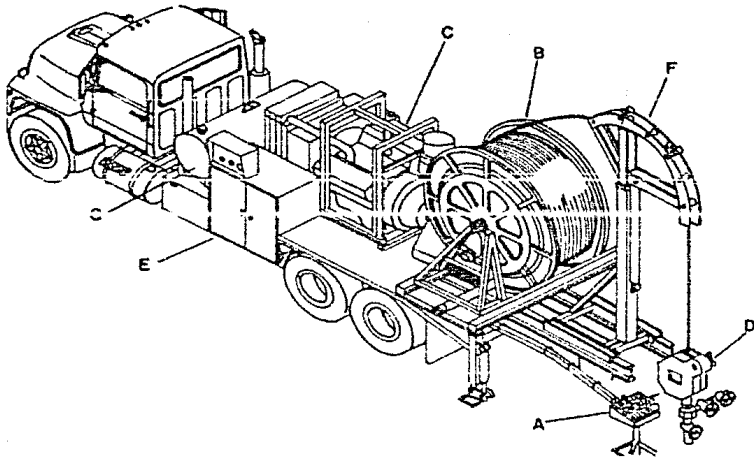


FIGURA II.1.- COMPONENTES BASICOS DEL SISTEMA HIDRAULICO DE TUBERIA FLEXIBLE



- A Consola de Control
- B Carrete de Tubería
- C Compresor
- D Cabeza Inyectora
- E Caja de Herramientas
- F Arco
- G Tanque

FIG.(II.2) EQUIPO DE TUBERIA FLEXIBLE PARA OPERACIONES EN POZOS SOMEROS E INTERMEDIOS.

el orden de la lista presentada anteriormente y posteriormente se mencionan algunos componentes adicionales del sistema.

II.2.1.- TRANSPORTE^(3,7,8)

La movilidad de la unidad de tubería flexible es una de sus características principales^(3,8) y una ventaja sobre otras unidades de reparación de pozos petroleros. Dependiendo de las condiciones de la localización del pozo a tratar, se elige el medio de transporte, de esta manera para su movilidad para pozos en tierra se emplea un tracto-camión, sobre el cual están colocados la mayoría de los componentes básicos del sistema⁽³⁾: el carrete con la tubería flexible enrollada, el paquete de potencia, la cabina y consola del operador, la grúa hidráulica, etc. fig. (II.3). La bomba que se emplea en las operaciones es transportada en un segundo tracto-camión aún cuando puede estar en el mismo. Para pozos lacustres⁽⁷⁾ ambos remolques se cargan en una barcaza, ajustados firmemente, la unidad se ensambla camino al pozo y únicamente los preventores necesitan ser llevados al pozo para su instalación. Para pozos marinos⁽⁷⁾, los componentes que están montados sobre rieles se sacan de las plataformas⁽⁸⁾ y se embarcan hacia el pozo, los patines de protección se mueven con manivelas o rodillos.

Las características generales para estos tres medios de transporte del equipo de tubería continua son⁽⁷⁾:

POZOS EN TIERRA.- Generalmente la plataforma sin el camión mide 13 metros de largo por 2.75 metros de ancho. Con el camión alcanza los 16 metros de largo. El tracto-camión está diseñado para una capacidad de trabajo de 35 toneladas. fig. (II.4).

POZOS LACUSTRES.- Cuando las condiciones predominantes en el pozo son en localizaciones pantanosas o lagunas, es recomendable una barcaza de transporte de 10.67 metros de ancho por 39.63

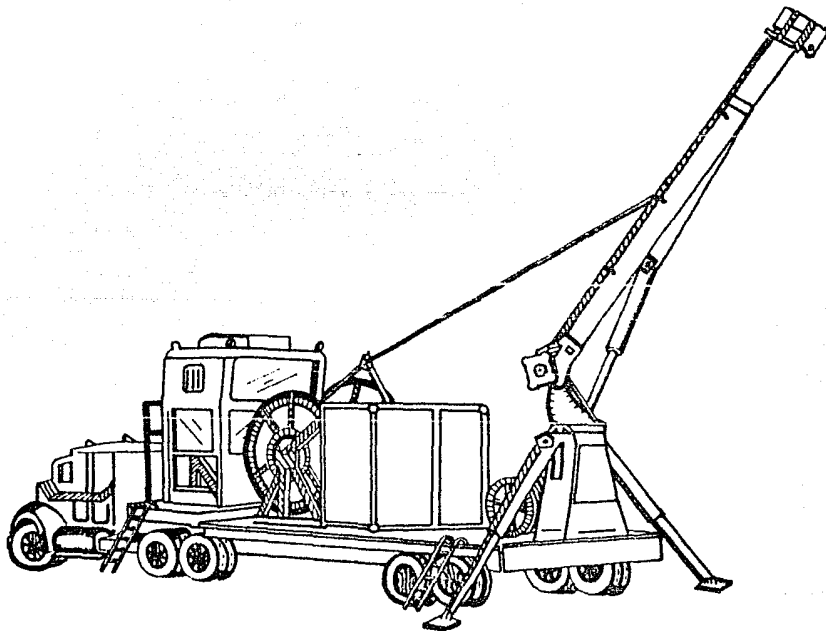


FIGURA 11.3.- VISTA TOTAL DEL TRACTO-CAMION

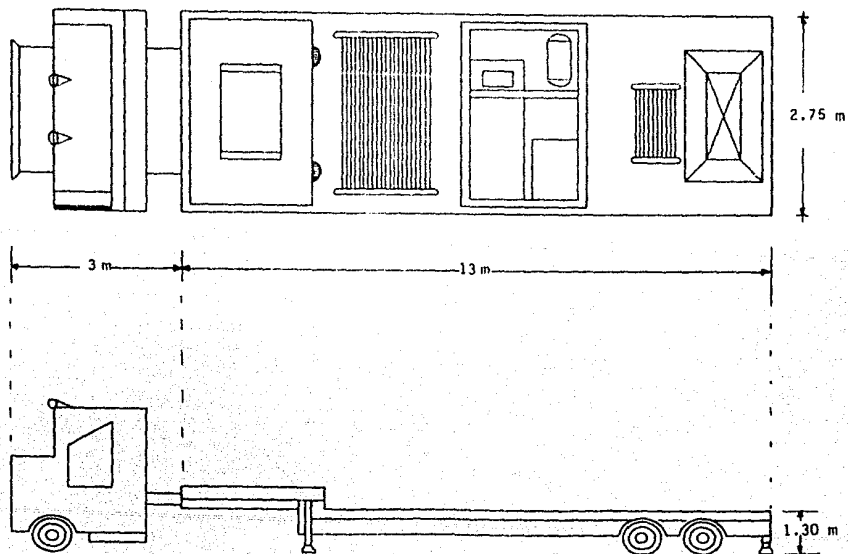


FIGURA 11.4.- PLATAFORMA REMOLCABLE Y TRACTO-CAMIÓN

metros de largo por 3.35 metros de alto, para el trabajo en -- mareas de aproximadamente un metro. Se pueden utilizar barca-- cazas más pequeñas para transporte en canales.

POZOS MARINOS.- Los componentes del equipo son removidos de -- las plataformas y se ajustan a una barcaza de las mismas dimen-- siones que para pozos lacustres cuando las mareas lo permitan. En caso de que el mar esté agitado se recomienda emplear bar-- cazas más grandes.

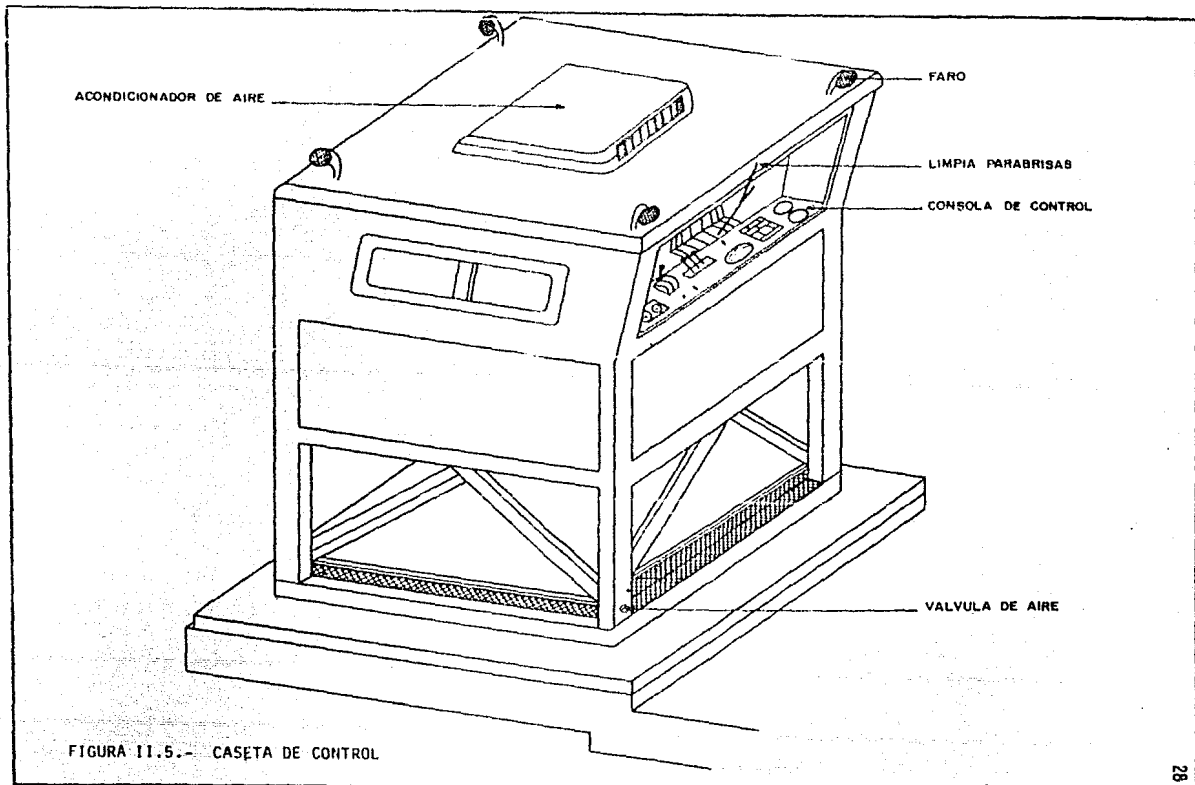
II.2.2.- CABINA O CASETA DE CONTROL^(5,9,9)

La cabina de control del operador, tiene como finalidad propor-- cionar una visibilidad completa de la unidad de tubería flexi-- ble en operación sobre el pozo⁽⁹⁾, además ofrece un sitio segu-- ro para que el operador maneje sin problema alguno, el tablero de control y obtenga una buena capacidad de monitoreo.

La caseta de control ensamblada sobre la plataforma del tracto-- camión, es autoelevable hasta una altura de aproximadamente 2 metros sobre el nivel de la plataforma, con el fin de dar al -- operador de la unidad un campo visual sin obstrucciones del e-- quipo y del cabezal del pozo⁽⁸⁾, por lo general está equipada -- con un dispositivo que controla la temperatura ambiental en su interior, figura II.5.

La cabina o caseta de control está diseñada para permitir su -- manejo en forma independiente y facilitar su transporte a loca-- lizaciones no accesibles para el tracto-camión o pozos en mar-- adentro⁽⁵⁾.

Al igual que el transporte, el tipo de caseta de control depen-- de de las condiciones de la localización del pozo a tratar, -- así es posible elegir entre las tres configuraciones siguien-- tes⁽⁵⁾:



- a).- Caseta de control o super sistema.- La cual se emplea con mayor regularidad en los pozos en tierra, son las casetas con mayores ventajas sobre los otros tipos de cabinas, - tales como más espacio interior, adecuada localización, - mayor campo visual el equipo, etc.
- b).- Caseta de configuración reducida.- Empleada generalmente en pozos cuya plataforma está construida por una barcaza: permite tener un espacio para maniobras más grande.
- c).- Cabina no ensamblada.- Esta configuración está diseñada - para tener un uso combinado tanto en pozos en tierra como mar adentro.

II.2.3.- CONSOLA DE CONTROL⁽⁶⁾

Es el componente a través del cual el operador de la unidad de tubería flexible tiene a su mando todos los controles requeridos para que la operación sea llevada a cabo con un amplio margen de seguridad⁽⁸⁾, sin dificultades y con un control adecuado de la totalidad del sistema. La consola de control constituye uno de los componentes del equipo de tubería flexible de mayor importancia y que requiere que siempre proporcione un gobierno eficiente sobre la unidad, ya que su correcto funcionamiento - permite al operador, observar y controlar el desarrollo de la operación, para que el objetivo de la intervención sea alcanzado eficientemente.

A continuación se identifican los controles e indicadores que están integrados a la consola de control, y que hacen posible el control de la unidad de tubería flexible⁽⁸⁾:

- 1.- Indicador de la presión hidráulica de apertura y cierre - de los preventores.
- 2.- Control e indicador de la presión de los estoperos sobre la tubería.

- 3.- Indicador de la presión en la cabeza inyectora.
 - 4.- Freno de la cabeza inyectora'
 - 5.- Control de la dirección (introducción o extracción) de la cabeza inyectora.
 - 6.- Indicador del peso de la tubería flexible.
 - 7.- Indicador de la presión en el carrete de tubería.
 - 8.- Interruptor de emergencia.
 - 9.- Control del carrete pivote.
 - 10.- Control de la velocidad (ALTA-BAJA) de la cabeza inyectora.
 - 11.- Indicador y regulador de la presión de tracción de la cabeza inyectora.
 - 12.- Indicador de la presión de circulación.
 - 13.- Control del carrete hidráulico.
 - 14.- Control del rodamiento del carrete pivote.
 - 15.- Control de preventores.
 - 16.- Lubricador del inyector.
 - 17.- Control abastecedor del estopero.
 - 18.- Control de la presión de ajuste de la cabeza inyectora.
 - 19.- Cuerno de aire.
 - 20.- Acelerador del motor.
 - 21.- Indicador de la presión en la cabeza del pozo.
 - 22.- Presión de ajuste del carrete
- En la figura II.6 se identifican esquemáticamente los anteriores controles e indicadores de la consola de control.

II.2.4.- GRUA HIDRAULICA ^(5,7,8,9)

Se encuentra ensamblada en el centro de la sección posterior -

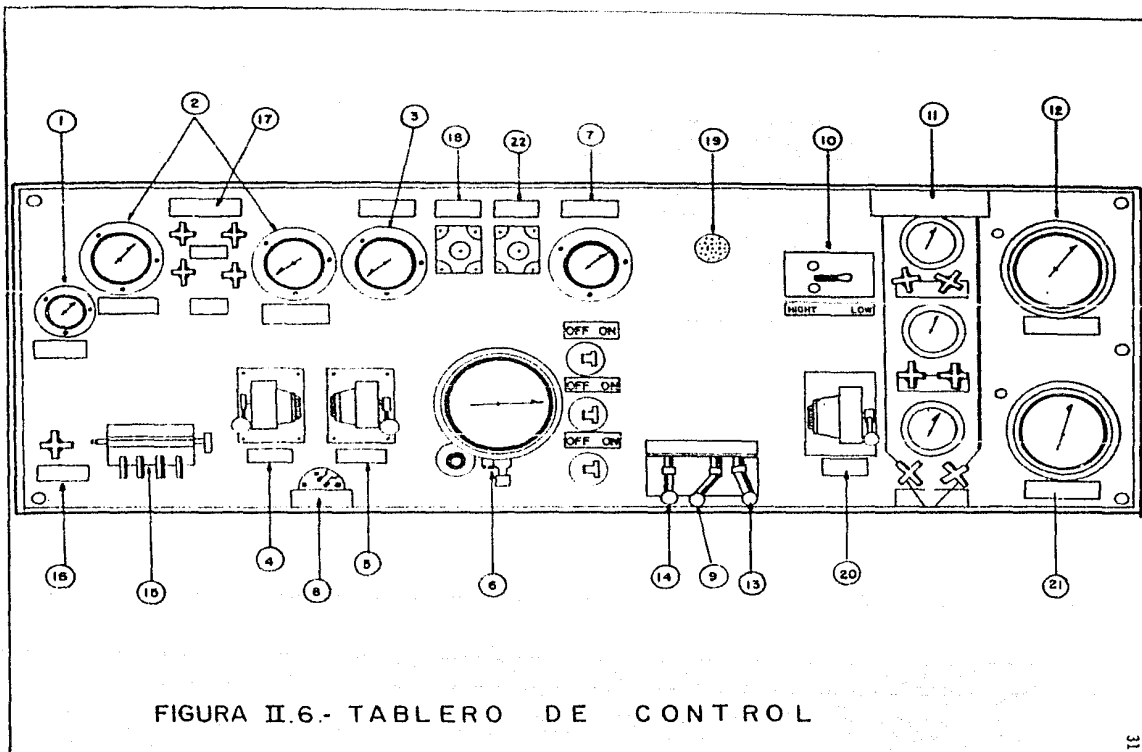


FIGURA II.6.- TABLERO DE CONTROL

de la plataforma del tracto-camión y constituye el elemento de carga y soporte en el equipo de tubería flexible. Se emplea con eficiencia en las maniobras de instalación y desmantelamiento de la unidad⁽⁹⁾, así como en la colocación apropiada de los preventores sobre la cabeza del pozo. Figura II.7

Está constituida de un circuito hidráulico que transmite la potencia necesaria para su izamiento o abatimiento a la velocidad requerida. Además es el punto a partir del cual se toma la tensión constante requerida para conservar la tubería flexible enrollada en el carrete⁽⁷⁾.

La grúa hidráulica mantiene a la cabeza inyectora en posición vertical sobre el cabezal, cuando la unidad está en operación⁽⁹⁾, de manera que elimina totalmente todas las tracciones laterales sobre las conexiones en la cabeza del pozo⁽⁷⁾.

Está diseñada para un radio de trabajo de 11.58 a 16.15 metros a partir de la plataforma del tracto-camión^(5,8) y con libertad de movimiento lateral según lo requieran las condiciones de colocación de la unidad sobre la cabeza del pozo, su capacidad de trabajo es de 10^(5,8) a 15 toneladas⁽⁵⁾. Figura (II.8).

II.2.5.- CARRETE HIDRAULICO^(5,8,9)

Este elemento es empleado para almacenar, transportar y enrollar la tubería flexible continua del sistema⁽⁸⁾, independientemente del diámetro de la tubería, así puede almacenar tubería de 3/4, 1, 1½ y actualmente de 1½ pg de diámetro externo.

A través de mangueras de alta presión se le suministra potencia hidráulica para su impulso y rotación, además su capacidad de movimiento giratorio de 20 grados a la izquierda del centro del tracto-camión le permite que el equipo de tubería flexible se alinee a todas las diferentes configuraciones de cabezales⁽⁵⁾,

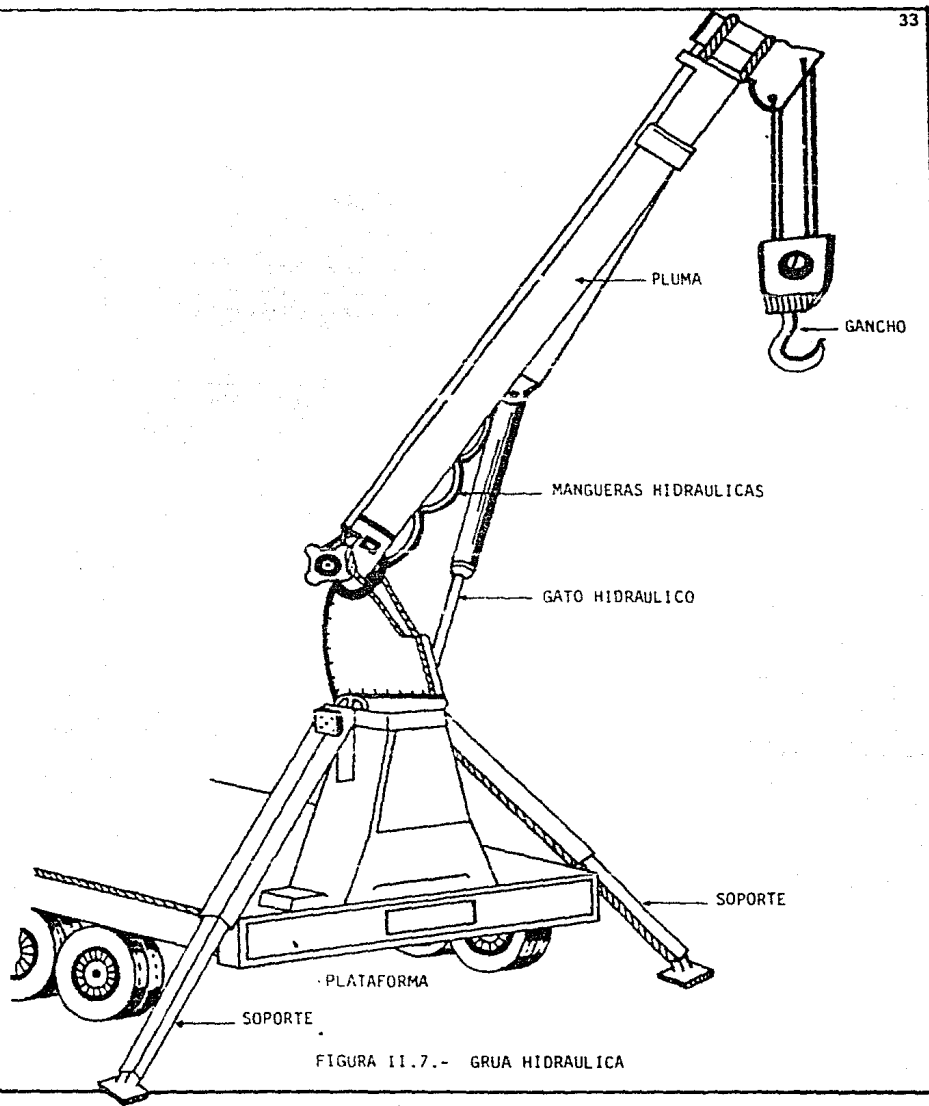


FIGURA II.7.- GRUA HIDRAULICA

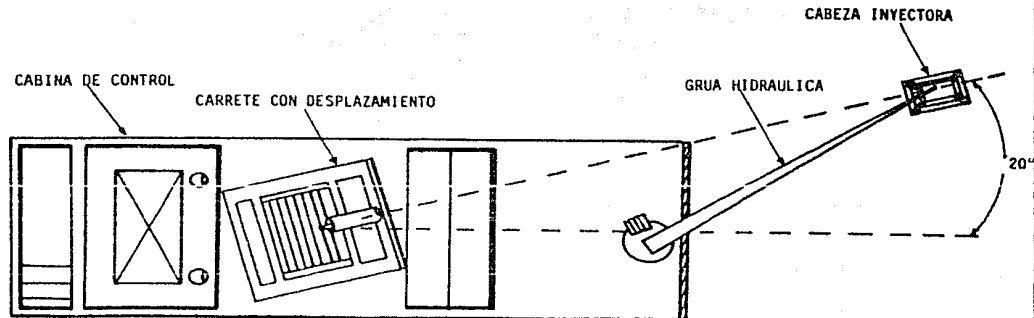


FIGURA 11.8.- DESPLAZAMIENTO DEL CARRETE HIDRAULICO Y DE LA GRUA

figura (II.8). Es necesario hacer notar que no tiene potencia para introducir o extraer la tubería continúa; esta es función de la cabeza inyectora⁽⁹⁾.

La conexión de la unión giratoria ajustada en el centro del carrete hidráulico, permite la circulación de fluidos, los cuales a su vez son bombeados hacia la tubería^(5,8), figura (II.9). Además tiene ensamblado un dispositivo mecánico de enrollado automático, para almacenar uniformemente la tubería flexible a lo largo de todo el carrete y así evitar problemas de traslape. Este dispositivo está colocado sobre el nivel del carrete.

Generalmente sus dimensiones son de 2.43 metros de ancho por - 3.04 metros de diámetro. Cuando está completamente cargado, - el carrete y la tubería pesan aproximadamente 7250.0 kgs., sin embargo para aplicaciones mar adentro el peso de ambos no debe exceder de 4500 kgs.

II.2.6.- TUBERIA FLEXIBLE CONTINUA^(3,5,7,8)

Constituye la sarta de trabajo del sistema hidráulico, ya que es el elemento de ataque en el interior del pozo. La tuberías de acero delgado y su característica principal es que está diseñada con una alta flexibilidad, lo cual permite que se pueda enrollar sin llegar a deformarse, esto a la vez produce que su transporte sea posible con una gran rapidez de una localización a otra. Otra característica de la tubería flexible es su continuidad, de manera que las juntas y las herramientas para conexión no son necesarias, permitiendo que inmediatamente se establezca circulación de fluidos desde el momento de la inyección inicial hasta el extremo inferior de la tubería a medida que ésta es introducida en el pozo⁽⁸⁾. Además la introducción y extracción de la tubería flexible es significativamente más rápida y segura, permitiendo que el objetivo de la intervención se alcance en tiempos cortos. Es posible alcanzar velocidades de introducción o extracción de hasta 91.4 m/min (300 pies/- -

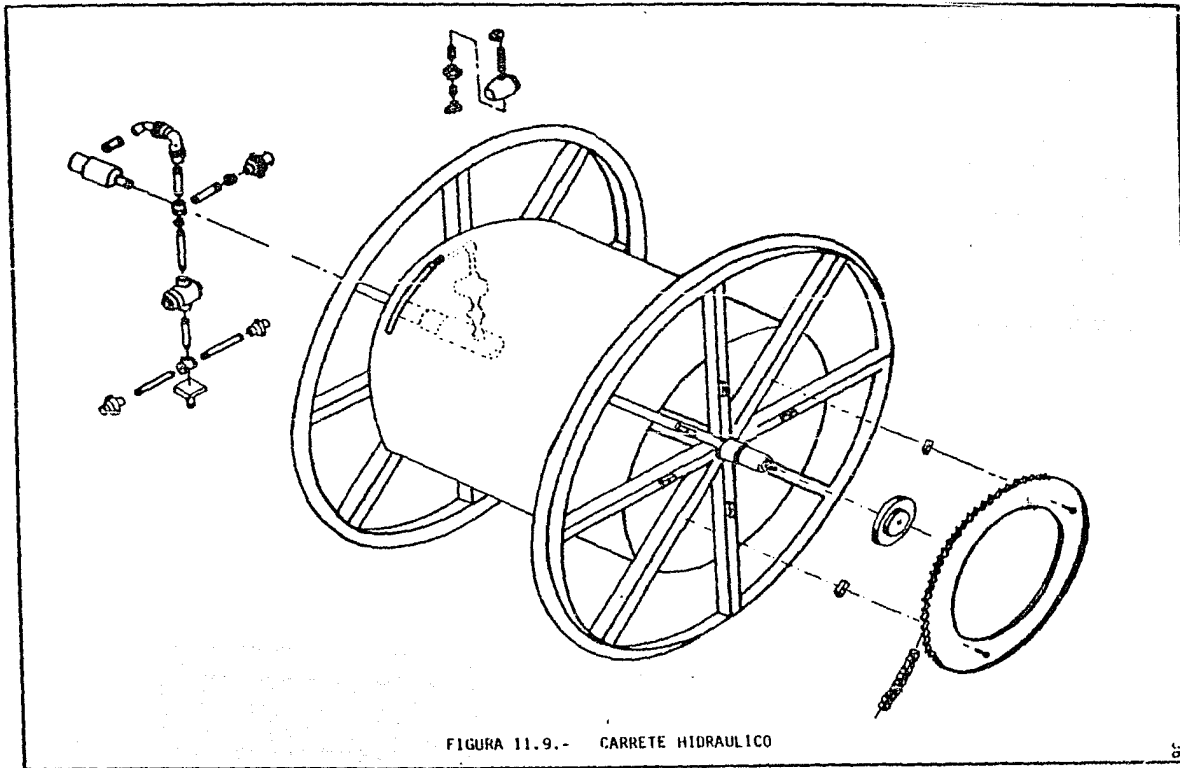


FIGURA 11.9.- CARRETE HIDRAULICO

min⁽⁵⁾).

Originalmente la tubería flexible se fabrica en longitudes de 304.8 metros (1000 pies) a 1036.5 metros (3400 pies) y posteriormente se prepara en rollos a la longitud deseada empleando soldadura de argón a tope, y después se prueba a 386.7 kg/cm² toda la tubería⁽⁷⁾. No se tiene un límite exacto de profundidad para el funcionamiento de la tubería continúa, sin embargo, aunque se manejen longitudes de hasta aproximadamente 7000 m (22000 pies), la vida útil mejora considerablemente en pozos someros de 3048.7 metros (10000 pies), debido principalmente a las cargas de tensión y ruptura (al aumentar las cargas de tensión, la presión interna debe disminuirse)⁽⁷⁾. Las tuberías flexibles más comunes empleadas en los trabajos de reparación son de 3/4, 1, 1½ y actualmente de 1½ (pg) de diámetro externo y cada una de ellas llega en tres espesores: ligera, media y pesada⁽⁹⁾.

La tubería flexible es el elemento de mayor fricción del sistema, y a la vez sufre deformaciones en la fábrica, transporte, carrete de almacenamiento, en cada entrada al pozo pasa de su posición curva a recta, en la cabeza inyectora, etc., de manera que sus características originales de diseño, disminuyen en calidad rápidamente, por ello es necesario conocer la carga exacta de tensión sobre la tubería en todo momento por medio de una celda de carga y un disco indicador. Generalmente la tubería flexible trabaja con alta eficiencia y confiabilidad durante aproximadamente 40 intervenciones.

La unidad de tubería flexible tiene ensamblado un dispositivo mecánico que mide la cantidad de tubería que se encuentra en el pozo⁽⁵⁾. Esta medida se hace cuando la tubería se encuentra en tensión para tener un alto grado de confianza en la profundidad alcanzada⁽⁷⁾. Este dispositivo se encuentra integrado ya sea en la guía de tubería sobre el carrete o bien entre los preventores y la cabeza inyectora. Fácilmente se ajusta para su empleo con diferentes diámetros de tubería flexible figura-

(II.10).

Algunos de los fluidos que pueden ser bombeados a través de la tubería flexible son⁽⁷⁾:

Agua dulce	Acido
Agua salada (salmuera)	Diesel
Agua pesada	Aceite caliente
Gas natural	Petróleo crudo
Inhibidores	Lodo de hasta 2.03 gr/cm ²
Nitrógeno	Cemento de hasta 1.86 gr/cm ³
Espuma	Plásticos para la consolidación de arenas

II.2.6.1 FORMULAS PARA EL CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LA TUBERIA FLEXIBLE

A).- Tensión sobre la tubería.- Es el esfuerzo a que está sometida la tubería debido a su propio peso. La tensión - máxima permisible está en función de la resistencia del material con que está construida y de su peso unitario.

$$T = PU * L * FF$$

Donde: T = Tensión sobre la tubería [kg]

PU = Peso unitario de la tubería [Kg/metro]

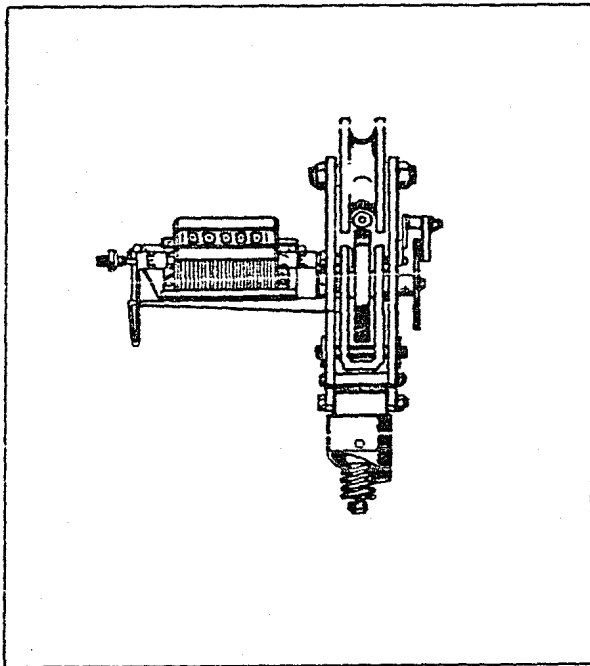
L = Longitud de tubería en el pozo [metros]

FF = Factor de flotación, definido por:

$$FF = \left(1 - \frac{f}{a}\right) \quad \text{donde } f = \text{Densidad del fluido de -- trabajo}$$

a = Densidad del acero (7.85 gr/cm³)

B).- Presión interna en la tubería flexible.- Es la presión -



CONTADOR DE TUBERIA FLEXIBLE

FIGURA II.10

que ejerce el fluido de trabajo en la pared interior de la tubería.

$$PI = \frac{2 * EC * E}{DETF}$$

Donde = PI = Presión interna [kg/cm²]

EC = Esfuerzo de Cedencia -
[kg/cm²]=4927 (kg/cm²)

E = Espesor de la tubería flexible [pg]

DETF = Diámetro externo de la tubería flexible [pg]

C).- Capacidad de la tubería Flexible.- Es el volumen de fluido por unidad de longitud que es posible tener en la tubería flexible.

$$CTE = 0.50679 \times (DI)^2$$

Donde: CTF = Capacidad de la tubería - flexible [litros/metro]

DI - Diámetro interno de la tubería flexible [pg]

D).- Tiempo de acarreo.- Comprende el tiempo que tarda en viajar el fluido de trabajo desde la boca de la tubería flexible hasta superficie, cuando se está trabajando dentro de la sarta de producción.

$$TA = \frac{VEA}{Q}$$

Donde.- TA = Tiempo de acarreo [min]

VEA = Volumen en el espacio anular -- formado por la tubería flexible y la sarta de producción [m³]

$$VEA = (DITP^2 - DETF^2) * 0.50679$$

donde.-DITP = Diámetro interior de la T.P. [pg]

DETF = Diámetro exterior
de la tubería flexible [pg]

Q = Gasto de operación a través de la -
tubería flexible [m^3/min].

II.2.7.- PAQUETE DE POTENCIA Y BOMBAS HIDRAULICAS^(5,7,8,9,10)

II.2.7.1.- PAQUETE DE POTENCIA

Está constituido generalmente de un motor "GENERAL MOTOR" - - GM-471 o "DETROIT" 8V-71 de combustión interna, con 160 HP^(5,7,8,9), el cual impulsa sucesivamente a la bomba hidráulica principal y a las tres bombas hidráulicas auxiliares en caso de requerir mayor potencia se emplea un motor GM-6V-71 de combustión-interna de 238 HP⁽⁵⁾.

Los sistemas principales del motor son:

- a).- SISTEMA DE COMBUSTION.- Formado por el circuito que - - abastece de combustible al motor para la generación de la potencia requerida. Está compuesta de inyectores, - tuberías de entrada y de retorno, múltiples de combustible, filtros primarios, bomba de combustible y líneas - de suministro.
- b).- SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.- Se utiliza para mantener los cilindros, llenos de aire limpio al inicio de la carrera de compresión del pistón, con el fin de mantener-constantemente una combustión eficiente, el aire ayuda-también a enfriar las partes interiores del motor. Está formado por filtros, lóbulos de retornos, soplador,-lumbreras y válvulas.
- c).- SISTEMA DE LUBRICACION.- Utilizado para mantener el mínimo contacto posible entre los elementos mecánicos del

motor, disminuyendo la fricción entre ellos. Se emplea generalmente un aceite especial como fluido lubricante. Este sistema está formado por un conjunto de cedazos y tubos de succión, bomba de aceite, reguladores de presión, filtro de circulación total con válvula de derivación y enfriador de aceite.

Se tiene dentro del motor una presión estabilizada del lubricante de 27 kg/cm^2 , sin importar la velocidad del motor y la temperatura del aceite.

- d).- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.- Este sistema se emplea para absorber el calor generado en el proceso de combustión y del aceite lubricante, mediante un sistema de radiador. El agua limpia se emplea como fluido de enfriamiento más algún líquido anticorrosivo. Las partes del sistema son: el radiador, bombas de agua, enfriador de aceite, termostato, tubo de derivación, válvula del termostato. La temperatura de operación del sistema es de 77°C como mínimo, y en caso de ponerse en marcha el motor en frío, la válvula del termostato restringe el flujo de agua hacia el radiador hasta que se rebasa esta temperatura.
- e).- SISTEMA DE ESCAPE.- Se emplea para el deshecho eficiente de los gases producidos durante el proceso de combustión. Está formado por un múltiple de escape, bridas, conexión flexible, lumbreras.
- f).- TABLERO DE INSTRUMENTOS.- Se emplea para tener un control de las condiciones en las cuales opera el motor.- está integrado de:
- Tacómetro Mecánico.-Registra las rotaciones por minuto.
 - Amperímetro de Carga.-Registra la cantidad de corriente que entra y sale del acumulador.
 - Indicador de Temperatura.-Se registra en el múltiple-

de agua, la temperatura normal es de 180°C.

- Indicador de la presión de aceite.

II.2.7.2.- BOMBAS HIDRAULICAS

El motor "GENERAL MOTOR" impulsa sucesivamente a la bomba triplex hidráulica principal y a las tres bombas auxiliares⁽⁸⁾, - estas a su vez proporcionan la energía necesaria para formar los circuitos hidráulicos del sistema, los cuales se explican en el capítulo siguiente. Figura (II.11).

La bomba triplex opera a una presión máxima de 310 kg/cm²⁽⁷⁾, - y suministra la presión necesaria para bombear los fluidos a través de la tubería flexible, se opera directamente desde la consola del operador por medio de dos válvulas neumáticas, -- con una de ellas se hacen los cambios de velocidades de inyección y con la otra se controlan los cambios de presión y gasto.

Los sistemas principales de la bomba triplex hidráulica principal son:

- a).- SISTEMA IMPULSOR.- Proporciona la potencia necesaria para el movimiento rotatorio de la flecha. Está formado por la transmisión de cuatro velocidades acoplada al motor, actuadores neumáticos, la flecha, eje, chumace--ras, catarinas Triples y cadena de roles de 114 eslabones, eje principal, además cuenta con una mirilla para conocer el nivel del aceite de lubricación en las cadenas.
- b).- SISTEMA MECANICO.- Es el conjunto de elementos inter--nos que convierten el movimiento rotatorio de la flecha en un movimiento lineal, está formado por las chumace--ras, tres cilindros integrados excéntricamente formado--

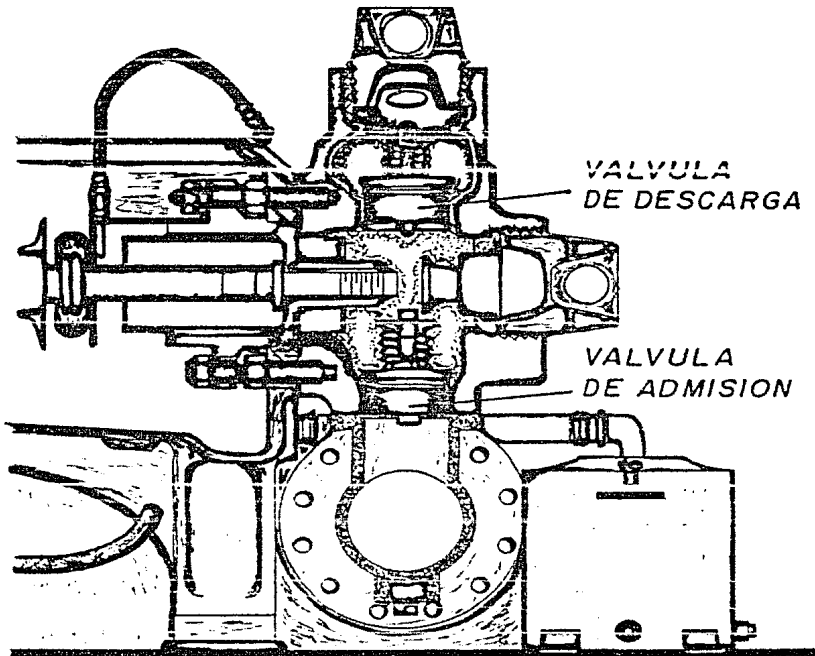


Fig.(II.II) OPERACION DEL PISTON Y LAS VALVULAS
DE LA BOMBA TRIPLEX

en conjunto un cigüeñal, bielas, émbolos, camisas, vástagos, discos, prensaestopas, válvulas, etc.

- c).- SISTEMA HIDRAULICO.- Es la serie de ductos y válvulas que permiten la circulación del fluido de trabajo, a el cual la bomba le suministrará la potencia necesaria para ser impulsada a través de la tubería flexible. Está formado por ductos interiores de admisión y de expulsión, válvulas de succión y descarga, prensaestopas, etc.
- d).- SISTEMA DE DESCARGA A ALTA PRESION.- Constituye el conjunto de ductos y válvulas que controlan la descarga del fluido de trabajo. Los elementos que la forman son: la válvula de seguridad regulable la cual se calibra a la presión requerida y el tubo de descarga.

Bajo varias condiciones de campo, los gastos de inyección y las presiones superficiales, para la tubería flexible de 3/4-pg. de diámetro, son generalmente las siguientes ⁽¹⁰⁾:

FLUIDO	GASTO DE INYECCION	PRESION [kg/cm ²]
Agua	0.25 BPM	280
Reductor de fricción del agua	0.40 BPM	280
Reductor de fricción del cemento	2 BPM	240
Nitrógeno	900 pies ³ /min	350

II.2.8.- CABEZA INYECTORA ^(1,2,5,8,9)

Es el elemento del sistema hidráulico que cuenta con la potencia necesaria para introducir, extraer o mantener en tensión a la tubería flexible dentro del pozo, la potencia es transmitida hacia la tubería por medio de cadenas continuas impulsoras, las cuales están integradas a dos motores hidráulicos de

190 HP operando en paralelo a una velocidad continúa de 300 - R.P.M.⁽⁵⁾ La tubería flexible es atrapada por cojinetes de agarrere o bloques de fricción^(1,9), los cuales proporcionan un contacto de casi 360° con su diámetro externo⁽⁸⁾.

La cabeza inyectora puede operar con una carga de hasta 5,500 kg⁽⁹⁾ y es capaz de inyectar tubería con una velocidad máxima de 91.4 metros/min⁽⁵⁾, además puede ser fácilmente modificada para permitir su uso con tubería de 1½, 1¼, 1, ¾ de pulgada de diámetro externo.

II.2.8.1.- SISTEMAS PRINCIPALES

La cabeza hidráulica inyectora está constituida de los tres sistemas siguientes:

- a).- SISTEMA IMPULSOR.- El cual proporciona el movimiento circular de las cadenas continuas. Está construido de los dos motores hidráulicos, las flechas de impulso, chumaceras de rodamientos, catarinas dobles y roles.
- b).- SISTEMA TENSOR DE CADENAS.- Este sistema mantiene a las cadenas continuas siempre en tensión para que a presiones firmemente a la tubería flexible, permitiendo que su extracción e inyección sea segura y rápida. Está formado por tres pares de cilindros hidráulicos operando con rangos de presión de 0 a 70 kg/cm², enlazados a las flechas. Se opera desde el tablero de control por medio de la válvula de aguja de admisión y de purga.
- c).- SISTEMA DE FRENADO.- Es el sistema de seguridad y control sobre la cabeza inyectora, está formado por dos discos de fricción, en los que las balatas del actuador mecánico, permite frenar cuando sea necesario durante la operación.

Los componentes principales de este sistema se distin--

guen en las figuras (II.12) y (II.13).

Además en su sección superior tiene integrado un dispositivo llamado "CUELLO DE GANSO"⁽⁹⁾, figura (II.14), llamado así, debido a su forma geométrica, el cual se utiliza para guiar la tubería flexible hacia los cojinetes de agarre dentro de la cabeza inyectora durante su extracción o inyección hacia el pozo. En la parte inferior se encuentra el soporte de cuatro patas, el cual se apoya firmemente en el terreno, para dar una mayor firmeza a la cabeza sobre dos preventores y sobre el piso de trabajo.

Es necesario hacer notar que cuenta con un engrane sincronizado e integrado para el caso de una falla del motor, con esto se asegura su operación continuada⁽⁸⁾.

La cabeza inyectora se coloca en la parte superior del cabezal, conectándose a los preventores y al estopero. Para su instalación se emplea la grúa hidráulica, además de que ésta la mantiene suspendida en forma vertical sobre el cabezal durante el desarrollo de la operación. Su transporte de una localización a otra, puede hacerse en forma independiente⁽⁵⁾.

II.2.8.2.- DETERMINACION DE VELOCIDAD Y ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA⁽²⁾.

a).- Profundidad del nivel de fluidos. Debido a la columna hidrostática formada por el fluido dentro del pozo, de esta manera, si el nivel se encuentra a gran profundidad, la velocidad será alta ya que no se tiene una columna hidrostática que vencer, y por el contrario si el nivel se localiza a poca profundidad, la velocidad es menor ya que es necesario levantar y desalojar el fluido a medida que la tubería flexible es introducida dentro del pozo.

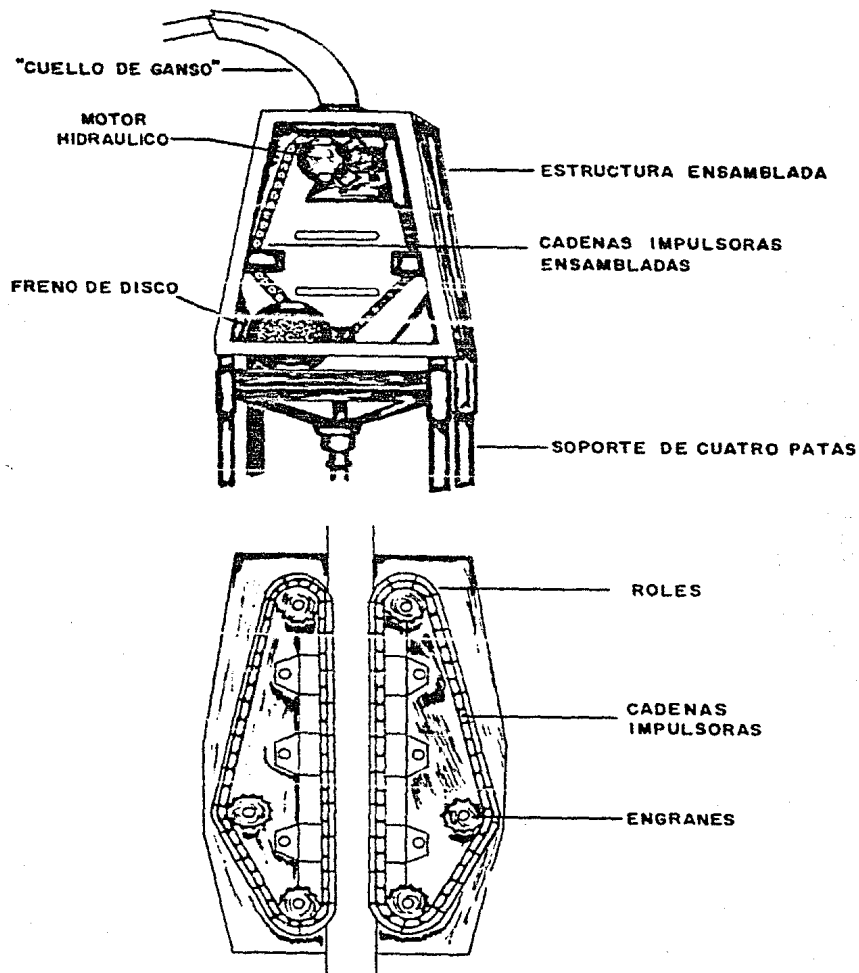


FIG.(II.12) CABEZA INYECTORA — CADENAS,ROLES Y FRENO.

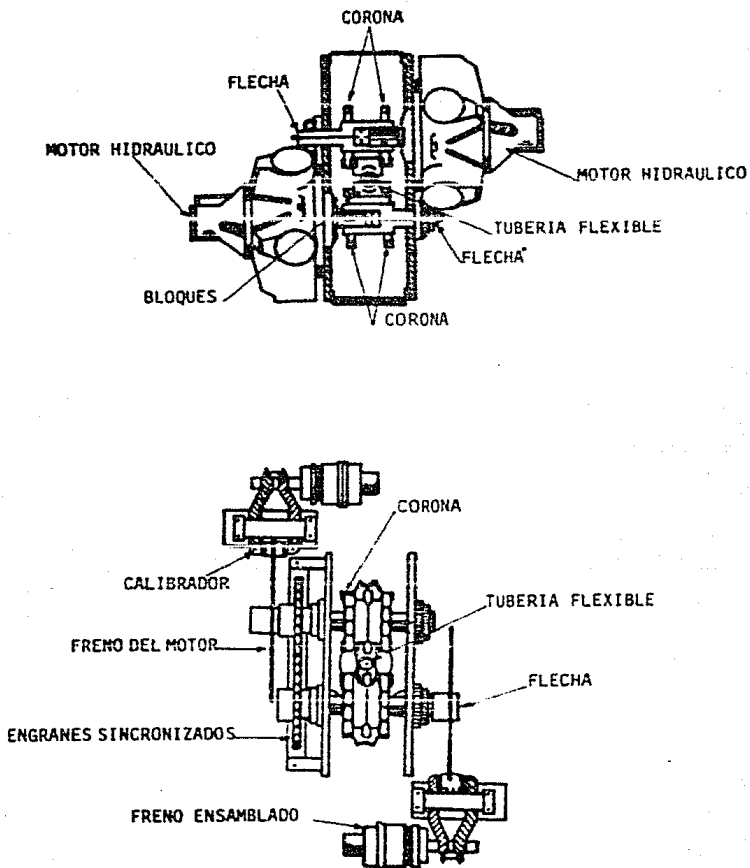


FIGURA II.13.- PRINCIPALES COMPONENTES DE LA CABEZA INYECTORA

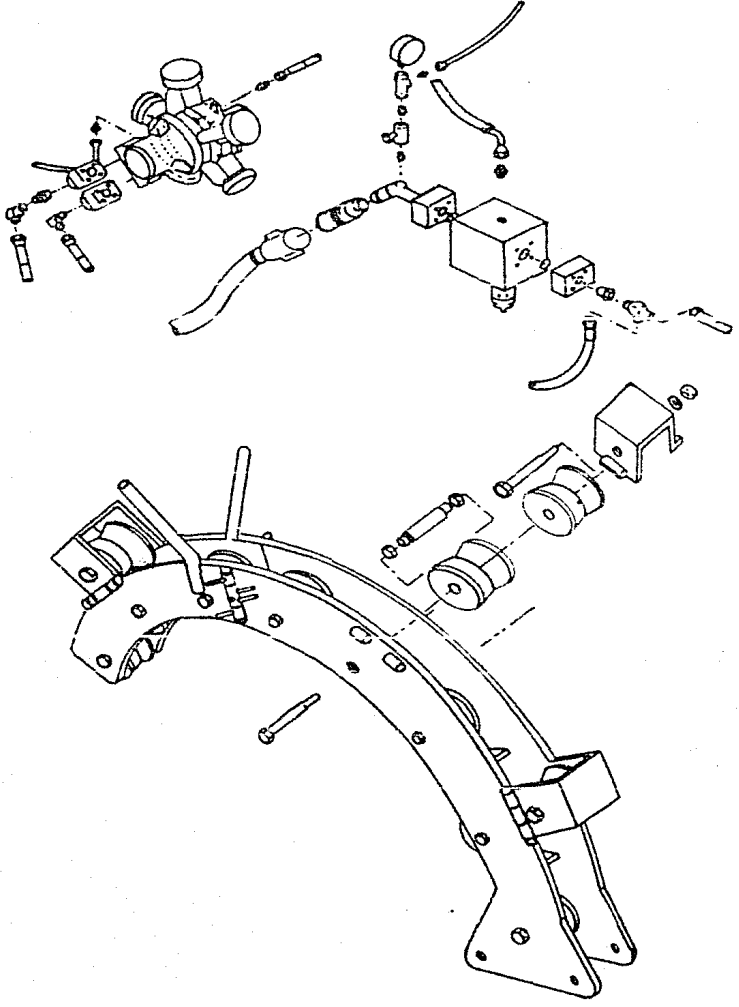


FIGURA II.14.- CUELLO DE GANSO

- b).- Velocidad de introducción o extracción de tubería flexible. En las gráficas (II.15,16,20) se presenta la velocidad de introducción y extracción, considerando las -- R.P.M. del motor, para circuito abierto y cerrado. El uso de estas gráficas es el siguiente, conocidas las -- R.P.M. que desarrolla el motor, se traza una línea vertical hasta intersectar a una de las dos líneas de presión (dependiendo de la presión que se maneje en el circuito hidráulico), desde este punto se traza una línea horizontal hacia la izquierda para obtener finalmente la velocidad de extracción o inyección de tubería flexible en pies por minuto.
- c).- La relación de la presión del sistema hidráulico y el arrastre de la cabeza inyectora se muestra en las figuras (II.17,18,19,21,22) para diferentes condiciones. Conocida la presión del sistema se traza una línea vertical hasta intersectar una de las dos líneas (dependiendo si la operación está iniciando o está avanzada), desde este punto se traza una línea horizontal hacia la izquierda para obtener la capacidad de arrastre de la cabeza inyectora, en libras.

II.2.9.- PREVENTORES Y CABEZAL^(8,9)

Los preventores tipo BOWEN⁽⁹⁾ se emplean como dispositivos de seguridad, disponibles en el caso de presentarse alguna anomalía en el pozo o en el sistema hidráulico de tubería flexible. Son accionados mediante un conjunto de mangueras que transmiten la potencia hidráulica proporcionada por la bomba doble de aspas, la cual se encuentra ensamblada sobre el tractor-camión. Los arietes de los preventores son impulsados con una presión en las mangueras hidráulicas de 105 kg/cm² (1500 lb/pg²) y soportan presiones interiores del pozo de hasta 350 -- kg/cm² (5000 lb/pg²)⁽⁹⁾.

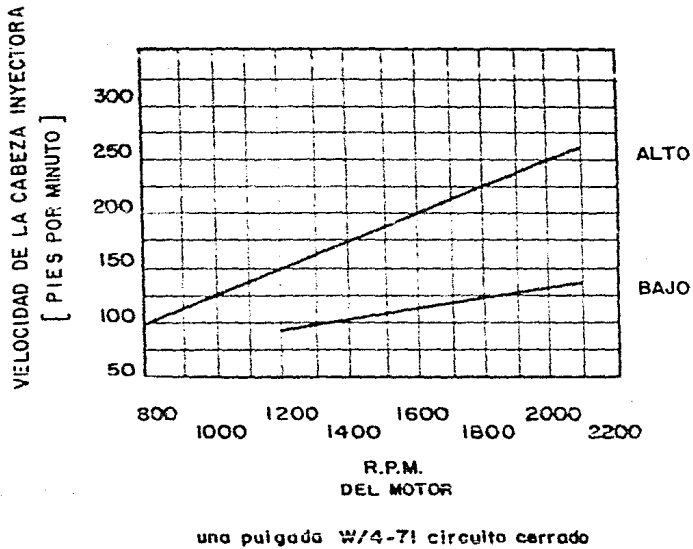
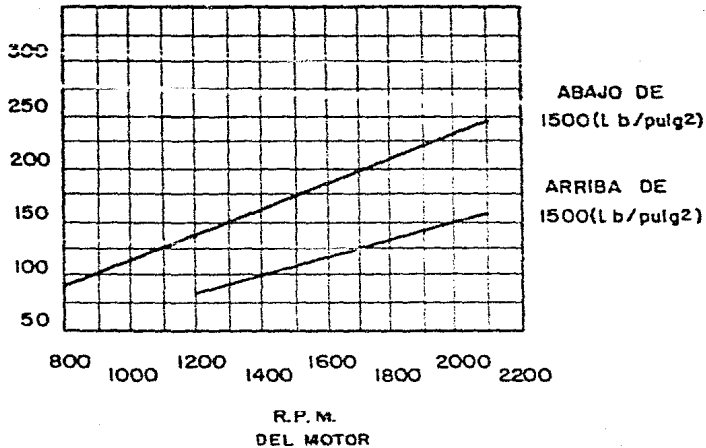


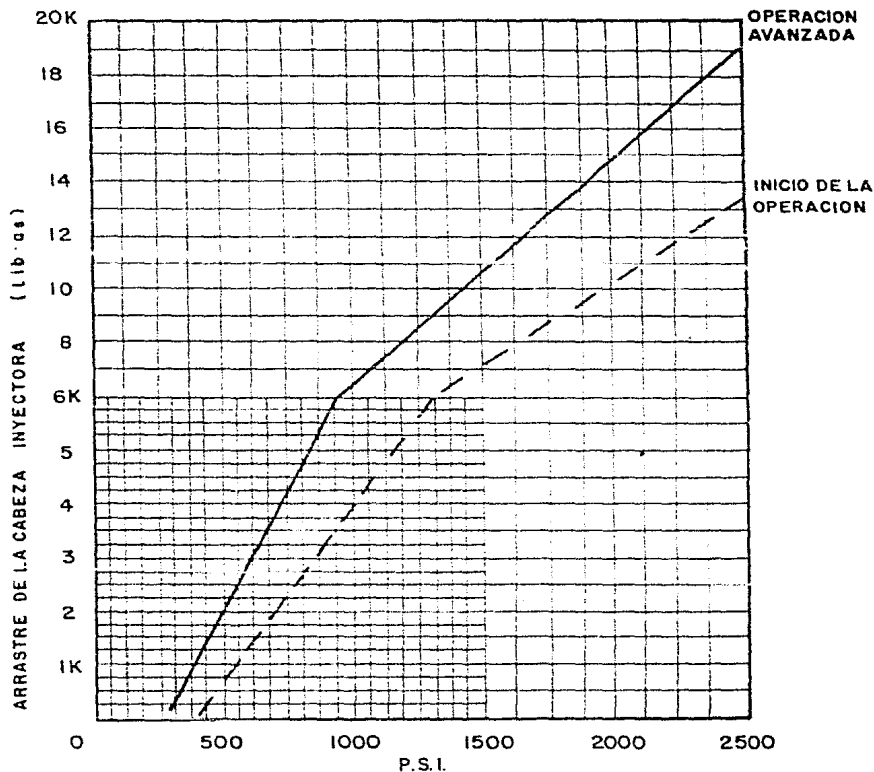
FIG.(II.15) GRAFICA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE INTRODUCCION O EXTRACCION DE LA TUBERIA FLEXIBLE.

VELOCIDAD DE LA CABEZA INYECTORA
[PIES POR MINUTO]



una pulgada W/4-71 circuito abierto

FIG.(II.16) DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE INTRODUCCION O EXTRACCION DE LA TUBERIA FLEXIBLE.



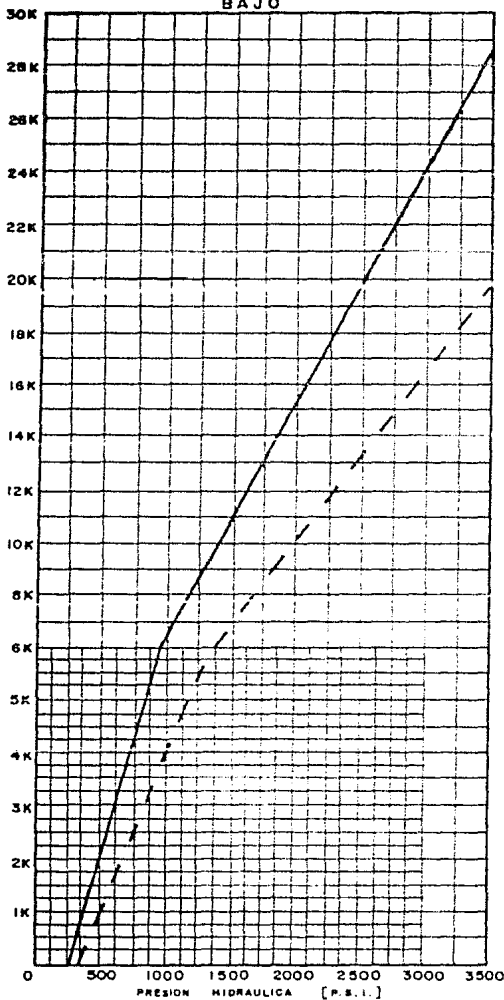
una pulgada W/4-71 circuito abierto

K = 1000

FIG. (II.17) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA CONSIDERANDO LA PRESION - HIDRAULICA DEL SISTEMA.

ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA [Libros]

BAJO



OPERACION AVANZADA

INICIO DE LA OPERACION

1 pulg. W/4-71
CIRCUITO CERRADO
2 VELOCIDADES

FIG. (II.18) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA CONSIDERANDO LA PRESION HIDRAULICA DEL SISTEMA.

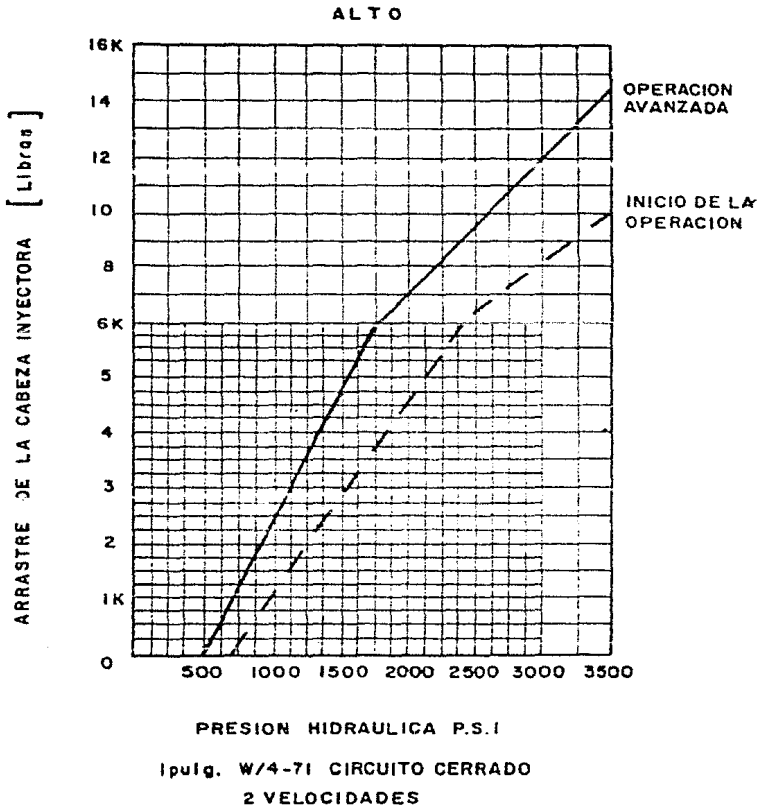
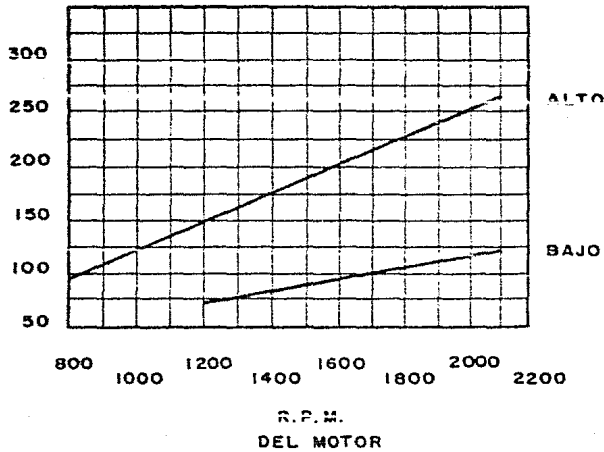


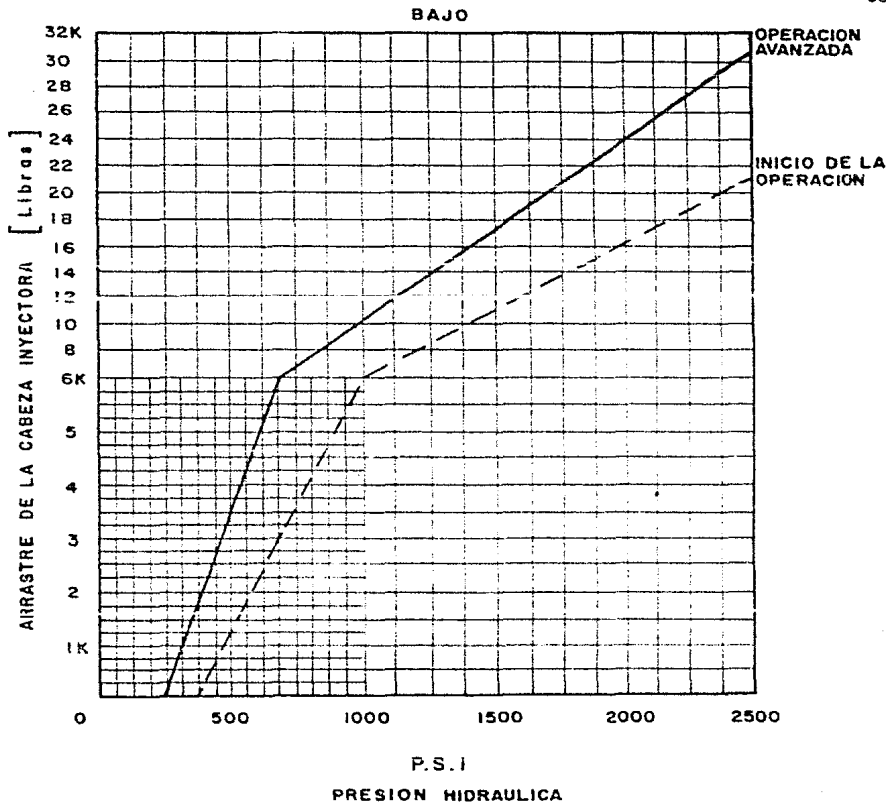
FIG.(II.19) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA CONSIDERANDO LA PRESION HIDRAULICA DEL SISTEMA.

VELOCIDAD DE LA CABEZA INYECTORA
[PIES POR MINUTO]



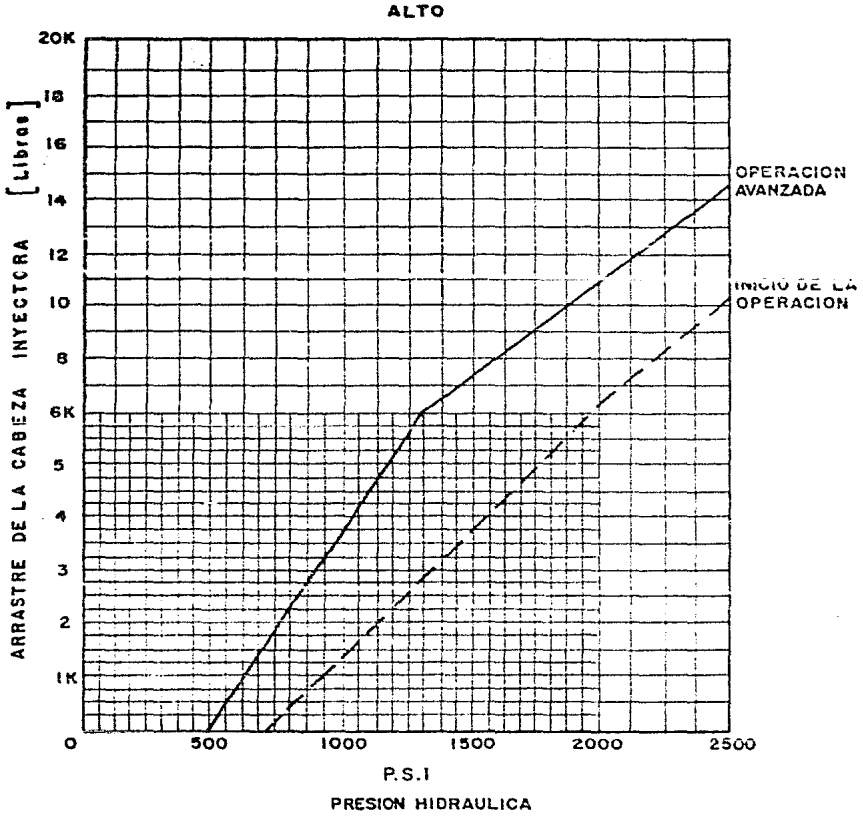
1 1/4 pulgada W/6V-71 circuito abierto 2
velocidades del motor.

FIG.(II.20) DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE INTRO-
DUCCION O EXTRACCION DE LA TUBERIA FLEXIBLE.



1 1/4 pulgada W/6V-71 2 velocidades del motor

FIG.(II.21) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA CONSIDERANDO LA PRESION HIDRAULICA DEL SISTEMA.



1 1/4 pulgada W/6V-71 2 velocidades del motor.

FIG.(II.22) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE LA CABEZA INYECTORA CONSIDERANDO LA PRESION HIDRAULICA DEL SISTEMA.

II.2.9.1.- TIPOS DE PREVENTORES

El conjunto de preventores mostrado en la figura (II.23) está constituido por:

- a).- ARIETES CIEGOS.- Los cuales son accionados para sellar en agujero abierto. Sus puntos no se ajustan alrededor de la tubería pero se ajustan la una contra la otra y sellan completamente el espacio que le queda debajo.
- b).- ARIETES DE CORTE. Estos cortan a través de la tubería y forma un sello contra la presión del pozo. Se utilizan principalmente en operaciones costa afuera para proveer un método rápido para desalojar el sitio de trabajo en una emergencia cuando no hay tiempo para sacar la tubería del pozo.
- c).- ARIETES DE CUÑAS.- Se utilizan cuando la velocidad de inyección o extracción de la tubería se ha descontrolado, atrapandola por su diámetro externo logrando mantenerla firme hasta corregir o solucionar el problema.
- d).- ARIETES ANULARES.- Forma un sello entre el espacio anular formado por la tubería flexible y la sarta de producción. Puede sellar el agujero aún cuando no exista tubería dentro de él.

Los controles de la presión hidráulica de cierre y apertura - de los diferentes preventores, así como el estopero se encuentran integrados en la consola de control, además es preciso - hacer notar que el estopero puede ser cambiado con tubería en el pozo y presión en el cabezal⁽⁶⁾.

Los preventores se conectan en la parte superior del cabezal - a través de una combinación de $3\frac{1}{4}$ X $2\frac{7}{8}$ pg. de diámetro, esta conexión debe tener una estabilización y un alineamiento - adecuado para evitar roces y fricciones excesivas de la tubería flexible durante su extracción o inyección al pozo, para-

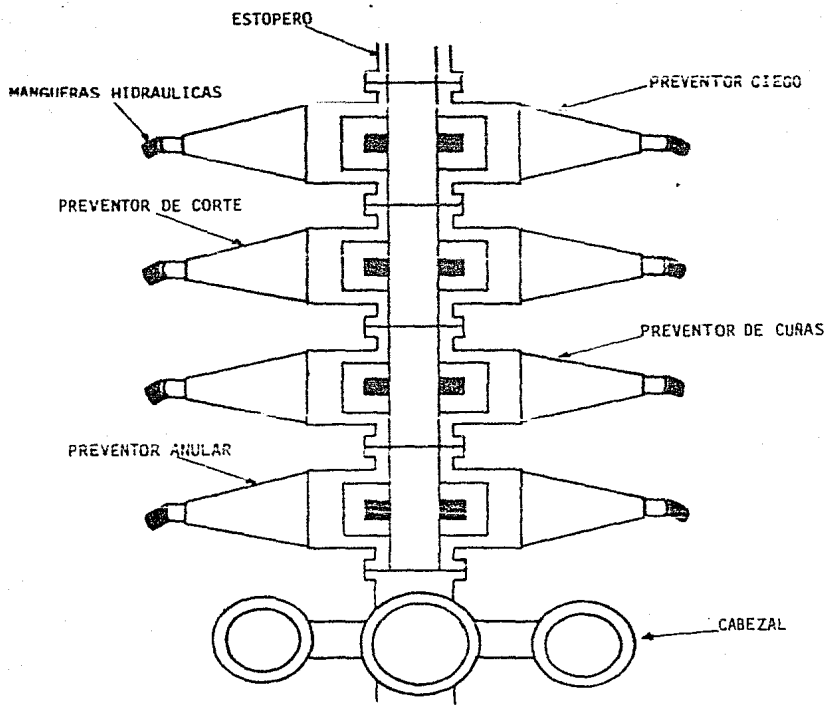


FIGURA II.23.- PREVENTORES Y CABEZAL

lograr esto, la operación de conexión se efectúa con la grúa-hidráulica.

La unidad montada sobre el cabezal es de aproximadamente 2.6-4.5 metros (12 - 15 pies) de alto, constituido por preventores, inyector y guía de tubería⁽⁷⁾.

II.2.10.- COMPONENTES ADICIONALES

Son aquellos que prestan una ayuda auxiliar para el correcto funcionamiento de los elementos principales del sistema hidráulico de tubería flexible, ellos son:

- A).- CARRETE CONICO.- SE emplea para almacenar la tubería flexible que ha sufrido algún daño durante la operación. Esta es enredada completamente en el carrete cónico y a medida que se desenrolla se revisa cuidadosamente y se detectan las anomalías presentes en ella. Las reparaciones de la tubería se hacen cortando y eliminando el o los tramos de tubería flexible dañada y posteriormente se solda para tener nuevamente una tubería continua. El carrete tiene un diámetro aproximado de 2.5 metros y un peso de 1500 kgs. Cuenta con un motor "ROSS" modificado para proporcionarle la potencia requerida en la operación.
- B).- CARRETE DE MAGUERAS.- Se emplea para almacenar las mangueras hidráulicas de un diámetro mayor de 10 cm que es tán acoplados a la cabeza inyectora. Se encuentra instalado sobre un patín soldado, y se acciona y controla desde la cabina de control.
- C).- Los demás componentes del sistema hidráulico de tubería flexible que se requieren para su operación, dependen exclusivamente del objetivo del trabajo a realizar y --

del procedimiento para lograrlo, por ello es posible -- que los componentes auxiliares sean:

- a).- Tanques de nitrógeno
- b).- Compresoras
- c).- Presas
- d).- Tanques para diferentes fluidos
- e).- Atomizadores
- f).- Unidad contra incendios
- g).- Planta para soldar, etc.

II.3.- PESOS, CAPACIDADES Y ESPECIFICACIONES⁽²⁾

Una vez descritas las características mecánicas y geométricas de cada uno de los componentes principales del sistema hidráulico de tubería flexible, a continuación se hará mención de los pesos, capacidades y especificaciones de cada uno de ellos⁽²⁾, indicando en forma independiente las especificaciones de la tubería flexible para los diámetros 3/4, 1 y 1½ pg.⁽⁷⁾. Con la finalidad de conocer sus alcances y limitaciones dentro de los cuales los distintos elementos del equipo operarán satisfactoriamente.

II.3.1.- PESOS⁽²⁾

- 1.- Cabina ensamblada con escaleras, rampas y generador: - - 1727.7 kgs.
- 2.- Carrete hidráulico, tubería de 1 pulgada (vacía): 2361.1 kgs.
- 3.- Tubería flexible
 - a): Diámetro exterior, 1 pg. X 0.065 de pared: 0.967 kg/m.

- b): Diámetro exterior, 1 pg X 0.083 de pared[1.205 Kgs/m.
- 4.- Paquete de Potencia
- a): Con motor Detroit 8V-71 (1 pulgada)
- seco (sin fluido): 3180.0 kgs.
 - Mojado (con fluido): 3879.7 kgs.
- 5.- Cabeza Inyectora
- a): 1 pulgada: 2464.1 kgs.
- 6.- Carrete de Mangueras con (2) 1½ pulgada de manguera moja da: 5081.1 kgs.
- 7.- Conjunto de Preventores: 397.0 kgs.
- 8.- Paquete de Mangueras, seco:
- a): 9 paquetes de manguera para los preventores: 22.86 - metros: 104.35 kgs.
- b): 12 paquetes de manguera para el inyector: 138.83 kgs
- c): 9 paquetes de manguera para los preventores: 15.24 m: 83.48 kgs.
- d): 12 paquetes de manguera para el inyector: 15.24 m: -- 111.61 kgs.
- 9.- Tanque de combustible, montado en el trailer-757.0 litros
- a): seco: 521.7 kgs.
- b): mojado: 561.7 kgs.
- 10.- Carrete Cónico.
- a): peso: 1500 kg.

II.3.2.- CAPACIDADES⁽²⁾

- 1.- Carrete para tubería de 1 pulgada: 5487.80 metros.

- 2.- Paquete de Potencia.
 - a.- Tanque hidraulico para enfriar: 530 litros.
 - b.- Tanque lubricador del inyector: 113.5 litros.
 - c.- Radiador del motor: 29.33 litros.
 - d.- Caja del cigüeñal del motor 8V-71: 0.44 litros.
- 3.- Tanque de combustible (diesel) montando en el trailer: - 52.84 litros.
- 4.- Accesorios del paquete de potencia.
 - a.- Tanque hidráulico: 265 litros.
 - b.- Tanque de combustible (llenado de mangueras).
 - c.- Capacidad de la bomba hidráulica: 94.6 litros/min. - 2400 R.P.M. (140 kg/cm²).
 - d.- Aceite del cigüeñal del motor diesel "Onan" L423: -- 5.7 litros.
- 5.- Capacidad de carga de la grúa hidráulica: 10 toneladas.

II.3.3.- ESPECIFICACIONES⁽²⁾

- 1.- Velocidad de la cabeza inyectora (máximo con motor a 2100 R.P.M.).
 - a.- Tubería de 1 pulgada, con motor 8V-71, circuito abierto:
 - a.1.- Hasta 1500 PSI: 73.1 m/min.
 - a.2.- Arriba de 1500 PSI: 46.6 m/min.
- 2.- Tracción del inyector (operación máxima de corrida). Para el inicio, usar el 70% de los valores (listados)
 - a.- Tubería de 1 pulgada, con motor 8V-71, circuito abierto a 175.0 kg/cm²

- a.1.- Iniciando: 5984.1 kgs.
- a.2.- Corriendo: 8575.31 kgs.
- b.- Tubería de 1 pulgada, con motor 8V-71, circuito cerrado a 246.1 kg/cm²
- b.1.- iniciando (baja velocidad): 8992.74 kgs.
- b.2.- corriendo (baja velocidad): 12,890.8 kgs.
- b.3.- iniciando (alta velocidad): 6,448.72 kgs.
- b.4.- corriendo (alta velocidad): 4,495.9 Kgs.
- 3.- Especificaciones de la bomba de lodo con pistones de 2½-pulgadas.

TRANSMISION	MAX.VEL.MOTOR (r.p.m.)	MAX. PRESION (kg/cm ²)	GASTO (lts/min)
1a. Velocidad	85.5	350.0	103.7
2a. Velocidad	152.4	273.0	184.7
3a. Velocidad	266.7	155.4	322.86

II.3.4.- ESPECIFICACIONES DE LA TUBERIA FLEXIBLE⁽⁷⁾

1.- ESPECIFICACIONES FISICAS

	TUBERIA 1 pg.	TUBERIA 3/4 pg.	TUBERIA 1 1/2 pg.
Diámetro externo real (pg.)	1.00	0.75	1.250
Diámetro interno nominal (pg.)	0.870	0.502	1.082
Peso/pie - (kg/metro)	0.965	0.546	1.546
Área de la pared - (centímetros ²)	1.731	0.6967	1.995
Tensión última estimada - (kgs)	6558.0	3675.1	9664.2
Cedencia estimada - (kgs)	5196.9	2940.1	7731.3
Tensión última en operación (kgs)	4310.3-4990.92	2495.4-2722.3	6475.0-7248.1
* Presión máxima recomendado de operación (kg/cm ²)	632.9	351.6	736.99
Resistencia por presión interna - tubería nueva (kg/cm ²)	492.26	492.26	492.26
Presión de prueba (kg/cm ²)	386.7	351.6	520.39
* Máxima presión recomendada (kg/--cm ²) para evitar falla por presión interna	316.4	316.4	316.4
Presión máxima del pozo (kg/cm ²)	210.9	210.9	210.9
Área de flujo - (centímetros ²)	3.935	2.153	5.932
Comparación del área de flujo con respecto a la tubería flexible de 3/4 pg.	178%	100%	275%
metros/litro	2.59	4.64	1.68
litros/1000 metros	385.6	217.25	592.9
Barriles/1000 metros	2.42	1.34	3.72
metros/barriles	412.19	738.41	268.14

* Estos dos valores se manejan en forma combinada.

Rendimiento mínimo	4220 (kg/cm ²)
Tensión	5274.2 (kg/cm ²)
Elongación	28 - 30%

2.- COMPONENTES QUIMICOS DE LA TUBERIA FLEXIBLE⁽⁷⁾ (en porcentaje)

Carbono	0.15 máximo
Manganeso	0.50 - 1.00
Fósforo	0.04 máximo
Azufre	0.05 máximo
Cobre	0.30 - 1.0
Molibdeno	0.10 mínimo
Niquel	0.4 - 1.1
Cromo (con residual)	- - .30 máximo

C A P I T U L O I I I

PRINCIPIOS DE OPERACION

III.1.- INTRODUCCION

El sistema hidráulico de tubería flexible constituido por los diferentes elementos descritos en el capítulo anterior, requiere que la operación de cada uno de ellos sea en forma normal y correcta, de manera que su funcionamiento sea preciso y coordinado al trabajar en conjunto con los demás elementos, - con el fin de lograr una intervención rápida y eficiente sobre los pozos a tratar.

En este capítulo se describen los dos principales circuitos - del sistema, el hidráulico y el neumático, los cuales originan la correcta operación conjunta de los diferentes componentes. Con la finalidad de comprender con mayor amplitud de funcionamiento interno e intentar que su manejo y mantenimiento se efectúe en forma adecuada y en el caso de no trabajar - en forma normal deducir de posibles causas que originan su operación deficiente.

Posteriormente se mencionan los pozos principales que deben seguirse para que la instalación y puesta en marcha del equipo en su totalidad, se efectúe rápida y correctamente, intentando con ello que la unidad opere en forma adecuada desde el inicio de la intervención hasta que concluyan las operaciones.

III.2.- CIRCUITOS PRINCIPALES DEL SISTEMA

Constituido por los circuitos hidráulicos y neumáticos, los cuales consiguen que los diferentes elementos que forman el sistema de tubería flexible coordinen sus distintas funciones independientes, de manera que su operación en conjunto durante el desarrollo de las intervenciones se efectúe normalmente y sin contratiempos.

III.2.1.- CIRCUITOS HIDRAULICOS ⁽²⁾

Son aquellos que emplean agua o aceite como el fluido transmisor de la energía entre los diferentes elementos para lograr un funcionamiento eficiente del sistema. Los componentes principales del sistema hidráulico se muestran en la figura (III.1). Los principales circuitos hidráulicos son:

- a).- Circuito impulsor de la cabeza inyectora
- b).- Circuito impulsor del carrete principal y pivote
- c).- Circuito impulsor de la grúa y la guía de tubería sobre el carrete
- d).- Circuito impulsor de los preventores y de los cilindros de tensión de la cabeza inyectora
- e).- Circuitos de filtrado y enfriamiento
- f).- Circuito impulsor de la bomba de lodo

A continuación se hace una descripción y explicación de cada uno de ellos.

a).- CIRCUITO IMPULSOR DE LA CABEZA INYECTORA

El flujo para este circuito es suministrado por la más grande bomba doble de aspas la cual es impulsada por la bomba triple

"FUNK", quien a su vez es potencializada por el motor, figura (III.1). La presión de operación del circuito está controlada por la válvula de alivio colocada en el panel de control remoto, figura (II.6). Esta válvula de alivio del sistema principal en la fuente de energía está ajustada a 175.8 Kg/cm^2 y constituye la máxima presión de operación del sistema. figura (III.2).

La dirección de rotación y velocidad de la cabeza inyectora es controlada por la válvula de control hidráulico localizada en el panel del operador. La válvula de control envía la presión hidráulica a la válvula HUSCO más grande, localizada en la fuente de energía y puede limitar el flujo de aceite a flujo total o parcial con presión constante a los motores de la cabeza inyectora.

La válvula de descarga y la válvula de retención (bridada en la sección posterior de la bomba doble de aspas) funcionan en el circuito ALTO-BAJO. El circuito impulsor de la cabeza inyectora recibirá el flujo de ambas secciones de la bomba (ALTO-FLUJO) hasta que la presión de operaciones alcance a la de calibración de la válvula de descarga (105.4 kg/cm^2) (BAJA-PRESION). En este momento, la válvula de descarga abrirá para desviar el flujo, de la sección posterior de la bomba al tanque con presión inferior (BAJO-FLUJO). La válvula de retención bridada bloquea el flujo del circuito principal desde el vertedero por medio de la descarga al tanque a medida que la presión pueda ser incrementada al máximo (ALTA-PRESION). La válvula de retención bridada tiene un piloto el cual permite que la válvula de descarga sea sensible a la presión del circuito principal. Cuando la presión de operación disminuye a un valor menor que la de calibración de la válvula de descarga (10% menos), ésta cerrará para desviar el flujo de la sección posterior de la bomba hacia el circuito principal.

El circuito ALTO-BAJO proporciona alto flujo a baja presión y

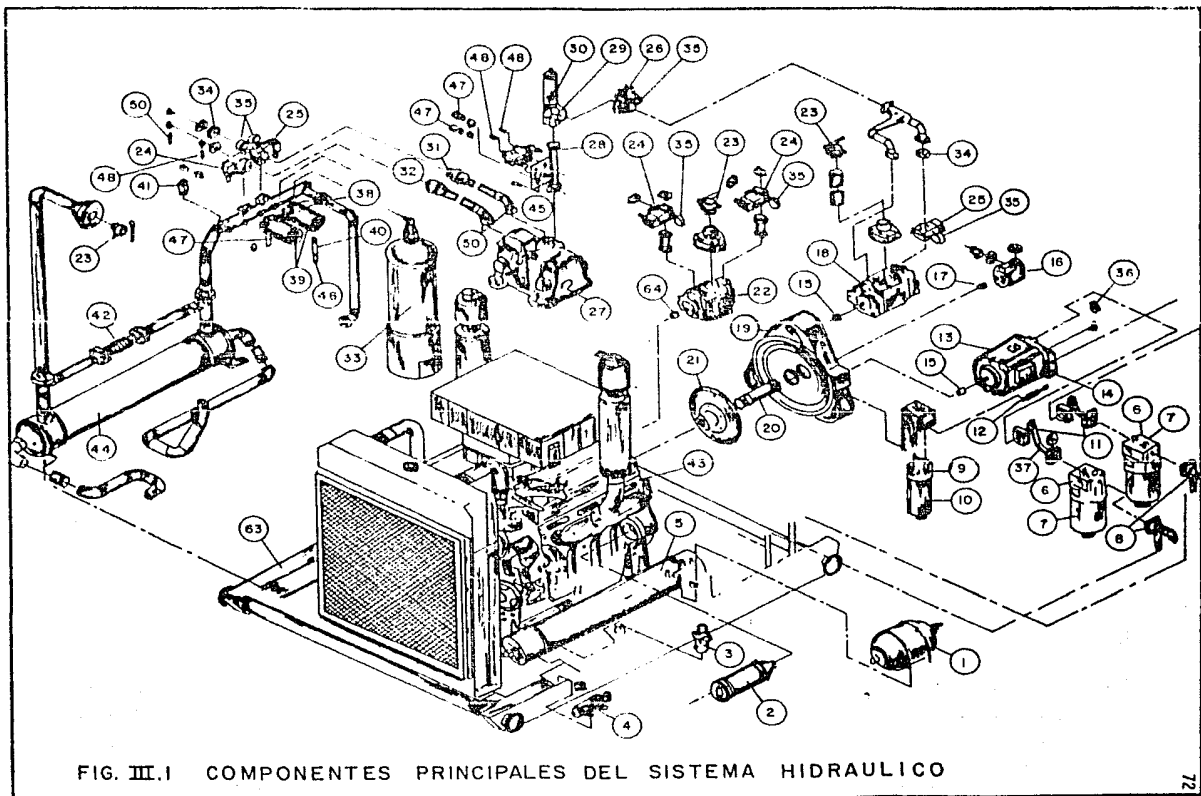


FIG. III.1 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA HIDRAULICO

TABLA III.1.- DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HI-
DRAULICO

LOCALIZACION	DESCRIPCION
1	Acumulador
2	Motor de Arranque
3	Válvula de pie
4	Bomba Manual
5	Acumulador
6	Filtro Alta Presión
7	Elemento
8	Pestaña Soldada
9	Filtro de Servopresión
10	Elemento
11	Pestaña Soldada
12	Cilindro de Aire
13	Bomba
14	Servoarma
15	Adaptador de Línea
16	Bomba
17	Adaptador de Línea
18	Bomba
19	Transmisión de la Bomba Triple Reciprocante
20	Flecha
21	Placa de Transmisión
22	Bomba
23	Válvula de Mariposa
24	Válvula de Alivio
25	Válvula de Descarga
26	Válvula de Alivio
27	Válvula Control Direc.
28	Válvula Selectora
29	Filtro de Presión
30	Elemento

31	Conexión Rápida
32	Conexión Rápida
33	Acumulador
34	Válvula de Rotación
35	Manómetro
36	Manómetro
37	Manómetro
38	Filtros
39	Elemento
40	Válvula de Retención
41	Válvula de Aguja
42	Válvula de Retención
43	Motor Principal
44	Cambiador de Calor
45	Conexión Rápida
46	Conexión Rápida
47	Conexión Rápida
48	Conexión Rápida
49	Conexión Rápida
50	Pestaña Soldada
51	Trío Unitario
52	Válvula de Compuerta
53	Colador Succión
54	Colador de Succión
55	Filtro
56	Elemento
57	Termómetro
58	Media Conexión y Panel de Instrumentos
59	Cubierta
60	Ensamblado del Tanque - Proveedor de la Inyección del Lubricador
61	Regulador
62	Tanque de Aire (114 1)
63	Empacador de Poder
64	Adaptador Splínea

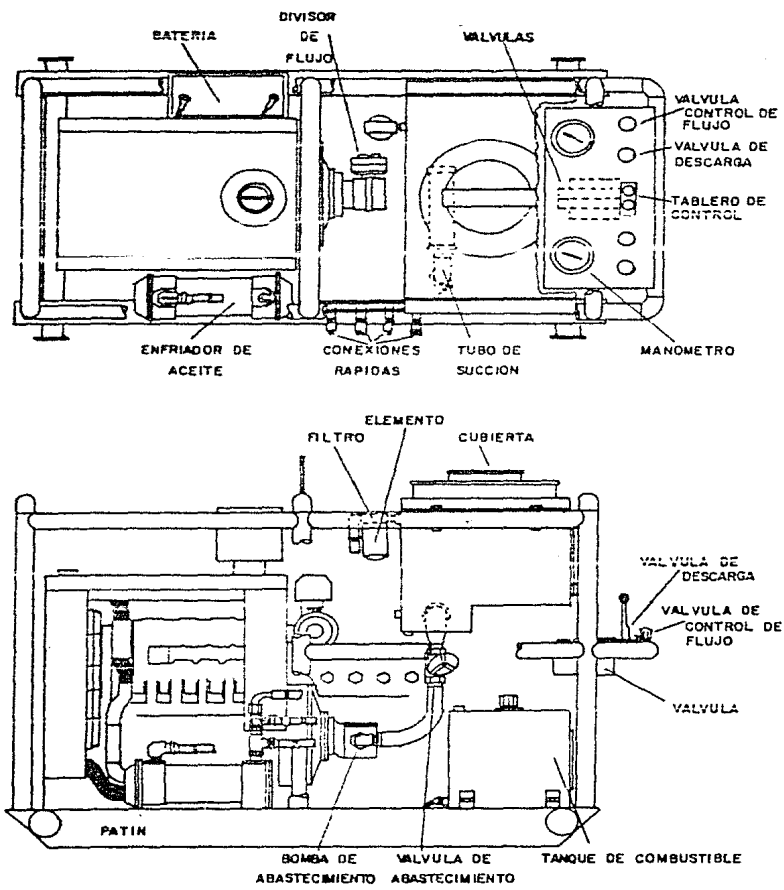


FIG. III 2. UNIDAD DE POTENCIA.

bajo flujo a alta presión, pero no sobrecarga al motor diesel para no generar calor excesivo.

Moviendo la válvula de control hacia adelante, la tubería es inyectada al pozo. Moviendo la válvula atrás (tracción posterior), la dirección de la tubería será ascendente dentro del pozo. Cuando se coloca en la posición central, indica que la válvula está en neutral. La velocidad parcial de la cabeza inyectora es seleccionada por medio de un movimiento parcial en la dirección requerida. Es importante hacer notar que para mantener el mango de la válvula de control en su posición, tiene integrado una cerradura de fricción.

Las dos más grandes válvulas contrabalanceadas operadas con - pilotos, integrados entre la fuente de energía y los motores hidráulicos de la cabeza inyectora, se emplean para mantener la carga. Con los frenos de aire liberados, los motores de la cabeza inyectora mantendrán el peso de la tubería o la presión del pozo, de manera que la tubería flexible es forzada hacia afuera del pozo (puede haber un ligero movimiento debido a un escape en los motores, hidráulicos). Cuando la válvula de control direccional es operada y el flujo es dirigido a los motores hidráulicos, la presión en la sección de entrada de los motores abrirá la válvula contrabalanceada sobre la sección de salida para permitir el flujo a través de ellos. Las válvulas contrabalanceadas también se emplean como un dispositivo de seguridad para mantener la carga en caso de presentarse alguna falla durante la operación la cual podría resultar en una pérdida de presión hidráulica.

La válvula de aguja en las líneas piloto de las válvulas contrabalanceadas ayudan a amortiguar las pulsaciones de presión en el circuito de la cabeza inyectora, estas pulsaciones son causadas por la carrera del pistón de los motores inyectoras. En el caso de no hacer uso de las válvulas de aguja, las pulsaciones pueden ser amplificadas cuando las válvulas de con-

trabalanceo abran o cierren ligeramente, causando ritmicidad y vibraciones durante la operación de la cabeza inyectora.

Durante el proceso de inyección o extracción de tubería flexible por la cabeza inyectora, la válvula de control direccional del inyector que se encuentra en el panel de control, figura (II.6), envía presión hidráulica a ambos lados de la válvula hidráulica de control direccional que está localizada en la fuente de energía. Así, cuando la palanca de la válvula es movida hacia el frente, la presión hidráulica se dirige a un lado de la válvula de control direccional, la cual mueve a la válvula hidráulica de cilindro para enviar el flujo a los motores hidráulicos inyectoros e impulsar a la tubería hacia el pozo. Similarmente, cuando la palanca de la válvula es operada hacia atrás, la presión hidráulica se dirige al lado opuesto de la dirección de la válvula de control, para cambiar la válvula hidráulica del cilindro a la posición opuesta y jalar la tubería fuera del pozo. Finalmente cuando la palanca de la válvula se mueve a la posición central, la presión cambia la válvula hidráulica de cilindro hacia el centro o posición neutral.

b).- CIRCUITO IMPULSOR DEL CARRETE PRINCIPAL Y PIVOTE

El flujo para este circuito es proporcionado por una bomba sencilla de aspas montada en la bomba FUNK quien es impulsada por el motor diesel figura (III.1). La máxima presión de operación (175.8 kg/cm^2) está limitada por la válvula de alivio localizada en la bomba. El flujo es impulsado al extremo de admisión de la válvula de control direccional de tres secciones, instalada en el panel de control figura (III.3). La sección derecha de la válvula controlada la dirección de rotación del carrete. La presión de operación para el impulso del carrete puede ser controlada por la válvula de alivio colocada en la segunda sección del panel de control, esta válvula

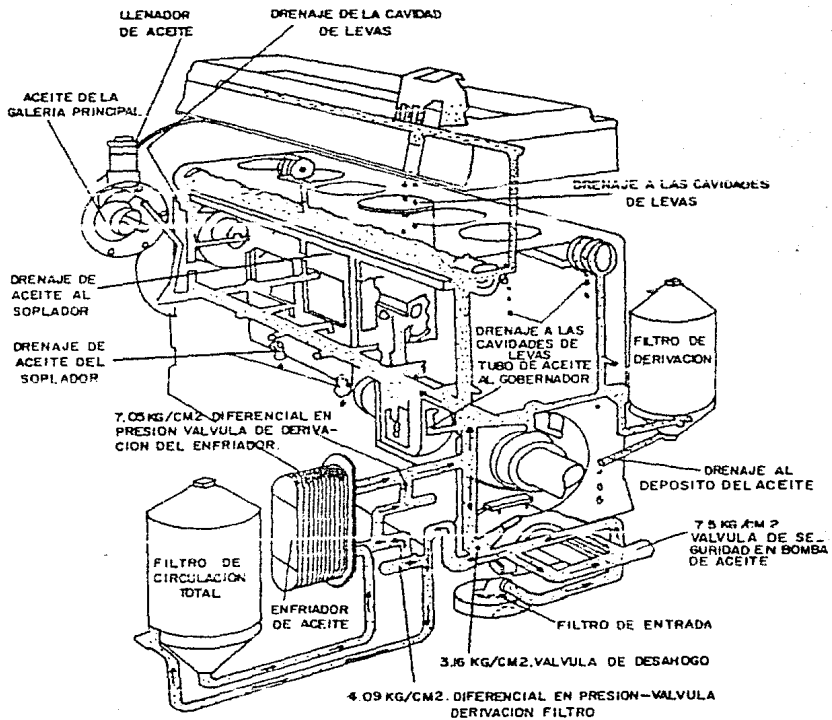


FIG. III. 3.- PAQUETE DE POTENCIA.

la controla la presión de la válvula de alivio más grande del impulsor del carrete, esta última válvula se localiza en el carrete cerca del motor impulsor. La función de la válvula de alivio del impulsor del carrete es ajustar la tensión de la tubería entre el carrete y la cabeza inyectora.

La sección media de la válvula de control direccional de tres secciones opera el cilindro del carrete pivote localizado entre la plataforma del trailer y el marco del carrete. Este cilindro coloca el carrete para su alineamiento con la cabeza inyectora la cual se instala sobre el cabezal.

c).- CIRCUITO IMPULSOR DE LA GRUA Y DE LA GUÍA DE TUBERÍA SOBRE EL CARRETE

El flujo para este circuito es proporcionado por la sección frontal de la pequeña bomba de aspas localizada a la izquierda de la torre de leva del motor figura (III.1). La máxima presión de operación (175.8 kg/cm^2) es controlada por la válvula de alivio bridada en la bomba.

Esta sección de la bomba también suministra flujo para el manubrio de la grúa hidráulica y potencia a la manguera del carrete. La válvula selectiva de seis puertos, localizada en la fuente de energía, dirige flujo tanto a los circuitos de la grúa como a la guía de tubería en el carrete. La válvula de tres selectores, colocada en el trailer abajo del manubrio de la válvula de control, suministra flujo a la manguera del carrete cuando se selecciona la operación de la grúa.

El flujo de la bomba es dirigida a la sección central de la admisión de la válvula de control direccional de tres secciones, localizada en el panel de control. La parte central de la admisión suministra flujo a la sección izquierda de la válvula de control, la cual controla la dirección de rotación --

del motor que impulsa a la gufa de tuberfa y la grfa hidráulica.

d).- CIRCUITO IMPULSOR DE LOS PREVENTORES Y LOS CILINDROS DE TENSION DE LA CABEZA INYECTORA

El flujo para este circuito es proporcionado por la sección posterior de la pequeña bomba doble de álabes, ubicada a la izquierda de la torre de leva del motor figura (III.1). La máxima presión de operación (105.48 kg/cm²) del circuito de los preventores está controlada por la válvula de descarga localizada en la fuente de energía figura (III.2). El flujo de la bomba es enviado al acumulador tipo vejiga precargado con cinco galones de nitrógeno, colocado en la fuente de energía. El acumulador almacena a presión el fluido hidráulico para -- ser usado en el cierre de los preventores en caso de una falla, la cual podría resultar en una pérdida del flujo hidráulico de la bomba.

Cuando el acumulador está lleno y la presión del sistema alcanza 105.4 kg/cm², la válvula de descarga abre para desviar el flujo de la bomba, hacia los tanques a baja presión. La válvula de retención bridada colocada sobre la válvula de descarga, cierra cuando ésta abre, a fin de mantener la presión en el sistema. La válvula de retención tiene un puerto piloto que permite a la válvula de descarga ser sensible a la presión del sistema. Cuando la presión del sistema disminuye -- por debajo de la de calibración de la válvula de descarga -- (10% menos), ésta cierra para permitir que el flujo de la bomba sea desviado hacia el sistema.

La bomba y/o el acumulador envían flujo y presión a la válvula de control direccional de cuatro secciones la cual opera -- al conjunto de preventores. Como estos están siempre cerrados o abiertos, el sistema se mantiene siempre (o cerca) a la

presión de calibración de la válvula de descarga. Este sistema es para presurizar los circuitos de los cilindros de tensión de la cabeza inyectora y está limitado a 70.3 kg/cm^2 por una válvula de presión reducida colocada abajo del panel de control figura (II.5). Los tres circuitos de tensión del cilindro están controlados por las seis válvulas de aguja en el panel de control. Cada circuito tiene una válvula de aguja de "presión" y "purga".

La presión puede incrementarse en los circuitos de tensión -- después de que ha sido calibrada, debido a un incremento en la temperatura y/o en el diámetro de la tubería. Los circuitos de tensión deberán ser monitoreados al igual que los incrementos en la presión "purga" ya que no se tiene otra válvula de alivio de la presión en los circuitos de tensión. Una presión excesivamente alta en la tensión de los cilindros puede provocar daño a la tubería.

La sección posterior de la pequeña bomba también suministra flujo para la pluma de la grúa hidráulica, los circuitos de rotación y el estabilizador. La válvula de alivio colocada en la bomba limita la máxima presión de operación del circuito de la grúa (175.80 kg/cm^2). La válvula selectora de seis puertos instalada en el paquete de potencia dirige el flujo ya sea a la grúa o a los preventores y circuitos de tensión del cilindro.

e).- CIRCUITO DE FILTRADO Y ENFRIAMIENTO

Cada entrada de la bomba está protegida por un filtro colocado en el interior del tanque hidráulico. Los dos filtros son de malla de alambre y pueden ser limpiados con solvente.

El circuito de la cabeza inyectora tiene un filtro a presión- figura (III.4), instalado entre la válvula principal de alivio

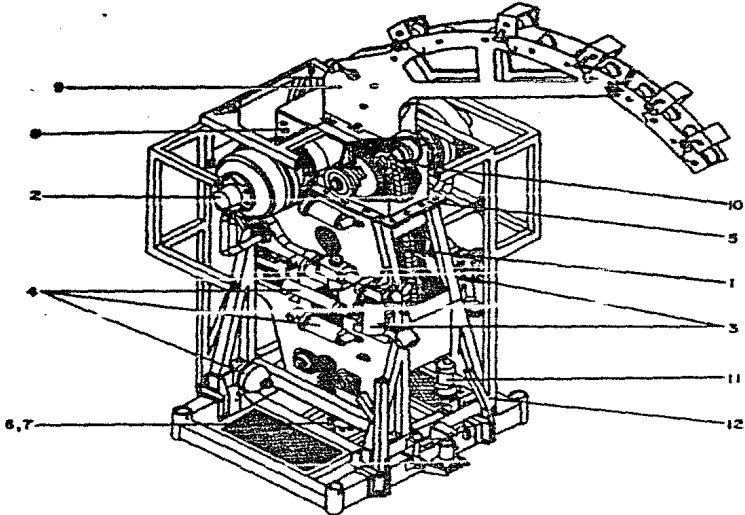


FIG. III. 4 COMPONENTES BASICOS DE LA CABEZA INYECTORA.

DESCRIPCION:

- 1.- CADENAS DE TENSION
- 2.- MOTORES INTEGRADOS CON FRENOS DE SEGURIDAD
- 3.- FILTRO HIDRAULICO DE ALTA PRESION EN AMBOS MOTORES
- 4.- CILINDROS DE TENSION Y ACUMULADORES
- 5.- SECCION REMOVIBLE PARA CASOS DE MANTENIMIENTO
- 6.- ESTOPEROS Y OBTURADORES A PRESION
- 7.- HULES O GOMAS OBTURADORAS
- 8.- BOTONES PARA SELECCIONAR CIRCUITO HIDRAULICO ABIERTO O CERRADO
- 9.- GUIA DE TUBERIA (CUELLO DE GANSO)
- 10.- CORONAS Y ENGRANES
- 11.- TRANSMISOR DE LA PRESION DEL CABEZAL
- 12.- ESTRUCTURA REMOVIBLE

y la válvula de cuatro vías. Esta tiene un elemento tipo papel el cual debe ser reemplazado a intervalos regulares. Este tipo de filtro tiene una válvula de bypass y un indicador del bypass. Cuando el filtro llega a ensuciarse, la presión requerida para forzar el fluido a través de él se incrementa, cuando la presión está cerca a la de calibración de la válvula bypass, esto abre para desviar el flujo alrededor del filtro para prevenirlo de colapso o de que sea introducido al sistema, al abrirse un indicador color rojo aparece fuera de la cabeza del filtro. Además si el fluido está frío, al poner en marcha el circuito, la válvula bypass abrirá también.

Se tienen dos filtros de retorno instalados en el paquete de potencia figura (III.3). Ellos filtran el fluido que regresa de los controles del carrete y otros circuitos. Estos filtros están también equipados con una válvula bypass similar a la del filtro a presión excepto que no tiene indicador del bypass. Además pueden ser empleados para filtrar fluido que está siendo añadido al sistema, el elemento es un cartucho "spin-on", el cual debe ser reemplazado a intervalos regulares.

El fluido es enfriado por un intercambiador de calor figura (III.5) (agua/aceite), colocado en el paquete de potencia. El agua para enfriar es suministrada por el sistema de enfriamiento del motor desde la base del radiador. Se tiene una válvula bypass de retención alrededor del intercambiador de calor para protegerlo. También sirve como un termostato, para cuando el fluido está frío. La válvula bypass de retención permite mayor flujo cuando el fluido es caliente.

f).- CIRCUITO IMPULSOR DE LA BOMBA DE LODO

El flujo para este circuito es suministrado por la bomba de desplazamiento variable instalada en el centro de la bomba --

triple FUNK que es impulsada por el motor figura (III.1). La máxima presión de este circuito es 291.1 kg/cm^2 , y es controlada por la válvula de compensación de la bomba. El desplazamiento de la bomba está controlado por un actuador de aire -- que es impulsado por una válvula de aire localizada en el panel de control. La velocidad en la bomba es controlada por medio del control del flujo hacia el motor de impulso hidráulico que se encuentra en la bomba de lodo. Se tienen tres -- filtros en el circuito. Un filtro del aceite desde la carga de la bomba a la bomba principal, los otros dos son a presión instalados para filtrar el aceite antes de entrar al motor de impulso hidráulico y en la línea de retorno antes de regresar a la bomba principal. El circuito proporciona presión constante a desplazamiento variable del aceite.

III.2.2.- CIRCUITOS NEUMATICOS⁽²⁾

Son aquellos que emplean como fluido matriz, aire a presión, para transmitir la potencia a través de sus diversos componentes.

Los circuitos neumáticos principales son:

- a).- Circuito de frenado de la cabeza inyectora
- b).- Circuito de frenado del carrete de tubería
- c).- Circuito de control para estrangular o detener el motor
- d).- Circuito de la bomba de lodo

A continuación se hace una descripción del funcionamiento de cada uno de estos circuitos.

a).- CIRCUITO DE FRENADO DE LA CABEZA INYECTORA

SE tienen dos frenos de disco en la cabeza inyectora, uno para

cada cadena figura (III.4). Además, dentro de cada freno hay dos tipos diferentes: un freno aplicado por un resorte, el cual se libera con aire a presión (freno de resorte) y un freno aplicado por aire a presión (freno de servicio).

Cuando se dirige aire a presión hacia el freno, el resorte extiende al pistón y al vástago para cerrar los cojinetes del freno contra el disco. Para liberar el freno de resorte, el aire a presión debe ser aplicado al extremo del vástago para comprimir al resorte, (el frente de emergencia debe estar también en OFF). La válvula de control del freno del inyector dirige el aire a presión al freno para comprimir al resorte. El freno de resorte requiere aproximadamente 4.92 -- kg/cm² para ser liberado.

Cuando el peso de la tubería se incrementa, el torque sobre el disco del freno se incrementa y el aire a presión requerido disminuye.

La válvula del freno de emergencia de la cabeza inyectora aplica aire a presión a un lado del resorte del freno (freno de servicio), para auxiliar la fuerza de frenado del resorte.

b).- CIRCUITO DE FRENADO DEL CARRETE DE TUBERIA

El freno del carrete de tubería es del mismo tipo que el usado en la cabeza inyectora. Sin embargo, en este circuito se emplea únicamente el freno aplicado por resorte y que se libera por aire a presión figura (III.5). La presión del resorte cierra los cojinetes contra la brida del carrete para asegurar al carrete cuando no esté en operación. El aire a presión se aplica al freno a través de la válvula de freno del carrete para comprimir al resorte, soltando al freno para la operación. No debe intentarse detener al carrete de tubería con el freno durante un descontrol de la tubería o en situación -

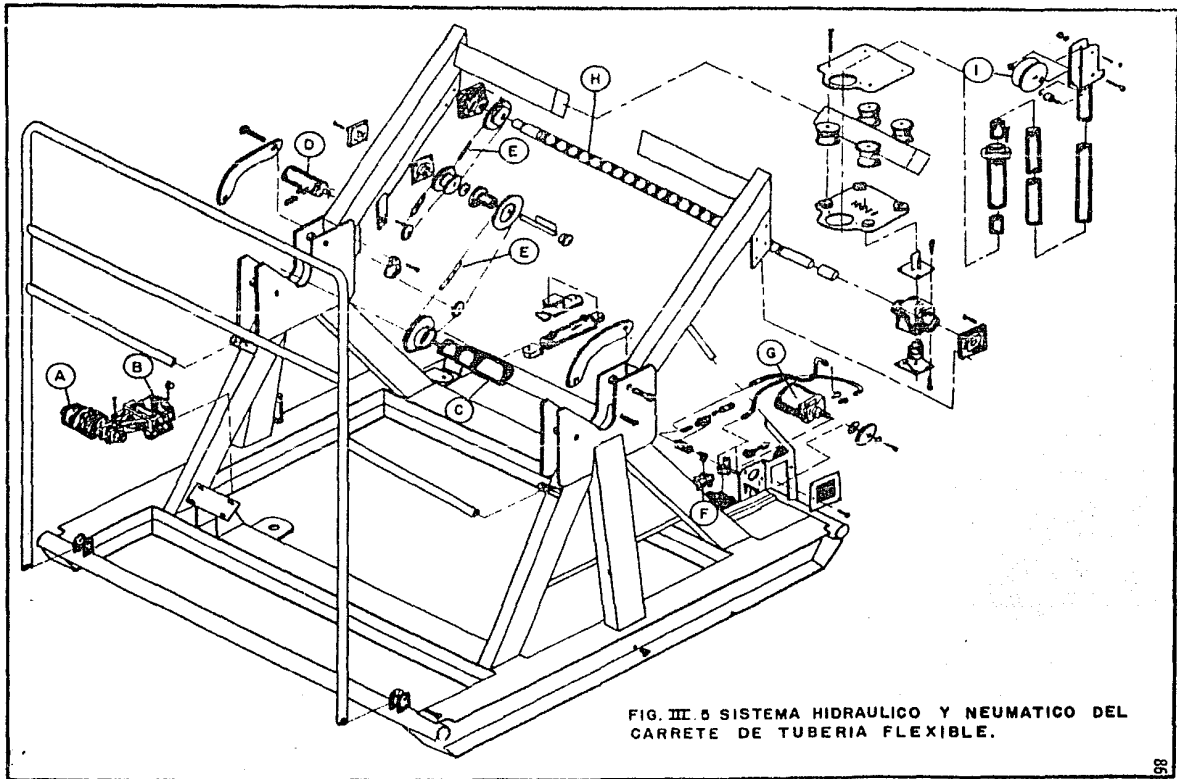


FIG. III 5 SISTEMA HIDRAULICO Y NEUMATICO DEL CARRETE DE TUBERIA FLEXIBLE.

DESCRIPCION DEL CARRETE HIDRAULICO, FIGURA III.5

- A.- FRENO DE AIRE
- B.- ALMOHADILLA SUSTITUIBLE DEL FRENO
- C.- FLECHA DEL CARRETE
- D.- MOTOR HIDRAULICO
- E.- ESLABON DE ROL SENCILLO
- F.- VALVULA DE DESCARGA
- G.- MOTOR HIDRAULICO CON MODIFICADOR
- I.- ROL DE TUBERIA

de emergencia (ruptura de la tubería flexible, reventón etc.).

c).- CIRCUITO DE CONTROL PARA ESTRANGULAR O DETENER EL MOTOR

El estrangulador en el motor está constituido por un resorte-excéntrico para la posición neutral de la velocidad mínima. - La válvula de control del estrangulador instalada en el panel de control, dirige aire a presión hacia el cilindro de aire - conectado a la palanca del estrangulador del motor. Cuando - la perilla de la válvula de control es girada hacia la derecha (en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj), el aire a presión se incrementa hacia el cilindro, moviendo - la palanca del estrangulador contra el resorte de tensión e - incrementando la velocidad del motor. Cuando la perilla de - la válvula de control es girada hacia atrás, el aire a presión disminuye, lo cual permite al resorte jalar al estrangulador - para lograr una menor velocidad del motor.

Se tienen dos controles para "matar" al motor, separados entre sí; el cortador del combustible, que debe usarse en condiciones normales y el cortador del aire, que debe ser empleado para emergencias, en condiciones de descontrol. La palanca - del cortador de combustible, instalada en los controles del - estrangulador del motor, está constituida de un resorte excéntrico en posición abierto. El cilindro del cortador de combustible mueve la palanca contra el resorte cuando la válvula -- para "matar" al motor instalada en el panel de control suministra aire a presión. Cuando la válvula para "matar" al motor figura (II.6), se opera hacia la posición "ON", el aire a presión es aliviado desde el cilindro, permitiendo al resorte abrir la válvula cortadora de combustible. La palanca-cortadora del aire es mantenida abierta mediante un seguro. - Así cuando el aire del cilindro levanta al seguro, un resorte cierra la válvula de admisión de aire.

La palanca y el seguro deben ser reajustados al ponerse en --

marcha el motor.

d).- CIRCUITO DE LA BOMBA DE LODO

Se tienen dos actuadores de aire localizados en la transmisión que está instalada en la bomba de circulación. Hay una válvula para cada actuador, las cuales se localizan sobre el panel de control. Para mover la transmisión hacia la velocidad deseada, se aplica aire a presión a ambos lados del actuador.

El operador debe tener en cuenta que las válvulas de control deben ser operadas hacia la posición neutral antes de hacer el cambio hacia la velocidad requerida.

III.3.- INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA⁽¹⁾

El sistema hidráulico de tubería flexible debe tener un correcto funcionamiento en su instalación sobre el piso de trabajo e inicio de las operaciones. Su correcto y adecuado manejo permitirá que las intervenciones sean llevadas a cabo sin dificultades y en el menor tiempo posible.

A continuación se describen los procedimientos que deben seguirse para su instalación y puesta en marcha, sin embargo, ellos deben ser usados como guías solamente, no son totalmente autosuficientes ya que no existe un sustituto para la experiencia y el sentido común. El programa general requerido para su instalación y puesta en marcha del equipo de tubería flexible, depende en alto grado de las condiciones del pozo y de su localización.

III.3.1.- COLOCACION DEL TRAILER DE LA UNIDAD DE TUBERIA FLEXIBLE

a).- La plataforma del equipo debe ser instalado sobre un terreno bien nivelado y si es posible engravado, para evitar que el equipo presente problemas de deslizamientos frontales y/o laterales.

b).- La parte trasera de la plataforma (donde está la gufa) debe quedar a un lado del pozo y en dirección paralela hacia donde sopla el viento, para evitar que el fuego producto de la combustión de deshechos no alcancen la unidad.

c).- El trailer se coloca de manera que el cabezal del pozo quede en la parte posterior izquierda de la plataforma de manera que el operador de la consola de control domine visiblemente la instalación del equipo desde la ventana de la caseta

d).- El extremo de succión del tanque hidráulico nunca debe-

estar más alto que el extremo de retorno.

III.3.2.- PUESTA EN MARCHA DEL PAQUETE DE POTENCIA

- a).- El nivel del fluido hidráulico debe estar cinco centímetros abajo de la cima del depósito, con los cilindros de la grúa retractados. Un tanque lleno reduce la condensación, -- ayuda a enfriar el fluido, y remueve el aire del fluido.
- b).- Las dos succiones y una válvula de mariposa en el retorno no deben estar completamente abiertos. Cuando el paquete de potencia no ha funcionado en las últimas 24 horas, abrir la válvula de drene en el fondo del tanque hidráulico y drenar el agua y sedimentos los cuales se han asentado en la base -- del tanque. Esto debe hacerse aproximadamente a intervalos -- semanarios.
- c).- Todas las conexiones rápidas deben ser conectadas completamente.
- d).- Todas las válvulas de control (Hidráulicas y Neumáticas) deben estar en posición neutral (grúa y consola de control).
- e).- Verificar los niveles de aceite del motor y enfriante.
- f).- Checar que el combustible diesel, sea suficiente para -- la duración de la operación.
- g).- Si el medio ambiente es frío, poner en marcha el generador "ONAN" y operar el calentador del lubricante del motor, y el calentador del tanque hidráulico antes de intentar poner -- en marcha el motor.
- h).- Verificar el ventilador, el alternador y las correas de impulso del compresor de aire para evitar desgastes excesivos

y tener una tensión apropiada.

i).- Poner en marcha el motor y mantenerlo entre 600 y 800 - r.p.m., mientras se verifica la posición del aceite del motor. Asegurarse que el motor esté suficientemente caliente antes de operar cualquier elemento hidráulico.

III.3.3.- INSTALACION DE LOS PREVENTORES Y CABEZA INYECTORA- EN EL CABEZAL

a).- Checar todas las conexiones hidráulicas y neumáticas de la cabeza inyectora y de los preventores, verificando que estén correctamente instalados y ajustados.

b).- Verificar la tensión de la cadena de impulso de la cabeza inyectora, asegurándose que tengan la tensión adecuada para evitar problemas durante la introducción o extracción de la tubería flexible.

c).- Verificar la operación correcta de todas las funciones de la cabeza inyectora (trenos, lubricador, cilindros de tensión, motores de impulso).

d).- Alinear correctamente las cadenas de impulso, discos de frenado y engranajes de distribución.

e).- Checar la operación de todos los arietes hidráulicos -- del conjunto de preventores, verificar que no existan fugas - hidráulicas dentro de los preventores que no podrían ser de-- tectados cuando se encuentren ya colocados en el cabezal.

f).- Con auxilio de la grúa hidráulica instalar adecuadamente el conjunto de preventores sobre el cabezal.

g).- Checar que el estopero y la guía no tengan hules gasta-

dos y estén en perfectas condiciones de operación.

h).- Jalar la tubería flexible del carrete hidráulico y ajustar dentro de la cabeza inyectora, antes de instalar ésta, sobre el conjunto de preventores.

i).- Insertar la tubería en la guía "cuello de ganso" de la cabeza inyectora.

j).- Introducir la tubería dentro de las cadenas de impulso de la cabeza inyectora. Estar completamente seguros que las tres válvulas de purga de tensión de los cilindros están totalmente abiertos antes de mover la tubería dentro de las cadenas de la cabeza inyectora.

k).- Deslizar la tubería a través de las cadenas impulsoras, de manera que los bloques de fricción la mantengan firmemente, en el interior de la cabeza inyectora.

l).- En caso de ser necesario, modificar el extremo de la tubería flexible o instalar en ella alguna herramienta especial.

m).- Instalar la cabeza inyectora sobre el conjunto de preventores, teniendo cuidado de que el centro de línea de la cabeza inyectora esté en ángulo recto con la flecha del carrete de tubería, a fin de minimizar el ángulo en el cual la tubería se desliza a través de las guías de tubería en la cabeza inyectora y el carrete de tubería.

C A P I T U L O I V

PROCEDIMIENTOS DE APLICACION

IV.1.- INTRODUCCION

Las principales aplicaciones del equipo de tubería flexible se llevan a cabo en el proceso y mantenimiento de pozos, a fin de que estos siempre se encuentren en condiciones apropiadas de operación ya sea de producción o de inyección. La variedad de aplicaciones del sistema es muy amplia y los procedimientos de tallados, paso a paso no es posible describirlos minuciosamente, debido a que dependen exclusivamente de las condiciones del pozo y de los problemas que se presenten, además estos varían de una localización a otra. En este capítulo se describen las -- principales aplicaciones con la finalidad de conocer los pasos esenciales para lograr una intervención con éxito.

Inicialmente se enuncian las observaciones y precauciones generales que el operador de la unidad siempre debe considerar antes y durante el desarrollo de las intervenciones, con la fin lidad de evitar contratiempos y disminuir al mínimo la posibilidad de accidentes tanto en el equipo como en el pozo y dar seguridad al personal que dirige la operación. Posteriormente se presenta para cada una de las aplicaciones, los procedimien tos recomendados que deben seguirse para lograr una interven ción rápida y eficiente, a la vez se indican las observaciones y precauciones para cada una de ellas.

IV.2.- OBSERVACIONES Y PRECAUCIONES GENERALES

Las aplicaciones del sistema hidráulico de tubería flexible son numerosas en el campo petrolero, y para lograr que las intervenciones sean un éxito se recomienda revisar cada uno de sus componentes antes de intentar utilizarlo, para verificar que su funcionamiento es el correcto y en caso de no serlo -- así proceder a remediar los desperfectos.

Una vez que se ha determinado necesaria la utilización del equipo, el primer paso consiste en reunir toda la información posible de las condiciones de flujo y mecánicas del pozo a -- tratar. Entre la principal información requerida del pozo se encuentra la profundidad total, de las perforaciones y del empacador, los diferentes diámetros de las tuberías, en el pozo, las características físicas y químicas de los fluidos en el pozo, la presión superficial máxima esperada, el peso aproximado del cabezal, etc. Además es importante conocer las causas y los problemas del pozo que hicieron necesaria la intervención, considerando que pudieran ser múltiples y variadas.

En base a la información recolectada, la disponibilidad de los elementos y servicios auxiliares (bombas, compresoras, mezcladores, etc.) necesarios para la operación del equipo de tubería flexible, se hace un diagnóstico del problema y se determina el tipo y desarrollo de la intervención más apropiada y el objetivo de ésta. Se recomienda que las operaciones se -- efectúen apegándose lo más posible al diseño programado y tener cuidado especial de que todos los procedimientos se efectúen normalmente y en la forma cronológica preestablecida.

A continuación se presentan las observaciones y precauciones generales para lograr una operación segura y eficiente del equipo que deben seguirse en la totalidad de sus aplicaciones. Así como las posibles causas de descontrol de la tubería flexible en el equipo y los procedimientos más adecuados para su

control.

IV.2.1.- OBSERVACIONES GENERALES^{(10), (9)}

- 1.- Checar la línea de flujo en su totalidad y asegurarla - perfectamente antes de intentar presurizarla
- 2.- Verificar las características teóricas y la clasificación de la presión de los elementos utilizados, considerando un margen de seguridad, según las condiciones - físicas que presenten, al momento de la operación. Es - importante tener pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades físicas reales.
- 3.- Checar la presión en el pozo y mantenerla continuamente dentro de las limitaciones de presión de la unidad.
- 4.- Purgar el pozo si es necesario.
- 5.- Checar los rodillos interiores y exteriores antes de o - perar en el agujero, asegurandose que funcionen y estén en condiciones apropiadas de operación.
- 6.- Purgar el obturador antes de correr la tubería a través de él (en caso contrario pueden dañarse los hules).
- 7.- Instalar el contador de tubería y ponerle una marca de - referencia, antes de introducirla al pozo, (con la ayu - da de un martillo, colocar 2 clavijas de referencia).
- 8.- Llevar un registro de todas las soldaduras que se han - efectuado en la tubería flexible.
- 9.- En un libro de registros, asentar todos los viajes he - chos por la tubería flexible indicando la profundidad - de ellos.
- 10.- Emplear únicamente la suficiente potencia necesaria en - la cabeza inyectora para introducir o extraer la tubería.
- 11.- Checar al equipo una vez que se hayan rebasado los 30 m en el agujero. Como medida de seguridad, para asegurar

se que los componentes del equipo estén funcionando correctamente.

- 12.- Inspeccionar la tubería para verificar que no se está rayando a medida que es introducida al pozo.
- 13.- Si la tubería flexible está vacía, llenarla antes de -- llegar a más profundidad.
- 14.- Engrasar la tubería flexible cada 4 o 6 horas de tiempo de funcionamiento.
- 15.- Observar el indicador de peso, una vez que se halla alcanzado la profundidad total.
- 16.- Accionar los arietes de tubería, tornillos del vástago, cuando las tuberías de 1¼ a 1½ pg, se dejen colgadas durante la noche. la tubería de ¾ y 1 pg nunca deben dejarse dentro del pozo en el transcurso de la noche, ya que la presión del pozo puede dañarlas o expulsarlas.
- 17.- Asegurarse que la tubería esté arriba del fondo del pozo antes de dejarla colgada durante la noche.
- 18.- Cuando se opera la tubería flexible con herramientas en su extremo, asegurarlas adecuadamente mediante la instalación de tornillos.
- 19.- Cuando se piensa operar a más de 4000 m, se debe tener nitrógeno para desplazar el fluido contenido en la tubería de 1 pulgada antes de extraerla del pozo⁹.

IV.2.2.- PRECAUCIONES GENERALES¹⁰

- 1.- No tensionar arriba de las 6352.0 kgs. en tubería de pared gruesa y 5444.6 kgs. en tubería de pared delgada. Esta puede ser obtenida sólo gradualmente. La presión en el interior de la tubería debe ser sumada a la presión del arrastre para no exceder a la presión máxima.
- 2.- Prevenir que la tubería no se salga del "cuello de ganso"

ya que esto causará pliegues en ella. Si el operador observa que la tubería se sale del "cuello de ganso", disminuir la presión del carrete antes de que el movimiento hacia afuera de la tubería se detenga.

- 3.- Nunca exceder los 316.4 kg/cm^2 sobre la tubería y asegurarse de conocer perfectamente las condiciones mecánicas del pozo.
- 4.- Nunca trabajar a la guía de tubería en el carrete y a la grúa hidráulica, con pocas R.P.M. del motor. La presión del carrete puede disminuir a cero.
- 5.- Nunca operar plegada o dañada la tubería en las cadenas, sin una inspección detallada por daño (Esto puede causar que la tubería se rompa cuando se incrementa el peso sobre ella).
- 6.- No bombear por el exterior de la tubería de 1 pulgada si ésta se encuentra enterrada en una formación blanda, ya que se puede causar un empaquetamiento alrededor de la sarta.
- 7.- Evitar introducir o extraer la tubería en la noche a menos de que se tengan disponibles luces adecuadas en el cabezal, carrete y panel de control.
- 8.- Nunca bombear a través de una línea de flujo que no se encuentre en condiciones adecuadas de operación.
- 9.- Adecuada y especiales precauciones deben ser seguidas, cuando se presenten los siguientes agentes peligrosos:
 - a).- Gases tóxicos o asfixiantes.- H_2S , desplazamiento de oxígeno con N_2 .
 - b).- Objetos dañados.- Líneas de flujo, válvulas, etc.
 - c).- Fallas mecánicas.- En la unidad de tubería, conexiones, etc.
 - d).- Fluidos inflamables.- Ácidos, aceite caliente, nitrógeno líquido, etc.

- e).- Electrocución.- Líneas de alto voltaje, paquete de potencia, etc.

IV.2.3.- DESCONTROL DE LA TUBERIA FLEXIBLE¹⁰

a).- EN LA CABEZA INYECTORA

El descontrol más frecuente ocurre cuando la tubería flexible se suelta de las cadenas de tensión. A continuación se enlistan las causas de este problema y los procedimientos para solucionario.

1).- CAUSAS

- a).- Ajuste inadecuado en las cadenas fijas.
- b).- Cadenas arrugadas y los bloques de fricción con marcas muy grandes de manera que no logran aprisionar totalmente a la tubería.
- c).- Aceite, parafina o cloruro de calcio seco en la tubería.
- d).- Incorrecta tensión en el interior y exterior de las camisas de fricción.
- e).- Conexiones rotas en camisas y válvulas de retención.
- f).- Funcionamiento deficiente de las válvulas de retención-piloto.
- g).- Conexión suelta en el interior de los cilindros de tensión.
- h).- Grietas en los rodillos de control, en la sección del cilindro hidráulico.
- i).- Deficientes anillos "orring" en el interior del cilindro hidráulico.

2).- PROCEDIMIENTOS DE CONTROL

- a).- La presión del carrete no debe incrementarse al máximo-

En caso contrario, al detener la tubería flexible con - los preventores, la cabeza inyectora puede llegar a ten sionarse demasiado fuerte.

- b).- Incrementar la presión interior de las cadenas hasta -- que la tubería se detenga o bien hasta que se alcance - la presión máxima de 140.64 kg/cm².
- c).- Incrementar la presión del obturador hidráulico hasta - que la tubería sea detenida, o hasta alcanzar los 350 - kg/cm².
- d).- Operar la cabeza inyectora hacia la posición "OUT" y gi rar las cadenas como si la tubería estuviera saliendo.- Si esto no funciona, proceder con el paso e).
- e).- Instalar los arietes hidráulicos de tubería. Estos ba- jarán lentamente a la tubería hasta alcanzar el fondo.- Si hay suficiente tubería para alcanzar el fondo, proce der con el paso f).
- f).- Accionar las cuñas de tubería para detener la tubería y proporcionar la oportunidad de instalar los arietes de- tubería, como en el paso anterior. Este es el último - recurso y es empleado sólo en caso de emergencia.
- g).- Por otro lado, si la tubería se atora en el pozo, de ma nera que se aglomere en el interior, colocar 1.27 - 1.59 m³ de agua con gelatina guar o aceite y operar hacia a- rriba y hacia abajo. Si el pozo es fluyente, cerrar - la línea superficial de flujo, permitiendo que el pozo- levante presión. Una vez que está represionando, simul taneamente abrir rápidamente la línea de flujo y jalar- la tubería. Esta operación debe hacerse con personal - experimentado.

b).- RUPTURA DE LA TUBERIA FLEXIBLE

Corresponde al descontrol más peligroso en el desarrollo de - las operaciones de la tubería flexible.

1).- CAUSAS

- a).- Manejo inadecuado de la tubería flexible, durante su - - transporte, almacenamiento, etc.
- b).- Posibles grietas o fallas en las soldaduras de la tube-- ría, debido a incorrecta operación de soldado.
- c).- Excesiva presión de arrastre de la cabeza inyectora.
- d).- Deterioro en las propiedades físicas de la tubería flexible debido a un excesivo tiempo de vida útil.

2).- PROCEDIMIENTOS DE CONTROL

- a).- Para evitar este problema, es necesario llevar un registro continuo del número y tipos de intervenciones de la tubería, además determinar con pruebas de laboratorio - la variación de sus propiedades físicas.
- b).- Si la ruptura a las grietas en la tubería se detectan - antes de pasar por la cabeza inyectora, incrementar la presión interior de las cadenas de tensión, hasta que - la tubería se detenga (no exceder la tensión máxima de operación de la tubería).
- c).- Incrementar la presión del obturador hidráulico, hasta que la tubería sea detenida completamente, evitando rebasar los 350 kg/cm².
- d).- Accionar el freno de la cabeza inyectora instalado en - el panel de control y así como el preventor de arietes- de tubería.
- e).- Si la ruptura o las grietas en la tubería flexible, son detectadas inmediatamente antes de entrar a la cabeza inyectora. Accionar los preventores de arietes de cuña - para detener la tubería, en segunda operar los arietes- de tubería y accionar el freno de la cabeza inyectora.
- f).- Accionar la palanca de control direccional hacia la posición "OUT" y secar la tubería flexible del pozo, para co-- rregir los desperfectos.

IV.3.- PROCEDIMIENTOS DE LAS INTERVENCIONES^{1,7,8,9,10,11}

La versatilidad del equipo de tubería flexible, permite al usuario alcanzar los objetivos de una intervención con diferentes procedimientos de operación en el pozo. En esta parte se describen los que con mayor frecuencia y seguridad se aplican en México y en el mundo. Como se hizo notar anteriormente, - los procedimientos a detalle no son posible de mencionar, de manera que sólo se puntualizan los pasos más importantes. Se enlistan las observaciones y precauciones que deben tomarse - en cuenta, y además se mencionan las razones por las cuales - es necesaria la intervención y la aplicación del sistema hidráulico de tubería flexible.

Las intervenciones que se describen son:

- REMOCION DE MATERIAL NO CONSOLIDADO
- REMOCION DE PARAFINAS
- ACIDIFICAION
- CIRCULACION PARA "MATAR" UN POZO
- CEMENTACION
- EMPLEO DE TUBERIA FLEXIBLE CON NITROGENO
- LIMPIEZA CON TURBO-BARRENA
- LIMPIEZA DEL POZO DESPUES DE SU TERMINACION
- LIMPIEZA DE LINEAS DE FLUJO
- INSTALACION PERMANENTE
- INDUCCION DE POZOS GEOTERMICOS
- TRATAMIENTO DE POZOS INYECTORES DE AGUA

IV.3.1.- REMOCION DE MATERIAL NO CONSOLIDADO^{7,8,10}

Uno de los problemas que con más frecuencia se presentan en los pozos petroleros, es la producción de fluidos con un alto porcentaje de arena o material de roca no consolidado, el cual es arrastrado desde la formación hasta las conexiones superficiales, provocando fuertes erosiones en las tuberías de producción y en los equipos que manejan los fluidos en superficie. Este problema es factible de ser solucionado, circulando agua o espuma a través del equipo de tubería flexible hasta lograr la remoción total de la arena.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Las conexiones en "T" y los tapones ciegos deben usarse en todos los cambios de dirección de las líneas superficiales de flujo. Estas conexiones evitan que los codos sean erosionados o barrenados continuamente por la arena y mezclas de fluidos del pozo.
- 2.- Asegurar y checar las líneas superficiales de flujo durante su instalación y verificar que se coloquen en ellas los estranguladores ajustables.
- 3.- Verificar en superficie que los fluidos que regresan del pozo, realmente estén transportando las partículas de arena hacia superficie.
- 4.- En todo momento, mantener en movimiento (ya sea ascendente y descendente) la tubería flexible dentro del pozo, para evitar que sea atrapada por partículas de arena.
- 5.- Procurar una buena calidad del fluido empleando para la remoción, durante la totalidad de la intervención.
- 6.- En caso de que los resultados de la remoción no se manifiesten inmediatamente en superficie, esperar un poco, para alcanzar a transportar la arena hasta la superficie.
- 7.- Mantener una moderada velocidad de circulación en el pozo, en caso contrario la mezcla de fluidos y arena pueden provocar fuertes erosiones en las tuberías que se encuen

tran en el pozo.

- 8.- En tuberías de diámetro grande, emplear espuma para acarrear la arena hacia superficie.
- 9.- Siempre tomar en cuenta que en tuberías de producción de diámetro grande, los tapones de arena que se forman en su interior, son grandes, de manera que la remoción total de la arena llevará más tiempo de operación.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- No operar herramientas en el extremo de la tubería flexible, al menos que sea absolutamente necesario.

a).- LAVADO DE ARENA EMPLEANDO AGUA

La tubería flexible se introduce por el interior de la tubería de producción a una velocidad de 9 a 12 m/min., mientras se mantiene un gasto bajo de bombeo de agua a través de ella. Esta circulación evita que la tubería flexible llegue a tapoarse por entrada de sólidos de la formación. Un gasto de -- aproximadamente 80 lts/min. a una presión de 210 kg/cm², es considerado normal para una tubería flexible de 1 pul. de diámetro de 4300 m de longitud.

Una vez que la tubería flexible llega a la profundidad del tapón de arena, se debe continuar el bombeo de agua por el interior de la tubería flexible, teniendo precaución de no lavar demasiado rápido. En caso de tener una tubería de revestimiento de 7 pulg. de diámetro, la cual puede almacenar 32.7kg. de arena por metro, circular a un gasto de 80 lts/min., de manera que el agua arrastre hacia superficie 0.2 kg. de arena por litro de agua, con esto se logra una velocidad de remoción de 0.3 m/min. Un ritmo de lavado más alto puede ser peligroso por la excesiva fricción en las tuberías. En caso de tener que suspender el bombeo de agua, levantar la tubería flexible

a 10 m del fondo del pozo, para evitar que al asentarse la arena que está circulando a superficie, la atrape. Al reiniciarse la circulación en el pozo bajar lentamente la tubería flexible a su profundidad anterior.

La operación del lavado de arena debe continuarse análogamente hasta que se alcance la profundidad programada. Para asegurar la remoción total de los sólidos, circular como mínimo un volumen igual al del pozo, hasta que el agua bombeada retorne libre de partículas de arena a superficie, manteniendo la tubería flexible en el fondo del pozo. En caso de que se necesite dejar el pozo lleno de fluido, mantener circulación a medida que la tubería flexible se extrae del agujero, reemplazando con fluido el espacio dejado por el desplazamiento de la tubería.

b).- LAVADO DE ARENA EMPLEANDO ESPUMA

La circulación de espuma se debe iniciar desde que la tubería flexible se introduce al pozo, a fin de tener una circulación constante de espuma. En superficie, mantener un minucioso control de la contrapresión en todo momento para asegurar una adecuada calidad de la espuma en el fondo del pozo y mantener la circulación y el arrastre de arena. La excelente capacidad de arrastre de la espuma permite concentrar en ella grandes cantidades de arena, sin embargo debe tenerse precaución de no lavar demasiado rápido. Con el objetivo de calcular la relación nitrógeno-fluido, es necesario considerar una presión de tratamiento del fondo del pozo. Esta presión deberá ser ligeramente menor que la presión del yacimiento para asegurarse que al circular no se presenten pérdidas de fluidos hacia la formación. Una vez determinada la presión de fondo necesaria, el cálculo de la relación nitrógeno-fluido se hace a través de tablas para espuma estable.

Es necesario instalar una válvula superficial de contrapresión,

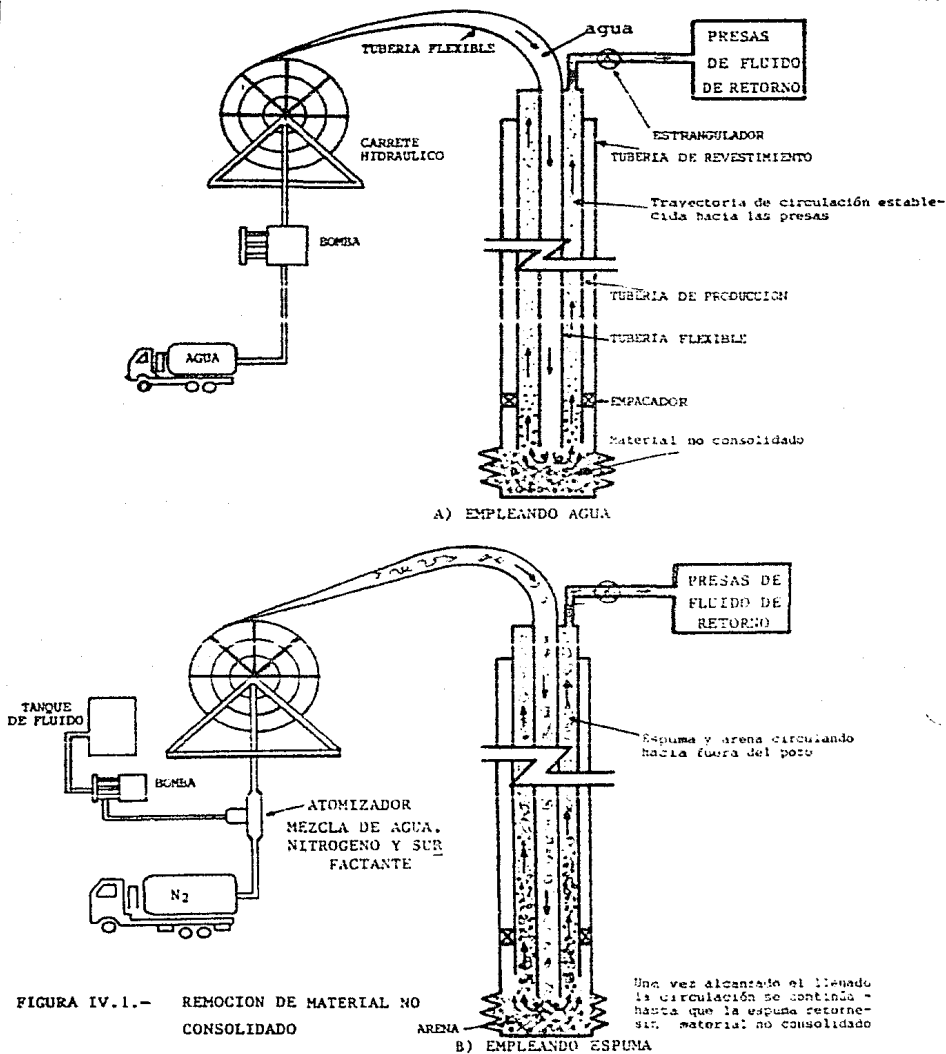


FIGURA IV.1.- REMOCION DE MATERIAL NO CONSOLIDADO

la cual se ajusta a una presión igual a la presión de fondo - del pozo menos el peso hidrostático de la columna de espuma, - para asegurar una adecuada calidad de la espuma en el fondo.

La remoción de arena del pozo se logra bombeando la espuma -- por el interior de la tubería flexible y desalojando la mezcla de espuma y arena hacia superficie por el espacio anular formado entre la tubería flexible y la tubería de producción. Una vez que la arena ha sido removida completamente, mantener la circulación hasta que la espuma regrese a superficie libre de sólidos, figura IV.1. El fondo del pozo se checará varias veces con la tubería flexible, para confirmar que toda la arena ha sido extraída del pozo. Después de concluir la intervención, detener la inyección de espuma y llenar el pozo con agua o lodo.

Es importante hacer notar que antes de operar el sistema hidráulico de tubería flexible con utilización de espuma, la localización del pozo debe ser ampliada suficientemente para -- instalar el equipo extra que se requiere en la operación, este equipo extra está formado por el atomizador, tanque de nitrógeno, etc.

En la localización del pozo se debe disponer de los suficientes volúmenes de agua y nitrógeno, para evitar que la circulación de espuma se suspenda en el desarrollo de la intervención.

La capacidad de arraste de la espuma permite que la remoción de arena en pozos profundos con tuberías de diámetros grandes, sea posible con un gasto bajo de bombeo, presentándose algunas veces como la única vía para lavar taponos de arena u otros sólidos del fondo de los pozos.

IV.3.2.- REMOCION DE PARAFINAS^{8,10,12}

Las parafinas que químicamente se les denomina como mezcla de

hidrocarburos ricos en carbón e indiferentes a la mayor parte de los reactivos químicos o más formalmente hablando, todo hidrocarburo saturado derivado del etano o de las series de cadena abierta saturada, han constituido un serio y agudo problema en la Industria Petrolera¹².

La parafina en el fondo del pozo puede acumularse en la tuberías de producción hasta el grado de disminuir notablemente - su área libre de flujo.

Existen varios factores que influyen en el grado de depositación de las parafinas:

- Composición química del aceite producido.
- Temperatura del fondo del pozo.
- Gasto de producción.
- Posible contacto de las tuberías del pozo con un acuífero - somero que provoque una disminución de la temperatura en alguna sección del pozo.

Con frecuencia la depositación de parafinas está influenciada por más de un factor, sin embargo la mayoría de las veces está en función del enfriamiento del aceite producido, provocando la solidificación de la parafina. Estos sólidos parafínicos se adhieren a las tuberías y acumularse reducen el área - de flujo.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Instalar una división de madera entre el carrete de tubería flexible y el motor de la unidad, para evitar que el calor del aceite que se circula por la tubería flexible, afecte la eficiencia del motor por trabajar en un medio ambiente excesivamente caliente.
- 2.- Verificar que se tiene disponible el equipo contra incendios.

- 3.- tener extremo cuidado durante la intervención del equipo con fluidos calientes y emplear el equipo de seguridad - (casco, botas, guantes, etc.).
- 4.- Disponer de los volúmenes adecuados de agua o aceite que se emplearan en la totalidad de la intervención.
- 5.- Circular agua o aceite caliente (dependiendo del fluido- empleado en la operación) a través de la conexión girato- ria del carrete hidráulico y por la tubería flexible en- rollada en él, hasta que la tubería esté completamente - caliente. Hacer esta operación antes de introducir la - tubería flexible en el pozo.
- 6.- Checar el engrasado en todos los engranes de la cabeza - inyectora una vez iniciada la inyección de la tubería -- flexible al pozo, (el fluido caliente que circula a tra- vés de la tubería puede llegar a derretir la grasa).
- 7.- Mantener caliente la tubería flexible y los estoperos en la parte inferior de la cabeza inyectora bien ajustados, para quitar la mayor cantidad posible de parafina de la- pared exterior de la tubería, cuando ésta es extraída -- del pozo.
- 8.- Lavar hasta 100 m más abajo de la profundidad del tapón- de parafina, para asegurar su remoción total o suspender la operación hasta que el fluido circulado en el pozo re- torne a superficie libre de desechos parafínicos.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- No recircular el fluido que se está empleando para remo- ver la parafina del pozo...
- 2.- Nunca depender del contador de profundidad, emplearlo -- únicamente como un indicador.
- 3.- Jamás permitir que los fluidos calientes que regresan -- del pozo con desechos parafínicos, vuelvan al interior - del pozo a través de la tubería flexible.

- 4.- Tener extremas precauciones cuando sea necesario mover - a la tubería flexible en superficie, si se está circulando aceite caliente a través de ella.
- 5.- Cuando se bombean solventes hacia el pozo (para remover- la parafina), se debe tener extremo cuidado en superfi- cie ya que son inflamables y tóxicos.

a).- REMOCION DE PARAFINA EMPLEANDO ACEITE CALIENTE

Un método efectivo para eliminar las acumulaciones de parafina es derretirla con aceite caliente. Se emplean unidades - diseñados especialmente para calentar el aceite en superfi- cie a una temperatura de 90° a 260°C, estas unidades se insta- lan cerca del cabezal del pozo. Posteriormente se circula el aceite caliente a través de la tubería flexible.

Los componentes del conjunto de preventores deben estar dise- ñados para soportar altas temperaturas. Antes de iniciar la- operación, se debe ajustar correctamente la línea de descarga de la unidad en la cual se calienta el aceite, con la conexión rotatoria del carrete hidráulico de tubería flexible. Previo al inicio de la operación de remoción de parafina, circular - aceite caliente por el interior de la tubería flexible para - calentarla. Posteriormente introducir la tubería flexible -- por dentro de la tubería de producción. Al alcanzar los 100m de profundidad se vuelve a iniciar la circulación por la tube- ría flexible y se prosigue bajando hacia la profundidad de -- las acumulaciones parafínicas, una vez alcanzada esta profun- didad, cargar sobre los depósitos de parafina, 600 kgs. con - la tubería flexible, a continuación levantar ésta 20 metros y con circulación constante transportar los desechos hacia su- perficie. La circulación de aceite caliente debe mantenerse- hasta aproximadamente 150 metros abajo de la zona de acumula- ción de parafina. Se circula por un lapso de 2 horas como mⁱ nimo después de que se ha alcanzado la profundidad programada, con esto se asegura el total derretimiento y remoción de la -

parafina.

El aceite caliente que se circula dentro del pozo al entrar - en contacto con las tuberías pierde una excesiva cantidad de calor, por esta razón es necesario checar que el aceite que - regresa a superficie trae consigo material parafinico disuelto, para asegurarse que se está empleando una temperatura adecuada en el aceite para remover la parafina.

Después de circular el tiempo y hasta la profundidad programada, la tubería flexible se extrae del pozo y la unidad se desmantela. Normalmente el pozo puede ser restaurado a producción en pocas horas.

b).- REMOCION DE PARAFINA EMPLEANDO AGUA CALIENTE^{8,10}

La circulación de agua caliente tiene algunas ventajas sobre la circulación de aceite caliente, en la operación de remoción de parafinas:

- 1.- Seguridad.- Con el empleo de agua, no existe peligro de fuego o explosión si el dispositivo de calentamiento se llega a romper o a tener fuga.
- 2.- Disponibilidad.- Los volúmenes de aceite crudo que se requieren para la operación pueden ser grandes y el suministro no siempre es rápido. Además de que el costo de la intervención se reduce considerablemente cuando se emplea agua.
- 3.- Contaminación.- El agua es mucho más fácil de manejar y no existen riesgos de contaminación en el caso de pérdidas o fugas.

La circulación de agua caliente se hace justamente igual que en el caso del aceite. La tubería flexible necesita ser calentada antes de introducirla en el pozo, el agua generalmente se calienta a una temperatura de 90° a 120°C. Es posible-

calentar el agua arriba de los 100°C sin que se transforme en vapor, ya que en la unidad de calentamiento y en el pozo, se manejan presiones mayores que la de su presión de saturación.

Una vez que la tubería flexible ha sido calentada en superficie mediante la circulación de agua caliente, se introduce al pozo por el interior de la tubería de producción. Al alcanzar los 100 metros de profundidad, iniciar la circulación - - constante del agua caliente a través de la tubería flexible y mantener esta circulación durante todo el desarrollo de la operación para evitar un taponamiento por parafina en su interior. Al momento de alcanzar la profundidad de los depósitos parafínicos, cargar sobre ellos un peso de 600 kgs. con la tubería flexible, posteriormente levantarla aproximadamente 20m y mediante la circulación del agua caliente, derretir la parafina para su transporte a superficie. La operación se continúa análogamente hasta eliminar en su totalidad el tapón de parafina.

Después de alcanzar la profundidad programada, circular por - al menos 4 horas para asegurar el completo derretimiento de la parafina, posteriormente cortar el bombeo del agua caliente y extraer la tubería flexible. Por último desmantelar el equipo.

Los resultados de la remoción de parafina pueden ser chequeados corriendo un calibrador con línea de acero. La remoción empleando agua caliente se logra por la transferencia del calor del agua hacia la parafina hasta alcanzar el derretimiento de ésta, otro beneficio del agua es que la parafina no es soluble en el agua.

c).- REMOCION DE PARAFINAS EMPLEANDO PRODUCTOS QUIMICOS^{8,10}

El empleo de compuestos químicos para disolver los depósitos de parafina es otra alternativa para eliminar las acumulacio-

nes parafínicas del fondo de los pozos. Los componentes químicos son manejados similarmente al caso del lavado del pozo con fluidos calientes, logrando que la parafina esté expuesta a la acción constante de los químicos. Otro procedimiento -- probado actualmente para eliminar la parafina, (sin emplear la unidad de tubería flexible) es mediante el bombeo de los compuestos químicos por el espacio anular y circularlos hacia superficie por el interior de la tubería de producción, sin embargo, los volúmenes de compuestos químicos que se emplean son más grandes con este procedimiento que con el empleo de la unidad de tubería flexible.

El sistema hidráulico de tubería flexible proporciona un medio económico y rápido para la circulación de químicos en el pozo. La unidad de tubería flexible se instala normalmente, la bomba de inyección de los compuestos químicos se integra a la conexión giratoria del carrete hidráulico. Se debe tener cuidado de asegurar las conexiones de la bomba y la unidad de tubería flexible. Para lograr la remoción de parafina generalmente se emplean algunas formas de solventes aromáticos, estos son bombeados al momento en que la tubería flexible se introduce al pozo, el bombeo es continuo durante toda la operación, con esto se evita el taponamiento de la tubería y la parafina se disuelve a medida que va entrando en contacto con los compuestos químicos. Este procedimiento se continua hasta observar que los fluidos bombeados regresan libres de material parafínico, o bien, continuar el lavado del pozo hasta aproximadamente 150 m abajo de la profundidad de la zona de acumulación parafínicos.

Después de alcanzar la profundidad programada, concluir el -- bombeo de los compuestos químicos y extraer la tubería flexible del pozo, posteriormente desmantelar la unidad. Similarmente a los procedimientos de remoción de parafina con aceite o agua caliente, los resultados de la operación pueden ser -- verificados corriendo un calibrador.

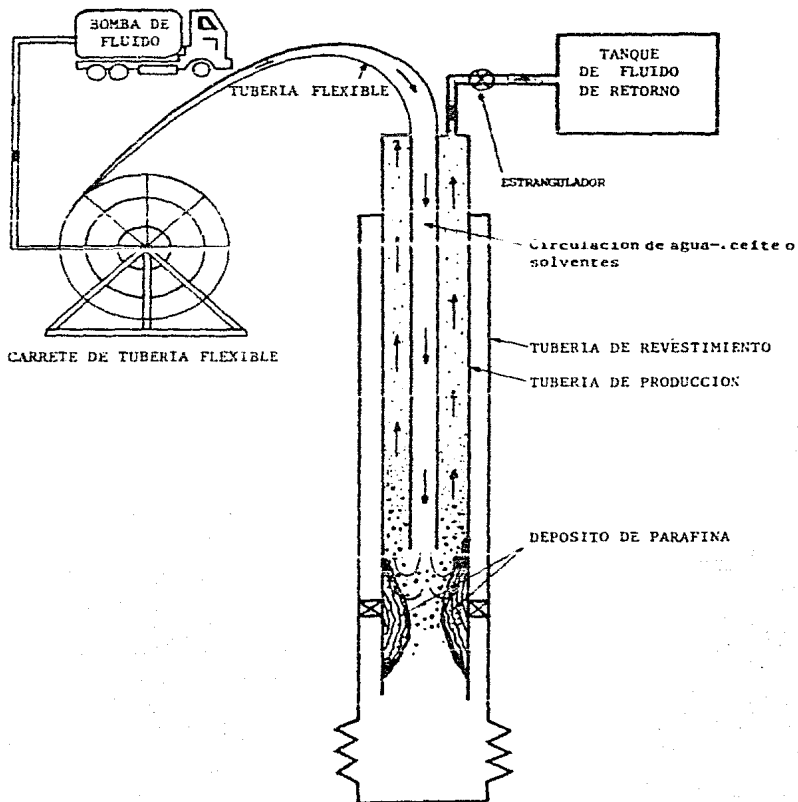


FIGURA IV. 2.- REMOCION DE PARAFINA

Es importante hacer notar que el pozo se encuentra bajo control en todo momento y que el solvente o compuestos químicos-empuestos en la remoción, pueden ser mantenidos en un sistema cerrado. Frecuentemente el pozo vuelve a su producción normal en cuestión de horas.

En la figura IV.2.- Se muestra esquemáticamente la intervención de la tubería flexible para remover los depósitos parafínicos.

IV.3.3.- ACIDIFICACION^{8,10,11}

Frecuentemente, en una operación de estimulación se presenta el problema de que los fluidos no pueden ser bombeados hacia el pozo debido a las condiciones de éste. Una de tales condiciones puede ser una falta de penetración de las perforaciones hacia la formación productora. La reperforación de ellas algunas veces alivia este problema. Otra condición que a menudo se presenta es el severo daño causado al pozo por los fluidos de perforación. Sea cualesquiera el problema, la colocación de ácido a través de las perforaciones normalmente permitirá la limpieza del pozo y del intervalo de la formación, para alcanzar una mayor penetración de los fluidos estimulantes hacia el yacimiento.

El uso de una unidad de tubería flexible es un medio eficiente para la colocación de ácido a través de las perforaciones hacia la formación y restituir el flujo hacia el pozo. Los preventores ofrecen un control positivo del pozo en todo momento.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Siempre tener depósitos y agua fresca disponibles para lavar la piel.

- 2.- Asegurarse de que se tiene arreglado y disponible el equipo de seguridad (gafas protectoras, guantes de goma, casco, botas con casquillo, tec.)
- 3.- Asegurarse de conocer con exactitud la capacidad de la sarta de tubería flexible.
- 4.- Verificar que el ácido se inhibe apropiadamente.
- 5.- Bombear 0.15-0.30 m³ de agua inhibida adelante del ácido.
- 6.- Inyectar ácido al 15-28% como máximo. La concentración del ácido empleado depende de que tan bien sea inhibido el ácido.
- 7.- Cuando el ácido se encuentre a la profundidad de los diparos, mantener igual presión en el exterior e interior de la tubería flexible, para inyectar el ácido hacia la formación a través de las perforaciones.
- 8.- Controlar la presión en el pozo con el estrangulador ajustable superficial, de manera que la presión en el fondo del pozo sea mayor que la de formación, para inyectar el ácido a través de las perforaciones.
- 9.- Una vez alcanzada la profundidad de las perforaciones, levantar la tubería flexible a fin de que ésta quede arriba del bache de ácido.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- No intentar operar en el pozo si la tubería tiene alguna fuga o ruptura. Al incrementarse la presión de bombeo, las rupturas se desarrollarán y el ácido puede fugarse a través de ellas.
- 2.- Nunca operar con ácido intensificado sin el inhibidor apropiado.
- 3.- Procurar que la tubería flexible no quede dentro del bache de ácido a inyectar en el fondo del pozo.
- 4.- No alcanzar demasiada profundidad con la tubería flexible

vacía (no mayor de 100 m).

a).- PROCEDIMIENTO DE LA ACIDIFICACION

Instalar normalmente la unidad de tubería flexible en la localización del pozo. La tubería flexible y todo el equipo deberán probarse a presión, antes de operar en el pozo. Si se debe llenar la tubería de producción con agua, mantener un bombeo constante de agua por el interior de la tubería flexible a medida que ésta se introduce al pozo. Después de haber inyectado el volumen de agua requerido para llenar la tubería de producción, bajar la tubería flexible hasta la profundidad de las perforaciones y a continuación bombear el volumen de ácido necesario para cubrir el intervalo de las perforaciones, posteriormente bombear agua para desplazar el ácido hacia la profundidad de las perforaciones. Una vez que el ácido ha sido colocado en el intervalo de las perforaciones levantar 10 m la tubería flexible sobre la profundidad a la cual se encuentran las perforaciones. Evitar que el ácido quede arriba de las perforaciones.

Si la tubería de producción se encuentra llena de agua, cerrar la válvula superficial o el estrangulador de la línea superficial de descarga y bombear agua a presión a través de la tubería flexible, si la presión superficial se abate, se verificará que el ácido se está inyectando hacia la formación a través de las perforaciones, figura IV.3. En caso de que la tubería de producción se encuentre vacía, se debe llenar de agua antes de inyectar el ácido hacia la formación.

Si la presión de bombeo superficial al bombear agua para desplazar el ácido hacia la formación, se incrementa notablemente, esto indicará que aún no se tiene la capacidad de fluir hacia la formación, en este caso es necesario lavar las perforaciones con un volumen mayor de ácido. Si la aceptación de ácido por la formación se manifiesta, al disminuir la presión

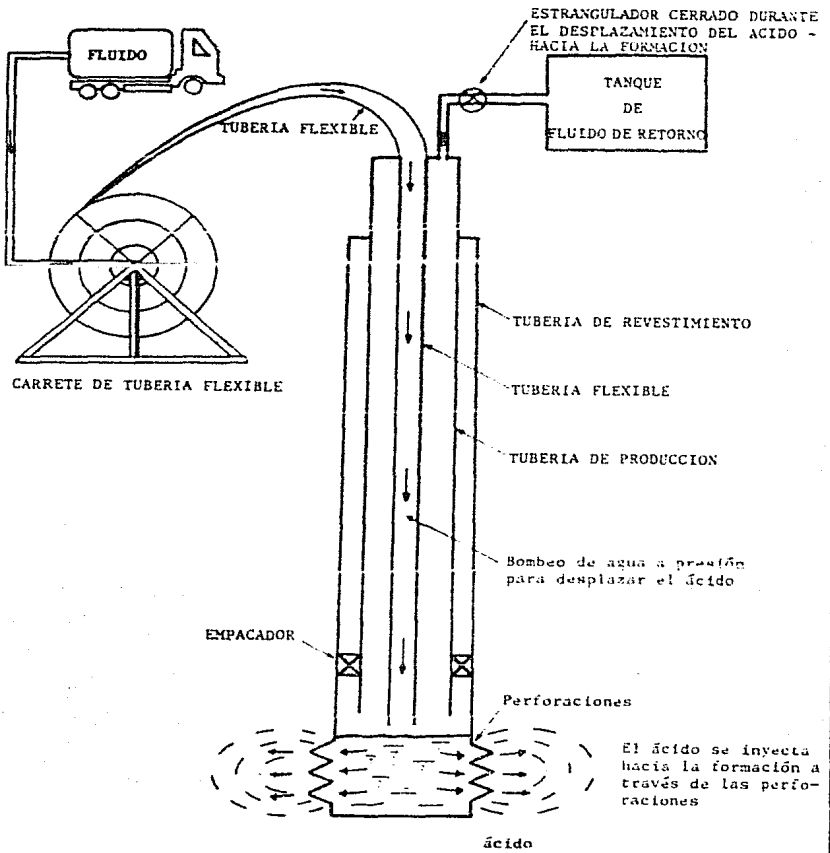


FIGURA IV.3 ACIDIFICACION

de bombeo de agua, el tratamiento de inyección de ácido hacia la formación puede ejecutarse a través de la tubería flexible o bien, ésta se extrae del pozo y la inyección del ácido se hace bombeando agua a presión a través de la tubería de producción.

Los fluidos remanentes en el pozo al término de la operación, se pueden extraer mediante inyección de nitrógeno empleando - la tubería flexible. La seguridad de la tubería flexible y - del pozo se garantiza con los preventores de acción hidráulica, calibrados para una presión máxima de operación de 350 -- kg/cm².

IV.-3.4.- CIRCULACION PARA "MATAR" UN POZO^{8,10}

Frecuentemente es necesario "matar" un pozo por diversas razo nes; cambiar alguna tubería del pozo, trabajar en el árbol de navidad, correr alguna herramienta en el pozo etc. También - puede presentarse el caso de que las condiciones mecánicas -- superficiales no permitan el bombeo hacia el pozo o aún si se tiene la capacidad de bombear hacia el pozo es probable que - no sea necesario inyectar el fluido del pozo hacia la forma- ción productora. Un método para "matar" un pozo es mediante la circulación de agua o lodo a través de una tubería, para - establecer un peso hidrostático en el pozo suficientemente ma yor que la presión de la formación productora. Este método - de "matar" un pozo es posible efectuarlo con el equipo hidráu lico de tubería flexible. La tubería flexible se opera en el pozo, de manera semejante que una tubería de producción, - -- excepto que ofrece la capacidad de mantener circulación a tra vés de ella a medida que se introduce al pozo, figura IV.4.

a).- OBSERVACIONES

1.- Checar que la presión superficial en todo momento se man

tenga dentro de los límites de seguridad de cada uno de los componentes del equipo hidráulico de tubería flexible, considerando su estado actual de operación.

- 2.- Asegurarse que se tiene un estrangulador ajustable en la línea superficial de descarga.
- 3.- Bombear lentamente los fluidos empleados en la operación cuando la tubería se introduce al pozo, a fin de evitar un taponamiento de la tubería flexible.
- 4.- Cuando la presión superficial de bombeo se incremente notablemente, principiar a purgar el gas contenido en el aceite producido por el pozo, haciendo uso del estrangulador ajustable.
- 5.- Circular hasta que todas las burbujas de gas se eliminen del aceite producido.
- 6.- Incrementar suficientemente la densidad del fluido bombeado para contener la presión del yacimiento.
- 7.- Al termino de la operación para "matar" al pozo, circular mientras se extrae la tubería flexible para mantener el pozo completamente lleno con el fluido bombeado.
- 8.- Asegurarse de que existe buena comunicación entre el operador de la unidad de tubería flexible y el operador de la bomba, durante todo el desarrollo de la operación.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- Tener cuidado de no permitir que al momento de purgar el gas, se descarge totalmente el fluido que se circula en el pozo.

a).- PROCEDIMIENTO DE LA OPERACION

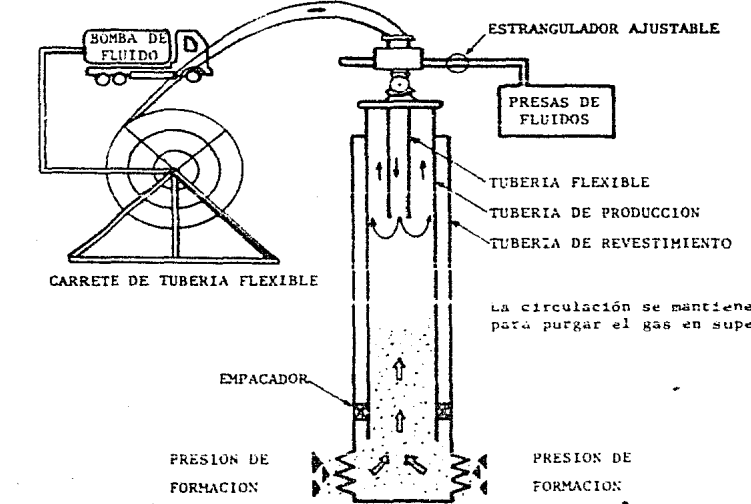
La unidad de tubería flexible se instala normalmente. Es muy importante contar con un estrangulador ajustable en la línea superficial de descarga. Previo a iniciar la operación, se -

debe verificar que el estrangulador funciona correctamente. - Después de que la tubería flexible y todo el equipo superficial han sido chequeados a una presión de 300 kg/cm^2 , introducir la tubería flexible hacia el pozo a través de la tubería de producción, mientras se bombea el fluido requerido para "matar" el pozo, por el interior de la tubería flexible y mantener circulación en el pozo. figura IV.4 (a) y (b).

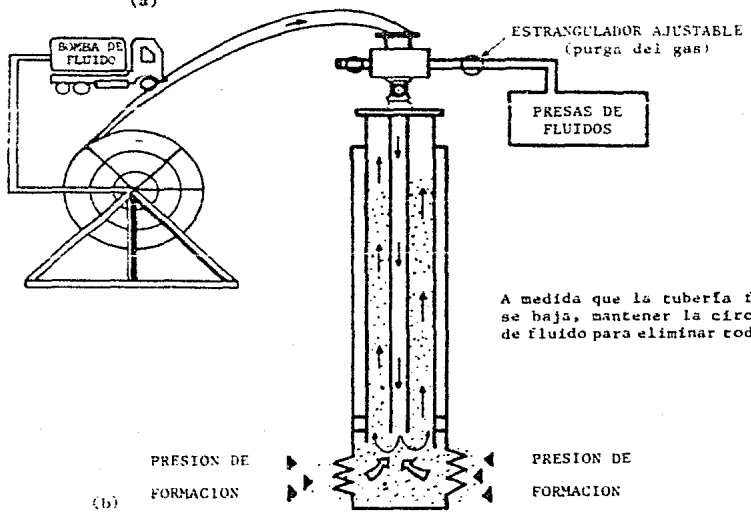
A medida que la tubería es bajada y el fluido circulado, se debe mantener tanta contrapresión como sea posible en la tubería de producción por medio del estrangulador ajustable. Sin esta contrapresión, el pozo puede descargar el fluido que se está circulando, de manera que nunca podría ser "matado". El estrangulador debe operarse correctamente, de modo que al purgar el gas, el lodo permanezca en el pozo.

Después de bajar la tubería flexible al fondo o a la suficiente profundidad de manera que ya se ha establecido una carga hidrostática mayor que la operación del yacimiento, con el fluido bombeado, mantener la circulación y purgar el gas, hasta que se establezca una columna de fluido libre de burbujas de gas. Esto es más seguro de conseguir si se emplea un alto gasto de la bomba. Una vez que el pozo está "muerto" es prudente circular un volumen igual a la capacidad del pozo para verificar que no existen bolsas de gas, remanentes en el pozo figura IV.4 (c). Posteriormente la tubería flexible se extrae del pozo y el equipo se desmantela.

El proceso de "matar" un pozo puede llevar mucho tiempo, ya que se encuentra afectado por muchos factores tales como la presión de fondo, el índice de productividad y los diámetros de las tuberías. Sin embargo, la velocidad de instalación, avance y extracción desde el pozo, hacen de la unidad de tubería flexible un medio excelente para lograrlo.



(a)



(b)

FIGURA IV.4.- CIRCULACION PARA "MATAR" UN POZO

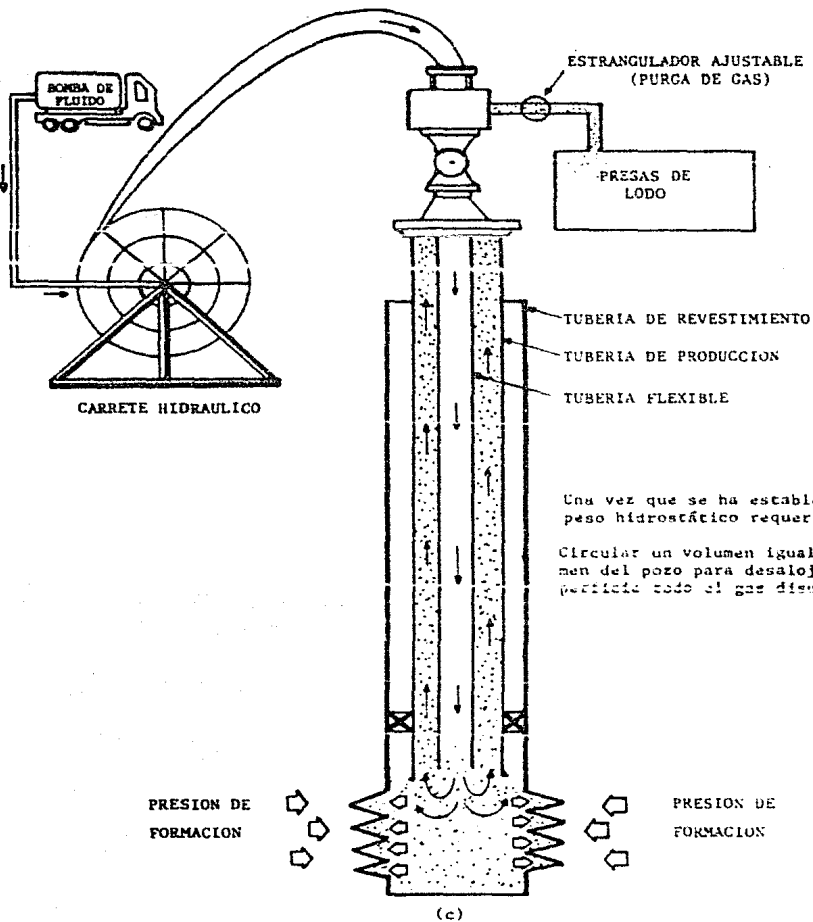


FIGURA IV.4.- CIRCULACION PARA "MATAR" UN POZO

IV.3.5.- CEMENTACION^{9,10}

Dentro de la Industria Petrolera existen numerosos factores - que hacen necesaria la inyección de cemento hacia un pozo. - Entre ellos puede presentarse que un intervalo perforado esté aceptando parte de los fluidos producidos por otro intervalo- localizado a mayor profundidad o bien puede tenerse un intervalo invadido de agua. En este caso lo recomendable es la colocación de un tapón de cemento, en el fondo del pozo, para - eliminar el intervalo no deseado. También puede presentarse- la necesidad de abandonar un intervalo que ya ha agotado su -- producción y que se encuentre cerca a uno productor propuesto, cuando no exista la posibilidad de instalar un tapón de cemento, por lo tanto el intervalo a abandonarse debe ser aislado- con una cementación forzada a través de sus perforaciones.

Ambas intervenciones requieren el uso de un equipo de reparación, que no requiera demasiado tiempo en su intalación y desarrollo de la operación. Con el empleo del equipo de tubería flexible se tiene una alternativa segura y económica para efectuar las intervenciones mencionadas.

A continuación se describen los puntos más importantes de los procedimientos de la intervención del equipo de tubería flexible en la colocación de un tapón de cemento y de una cementación forzada.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Emplear una longitud de tubería flexible lo más corta posible, considerando la tubería enrollada en el carrete - hidráulico y la profundidad programada en el pozo, a fin de evitar que el desplazamiento del cemento en el inte-rior de la tubería flexible tarde demasiado.
- 2.- Determinar con exactitud la profundidad del pozo y a cual se colocará el cemento.

- 3.- Emplear un cemento de fraguado lento, adicionandole el - retardador adecuado.
- 4.- Conocer con exactitud el desplazamiento y capacidad de - la sarta de tubería flexible.
- 5.- Una vez que la tubería flexible se encuentra a la profun-
didad de colocación del cemento, levantarla a una veloci-
dad aproximada a la velocidad con la que se llena de ce-
mento la tubería de revestimiento.
- 6.- Una vez concluida la operación, limpiar toda la tubería-
flexible de remanentes de cemento, mediante circulación-
constante de fluido a través de ella.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- Nunca emplear un cemento de una densidad mayor de 1.77 -
(gr/cm³). Un cemento de mayor densidad no podría ser --
bombeado a través de tubería flexible de 3/4 pulgada de-
diámetro.
- 2.- Jamás trabajar en una cementación, con fugas o roturas -
en la tubería flexible.
- 3.- El cemento que se coloca en el fondo del pozo, no debe -
cubrir el extremo de la tubería flexible, al menos que -
sea absolutamente necesario. Con esto se reduce la posi-
bilidad de que se atrape la tubería flexible.

a).- COLOCACION DE UN TAPON DE CEMENTO¹⁰

Después de que la unidad de tubería flexible se instala en el pozo y de que la tubería flexible y el equipo superficial han sido probados a presión, se debe determinar con exactitud la capacidad de la tubería flexible; para conseguir esto, se recomienda emplear el siguiente método: Mezclar en un tanque o depósito calibrado, aproximadamente 2 metros cúbicos de agua con algún colorante o tinte, esta agua con colorante se bombea

a través de la tubería flexible, en cuanto esta agua con colorante salga por el otro extremo de la tubería flexible, en seguida determinar el volumen extraído del tanque calibrado. - Esta será la capacidad exacta de la tubería flexible. Una vez hecho esto, calcular la longitud de tubería flexible que llenará el cemento durante su desplazamiento a través de ella.

Introducir la tubería flexible hasta la profundidad de la colocación del tapón de cemento, en seguida iniciar el bombeo de cemento desde el camión cementante, una vez que se ha bombeado el volumen programado de cemento, desplazar éste mediante el bombeo de agua a través de la tubería flexible. Cuando ya se ha bombeado un volumen igual a la capacidad de la tubería flexible, levantarla a un ritmo o velocidad aproximadamente similar al gasto de la bomba o del llenado del fondo del pozo, esto garantiza el desplazamiento total del volumen del cemento fuera de la tubería flexible, sin colocar cemento alrededor de ella. Después de que todo el cemento ha sido desplazado hacia fuera de la tubería flexible y colocada en el fondo del pozo, levantar la tubería 10 m de la cima del tapón de cemento y circular por su interior un volumen de agua de aproximadamente 150 litros para asegurarse que no quede cemento remanente dentro de ella. Posteriormente extraer la tubería flexible y desmantelar el equipo.

Dejar en reposo o estático al pozo, durante 24 horas para garantizar el fraguado del cemento en el fondo del pozo, en seguida probar a presión el tapón, represionando el pozo con bombeo a presión y cerrando la válvula superficial. También determinar la profundidad de la cima del tapón de cemento, empleando la línea de acero.

Debido a que la tubería flexible es continua y que no es necesario extraer la tubería de producción, esta operación se concluye en cuestión de horas y el pozo retorna a producción rápidamente.

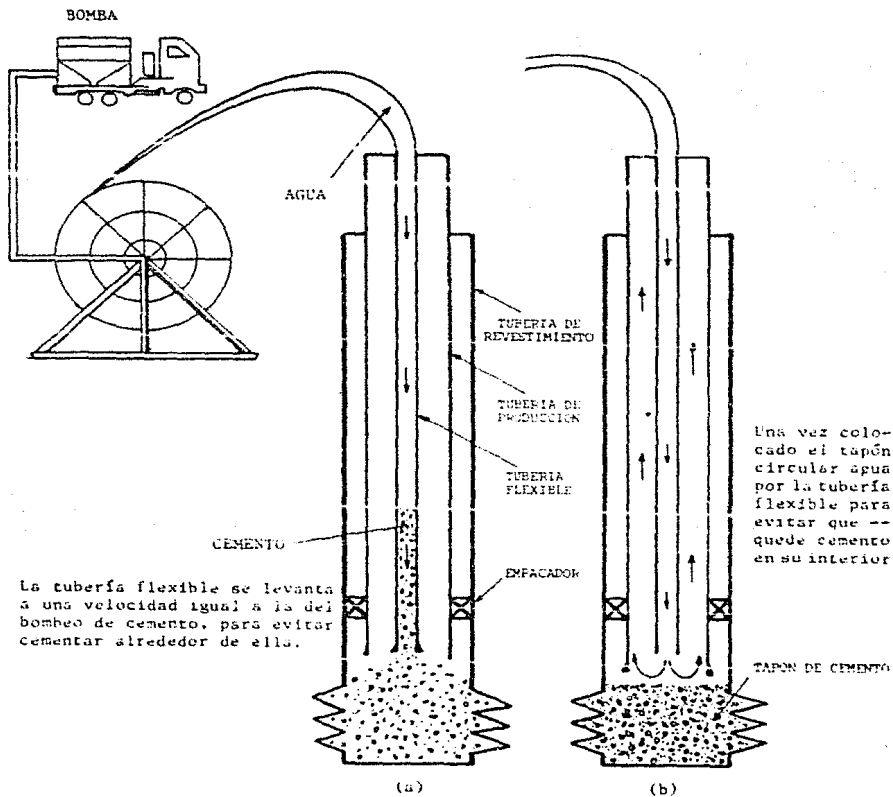


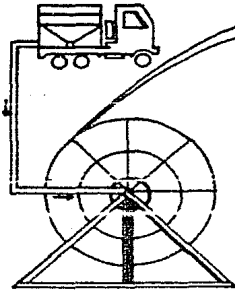
FIGURA IV.5.- COLOCACION DE UN TAPON DE CEMENTO

b).- CEMENTACION FORZADA EN UN INTERVALO¹⁰

La unidad de tubería flexible se instala en el localización -- del pozo y se prueba el equipo a una presión de 300 kg/cm^2 con el equipo de bombeo, además la capacidad de la tubería flexible es determinada con exactitud (se puede emplear el método descrito anteriormente). Para iniciar la operación, la tubería flexible se introduce al pozo por el interior de la tubería de producción hasta la profundidad de las perforaciones del intervalo a obturar, a continuación bombear el cemento -- por la tubería flexible análogamente a la colocación de un ta pón de cemento. Una vez que todo el bache de cemento se ha colocado en el intervalo a obturar, levantar la tubería flexible 10 metros sobre la cima del cemento. si el pozo se encuentra lleno con un fluido de control, cerrar la válvula de la línea de descarga e iniciar a bombear agua a presión por el interior de la tubería flexible para forzar a que el cemento se inyecte hacia la formación a través de las perforaciones. -- En el caso de que el pozo no esté completamente lleno, bombear agua por el interior de la tubería de producción, para llenarlo y para inyectar el cemento hacia la formación en el intervalo a obturar. Continuar el bombeo de agua hasta que el pozo represione aproximadamente a 70 kg/cm^2 , figura IV.6. Mantener esta presión por alrededor de 15 minutos. A continuación aliviar la presión del pozo abriendo la válvula en la línea superficial de descarga y circular agua a través de la tubería flexible para eliminar los remanentes de cemento, hacia superficie, bajando la tubería hasta la profundidad del intervalo obturado.

Después de circular hacia superficie todas las excedencias de cemento, levantar tubería flexible 150 metros arriba del intervalo obturado o bien extraerla del pozo dependiendo de las necesidades del operador. Mantener el pozo 10 ó 12 horas en reposo. Posteriormente presurizar hasta 70 kg/cm^2 , esta presión se debe mantener por un lapso de 1 hora. En caso de que

CAMION CEMENTANTE



CARRETE HIDRAULICO

VALVULA EN LA LINEA DE DESCARGA

VALVULA EN LA LINEA DE DESCARGA. (CERRADA)

TUBERIA DE REVESTIMIENTO

TUBERIA DE PRODUCCION

TUBERIA FLEXIBLE

AGUA

AGUA

CEMENTO

Con circulación a presión del agua, el cemento se desplaza hacia la formación a través de las perforaciones.

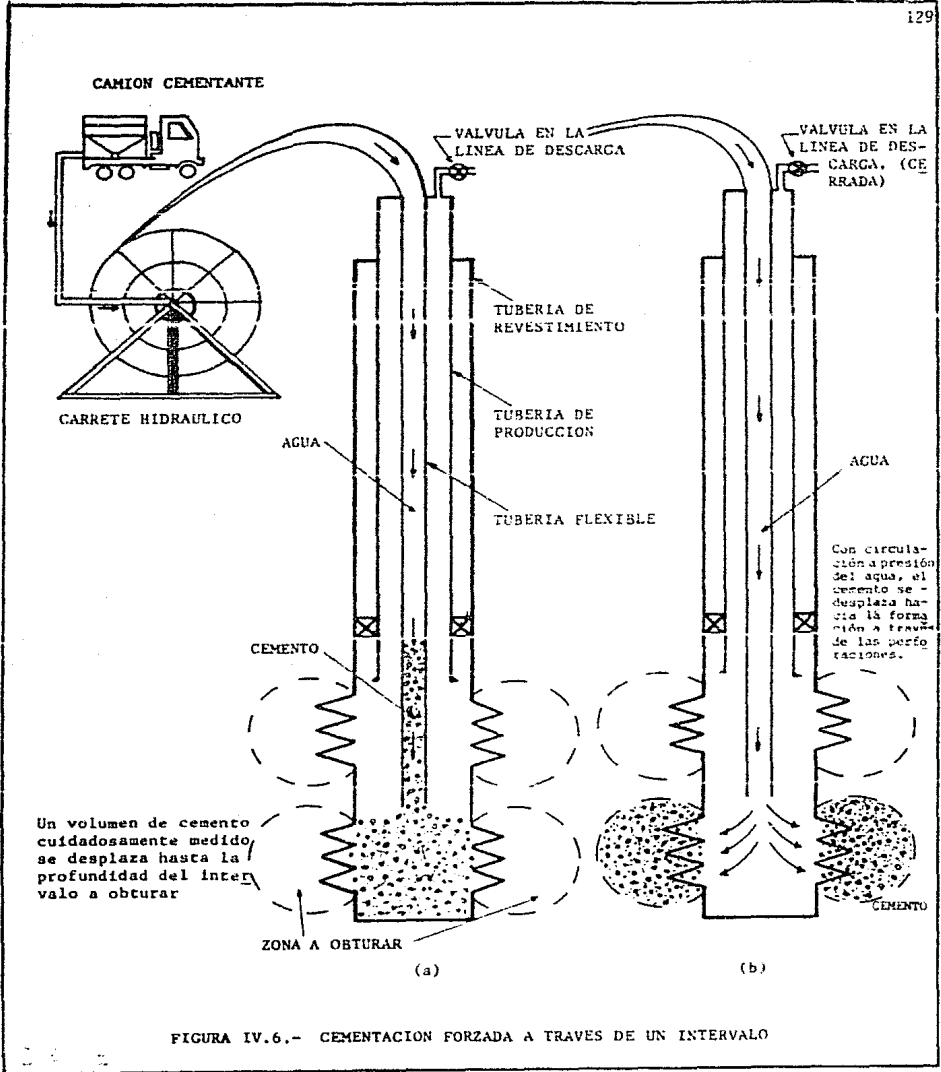
Un volumen de cemento cuidadosamente medido, se desplaza hasta la profundidad del intervalo a obturar

ZONA A OBTURAR

(a)

(b)

FIGURA IV.6.- CEMENTACION FORZADA A TRAVES DE UN INTERVALO



se manifieste un abatimiento de esta presión, repetir el procedimiento de cementación. Una presión de prueba más grande puede ser aplicada según los requerimientos del operador, pero considerando los límites por presión de las tuberías que se encuentran en el pozo.

La presurización del cemento nunca debe hacerse cuando se encuentre dentro de la tubería flexible, el cemento puede formar un tapón dentro de ella y fraguar en su interior.

IV.3.6.- USO DE LA TUBERÍA FLEXIBLE CON GAS NITROGENO^{7,8,9,10,11}

El uso combinado del equipo hidráulico de tubería flexible y gas nitrógeno ha dado lugar a una nueva alternativa para el mantenimiento y reparación de pozos^{9,9,10}. Las principales intervenciones son las siguientes:

- a).- INDUCCION PARA PRODUCCION
- b).- EVALUACION DE ZONAS PRODUCTORAS
- c).- REDUCCION DEL PESO HIDROSTATICO ANTES DE LOS DISPAROS
- d).- LAVADO DE POZOS INYECTORES
- e).- NITROGENO Y FLUIDOS ESTIMULANTES

A continuación se indican las observaciones y precauciones generales que deben considerarse en las intervenciones anteriores y posteriormente se presenta la secuencia de cada una de las intervenciones.

Las gráficas (A) y (B) se emplean para calcular las caídas de presión por fricción, cuando se bombea nitrógeno a través de tuberías flexibles de 3/4 y 1 pg de diámetro, respectivamente.

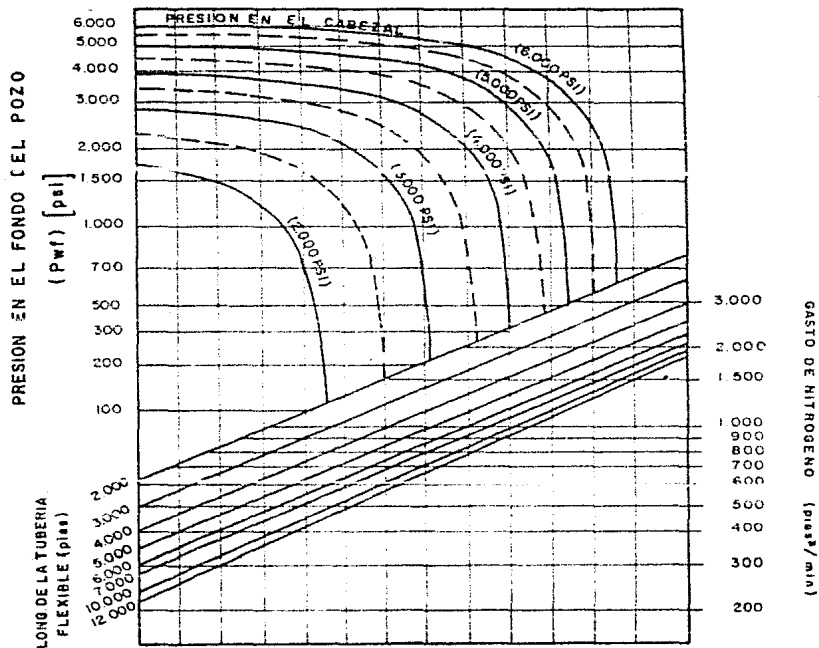
Con estas gráficas, considerando la presión superficial disponible (P_{th}), así como la longitud de la tubería flexible, es-

posible determinar el gasto de nitrógeno que se debe bombear para lograr una presión de fondo (Pwf) requerida. Para entrar a la gráfica es necesario determinar la Pwf requerida, - con este valor desde el lado superior izquierdo de la gráfica correr una línea horizontal hasta intersectar la curva que indique la Pth disponible, bajar verticalmente este punto hasta tocar la recta que indique la longitud de tubería flexible, - deslizar horizontalmente hacia el lado derecho de la gráfica para determinar el gasto de nitrógeno apropiado.

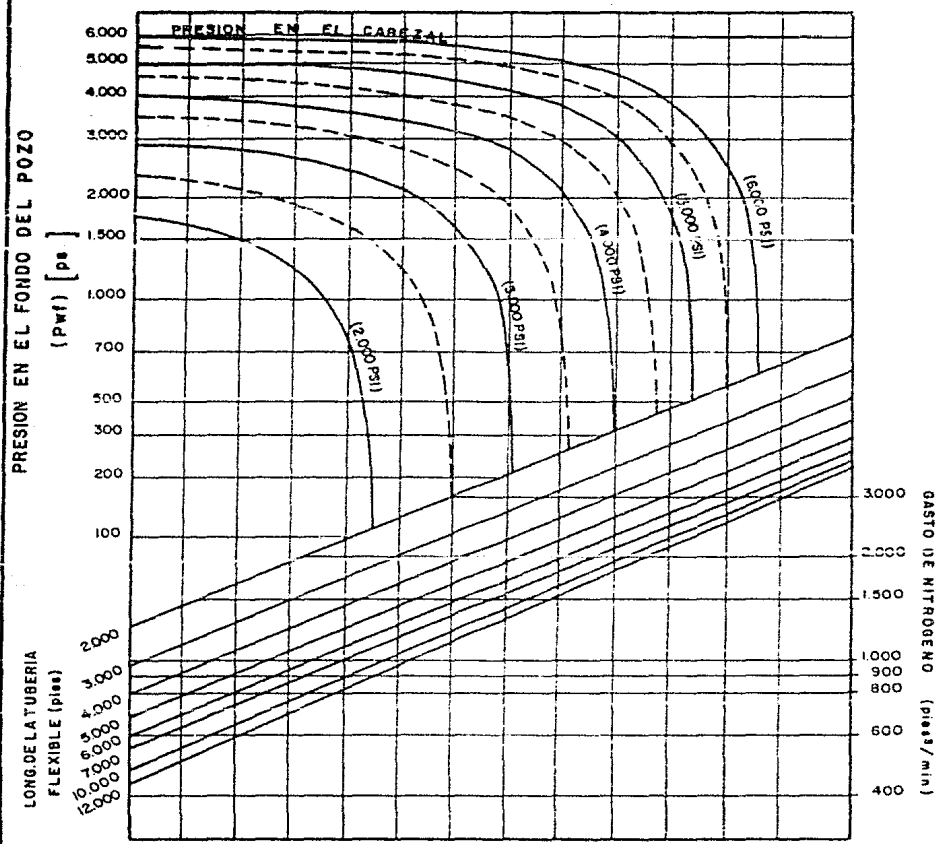
Por ejemplo, para un Pth de 5000 psi y una longitud de tubería flexible de 10,000 pies con un diámetro de 3/4 pulgada, - se determina un gasto de nitrógeno de 1050 (pies³/min), necesario para tener una Pwf de 2500 psi.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Obtener información del equipo y de todas las tuberías y herramientas que se encuentren en el pozo.
- 2.- Determinar la presión esperada del pozo y el programa de la intervención. Calcular la profundidad hasta donde la tubería flexible se mantendrá dentro de sus limitaciones de presión interna y tensión, debido al bombeo de nitrógeno que se efectuará a través de ella.
- 3.- Probar la línea superficial de flujo y el estrangulador ajustable a una presión de 70 kg/cm², antes de iniciar el bombeo de gas nitrógeno.
- 4.- Determinar la velocidad del nitrógeno en el interior de la tubería flexible considerando el diámetro de la tubería y el gasto que se empleará en la operación.
- 5.- Iniciar el bombeo de nitrógeno cuando la tubería flexible se introduzca al pozo, para reducir la carga de flujos y evitar un taponamiento en ella por material no con solidado.



GRAFICA A).- CAIDAS DE PRESION POR FRICCION CON FLUJO DE NITROGENO EN TUBERIA FLEXIBLE DE 3/4 pulg. DE DIAMETRO.



GRAFICA B).- CAIDAS DE PRESION POR FRICCION CON FLUJO DE NITROGENO EN TUBERIA FLEXIBLE DE 1 pulg. DE DIAMETRO.

- 6.- Conocer en todo momento la profundidad a la cual se encuentra operando la herramienta eyectora.
- 7.- En el lavado de pozos inyectoros de agua, bombear nitrógeno mientras se extrae la tubería flexible del pozo. - Al terminar de extraerla, iniciar inmediatamente el bombeo de agua hacia el pozo.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- Nunca usar líneas superficiales de flujo de plástico. - Insistir en la instalación de adecuadas líneas de flujo que resistan las presiones de la operación.
- 2.- No alcanzar demasiada profundidad con la tubería flexible vacía (para evitar levantar una columna de fluido de masiado grande) y procurar circular a superficie altas - cantidades de fluidos en el menor tiempo posible.
- 3.- Jamás detener por completo el bombeo de nitrógeno cuando la tubería flexible se encuentre operando en el pozo - - (para prevenir que fluidos inflamables entren a la tubería).
- 4.- Nunca desconectar la unidad de bombeo de nitrógeno de tubería flexible, hacerlo solo cuando la tubería flexible se encuentre completamente fuera del pozo.
- 5.- No bombear gas natural a través de la tubería flexible a menos que la tubería esté detenida y todos los motores - apagados, en caso contrario se tiene un mayor riesgo de explosión.

a).- INDUCCION PARA PRODUCCION^{7,8,10}

Esta intervención se emplea cuando el peso hidrostático de -- los fluidos dentro del pozo es mayor que la presión del yacimiento, de modo que los fluidos de la formación productora no pueden fluir hacia superficie. La operación básicamente con-

siste en sacar del pozo cierta cantidad de fluidos hasta una profundidad tal que la presión del yacimiento sea mayor que la columna hidrostática del pozo para iniciar el flujo de aceite hacia superficie. Estrictamente no se requieren cálculos complejos para la operación de inducción. El gasto de inyección de nitrógeno requerido es dependiente de los diámetros de las tuberías en el pozo y de la profundidad, sin embargo para la mayoría de los diámetros comúnmente usados, un gasto de 150 a 350 pies³/min es adecuado. Estos gastos de serán ser constantes.

La unidad de tubería flexible se instala en el pozo en la manera normal, pero tener el cuidado de colocar la unidad contra la dirección del viento hacia el pozo y las líneas de flujo. Colocar un estrangulador ajustable en la línea de flujo-corriente abajo (descarga) y/o un estrangulador extra para ser usado en caso de emergencia. Asegurar la línea superficial de flujo para prevenir movimientos en ella que pudieran ocurrir debido a los altos volúmenes empleados durante la intervención. Es necesario que todo el equipo superficial se pruebe a una presión igual a la que tenga el cabezal del pozo.

El procedimiento normal en la operación de inducción para producción, es iniciar bombeando nitrógeno a través de la tubería flexible a medida que ésta se introduce al pozo por el interior de la tubería de producción.

La tubería flexible se introduce al pozo a una velocidad de aproximadamente 15.0 m/min. Durante el desarrollo de la operación llevar un registro continuo de los volúmenes de fluidos del pozo que están circulando hacia superficie, de manera que en cuanto se incrementen notablemente detener la tubería flexible y el bombeo de nitrógeno para observar si el pozo continúa fluyendo, si esto ocurre se determina la extracción de la tubería flexible del pozo, esta determinación también se basa en los datos que se conozcan del yacimiento en el cual está -

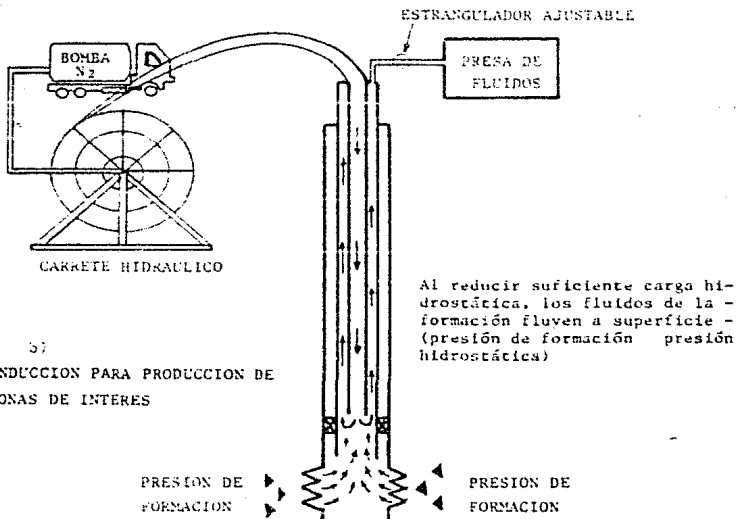
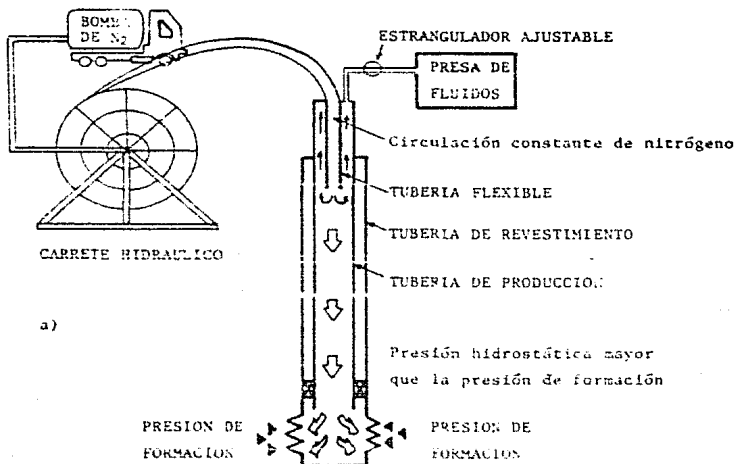


FIGURA IV.7.- INDUCCION PARA PRODUCCION DE ZONAS DE INTERES

terminado el pozo, tales como índice de productividad, presión del yacimiento, etc.

La operación se ilustra en las figuras IV.7 (a) y IV.7 (b).

En el caso de que el pozo pueda potencialmente exceder de una presión superficial de 350 kg/cm^2 , extraer la tubería flexible antes de alcanzar esta presión. Se debe tener cuidado de no someter la tubería flexible o al equipo superficial a una presión mayor, puesto que esta es la máxima presión de operación de la unidad.

Una vez que el pozo ha iniciado el flujo por si mismo, este puede ser controlado por medio del estrangulador ajustable -- que se tiene en la línea de flujo. Si el pozo descarga demasiado rápido, cerrar ligeramente el estrangulador para disminuir el volumen de flujo. En yacimientos con baja presión de fondo, tener precaución al cerrar el estrangulador, ya que el fluido puede regresarse y "matar" al pozo.

b).- EVALUACION DE ZONAS PRODUCTORAS^{7-8.10.11}

Una vez que el pozo ha sido perforado hasta una profundidad predeterminada y se han corrido registros, es posible determinar por medio de ellos, si el pozo contiene algunas posibles zonas productoras. Especialmente si el pozo es exploratorio, es recomendable evaluar cada zona. La información del potencial de las posibles zonas productoras, se puede obtener efectuando una prueba de formación, sin embargo para lograr una evaluación exacta, de las zonas productoras, estas pueden ser puestas a producción.

En un pozo petrolero, las zonas potencialmente productoras, pueden probarse ya sea en agujero abierto, o poco después de que la tubería de revestimiento se ha instalado. Cuando se prueban en agujero descubierto, las zonas de interés se aislan

con empacadores recuperables, por otra parte, si la T.R. ya - ha sido instalada en el pozo, la evaluación se logra disparando a la profundidad del intervalo deseado. El empleo del e--quipo de tubería flexible y gas nitrógeno, es un medio efectivo para esta evaluación.

En el caso de que el equipo de perforación aún se encuentre en el pozo a tratar, la cabeza inyectora se levanta con el gan--cho del equipo de perforación, para instalar sobre el pozo, - posteriormente se encadena firmemente a la estructura del equipo de perforación, para prevenir que se mueva o deslice de su posición correcta.

Después de que la unidad de tubería flexible se instala ade--cuadamente en el pozo y sus conexiones han sido probadas a -- presión, la tubería flexible se introduce al agujero y simul--táneamente se circula nitrógeno a través de ella, para aligerar los fluidos que se encuentran en el pozo y lograr que fluyan hacia superficie. Estos fluidos pueden ser circulados a--superficie a gastos de hasta 390.00 lts/min, dependiendo del diámetro de las tuberías del pozo, figura IV.8. Los volúme--nes de nitrógeno raramente exceden los 1300 - 1600 pies³/min.-

La inyección de la tubería flexible y la circulación de nitrógeno se continúa hasta lograr que la columna hidrostática tenga una presión menor que la presión de la zona productora.

Después de que el flujo de hidrocarburos de la formación se - ha manifestado o en su caso la zona demuestra que no es pro--ductora, la tubería flexible se extrae del pozo y la unidad - se desmantela. En el caso de que posteriormente se desee evaluar otra zona del pozo después de algún tiempo de perfora--ción, la cabeza inyectora se coloca en alguna parte del equipo, teniendo cuidado de asegurarla y proteger las mangueras hidráulicas de las operaciones de perforación.

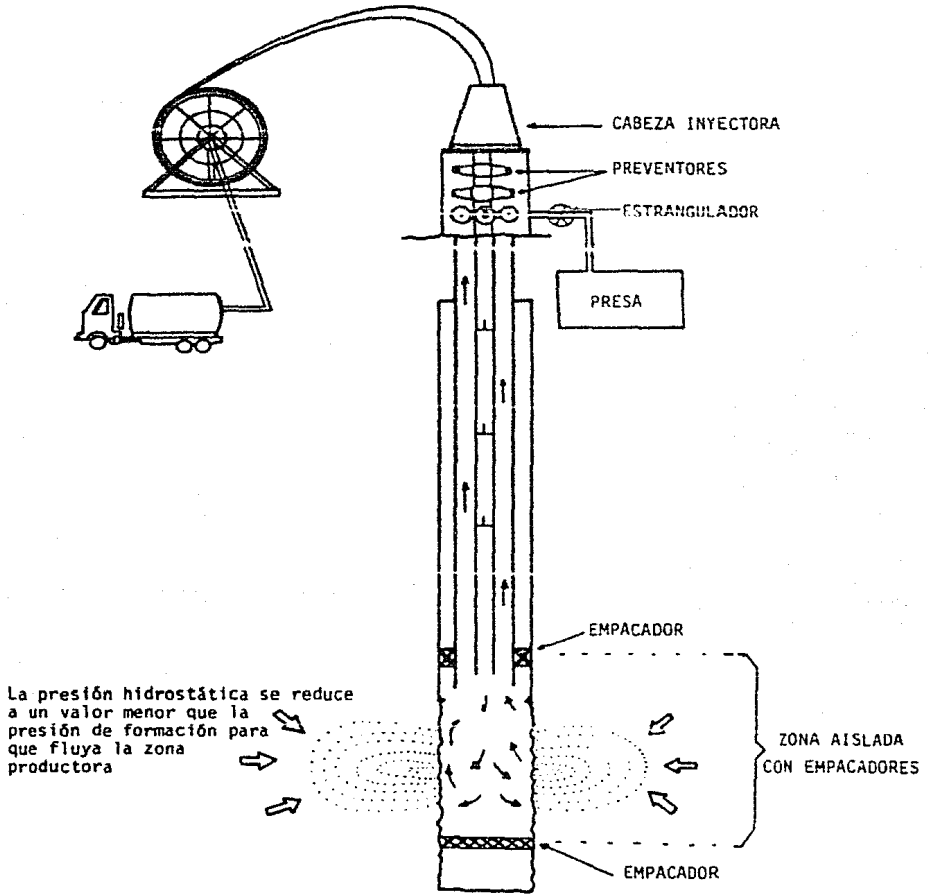


FIGURA IV.8.- EVALUACION DE ZONAS

c).- REDUCCION DE LA CARGA HIDROSTATICA ANTES DE LOS DISPAROS^{8,10}

Frecuentemente al terminar un pozo en un yacimiento de presión conocida, la carga hidrostática de los fluidos de terminación se aligeran para obtener una presión diferencial positiva hacia el pozo, previamente a la operación de disparar en la zona productora. Generalmente se considera que esta diferencia es muy ventajosa, ya que al efectuar los disparos, los residuos de las pistolas y cualquier otros sólidos, son arrastrados hacia el pozo y en seguida hacia superficie, en lugar de ser empujados hacia la formación. Simultaneamente, esto previene que los fluidos del pozo entren a la formación. Si la zona a ser perforada tiene una presión menor que la carga hidrostática de los fluidos que se encuentran en el pozo, obviamente se debe extraer hacia superficie una cantidad de fluidos del pozo para conseguir la presión diferencial positiva hacia el pozo. Se tienen varios métodos para la remoción de estos fluidos, ya sea con sondeo, desplazamiento o bien inducción empleando nitrógeno. El sondeo puede ser lento, peligroso y algunas veces imposible, el desplazamiento en ocasiones es difícil debido a la terminación mecánica del pozo, la inducción con nitrógeno es rápida y práctica en la mayoría de los casos.

La operación de inducción es relativamente sencilla. La unidad de tubería flexible se iza normalmente como si se instalara para producción, es necesario determinar previamente la profundidad del pozo hasta la cual se introducirá la tubería flexible. En seguida, la tubería flexible se introduce al pozo por el interior de la tubería de producción, a medida que se circula nitrógeno a través de ella para aligerar los fluidos del pozo y provocar que fluyan hacia superficie. Este procedimiento se continua similarmente hasta que se alcance la profundidad programada, una vez que los fluidos del pozo han sido desalojados, se extrae la tubería flexible del pozo-

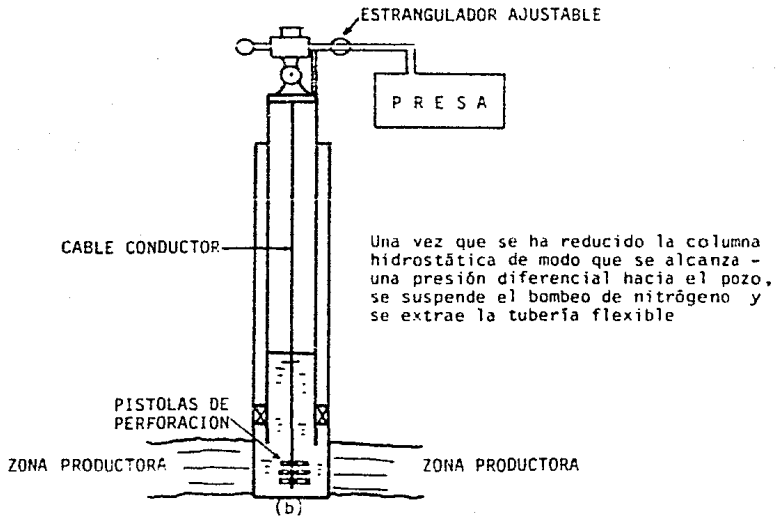
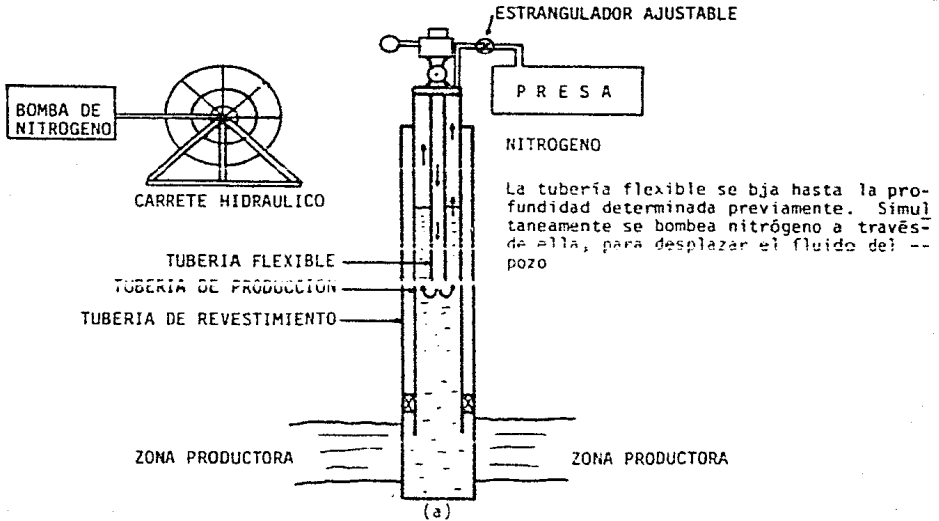


FIGURA IV.9.- REDUCCION DE LA CARGA HIDROSTATICA ANTES DE LOS DISPAROS

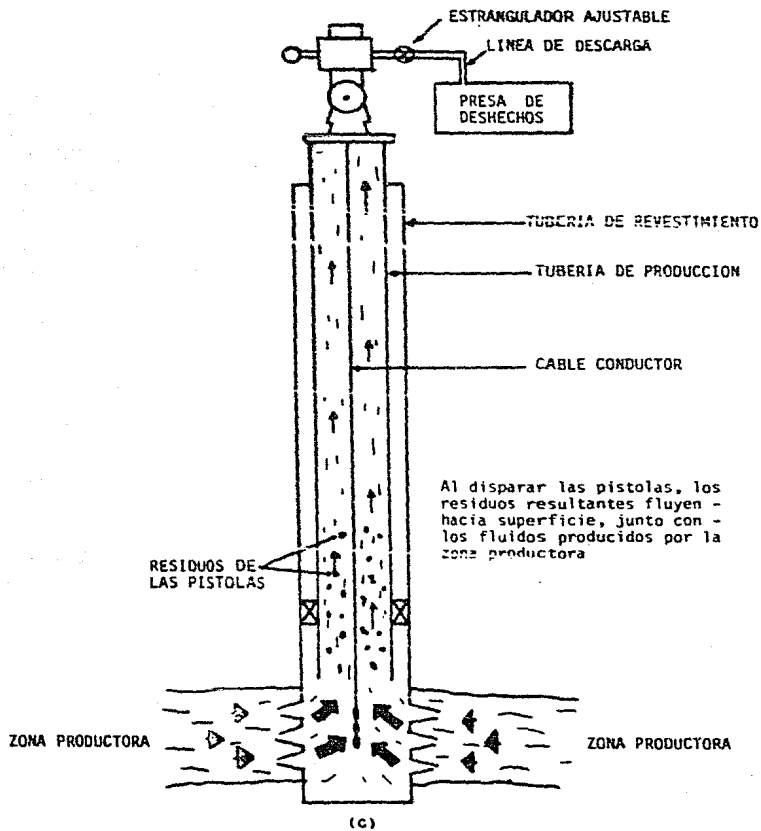


FIGURA IV.9.- EFECTO DE LA REDUCCION DE LA CARGA HIDROSTATICA

y la unidad se desmantela. Al aliviar la carga hidrostática, la presión diferencial se vuelve positiva hacia el pozo al -- efectuar los disparos. La intervención se ilustra en las figuras IV.9 (a), (b) y (c).

Como un ejemplo para determinar la profundidad hasta la cual se deben extraer los fluidos que se encuentran en el pozo para crear una presión diferencial positiva, considerar un pozo de 3048.7 metros de profundidad con un fluido en su interior de una densidad igual a 1.08 g/cm^3 , teniendo la formación productora una presión de 140.6 kg/cm^2 . La carga hidrostática del fluido que se encuentra en el pozo es de:

$$PH = \frac{\rho h}{10}$$

$$PH = \frac{1.08 \times 3048.7}{10} = 329.25 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Obviamente la presión de la formación 140.6 kg/cm^2 es inferior que la columna de fluidos 329.25 kg/cm^2 , de modo que existe una gran presión diferencial hacia la formación.

Si se desea tener en el pozo una presión diferencial positiva de $35.1 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$, la profundidad hasta la cual se debe introducir la tubería flexible y desplazar los fluidos del pozo es de:

$$10 (PH - PF + \Delta P) = H$$

$$10 \frac{(329.11 - 140.6 + 35.1)}{1.08} = 2070.4 \text{ metros}$$

Así, es necesario introducir la tubería flexible y circular - nitrógeno hasta la profundidad de 2070.4 m, para lograr una - presión diferencial positiva hacia el pozo de 35.1 kg/cm^2 .

d).- LAVADO DE POZOS DE INYECCION^{8,10,11}

Una gran parte de los pozos inyectoros de agua o de líquidos-residuals, experimentan altas presiones de bombeo. Estas -- presiones de inyección pueden ser por algunos factores como:

- a).- BACTERIAS EN LA FORMACION QUE REDUCEN SU PERMEABILIDAD
- b).- FALLAS MECANICAS DEL EQUIPO SUPERFICIAL DE BOMBEO
- c).- SALES FERROSAS PRESENTES EN LAS AGUAS INYECTADAS QUE -- PUEDEN PROVOCAR INCRUSTACION
- d).- ARCILLAS HINCHABLES EN LA FORMACION QUE REACCIONAN CON- EL AGUA INYECTADA
- e).- ENTRADA AL POZO DE FLUIDOS EXTRAÑOS QUE CAUSEN TAPONA-- MIENTOS EN LA CARA DE LA FORMACION
- f).- INYECCION DE AGUA DE BAJA SALINIDAD Y UN AUMENTO DEL PH PUEDEN DISMINUIR LA PERMEABILIDAD EN ROCAS CARBONATA-- DAS

Es importante determinar las posibles causas del daño, ya sea en la formación o en el pozo, para evitar que se aumente el - problema al emplear los fluidos lavadores en el pozo.

Un lavado de la cara de la formación que acepta los fluidos - inyectados, normalmente removerá gran cantidad de los elemen- tos dañantes que provocan las altas presiones de bombeo. Es- te lavado se consigue aligerando suficientemente el peso hi-- drostático de los fluidos en el pozo y permitiendo que los -- fluidos de la formación fluyan hacia el pozo.

Una vez que la unidad de tubería flexible se instala adecuada- mente sobre el pozo a tratar, la tubería flexible se introdu- ce al pozo por el interior de la tubería de inyección, mante- niendo a través de ella un gasto constante de nitrógeno para- desalojar los fluidos del pozo hacia superficie. La tubería- flexible se baja, hasta una profundidad a la cual el peso hi- drostático de los fluidos del pozo sea menor que la presión -

de formación, de manera que se establezca el flujo de fluidos de la formación hacia el pozo y consecuentemente a superficie, o bien la tubería puede bajarse hasta el fondo del pozo. Los fluidos que fluyen del pozo a superficie se registran, muestréan y se analizan, para tratar de determinar las causas del incremento en las presiones de bombeo. En el interior del pozo, la tubería flexible se mueve de arriba hacia abajo y viceversa, para evitar que la arena y sólidos le causen un taponamiento, simultáneamente se mantiene un gasto constante de nitrógeno a través de ella.

Las líneas superficiales de flujo por las cuales los fluidos que previenen del pozo, se checan periódicamente para detectar posibles grietas en ellas, las cuales pueden ser ocasionadas por la arena y los sólidos que son arrastrados por el fluido producido, esta inspección también se hace en los codos y cambios de flujo. El pozo se continúa inyectando normalmente en la forma descrita anteriormente hasta que los fluidos del pozo y la formación retornen a superficie libre de arena y sólidos, en seguida de esto, la tubería flexible se levanta 20 m y el gasto de nitrógeno se suspende para iniciar el bombeo de agua hacia el pozo y observar la presión de inyección. En caso de presentarse una presión de bombeo demasiado alta, la operación de lavado se repite con mayores volúmenes de nitrógeno. Generalmente es necesario purgar o eliminar completamente el nitrógeno que se encuentra en el pozo, mediante circulación de agua hacia superficie, antes de iniciar la inyección de agua hacia la formación.

e).- NITROGENO Y FLUIDOS ESTIMULANTES¹¹

Durante las terminaciones en pozos profundos, especialmente en formaciones calizas y dolomías, no es extraño estimular -- con volúmenes de 76.0 a 570 m³ de ácido. La recuperación hacia superficie de los fluidos remanentes después de efectuar la estimulación, es posible de lograr con el empleo de nitró-

geno mezclado con estos fluidos en relaciones de 0.53 - 0.089 m³/litro. A menudo esta operación se efectúa con la ayuda de bombeo mecánico, sin embargo, en los pozos que tienen tuberías de producción de diferentes diámetros o telescopiadas no es práctico y a veces es peligroso operar los elementos superficiales del bombeo mecánico sin contar el tiempo que se emplea en la recuperación de los fluidos. En un tratamiento con nitrógeno, la limpieza del pozo se obtiene por la alta velocidad de retorno a superficie de los fluidos que se inyectan. La remoción de residuos de ácido, precipitados y partículas finas de la formación es importante para el éxito del tratamiento de estimulación, además el nitrógeno como burbujas de alta energía, dispersas en la totalidad del fluido de tratamiento, incrementan significativamente el área estimulada en el pozo.

Cuando se tienen pozos profundos con baja presión de fondo, no descarga a superficie todo el fluido remanente de la estimulación, aún con la inclusión de una fase gaseosa como el nitrógeno, debido a altas cantidades de fluidos de tratamiento más el agua de formación que pueden estar en el pozo, es posible instalar mediante el uso de la tubería flexible un sistema de bombeo neumático con un punto de inyección en el fondo del pozo, inyectando nitrógeno a través de la tubería flexible para iniciar el flujo hacia superficie de los fluidos remanentes. La tubería flexible puede ser introducida o extraída con el pozo a presión o fluyendo.

IV.3.7 LIMPIEZA CON TURBO-BARRENA (DYNA-DRILL)^{7,9,10}

El equipo hidráulico de tubería flexible y el dyna-drill, cuando se emplean en conjunto, ofrecen un método seguro, efectivo y económico para remover tapones sólidos que se forman en el pozo. El dyna-drill ha sido usado para perforar a través de arena, cemento, material consolidado y otros materiales.

En la actualidad, la capacidad de torque del dyna-drill ha ampliado las aplicaciones de la unidad de tubería flexible. El dyna-drill en conjunto con la tubería flexible se emplea para eliminar tapones sólidos que se forman en el interior de las tuberías de los pozos. A la vez se utiliza para rebajar tapones de cemento a una velocidad de aproximadamente 18.3 (m/min), naturalmente esta velocidad depende del tipo de cemento.

a).- INSTALACION DEL DYNA-DRILL EN LA TUBERIA FLEXIBLE

- 1.- Transportar hacia el pozo la cantidad necesaria de tubería flexible para efectuar el trabajo. Una tubería flexible muy larga, aumenta la presión de fricción del fluido bombeado por su interior y reduce la cantidad de torque que puede ser producido por el dyna-drill.
- 2.- Mantener un gasto constante circulando a través de la tubería flexible, cuando se emplea con el dyna-drill. En caso de que la presión se incremente de 210 a 280 kg/cm² el dyna-drill suspende su operación, debido a sus limitaciones en la presión máxima de trabajo.
- 3.- Una vez que la cabeza inyectora ha sido colocada firmemente sobre el pozo, deslizar la tubería flexible a través de los preventores, de modo que a partir de ellos, - se tenga una longitud de aproximadamente 50 cm. para instalar el dyna-drill. Cortar cuidadosamente el extremo de la tubería flexible con el fin de colocar en ella el dyna-drill.
- 4.- Deslizar el anillo del adaptador del dyna-drill, por el exterior de la tubería flexible, colocandolo a una distancia de 5 cm. a partir del extremo de la tubería. No golpear con martillos el anillo que se ha instalado sobre la tubería flexible, para evitar daños a las cuerdas del anillo. Con el empleo de un equipo abocinador, hacer un abocinado de 0.635 a 0.952 cm. en el extremo de la tubería flexible, en seguida deslizar un anillo orring

sobre el abocinado y asegurar el adaptador con el anillo orring.

- 5.- Atornillar el anillo del adaptador en la rosca del abocinado y apretar con la llave "T". Tomar un punzón que pueda pasar a través de agujeros para tornillos fijos y abocardar la tubería para instalar los tornillos fijos. No hacer un agujero en la tubería. Atornillar los tornillos fijos y apretar, éstos ayudan a conservar el dyna-drill en la rosca de la tubería.
- 6.- Instalar la barrena en el extremo del dyna-drill.
- 7.- Atornillar el dyna-drill. Asegurarse que todas las conexiones están apretados. El dyna-drill gira a 850 RPM, - en caso de que alguna conexión se afloje, el dyna-drill suspende su operación.

b).- PROCEDIMIENTO DE OPERACION DEL DYNA-DRILL

- 1.- Cuando se opera en pozos que tienen posibilidades de - - flujo, colocar una válvula maestra en la línea de flujo y un lubricador suficientemente grande para sostener la tubería, de manera que la válvula maestra pueda cerrarse después de que el pozo ha sido lavado y el dyna-drill se ha extraído del pozo.
- 2.- Antes de iniciar la operación en el pozo, bombear fluido por el interior de la tubería flexible para asegurarse - de que el dyna-drill trabaja correctamente.
- 3.- Circular mientras la tubería flexible se introduce al pozo. Esto no daña al dyna-drill y evita que la barrena - se atrape con el material que tenga baja circulación y - que tiende a asentarse en el fondo del pozo. Si el pozo se encuentra lleno de agua limpia y se conoce con exactitud la profundidad a la cual se encuentra el tapón, es - recomendable iniciar la circulación en la tubería flexible hasta una profundidad cercana al tapón.

- 4.- Es indispensable conocer o determinar la profundidad a la cual se encuentra el tapón. Introducir lentamente la tubería flexible hasta aproximadamente 60 m arriba del tapón, observar la presión de la bomba y el indicador de peso. Cuando el tapón se alcanza, se manifiesta un incremento de aproximadamente 35 kg/cm^2 en la presión de bombeo, esto indica que el dyna-drill tiene un atascamiento en el tapón. Observar la profundidad y bombear a mayor presión hasta que ésta decline y el incremento en la presión sea de sólo 7 a 20 kg/cm^2 .
- 5.- El operador de la tubería flexible debe mantener estrecha comunicación con el operador de la bomba durante el desarrollo de la operación. Mantener un gasto de agua de 80 lt/min. y observar la presión de la bomba. Cuando el dyna-drill alcanza al tapón, la presión se incrementa hasta que se aumenta la presión de bombeo y la barrena perfora el tapón.
- 6.- En tubería de diámetro pequeño, circular agua con un reductor de fricción, para remover los recortes, pero en tuberías de diámetro grande, es necesario circular lodo o gelatina guar-gun con una viscosidad de aproximadamente 30 - 40 min. (recordar que el fluido se bombea a 80 lts/min y la arena desciende a 45.7 (m/min) en agua).
- 7.- Cuando la perforación del tapón se concluye, bajar la tubería flexible al fondo del pozo y bombear a mayor presión, circulando hasta que el pozo esté limpio de sólidos. Mover la tubería flexible hacia arriba y hacia abajo, a fin de evitar que la barrena dañe la pared de las tuberías del pozo.
- 8.- Tratar de emplear la barrena más cerca al diámetro de tubería que se va a limpiar, (por ejemplo T.R. de $2 \frac{3}{8} \text{ pg}$ barrena de $1 \frac{3}{4} \text{ pg}$; T.P. de $2 \frac{7}{8} \text{ pg}$ barrena de $2 \frac{1}{4} \text{ pg}$; T.P. de $3 \frac{1}{2} \text{ pg}$ barrena de $2 \frac{7}{8} \text{ pg}$)⁽⁹⁾.
- 9.- No perforar a una profundidad mayor que el extremo infe-

rior de la tubería de producción, ya que la barrena pierde dirección y puede provocarse un "pescado"⁽⁹⁾.

- 10.- Antes de emplear el dyna-drill, correr un calibrador y - un bloque de impresión, para asegurarse que no se tienen herramientas en el pozo o que la tubería no está colapsada⁽⁹⁾.
- 11.- No emplear el dyna-drill para perforar materiales para - los cuales no esta diseñada, tales como estranguladores y niples.

a).- LIMPIEZA EMPLEANDO TURBO-BARRENA (DYNA-DRILL)¹⁰

La unidad de tubería flexible es una buena herramienta para - lavar o remover arena y otros sólidos de un pozo, sim embargo hay ocasiones en que no es posible lavar a través de un rolleno o tapón sólido, este puede estar constituido de arena compactada, cemento, incrustación o cualquier otro tipo de sólido. Para remover estos rellenos, primero es necesario perforar y romper el tapón, de manera que los recortes sean extraidos del pozo. El empleo del dyna-drill permite que este tipo de tapones pueda ser removidos al usarse conjuntamente con la tubería flexible.

El dyna-drill es una herramienta operada por fluido a presión. El motor es básicamente una bomba de múltiples etapas corrida en reversa. El motor diseñado especialmente, consiste de un estator de paso en espiral conteniendo un rotor de acero el - cual rota excentricamente. Está moldeado en una forma regular de ondulación periódica, el rotor tiene libertad de movimiento en el extremo superior, mientras que el extremo inferior está ajustado a un vástago. Cuando el fluido se bombea a presión a través del dyna-drill, el flujo se dirige a través de la cavidad formada entre el rotor y el estator. Con el -- fin de que exista flujo a través del dyna-drill, el rotor es desplazado y jirado por la presión de la columna de fluido, -

provocando rotación en el vástago, la flecha de impulso y finalmente la barrena.

Cuando se instala la tubería flexible para un trabajo con -- dyna-drill, esta se lubrica suficientemente para garantizar -- una operación correcta. Una vez que la cabeza inyectora está instalada y la tubería se corre a través de ella, en seguida la tubería flexible se corta y pule o lima suavemente. El anillo adaptador se desliza sobre la tubería flexible y el extremo de esta, se abocina con una herramienta de 37°. La cerradura se libera y posteriormente se desliza lateralmente de modo que el abocinado se pueda inspeccionar. Verificar que -- el abocinado no tenga rupturas y se tenga un asentamiento de 360°. Volver a accionar la cerradura y asegurar todos los -- tornillos. Las conexiones, el dyna-drill y la barrena se aseguran firmemente.

Antes de iniciar la intervención en el pozo, verificar la operación del dyna-drill, estableciendo un gasto en la bomba de 68 a 80 lt/min. Observar la presión de la bomba para futuras referencias. Una vez que todo el equipo se encuentre en condiciones apropiadas de operación, terminar la instalación de la unidad e introducir el dyna-drill en el pozo. Es muy importante que el operador de la bomba mantenga un gasto constante y conozca la máxima presión de operación de la unidad de tubería flexible.

El dyna-drill se introduce lentamente al pozo, manteniendo -- circulación constante por el interior de la tubería flexible -- mientras se baja hacia el pozo para asegurarse que se encuentre -- llena al momento de alcanzar el tapón a eliminar. Una -- vez que se checa la profundidad del tapón, levantar el dyna-- drill aproximadamente 7.5 m del tapón y establecer un gasto y presión constante de bombeo. A continuación bajar la barrena hacia el tapón, es posible que se alcance un incremento en la presión de 17.5 kg/cm². Con esta diferencial la barrena pue--

de girar a 760 RPM. En el caso de observar una diferencial - más grande, esto indicará que la barrena se ha atascado en el tapón. Una caída de presión indicará la presencia de un agujero o ruptura en la tubería flexible o desconexión del dyna-drill. Mantener una lenta velocidad de perforación. Al momento de que el incremento en la presión sea mayor de 21.0 - kg/cm² bombear a mayor presión por el interior de la tubería flexible, para perforar el tapón y la presión vuelva a su valor original.

Después de perforar hasta la profundidad deseada, circular un volumen igual al volumen del pozo, con esto se asegura que todos los recortes y sólidos sean transportados a superficie. - Es posible mantener circulación por el interior de la tubería flexible a medida que se extrae del pozo. En caso de que posteriormente se desee inducir el pozo, extraer la tubería flexible del pozo y remover el dyna-drill. El gas-nitrógeno nunca se debe bombear a través del dyna-drill. El gas seca e impregna los hules alineadores del estator causando deterioro en el rotor y puede dañar el estator y hacer necesario su reemplazo.

IV.3.8.- LIMPIEZA DEL LODO DE TERMINACION¹⁰

Cuando se ha decidido terminar un pozo y la tubería de producción se introduce al agujero, normalmente el lodo de terminación se desplaza hacia el espacio anular de la T.P. y la T.R. El lodo es colocado también en la T.R. abajo del empacador. - El lodo que se tiene abajo del empacador algunas veces causa problemas, si este intervalo es grande, el peso hidrostático del lodo puede ser suficientemente alto para evitar el flujo de la formación, o bien al establecerse al flujo de la formación hacia superficie, los gases producidos llegan a deshidratar el lodo, separando los sólidos, quienes se solidifican y pueden llegar a restringir el flujo en los disparos. Estos -

son algunas razones por las que es necesario remover el lodo de terminación. La unidad de tubería flexible permite esta operación, en un tiempo pequeño.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Cuando se trabaje en pozo con T.R. de diámetro grande, es posible utilizar herramientas lavadoras en el extremo de la tubería flexible.
- 2.- Si el lodo en el pozo se encuentra ya deshidratado o duro, es recomendable emplear ácido para permitir su remoción.
- 3.- Circular agua por el interior de la tubería flexible hasta que el fluido que retorne a superficie esté limpio de lodo y alcanzar la profundidad programada.

b).- PRECAUCIONES

- 1.- No propiciar demasiada presión diferencial en el exterior de la tubería de producción cuando la tubería flexible se introduce en el espacio anular formado por la tubería de producción y revestimiento, para extraer el lodo almacenado en este espacio.

a).- PROCEDIMIENTO DE LA INTERVENCION

La unidad de tubería flexible se instala normalmente, en seguida se prueba a una presión de 350 kg/cm². La tubería flexible se introduce al pozo ya sea por el interior de la tubería de producción o por el espacio anular, dependiendo si el lodo se encuentra dentro de la tubería de producción o en el espacio anular, mantener circulación por su interior a un gasto de 40 a 80 lts/min, e introducir la tubería flexible hasta donde se lo permita las condiciones mecánicas del pozo. Generalmente el lodo no ofrece mucha resistencia a su despla-

miento hacia superficie y se circula con seguridad. Después de bajar al fondo del pozo, es recomendable circular hasta -- que el agua retorne a superficie libre de partículas de lodo, con esto se asegura el lavado y remoción total del lodo. Posteriormente, la tubería flexible se extrae del pozo y la unidad se desmantela.

IV.3.9.- LIMPIEZA DE LINEAS SUPERFICIALES DE FLUJO¹⁰

Como es bien conocido, es importante mantener las líneas superficiales de flujo en adecuadas condiciones de operación, a fin de mantener en control la producción de los pozos. Si -- las líneas de flujo de un pozo o de un grupo de pozos se taponan, los pozos presentarán problemas en el manejo de su producción superficial. Los problemas en las líneas de flujo -- pueden deberse a solidificación de parafinas o acumulación de sólidos en su interior, de modo que en ocasiones cortan por -- completo el flujo a través de ellas.

Se tienen varias alternativas para destapar una línea de flujo, quizá la más común es cortar la línea y remover el material acumulado y en seguida reemplazar la sección taponada. -- Esto es adecuado si la línea de flujo es de fácil acceso, sin embargo, a veces se tienen líneas en lugares que hacen la operación muy lenta o imposible, en estos casos es recomendable el uso de la tubería flexible ya que ofrece la alternativa de circular fluidos a presión en el interior de las líneas, permitiendo la eliminación de las obstrucciones.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Conocer que tipo de material se va a remover (en caso de ser parafina, emplear agua caliente).
- 2.- Verificar que el sistema de frenado de la tubería flexible opere correctamente y checar continuamente que se --

tiene aún la capacidad de extraer la tubería flexible de la línea de flujo, antes de intentar proseguir la operación de limpieza.

3.- Emplear una doble zapata gufa en el extremo de la tubería flexible.

b).- PRECAUCIONES

1.- No introducir la tubería flexible demasiado rápido en las líneas de flujo.

a).- PROCEDIMIENTO DE LA INTERVENCION

Como se mencionó anteriormente, el uso de la unidad de tubería flexible es una alternativa más, para la limpieza de las líneas de flujo. Naturalmente hay varias líneas que tienen excesiva cantidad de codos y otras formas físicas que prohíben la operación de la tubería flexible a través de ellas. Las características físicas de las líneas de flujo como son el diámetro, número y grado de inclinación de los codos, y el acceso a cada entrada de las líneas, son tomadas muy en cuenta, al planear el empleo de la tubería flexible. El diámetro de las líneas que permite el uso de la tubería flexible es de por lo menos tres veces el diámetro de la tubería, además el ángulo de los codos o cambios de dirección deben ser igual o mayores de 90°.

La instalación de la cabeza inyectora en esta intervención es un poco diferente a la instalación normal, en todo momento tiene que estar inclinada o nivelada sobre sus extremos. Emplear maderas o bloques para soportar y equilibrarla.

Una vez que la cabeza inyectora está colocada correctamente, se inicia a introducir la tubería flexible por el interior de la línea de flujo, manteniendo un gasto constante de agua por la tubería. Previamente es necesario cortar el extremo de la

tubería flexible para instalar una doble zapata guía o una -- guía de aluminio, para prevenir de que la tubería se enganche o atore dentro de la línea de flujo. Es necesario detener la tubería flexible cada 60 m para verificar que aún se tiene ca pacidad de extraerla o recuperarla de la línea. La presión - requerida en la cabeza inyectora para introducir y extraer la tubería flexible es algo mayor que cuando se trabaja en un po zo debido a la fricción de la tubería con las paredes de la - línea de flujo, en la que se introduce horizontalmente. La - tubería flexible se opera en las líneas de flujo hasta que -- sus condiciones de longitud se lo permitan, pero de experian- cias previas la máxima son 1500 m.

IV.3.10.- INSTALACION PERMANENTE¹⁰

Es factible que el equipo hidráulico de tubería flexible se -- instale en forma permanente en pozos que requieren tratamien- tos e intervenciones a intervalos regulares o algunas veces - continuamente, como en el caso de instalación de bombeo neumá tico y de inyección de fluidos de tratamiento. A continua- ción se describen ambas instalaciones.

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Instalar la unidad de tubería flexible lo más cerca posi ble al pozo.
- 2.- Determinar el tipo de colgador necesario para la opera- ción, dependiendo si el pozo se encuentra "muerto" o - - bien a presión.
- 3.- Determinar los diámetros de las conexiones que debe te- ner el colgador seleccionado.
- 4.- En caso de trabajar un pozo a presión, colocar una válvu la de contrapresión en el extremo de la tubería flexible.

b).- PRECAUCIONES

1.- No cargar a la grúa con demasiado peso de tubería flexible y la cabeza inyectora.

a).- INSTALACION PERMANENTE PARA BOMBEO NEUMATICO

Existen numerosas razones por las que se hace necesario el empleo de bombeo neumático en un pozo. Declinación en la presión de un yacimiento productor al grado que el peso de la columna hidrostática del aceite producido llega a ser mayor que la presión de formación o en su caso, un pozo productor de -- hidrocarburos y agua llega a sobrebalancear el pozo e impedir el flujo de la formación. La finalidad del bombeo neumático es aligerar los fluidos del pozo hasta el grado que pueden -- fluir hacia superficie.

Hay muchas maneras para instalar un sistema de bombeo neumático con tubería flexible. Cada sistema se diseña para operar efectivamente bajo las condiciones involucradas con un pozo - en particular. El pozo puede requerir un solo punto de bom--beo o bien inyectar gas por el interior de la tubería flexi--ble permitiendo que fluya hacia el extremo de ella en el fon--do del pozo y posteriormente levantar los fluidos por el espacio anular formado entre la tubería de producción y la tube--ría flexible. Cuando se hace necesario el bombeo neumático - con puntos múltiples, los puertos se perforan en las paredes de la tubería flexible, para instalar las válvulas y despla--zar los fluidos hacia superficie.

Una consideración importante antes de la instalación de la tubería flexible, es el tipo de colgador para la tubería flexible. Se tienen básicamente dos tipos de colgadores, para manejar altas o bajas presiones de cabeza, ambas con dispositivas para soportar la presencia de H₂S. El colgador a alta -- presión emplea un obturador de operación hidráulica y cuñas -

externas, este colgador permite que la tubería flexible se maneje con el pozo a presión. El colgador a baja presión, únicamente se emplea si el pozo está "muerto", las cuñas y los empaques obturadores se colocan sobre la tubería flexible una vez que ésta se ha introducido al pozo.

El colgador de tubería flexible se instala sobre el cabezal del pozo antes del izamiento de la cabeza inyectora. En caso de que el pozo manifieste presión en el cabezal y no se tenga planeado "matarlo", instalar una válvula de retención en el extremo de la tubería flexible, esto mantiene la presión en el exterior de la tubería, sin embargo, tener cuidado de mantener una diferencial menor de 70 kg/cm^2 dentro de la tubería flexible, para evitar su colapso. Para mantener la diferencial dentro de las limitaciones es factible llenar la tubería flexible con agua, al momento de introducir la tubería.

Una vez que se ha izado la cabeza inyectora y el equipo superficial previamente probado a presión, introducir la tubería flexible en el pozo hasta la profundidad programada. Instalar adecuadamente las cuñas y empujar ligeramente la tubería flexible con la cabeza inyectora, para asegurar que las cuñas se fijen a la tubería. Si se emplea el colgador para alta presión, prezurizar el obturador hidráulico a un valor ligeramente menor que 350 kg/cm^2 . En seguida, desconectar la cabeza inyectora e instalar la válvula de bombeo neumático en la tubería flexible.

b).- INSTALACION PERMANENTE PARA TRATAMIENTO A POZOS

Los tratamiento en pozos se emplean para remediar varios problemas tales como corrosión, depósitos de parafina, salinos o químicos y otros. Frecuentemente los fluidos para el tratamiento se inyectan por el espacio anular y regresan a superficie por el interior de la tubería, sin embargo, los pozos equipados con empacadores no pueden ser tratados de esta mane

ra, por otra parte, los fluidos de tratamiento son a menudo - de alta densidad y ejercen una carga hidrostática grande que en ocasiones detiene la producción del pozo, para aliviar estos problemas, es recomendable introducir hacia el pozo una sarta de tratamiento que permita la circulación regular o continúa de los fluidos de tratamiento, en este caso es útil la instalación de la tubería flexible.

Se siguen las mismas precauciones y consideraciones al instalar la tubería flexible para tratamiento permanente, que en el caso de su instalación para bombeo neumático. Una vez instalada la tubería flexible en el colgador, se introduce por el interior de la tubería de producción, el tratamiento se ejecuta a intervalos o continuamente dependiendo de las condiciones del pozo y del problema a remediar.

La tubería flexible como una sarta de tratamiento permite la inyección por su interior a una presión máxima superficial de 350 kg/cm^2 y gastos de 159 lts/min. Simultáneamente, el gasto y la presión de inyección dependen de las condiciones del pozo, longitud de la tubería flexible y el tipo de fluido bombeado. Los fluidos empleados en los tratamientos normalmente son:

- 1.- Agua, para disolver sales y evitar su depositación.
- 2.- Agua o diesel, con inhibidores para proteger a las tuberías de la corrosión.
- 3.- Solventes parafinicos para evitar la depositación de parafinas.
- 4.- Acidos para controlar los depósitos químicos, como son sales, hierro o calcio.

IV.3.11.- INDUCCION DE POZOS GEOTERMICOS^{10,12}

Después de que un pozo geotérmico se ha perforado y terminado,

frecuentemente se emplea un estimulante externo para iniciar el flujo. La cantidad de ayuda necesaria depende de la presión, temperatura en el pozo y de la permeabilidad del yacimiento. En algunos pozos el flujo se inicia desplazando con agua el lodo de perforación, otros se inducen desplazando hie lo seco hacia el fondo en donde se convierte en dióxido de -- carbono gaseoso y proporciona la suficiente energía adicional para iniciar el flujo. En los campos geotérmicos de México, -- dependiendo de las condiciones termodinámicas en las que se -- encuentren los fluidos en el pozo (cercano o alejado de su -- punto de "flasheo") se determina el método de inducción:

- Si los fluidos del pozo se encuentran cerca al punto de -- "flasheo" es recomendable inducir el pozo mediante la in-- yección de espumantes (jabón acualev), en seguida dejar en reposo por un período de aproximadamente 10 días y poste-- riormente abrirlo para iniciar el flujo.
- En caso de que los fluidos del pozo estén alejados del pun-- to de "flasheo" o bien que el método anterior no fuese su-- ficiente para iniciar el pozo, se procede a inducirlo me-- diante la represión de los fluidos del pozo inyectando aire y posteriormente abriendo rápidamente (método de pistoneo) esta operación se repite 3 ó 4 veces, hasta lograr buenos-- resultados; otro método que ofrece buenos resultados es la inyección de nitrógeno a través de un tubing a una profun-- didad mayor que el nivel estático de los fluidos del pozo.

A continuación se describe el uso de la tubería flexible en -- el proceso de inducción:

a).- OBSERVACIONES

- 1.- Determinar con anterioridad el nivel estático, la presión y temperatura de fondo del pozo, mediante registros de -- presión y temperatura.
- 2.- Determinar el perfil de presión y temperatura, con regis--

tradores de fondo.

- 3.- En pozos con tuberías de revestimiento de diámetro grande, trabajar lentamente con la tubería flexible.
- 4.- Siempre tomar en cuenta el elongamiento de las tuberías del pozo.
- 5.- Usar estoperos que soporten altas temperaturas.

a).- PROCEDIMIENTO DE LA INTERVENCION

El método de inducción de pozos geotérmicos se logra combinando el uso de la unidad de tubería flexible y nitrógeno. - Tomar en cuenta, que en superficie se observan temperaturas de los fluidos de 150 a 230°C una vez que el pozo se ha inducido, por esta razón es necesario emplear materiales que soporten estas temperaturas. Instalar una gufa o herramienta lavadora en el extremo de la tubería flexible para asegurarse que no se atrape con los sólidos del pozo producidos al iniciarse el flujo. Tener precaución de compensar los holgamientos en el cable del malacate que se encuentra conectado a la cabeza inyectora. Debido al rápido incremento de temperatura en las tuberías del pozo, no es raro que el cabezal se levante de 5 a 25 cm. de su posición normal, si esto ocurre, tensionar las líneas del malacate para mantener el soporte de la cabeza inyectora. El operador de la unidad de tubería flexible debe estar conciente de que al aflojarse la línea del malacate, se puede suspender el flujo de manera que la inducción se interrumpe causando un enfriamiento repentino de las tuberías del pozo. En algunas unidades de tubería flexible, el carrete no puede ser operado al mismo tiempo que está en operación la cabeza inyectora, de modo que es necesario instalar un interruptor para desconectar rápidamente las válvulas hidráulicas. Por otra parte es recomendable checar las conexiones en las líneas superficiales de flujo.

Una vez que se han cubierto todas las precauciones, la unidad

se instala normalmente, siempre estar conciente de que el gas to esperado del pozo puede ser grande. La tubería flexible - se introduce al pozo, inyectando simultaneamente nitrógeno a través de ella, esto ayuda a aligerar el peso de la columna - hidrostática a medida que la tubería flexible se baja al pozo e induce el flujo rápidamente sin gastar grandes cantidades - de nitrógeno. El fluido que se obtiene en superficie se che- ca continuamente para observar cualquier incremento brusco, - al ocurrir esto, compensar los holgamientos en la línea del - malacate y detener la tubería flexible, el gasto del pozo se- debe mantener de 4 a 14 horas. En caso de que el pozo se lle- gue a abatir, inyectar nuevamente nitrógeno, bajando la tube- ría flexible a mayor profundidad. Si el pozo continua fluyen- do por si solo, extraer la tubería flexible del pozo y desman- telar la unidad.

Cuando el gasto de vapor aportado por el pozo, es muy pequeño, lavar el intervalo productor. Para ello, bajar la tubería -- flexible con circulación de nitrógeno por su interior, a una- profundidad de aproximadamente 30 m arriba de la zona produc- tora o de las ranuras del liner, posteriormente bombear el -- máximo gasto posible de nitrógeno, este es de aproximadamente 2,400 pie³/min a una presión superficial de 267 kg/cm². Conti- nuar el bombeo hasta que los fluidos fluyan a superficie sin- la inyección de nitrógeno, para esto detener el gasto de ni- trógeno. Esta técnica crea una alta velocidad a través de la zona productora y tiende a remover detritos y sólidos hacia - el pozo y a superficie.

Después de que el flujo inicia, bajar la tubería flexible has- ta el fondo del pozo y bombear nitrógeno para asegurarse que- los sólidos no caigan hacia el agujero. Una vez que el pozo- está limpio, extraer la tubería flexible y desmantelar la uni- dad.

IV.3.12.- TRATAMIENTO DE POZOS INYECTORES DE AGUA¹

Al igual que en los pozos inyectores de agua de desecho o líquidos residuales, la tubería flexible se emplea para reparar y estimular pozos inyectores de agua en las operaciones de recuperación secundaria por desplazamiento de aceite por agua.- Generalmente estos pozos, con el paso de los años, presentan un decremento en sus volúmenes de aceptación y un apreciable aumento en la presión superficial de bombeo. Por lo general, un incremento en la presión superficial acompañado de una disminución del gasto de aceptación, es el resultado de la presencia de sulfatos de hierro, carbonatos o precipitados insolubles en el pozo. Esta disminución de la permeabilidad puede considerarse una forma de relleno acumulado en el agujero o a la profundidad de la zona de aceptación. Además, la formación puede taponarse por sí misma debido a acumulación de insolubles y carbonatos, los cuales disminuyen paulatinamente la permeabilidad en las vecindades del agujero. Los sulfatos de hierro pueden acumularse en las perforaciones y taponarlos.

Durante la inyección de agua en las operaciones de recuperación secundaria, el incremento en la presión de inyección es el resultado de la fuerza necesaria para desplazar el aceite-residual, pero el incremento es pequeño. Sin embargo, si estos pozos se taponan por alguna razón, el incremento en la presión de inyección aumenta la posibilidad de fracturar la formación y desviar el agua que se está inyectando a un área-improductiva y sin posibilidades de producir aceite.

Con el empleo de la tubería flexible se tiene la ventaja de evitar la remoción de las tuberías de inyección y la intervención toma sólo uno o dos días.

a).- PROCEDIMIENTO EN LA INTERVENCION

Los pozos no deben cerrarse o interrumpir su inyección duran-

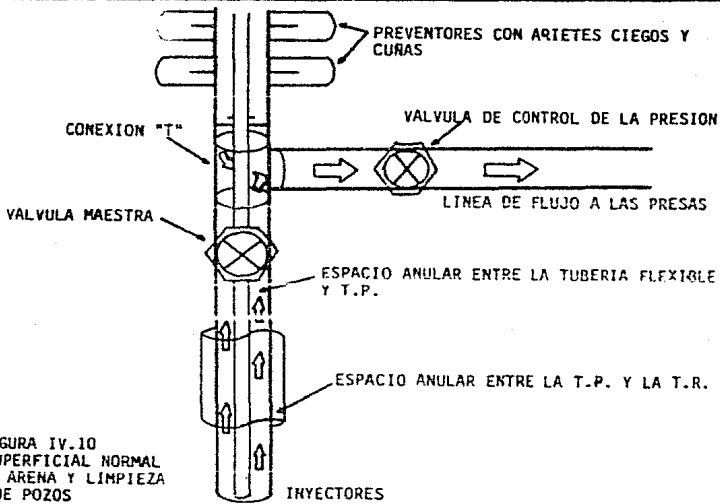


FIGURA IV.10
ARREGLO SUPERFICIAL NORMAL
PARA LAVAR ARENA Y LIMPIEZA
DE POZOS

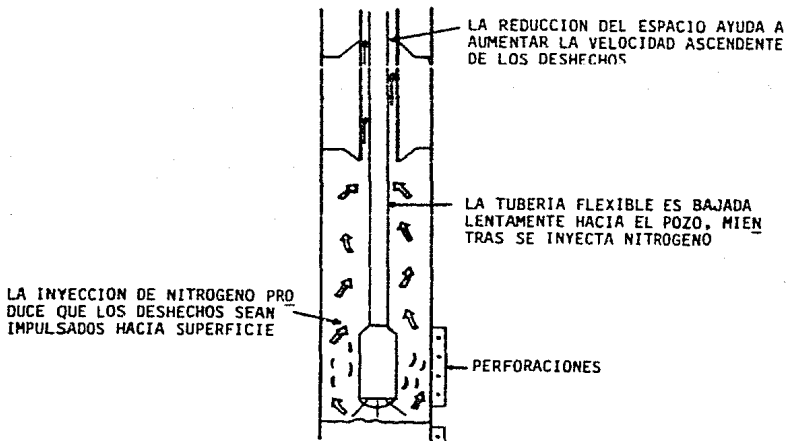


FIGURA IV.11.- ACCION DE INDUCCION CON TUBERIA FLEXIBLE

te un largo período de tiempo, antes del tratamiento. Instalar una conexión "T" en la parte superior del cabezal, figura IV.10, si la instalación de la "T" estorba las líneas de inyección, es recomendable trasladarlas a otro sitio, sin interrumpir la inyección. La "T" se emplea como una conexión para la línea de flujo y otra para la cabeza inyectora. La línea de flujo es de acero y siempre debe asegurarse correctamente. Instalar una válvula de control en la línea de flujo que permita cerrar de manera que se controle el regreso de los fluidos. La válvula maestra se mantiene abierta durante el tratamiento ya que la tubería flexible se inyecta a través de ella. Tener cuidado al momento de introducir la tubería flexible por el interior de la tubería de inyección. bajar lentamente, cualquier obstrucción no conocida previamente causará torceduras en la tubería flexible y puede romperla si se introduce demasiado rápido. Normalmente, el fluido se bombea a través de la tubería flexible mientras se está introduciendo al pozo, con el fin de evitar taponamientos en la herramienta lavadora y en algunos casos en la tubería. En la figura IV.11, se ilustra una herramienta lavadora instalada en el extremo de la tubería flexible.

A continuación se describe el procedimientos:

- 1.- Instalar la unidad de tubería flexible, previamente colocar la herramienta eyectora en su extremo e introducirla hasta la parte superior de las perforaciones. mantener la circulación de agua desde el inicio de la operación.
- 2.- Inyectar agua a la profundidad total. Circular posteriormente para remover los sólidos del pozo, en caso de encontrarse un tapón o relleno compacto, colocar aproximadamente 150 litros de ácido a la profundidad del relleno y cerrar la línea de flujo. Permitir que el ácido moje al relleno durante varios minutos antes de abrir la línea de flujo. En seguida volver a lavar con agua.

- 3.- Una vez que el relleno o tapón se ha eliminado, determinar la profundidad hasta la que se encuentran los remanentes del ácido, con el extremo de la tubería y cerrar la línea de flujo. Para lograr remover los sólidos y -- materiales que obstruyen o se enuentren impidiendo el -- flujo en el intervalo de aceptación, inyectar y circular agua con los volúmenes seleccionados para el tratamiento, mover ascendente y descendentemente la tubería flexible a la profundidad de las perforaciones.
- 4.- Posteriormente remojar con ácido el intervalo de aceptación, durante 30 minutos. Si el pozo no fluje por si -- mismo, bajar la tubería flexible hasta el fondo del pozo e inyectar 70.80 m^3 de nitrógeno a un gasto de 600 pies³/min. Esto asegura la limpieza de partículas insolubles.
- 5.- Sacar la tubería flexible, para que el pozo vuelva a sus anteriores condiciones de inyección.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las características del sistema hidráulico de tubería flexible, han hecho de este sistema una nueva alternativa viable para las operaciones de reparación y mantenimiento de pozos. Las operaciones de la tubería flexible son variadas gracias a su versatilidad. Proporciona la flexibilidad de intervenir un pozo con diferentes procedimientos dependiendo de las condiciones del pozo y del problema a tratar. Entre sus principales ventajas mencionadas en este trabajo, la velocidad de inyección y extracción de la tubería flexible, la eliminación de la necesidad de remover la tubería de producción, permitir la circulación a medida que la tubería flexible se inyecta o extrae continuamente y a presión en el pozo, estas características entre otras, son una garantía para acelerar los trabajos programados, ocasionando con esto, alcanzar los objetivos en un mínimo de tiempo y a un costo reducido.

El desarrollo de herramientas tales como dispositivos lavadores, centralizadores, colgadores, empacadores, dyna-drill, etc.; diseñados especialmente para usarse con el equipo de tubería flexible aumentan considerablemente la efectividad de este sistema hidráulico. De igual manera, las innovaciones futuras en las características de operación del sistema como, capacidad de rotación de la tubería flexible en el interior del pozo, mayor capacidad y menor peso del equipo en total, puede dar lugar a una aplicación cada vez más continua en las operaciones en tierra y costa fuera.

El procedimiento de la intervención en cada caso debe ser cuidadosamente seleccionado y programado. Se deben considerar las posibles causas del problema y las condiciones en las que

se encuentra el pozo y tratar de que las operaciones se efectúen de acuerdo al orden establecido. Un diseño incorrecto ocasionará contratiempos durante la intervención y es posible que los problemas a remediar se incrementen. Los diferentes elementos que constituyen el sistema de tubería flexible deben ser operados dentro de sus límites de diseño y considerarse un mantenimiento continuo, esto dará lugar a que el funcionamiento del sistema en total sea adecuado y eficiente.

Además dependiendo del tipo de intervención a efectuar, es posible usar el equipo de tubería flexible en conjunto con otros sistemas hidráulicos, para aumentar sus capacidades de servicio.

Las bondades de los sistemas hidráulicos en las operaciones de reparación y mantenimiento a pozos son grandes, y se han ido incrementando a medida que los problemas son más complejos, por medio de una variación constante de sus características de operación.

Es importante tener conciencia de que el mantenimiento de los pozos en condiciones apropiadas de operación, día a día mejorará la explotación de los yacimientos, intentando que su explotación óptima y racional sea una realidad, para beneficio de la Industria Nacional y de nuestro País.

NOMENCLATURA

- a .- Densidad del acero [gr/cm^3]
- CTE.- Capacidad de la tubería flexible [lbs/m]
- DETF- Diámetro exterior de la tubería flexible [pg]
- DI .- Diámetro interior de la tubería flexible [pg]
- DITP- Diámetro interior de la tubería de producción [pg]
- E .- Espesor de la tubería flexible [og]
- EC .- Esfuerzo de cedencia [kg/cm^2]
- FF .- Factor de flotación [adimensional]
- f .- Densidad del fluido de trabajo [gr/cm^3]
- h .- Profundidad del pozo [m]
- H .- Profundidad hasta la cual se encuentra la tubería flexible en el pozo [m]
- L .- Longitud de tubería flexible [m]
- P .- Presión diferencial positiva [kg/cm^2]
- PF .- Presión de la formación [kg/cm^2]
- PI .- Presión interna en la tubería flexible [kg/cm^2]
- PH .- Carga hidrostática [kg/cm^2]
- PTh.- Presión superficial disponible (gráficas A y B) [lb/pg^2]
- PU .- Peso unitario de la tubería flexible [kg/m]
- Pwt.- Presión de fondo del pozo [lb/pg^2]
- Q .- Gasto a través de la tubería flexible [m^3/min]
- T .- Tensión sobre la tubería flexible [kg]
- TA .- Tiempo de acarreo [min]
- VEA.- Volumen en el espacio anular [m^3]
- ρ .- Densidad del fluido del pozo [gr/cm^3]
- ΔP .- Diferencial de Presión [kg/cm^2]

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Workover and stimulation of water injection wells using continuous - coil tubing, Stephen C. Russell. Nowsco Services
- 2.- Manual de la tubería flexible. Hydra Rig Co. Forth Worth Texas - - 76119. U.S.A.
- 3.- Hydraulic systems - A tool for the prevention of formation damage -- R.J. Silberman, Rod. Wetzel, AIME, SPE 4789
- 4.- Tubing snubbing equipment and procedure. R.J. Silberman, ASME, 72 - Pet - 25
- 5.- Catálogos de servicio del sistema de tubería flexible y Snubbing -- Hydra Rig Co. Forth Worth Texas 76119, U.S.A.
- 6.- Catálogo de servicio - The coiled tubing people - Rebound Rig Co. -- L.T.D. Alberta, Canadá
- 7.- Unidades de tubería flexible. Best Co.
- 8.- Coiled tubing seminar. Hydra Rig Co. Forth Worth Texas 76119, U.S.A
- 9.- Tubería Flexible. Suptcia. Servicios a Pozos - PEMEX
- 10.- General Guidelines and suggestions for safe and efficient operation of coiled tubing equipment in various applications. Hydra Rig Co. - Forth Worth Texas 76119, U.S.A.
- 11.- Use of nitrogen and coiled tubing in deep wells. Joseph L. Cashion. Nitrogen oil well Service Co. Houston, Tex.
- 12.- El uso de los productos químicos para el control y tratamiento de -- las parafinas a la Industria Petrolera. J.M. Zuazua. IMP abril 1963