

10  
2 g



**Universidad Nacional  
Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**" ESTIMACION DE COSTOS EN LA  
PERFORACION DE UN  
POZO PETROLERO "**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO PETROLERO**

**P R E S E N T A:**

**ALEJANDRO FIERROS NORIEGA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

	Página
INTRODUCCION . . . . .	1
I.- PROYECTO DEL TIEMPO DE PERFORACION . . . . .	2
a. Fuentes de información del tiempo de perforación. . . . .	9
b. Categorías de tiempo. . . . .	12
c. Consideraciones de tiempo . . . . .	13
II.- PREPARACION DE LA LOCALIZACION Y MOVIMIENTO- DEL EQUIPO . . . . .	18
a. Categorías de costos. . . . .	19
b. Costos tangibles e intangibles. . . . .	19
c. Preparación de la localización. . . . .	20
d. Equipo de perforación y herramientas. . . . .	24
e. Movimiento de llegada y retiro. . . . .	26
f. Costo por barrena . . . . .	27
g. Porcentaje en costo con respecto al metro perforado . . . . .	29
h. Oferta de trabajo por día . . . . .	30
i. Combustibles. . . . .	33
j. Agua. . . . .	33
k. Barrenas. . . . .	35
l. Equipo de terminación . . . . .	37
m. Fluidos de perforación. . . . .	37
n. Fluidos empacadores . . . . .	45

	Página
III.- RENTA DE EQUIPO Y HERRAMIENTA. . . . .	47
a. Equipo de control del pozo. . . . .	47
b. Herramientas y accesorios de la sarta . .	49
c. Equipo relacionado con el lodo. . . . .	51
d. Herramientas usadas en tuberías de reves- timiento. . . . .	53
e. Cezantaciones . . . . .	54
f. Espaciadores y aditivos . . . . .	55
IV.- SERVICIOS DE APOYO . . . . .	61
a. Cuadrillas de tuberías de revestimiento .	61
b. Registros de lodo . . . . .	62
c. Registros del pozo. . . . .	64
d. Disparos o perforaciones. . . . .	64
e. Pruebas de formación. . . . .	66
f. Inspección tubular. . . . .	67
g. Servicios de cocina . . . . .	67
h. Trabajos especiales . . . . .	68
i. Transportes . . . . .	69
j. Supervisión y administración. . . . .	72
k. Tuberías. . . . .	75
l. Equipo de tuberías de revestimiento . . .	78
m. Cabezales y terminaciones . . . . .	80

	Página
CONCLUSIONES . . . . .	83
BIBLIOGRAFIA . . . . .	88

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

En la planeación de un pozo, el paso final es la -  
preparación de los costos estimados.

En muchos casos, el costo estimado es la herramien-  
ta administrativa que se usa para determinar si el pozo  
se perforará o se queda sólo en proyecto. Aunque es una  
parte esencial en la planeación de un pozo, el costo es-  
timado, es frecuentemente la sección más difícil de ob-  
tener. Este trabajo deberá ayudar a definir los costos-  
y preparar un presupuesto de la perforación del pozo. -  
El costo estimado para un pozo puede requerir mucho tra-  
bajo de ingeniería, tanto o más que el diseño técnico -  
real del pozo. Los costos referentes a estos trabajos -  
se pueden aplicar tanto al caso de pozos secos como a -  
pozos terminados. Además se deben evaluar los términos-  
tanto palpables como los no palpables que se consideran  
en la contabilidad de gastos. Desafortunadamente, mu---  
chos costos estimados o supuestos son tomados a la lige-  
ra, en los cuales se usa muy poco trabajo de ingeniería  
en el procedimiento total de la estimación.

El costo real del pozo se obtiene integrando, los-  
tiempos de perforación esperados y los de terminación -  
en conjunto con el diseño del pozo.

## C A P I T U L O I

### PROYECTO DEL TIEMPO DE PERFORACION

El tiempo requerido para la perforación del pozo tiene un impacto significativo en muchos de los puntos a tratar en las operaciones que se llevarán a cabo, lo que redundará en el costo del pozo. Estos costos de operación deben incluir: equipo de perforación, lodos, transportación terrestre y/o costa afuera, renta de herramientas y servicios de apoyo.

El efecto de los términos mencionados depende del costo real por unidad con respecto al costo total (ejemplo, \$ 3 300,000/día para un equipo terrestre y redondeando \$ 33 000,000/día para una unidad flotante de perforación) y de la cantidad de tiempo de perforación.

Como un ejemplo, se considerará un programa del pozo mostrado en la fig. 1.

Suponga que el pozo deberá ser perforado en un campo de la zona sur a mediados del año 1985.

La tabla 1 resume los tiempos proyectados para el pozo, en tres casos diferentes se ilustran los distintos costos promedios. El caso drástico o imprevisto de la tercera columna tiene un costo mayor en 21% que el mostrado como optimista en la primera columna. Con es-

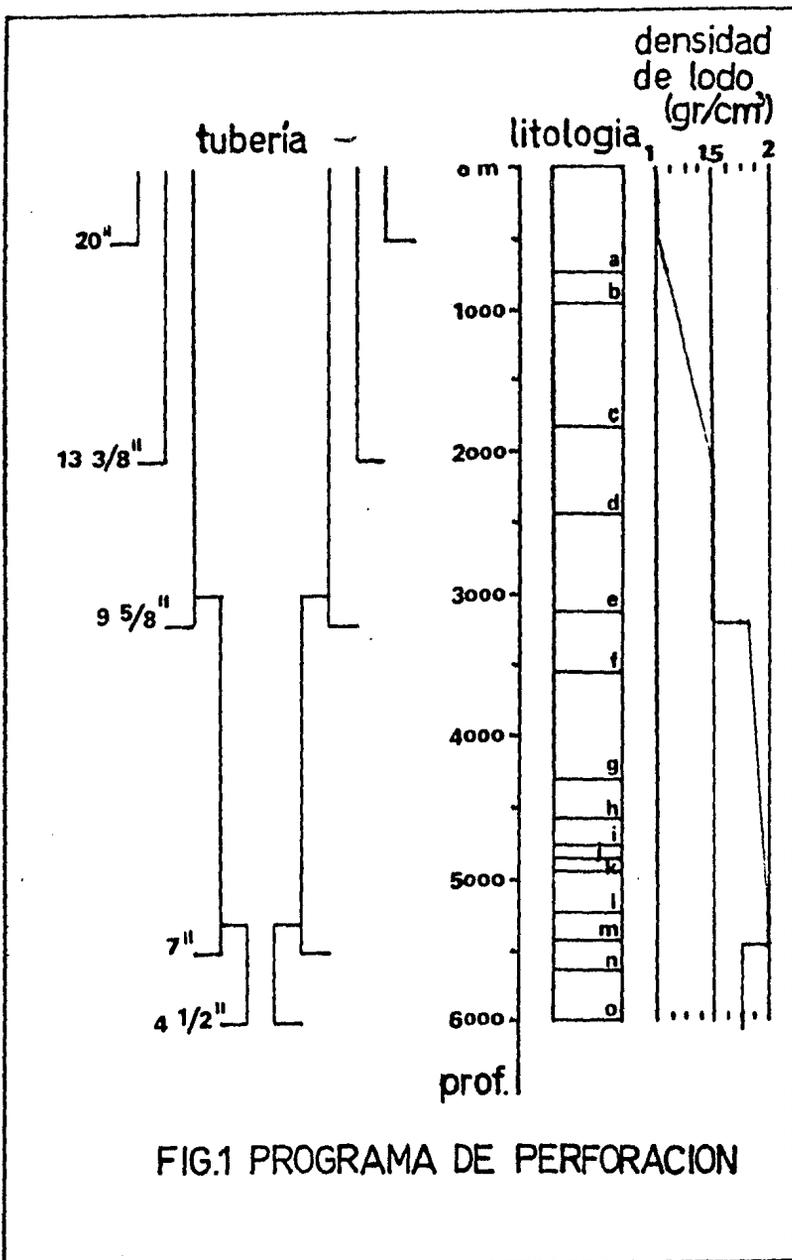


FIG.1 PROGRAMA DE PERFORACION

**Litología del programa de perforación:**

- a. Paraje solo
- b. Filisola
- c. Conc. Superior
- d. Conc. Inferior
- e. Encanto
- f. Depósito
- g. Eoceno
- h. Paleoceno
- i. Mendez
- j. San Felipe
- k. Agua Nueva
- l. Cretásico Medio Superior
- m. Cretásico Medio Inferior
- n. Jurásico
- o. Kimmer

ASPECTO ESTIMADO:	TIEMPO EN DIAS		
	OPTIMO	PROMEDIO	IMPREVISTO
movimiento del equipo (llegada y retiro)	8	8	8
perforación del pozo			
0-500 tub. conductora	2	2	2
500-2050	30	40	50
2050-3200	18	20	28
3200-5500	43	60	85
5500-6000	25	30	45
corridas de ademe	20	20	20
registros	9	9	9
terminación	11	11	11
TOTAL	166	200	258

COSTO DE LOS POZOS (en pesos):

OPTIMO	1,195,629,816
PROMEDIO	1,494,537,270
IMPREVISTO	1,808,390,096

TABLA 1. TIEMPOS DE PERFORACION Y COSTO DE PÓZOS  
(basados en las figs. 1 y 2)

tos ejemplos se ilustra la importancia de preparar proyectos precisos de tiempo de perforación o "profundidad contra tiempo" como a menudo se denomina. En la fig. 2- se muestra una gráfica típica de profundidad contra --- tiempo.

El procedimiento general para la perforación de un pozo petrolero se denomina: ciclo del proceso de la perforación y se realiza según un orden, de acuerdo con el cual se debe proyectar y realizar la construcción del pozo. Este orden se realiza de la siguiente forma:

1a. etapa, preparación del área de construcción. - De la zona señalada, donde se realizará la perforación, se deben retirar y trasladar las construcciones que existan, los diferentes conductos de agua y conductores de energía y de alumbrado, así como las líneas de comunicaciones. Se debe realizar, además, la nivelación del área, la construcción de las carreteras secundarias, la conducción de la línea de energía, de alumbrado y la instalación de las líneas que suministrarán el agua técnica.

2a. etapa, preparación para el montaje del equipo de perforación. Para esto es necesario realizar el suministro y la distribución, en el orden establecido, de la piedra de cantería, arena, cemento, madera redonda, -

7

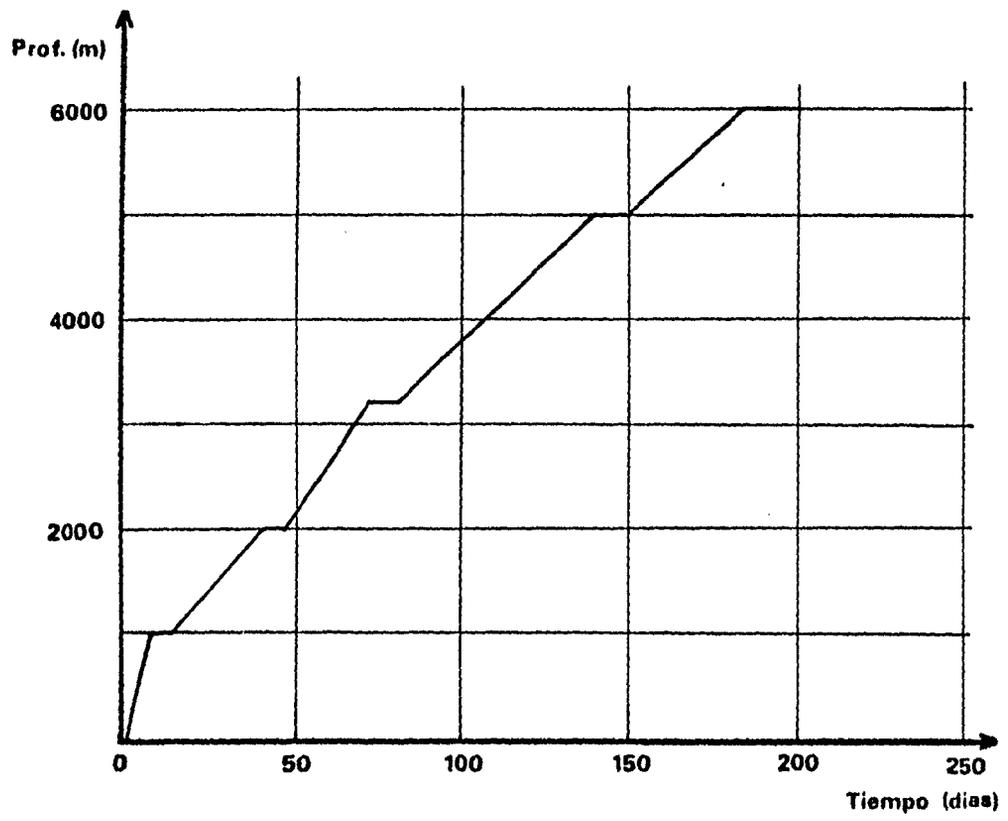


FIG. 2 PROYECTO DE PROFUNDIDAD VS TIEMPO

madera aserrada, algunas partes de la torre de perforación, equipos, y los dispositivos para levantar la torre.

3a. etapa, armado de la torre de perforación. ----  
Además del proceso de armado de la torre y de la subestructura, en esta etapa se considera la realización de los trabajos preparatorios para el montaje del equipo de perforación y de los equipos generadores de fuerza; además se realiza la construcción de la guía del pozo (contrapozo).

Prueba del equipo de perforación montado, verificación de la instalación de perforación por los representantes del control ingeniero-técnico. Recepción del equipo por el ingeniero encargado del pozo.

4a. etapa, perforación del pozo hasta la profundidad de asentamiento del ademe conductor.

5a. y 6a. etapas, instalación del conjunto de preventores para la perforación de la columna intermedia, realización de todos los tipos de trabajos que estén relacionados con el estudio del pozo.

7a. etapa, perforación del pozo y revestimiento de las diferentes capas perforadas.

8a. etapa, perforación y descenso de la columna de explotación y su cementación. Fraguado del cemento.

9a. etapa, desmontaje del cabezal de cementación.-  
Determinación de la altura del cemento en el espacio anular por medio de un registro de adherencia, instalación del medio árbol, prueba de las conexiones superficiales y de la columna de explotación.

10a. etapa, pruebas de producción. Instalación del aparejo de producción, disparos y prueba de producción de intervalo(s) productor(es).

11a. etapa, desmontaje del equipo de perforación.-  
Para esto es necesario desmantelar todo el equipo de perforación, realizar su mantenimiento y prepararlo para su traslado.

En cada etapa, conviene hacer una optimización de tiempos y costos, lo que representa el trabajo de ingeniería petrolera, un buen juicio aplicado dependerá tanto de la experiencia de campo, como el conocimiento real de la zona donde se trate de llevar a cabo la perforación.

FUENTES DE INFORMACION DE TIEMPO DE PERFORACION. -  
Hay disponibilidad de varias fuentes útiles para estimar tiempos de perforación para un pozo. Esta información se refiere a registros de: barrenas, lodos empleados, los registros geofísicos utilizados, reportes de la perforación de otros pozos e historias de producción.

El adquirir esta información redundará en la consideración del proyecto sobre tiempo de perforación, aunque - los términos enunciados, pocas veces contienen tiempos de perforación reales.

Los registros de barrenas empleadas en otros pozos son una fuente valiosa de información en la perforación y pueden usarse para estimar los tiempos de perforación. Aunque algunos fabricantes de barrenas incorporan columnas especiales para datos varios en las formas de registros de barrena, los especialistas en formular los registros, por rutina llenan estos con notas en las columnas de observaciones, como el tiempo de trabajo o fechas en que las barrenas fueron corridas, otros datos importantes, son los de inicio de perforación, terminación y profundidades de tuberías de revestimiento en el pozo, así como tipo y condiciones del lodo. Se pueden hacer deducciones adicionales de tiempos de vida de barrenas en forma individual, así como tiempo acumulativo de perforación de cada pozo.

Los registros de lodo usualmente proporcionan información acerca de datos de tiempo de perforación, los registros se mantienen al día y usualmente contienen -- observaciones acerca del tiempo requerido para cada actividad de perforación. En resumen, el tiempo invertido

para los problemas del pozo se pueden evaluar para determinar si esta cantidad de tiempo se debe incluir en el pozo por perforar.

Como por ejemplo deben de considerarse, los derrumbes de las paredes del pozo, los brotes inesperados y las resistencias mostradas al introducir o sacar tubería, actividades nada comunes, pero que son esperadas en la perforación de los pozos.

Los datos de registros geofísicos contienen alguna información de tiempo de perforación. Los registros contendrán fechas de cada registro corrido sucesivamente. Además, las notas u observaciones agregados a algunos registros incluirán fechas de perforación y de terminación del intervalo perforado por cada uno de los diferentes diámetros de barrena empleados.

Los reportes diarios del pozo elaborados por los perforadores, proporcionan una evaluación comprensible acerca de los tiempos de perforación en todo tipo de pozos marinos y terrestres, los reportes deben contener todas las fuentes de información previamente descritas, tanto de datos geológicos y al término del pozo se deberá de informar de datos de producción. Todo lo enunciado debe ser la base para proyectos de tiempo de perforación en perspectiva. Las notas, observaciones e histo-

rias de producción pueden ser valiosas para los propósitos de planeación de pozos al resumir los proyectos a profundidad contra tiempo.

Durante la vida del pozo, la producción de la zona debe reducir las presiones de formación, lo cual en los pozos siguientes a perforar, induce a los atascamientos o pegaduras de tuberías y/o problemas de pérdida de circulación. Como un resultado, perforaciones dentro del campo, o perforaciones adyacentes a campos o pozos productores deben incluir los factores mencionados para estimar el tiempo del nuevo pozo.

CATEGORIAS DE TIEMPO. Los tiempos de perforación son categorizados comunmente tanto para pozos secos así como a aquellos pozos terminados productores. Esta distinción es importante como una guía primordial en la decisión que evaluará la economía de producción contra riesgos potenciales.

En pozos secos se supone que se tienen que correr las sartas de tuberías de revestimiento, con excepción del revestimiento de producción o explotación y la tubería de producción. Los pozos secos deben incluir el tiempo invertido para el ajuste o instalación de varios tapones de cemento en agujero descubierto o revestido para el abandono y la posible recuperación de alguna tubería de revestimiento.

Los pozos terminados como productores normalmente incluyen en tiempo, todos los procedimientos de terminación del pozo y así facilitar la secuela correspondiente a la etapa de producción. Las pruebas de producción de los pozos se deberán incluir en el tiempo de la terminación.

CONSIDERACIONES DE TIEMPO. Son varios los factores que afectan la cantidad de tiempo empleado en la perforación de un pozo. Esto incluye ritmo de perforación, tiempo de viaje, problemas del pozo, corridas de tuberías de revestimiento, perforación dirigida, tiempo de terminación, movimientos de equipo (su traslado e instalación), en el caso de perforaciones marinas, las condiciones climatológicas son muy importantes.

Cada factor puede variar con la columna geológica perforada, localización geográfica, sin descontar el aspecto práctico y conocimiento del personal que operará el equipo.

El tiempo de perforación acumulativo en un pozo depende del tipo de roca y la selección de la barrena. La perforación de roca dura comunmente involucra un incremento significativo en tiempo para perforar el pozo comparado con la perforación de roca blanda. En resumen, - la gran variedad de barrenas disponibles a la industria

hacen de la selección de la barrena un factor importante en la perforación de formaciones suaves y duras. Otras condiciones que usualmente afectan el ritmo de perforación es la selección apropiada del peso y la velocidad de rotación para una perforación óptima, tipo de lodo, presión diferencial e hidráulica empleada.

El movimiento de la sarta de perforación para cambio de barrena es de gran importancia en la estimación del tiempo total de rotación de la barrena. En muchos casos, es igual o excede al tiempo real empleado para la perforación (horas de rotación total). El tiempo de viaje depende de la profundidad del pozo, volumen de lodo para sustituir la tubería que se saca, problemas del pozo y eficiencia de la cuadrilla de trabajo.

Una regla empírica, confiable para tiempo estimado de viaje es de 1 hr/350 m de profundidad de bozo (ejemplo, 18 hr para un pozo de 6000 m de profundidad). Sobre la realidad del tiempo de perforación total para un pozo, esta regla empírica será razonablemente precisa.

Algunas barrenas están diseñadas para tiempos de duración en su vida de 50 a 200 hr y con frecuencia requieren de un viaje corto de varios cientos de metros a puntos intermedios fuera del pozo y efectuar el recorrido de regreso al pozo (al fondo). El propósito en o-

casiones es remover o destruir cualquier espesor o deformación originado por el filtrado del lodo en el pozo, lo que incrementa significativamente las tendencias de suaveo provocadas al levantar la sarta de perforación. Los viajes cortos para este tipo de operaciones varían con la experiencia del área que se trate, así como el tipo de lodo y vida de la barrena. Varios tipos de problemas del pozo son rutinariamente fechados en los proyectos de tiempo, mientras otros son considerados como improbables. Por ejemplo, brotes o descontrolles severos se estiman comunmente como improbables, dado que en realidad se dará suficiente atención a las actividades de perforación del pozo. Las condiciones geológicas y las historias de perforación del área de los pozos proyectados, muchas veces definirán los problemas pertinentes del pozo. Los tipos de problemas muchas veces considerados como normales son los derrumbes en los pozos, pérdidas de circulación y bajos ritmos de perforación. Como un ejemplo, en ocasiones se han encontrado formaciones que se derrumban en el pozo y no se dá la debida importancia a que es lo que está ocasionando el problema, que bien podría ser el sistema de control de los fluidos de perforación. En algunas formaciones ocurrirán pérdidas de circulación aún si la densidad del -

lodo es aproximadamente igual a la del agua dulce. Los ritmos bajos de perforación normalmente ocurrirán en pozos con altas densidades de lodo, tales como en el caso de presiones anormales de la formación, en otras ocasiones se mantiene inadecuadamente lodos más pesados, lo que provoca una elevada presión diferencial.

Sin embargo, se debe notar que estos problemas de pozo se pueden eliminar en casi todas las áreas ejerciendo un buen juicio ingenieril en la preparación del plan del pozo.

El tiempo requerido para correr el revestimiento en el pozo depende del diámetro de la tubería de ademe, de la profundidad, las condiciones del pozo, la eficiencia de la cuadrilla de operadores y el uso de equipo especial (llaves, elevadores, etc.) lo que resultará en un ahorro de tiempo.

El tiempo empleado en la perforación de un pozo orientado, a menudo es el doble de un pozo perforado verticalmente.

Los sistemas de terminación varían en complejidad y esto da como resultado variaciones significativas en tiempo para implementar el sistema. Es común que las terminaciones sencillas se logren en 6 días. Las terminaciones dobles normalmente requieren de 3 a 5 días más

(estadísticas). Los empacamientos de grava, acidificaciones, fracturamientos y otros tratamientos de pozos - se deben evaluar individualmente. La eficiencia del personal de servicio y su experiencia con un tipo de terminación en particular, tienen un impacto mayor en la cantidad de tiempo requerido.

## C A P I T U L O    I I

### PREPARACION DE LA LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DEL EQUIPO

El movimiento de los equipos se ve afectado por la diversidad de la configuración topográfica del terreno, lo que altera la estimación de los costos y debe ser -- considerado en proyectos de tiempo. Dentro de este tiempo deberá de tomarse en cuenta la instalación y desmantelamiento del equipo, comprendiendo también el tiempo empleado en la terminación del pozo, sobre todo cuando se ha empleado el equipo de perforación.

Se ha establecido una regla empírica para estimar el movimiento de los equipos de perforación basada en el código IADC (Asociación Internacional de Contratistas de Perforación), es establecido por el tipo de sistema hidráulico (I, II, III, IV), donde los números III y IV representan equipos grandes, los que en ocasiones para las maniobras de instalación y desmantelamiento requieren hasta de 3 días, mientras que los números I y II son los equipos más chicos e inclusive algunos de -- los equipos que pertenecen a esta codificación son portátiles.

El efecto del clima en el tiempo proyectado no se-

considera en la mayoría de las planeaciones de pozos. - Como un ejemplo, los huracanes y tornados no es común - que se determinen en los equipos de tierra. Sin embar-- go, los problemas climatológicos en el mar si se deben- considerar en la planeación de un pozo marino.

CATEGORIAS DE COSTOS. El costo estimado del pozo - debe ser dividido en varias categorías para efectos de- ingeniería y para propósitos contables. Las considera-- ciones ingenieriles incluyen costos de pozos secos y -- terminados, agrupaciones lógicas, tales como equipo de- terminación, las diversas tuberías a emplear, y el uso- de equipo de renta. Las consideraciones contables inclu- yen conceptos tangibles, intangibles y de contingencia.

COSTOS TANGIBLES E INTANGIBLES. Los impuestos y -- principios contables tratan los costos tangibles e in-- tangibles de diferentes maneras. Como resultado, deben- ser segregados en el costo estimado. Aunque los costos- intangibles, son difíciles de definir con precisión, in- cluyen gastos de mano de obra, gasolina, reparaciones, - transportaciones, materiales usados en perforaciones, - disparos, limpieza de los pozos, en preparativos de la- superficie de la localización donde se instalará el e-- quipo y en la construcción de estructuras para tanques, así como donde se van a tener las diferentes tuberías -

relacionadas con la perforación, sin incluir los costos de los materiales.

La prueba fundamental es definir el valor de salvamento de cada partida, si la partida no tiene valor de salvamento, se trata de un costo intangible.

El desarrollo de costos intangibles de perforación no incluye los siguientes puntos.

Jornales, combustibles, reparaciones, transporte de materiales y otros relacionados con medios de transporte o de construcción diversa, considerado este último como no incidental o necesario para la perforación de los pozos (como serían las estructuras para almacenamiento de aceites).

Revestimiento superficial, aún cuando se requiere por ley.

Instalación de equipo para producción.

Unidades de bombeo para la producción de pozos, separadores o tuberías de descarga.

PREPARACION DE LA LOCALIZACION. La preparación de las localizaciones para instalar el equipo es un factor de costo muy importante y tal vez el más difícil de -- cuantificar. Incluye costos legales sobre inversión de pago del terreno, levantamiento topográfico del terreno, preparación del lugar (acondicionamiento de la pera, v<sub>i</sub>

as de acceso, de suministro de agua, así como la limpieza después de concluido el trabajo).

Los costos por localización incluyen sólo las variables involucradas con los movimientos del equipo hacia el pozo. Se requieren permisos para cada área a perforar. En algunos lugares ajenos al sistema de México, son tan simples como el obtener la aprobación de documentos ya establecidos (contratos), mientras otros son mas extensivos, que consumen tiempo, ya que hay que realizar convenios sobre factores ambientales y económicos. En resumen, algunas licencias para pozos deben ser concedidas por alguna autoridad federal o nacional, --- mientras que otros se pueden obtener rápidamente de alguna agencia local (este último aspecto se contempla en la Union Americana).

El permiso de un pozo es en principio materia legal que muchas veces requiere de un grupo consultivo familiarizado con estos aspectos, las empresas deberán --- contar con gente especializada en estos aspectos.

Para la localización se involucra el reconocimiento topográfico del sitio donde se instalará el equipo -- cuando se trata de pozos terrestres, la localización se refiere a marcas establecidas por triangulación del área de referencia. Las localizaciones marinas, después-

de haber sido propuestas por exploración de sismología marina, sitúan al equipo de perforación (unidad semisumergible o unidad fija) por medio de una triangulación convergente de ondas emitidas por dos estaciones situadas en la costa, hacia una montada en una unidad móvil.

Los derechos de vía o de un camino de acceso público al sitio real de perforación para pozos terrestres deben de ser consideradas. Si la distancia hacia el camino es corta o a través del terreno de un sólo propietario, el permiso puede obtenerse enteramente con facilidad en algunos casos. Las dificultades empiezan para localizaciones distantes, con terrenos de múltiples propietarios, o en áreas de acceso público. Similar al caso de obtener permisos (licencias), de derechos de vías, son muchas veces materia de carácter legal.

La preparación del lugar para recibir el equipo depende del tipo del mismo, así como de su tamaño y del sitio en que se instalará. En los equipos terrestres se puede requerir de la construcción de una base para el camino a la localización cuando el terreno es muy suave y así poder soportar el transporte del equipo, el tamaño del área de maniobras y el número de capas a la base del terreno se incrementarán según el tamaño de los equipos. Las localizaciones montañosas pueden requerir -

que se construya el camino hacia el sitio donde se perforará el pozo. En resumen, existen también factores tales como el tamaño de la presa de desperdicio y el área de almacen de los materiales químicos dependerá de los tiempos de perforación, tipo de lodos, así como el peso que se requiera para la perforación del pozo.

Las áreas pantanosas requieren que se drague un canal al sitio. La profundidad y amplitud del canal debe estar de acuerdo con el tamaño del equipo. El tamaño actual del sitio donde se instalará el equipo, que es el final del canal, tendrá un área mayor que debe ser dragada. La concha de relleno para el fondeo de un equipo, puede ser necesaria en áreas pantanosas, si el tirante del agua es profundo para permitir el uso directo de una barcaza.

Los sitios mar adentro muchas veces requieren la menor cantidad de preparación de la localización. Si las observaciones del lecho marino muestran que no se presentan obstrucciones, el equipo puede moverse al sitio sin esfuerzos adicionales. Los equipos flotantes son raramente problemáticos con formaciones subsuperficiales suaves, pero pueden impedir el fijamiento de las patas de los equipos autoelevables.

La limpieza de la localización después de que la -

perforación ha sido terminada deberá supervizarse por un escrutinio de cuerpos reguladores de la ecología. Muchos sitios tienen que ser restaurados a condiciones -- vírgenes, las cuales incluyen nivelación y en algunos -- casos replantación de la vegetación del sitio. Las operaciones marinas comunmente requieren asegurar que no -- dejarán residuos destructores que lleguen a impedir las operaciones de pesca comercial alrededor del sitio del pozo.

**EQUIPO DE PERFORACION Y HERRAMIENTAS.** Los costos -- para equipo de perforación y de terminación, asociado -- al empleo de herramientas de perforación, puede ser una fracción sustancial del costo total de la perforación.

Como un ejemplo, se considerará la perforación y -- terminación de un pozo como el mostrado en la fig. 1 en 200 días, comparado con el recomendado para autoriza--- ción de gastos presentado por Adams y Rountree, cuyo pozo es de menor profundidad, 5000 m., por lo que se necesitan 80 días, por ser un pozo típico de la región de -- Lafayette, La. donde se hizo la estimación, con los siguientes costos de pozos para diferentes rangos de equi po:

TIPO DE EQUIPO	COSTO DE EQUIPO Dls/día	POZO TERMINADO Dls
TERRESTRE	8 500	4 620 000
TERRESTRE	15 000	5 262 000
TERRESTRE	22 500	5 978 000
MARINO AUTOELEVABLE	35 000	8 354 000

que traducido a los costos actuales de nuestro sistema- en el cual se considera una profundidad promedio de perforación de 6000 m., que se alcanzan en un tiempo promedio de 200 días, que es típico de nuestra Zona Petrolera del Sureste son:

TIPO DE EQUIPO	COSTO DE EQUIPO mills pesos/día	POZO TERMINADO mills pesos
TERRESTRE	1.773	1 807.663
LACUSTRE	1.866	1 716.361
MARINO AUTOELEVABLE	3.120	2 869.836

Cabe hacer notar, que al incrementarse la profundidad por perforar, se incrementa notablemente el tiempo de perforación, pues cambia el diseño básico del pozo, - al tener que introducir en el último tramo una tubería de revestimiento corta, con los problemas adicionales -

que esto acarrea.

Cada uno de los 3 primeros casos usaron el mismo criterio de diseño de pozo y equipo, siendo la excepción el marino, el cual requería un equipo de perforación marina autoelevable.

MOVIMIENTOS DE LLEGADA Y RETIRO. El movimiento del equipo a la localidad anterior a la perforación del pozo y el retiro del mismo después de que el pozo ha sido terminado puede ser un costo sustancial. Los equipos marinos autoelevables requieren de remolques; los barcos de perforación se mueven por sí mismos a la localización. Los equipos terrestres grandes normalmente se transportan en camiones.

Generalmente, los equipos tipos III y IV de la clasificación I A D C son suficientemente grandes, se transportan desmantelados y en camiones. Esto reduce el tiempo de movimiento y las necesidades de unidades para el transporte de equipos mas pequeños tipos I y II que normalmente se montan sobre camiones.

Los procedimientos para la estimación de costos de equipo se pueden desarrollar con el costo del equipo y el tiempo promedio de movimientos. Un reconocimiento de compañías contratistas de perforación mostró que para los equipos de tipo I y II se requiere de cuatro días -

para llegar al sitio, instalar, desmantelar el equipo y regreso a su almacén general de zona. Los equipos tipo III y IV requieren de ocho días en promedio, para equipos terrestres y costa afuera, aunque en estos casos son diferentes, por ejemplo, los equipos terrestres se transportan en camiones, mientras que los autoelevables como ya se mencionó deben ser remolcados.

El costo por el movimiento de llegada y retiro de la localidad, es estimado como un costo de equipo cuando éste no está perforando, sobre el tiempo de movimiento (4 u 8 días). El costo de equipo cuando no está operando es ligeramente menor al costo por día de equipo operando (perforando) e incluye todos los servicios de apoyo tales como tripulación de buques que se requerirían para operaciones normales de perforación. Este método para estimar costos de movimiento de equipo ha probado ser efectivo y razonablemente preciso. Este método no es exitoso, sin embargo, en circunstancias poco usuales tales como movimientos de equipos en alta mar y sitios de perforación que requieren transportación por medio de helicópteros. Aún en pozos rutinarios, los costos de movilización deben estar sujetos a negociación.

**COSTOS POR BARRENA.** Para saber de los costos o rendimientos de barrena se puede hacer por dos procedimientos

tos: el costo por barrena, donde se toma el costo directamente de la lista de precios y se registra tal cual; o bien el costo por metro, el cual se calcula de la ecuación familiar:

$$C = \frac{B + R(T + t)}{F}$$

Donde:

- C.- Costo por metro
- B.- Costo de la barrena
- R.- Costo del equipo por hora
- T.- Tiempo de perforación en horas
- t.- Tiempo de viaje en horas
- F.- Distancia perforada en metros

Otra manera común de calcular costo por metro es:

$$Cf = \frac{Cb + Cr(tb + tc + tt)}{\Delta D}$$

Donde:

- Cb.- Costo de la barrena
- Cr.- Costo fijo del equipo por hora
- tb.- Vida media de la barrena en horas
- tc.- Tiempo que no rota la barrena en horas,  
como el tiempo de conexión

tt.- Tiempo de viaje en horas

Δ D.- Intervalo perforado por la barrena en -  
metros

Cf.- Costo de perforacion por unidad de pro--  
fundidad

PORCENTAJE EN COSTO CON RESPECTO AL METRO PERFORA-  
DO. Muchos contratistas prefieren perforar pozos en ba-  
se a una ganancia sobre la longitud perforada, el con--  
tratista ofrece un precio por perforar el pozo a cierta  
profundidad o a través de cierta formación. Como un e--  
jemplo una compañía petrolera puede contratar una compa  
ñía perforadora para hacer un pozo a 3050 metros, por -  
un honorario a razón de 40 000 pesos por metro, la com-  
pañía perforadora se hace responsable de todas las ope-  
raciones del pozo hasta que la profundidad contratada -  
sea alcanzada.

La longitud en metros contratada define responsa--  
bilidades para ambas partes. El contratante normalmente  
paga toda la tubería, cemento y lodo. El contratista es  
responsable de todos los costos relacionados con el e--  
quipo tales como llegada y retiro al lugar, tiempo de -  
perforación y barrenas. A la profundidad ú operación re  
querida (meta), todos los costos y responsabilidades de

operación se revierten al contratante.

Este contrato de arrendamiento puede ofrecer ventajas significativas para ambas partes. Los contratantes no requieren de tener un departamento de perforación para un simple pozo o para pocos pozos. El contratista -- perforador, con la preparación de una oferta apropiada y prácticas eficientes de perforación, puede ganar una gran utilidad mayor, que en rangos de días a trabajos específicos (por contrato o diario).

Las áreas de posibles problemas para contratistas-perforadores incluyen desperfectos mecánicos, creando costos inesperados, planeaciones de pozos de baja producción, anomalías geológicas o acciones de último momento ocasionadas por imprevisiones.

OFERTAS DE TRABAJO POR DIA. Tal vez los contratos más comunes de todas las perforaciones profundas es el ritmo de trabajo diario. El contratista suministra el equipo a un costo por día específico. El contratante dirige todas las operaciones de perforación y es el responsable por el pozo. El equipo puede ser rentado con o sin cuadrilla, con o sin tubería, habrá opciones tales como preventores de altas presiones, de equipos de control de sólidos sofisticados deseados por el contratante y éstos podrán ser suministrados, si accede a la ren

ta.

La selección del equipo y su costo dependen del pozo a perforar. Aunque los aparejos son muchas veces clasificados por sus capacidades para perforar a ciertas profundidades, el criterio de control es normalmente la capacidad que tendrá para correr la sarta de revestimiento. Como un ejemplo, una estructura para perforar a 4600 m no puede ser capaz, quizá, de sostener una tubería de revestimiento de 4600 m de longitud, con un diámetro de 7 5/8" de 39 lb/pie en una sola corrida. El plan del pozo se debe desarrollar y analizar para hacer una buena selección del equipo.

Los costos de los equipos varían considerablemente y dependen de la existencia y su demanda; sus características y los implementos que se necesitarán en su operación.

Estudios comparativos efectuados a mediados del año 1982, sobre la capacidad de carga de los equipos se muestra en la fig. 3. La guía indicativa para la selección del equipo es la capacidad de su subestructura. -- Conviene mencionar que en la situación a mediados del año de 1982 los costos por día de los equipos aumentaron desarrollandose una situación en la que los costos de los equipos eran según su capacidad semejantes (900 000

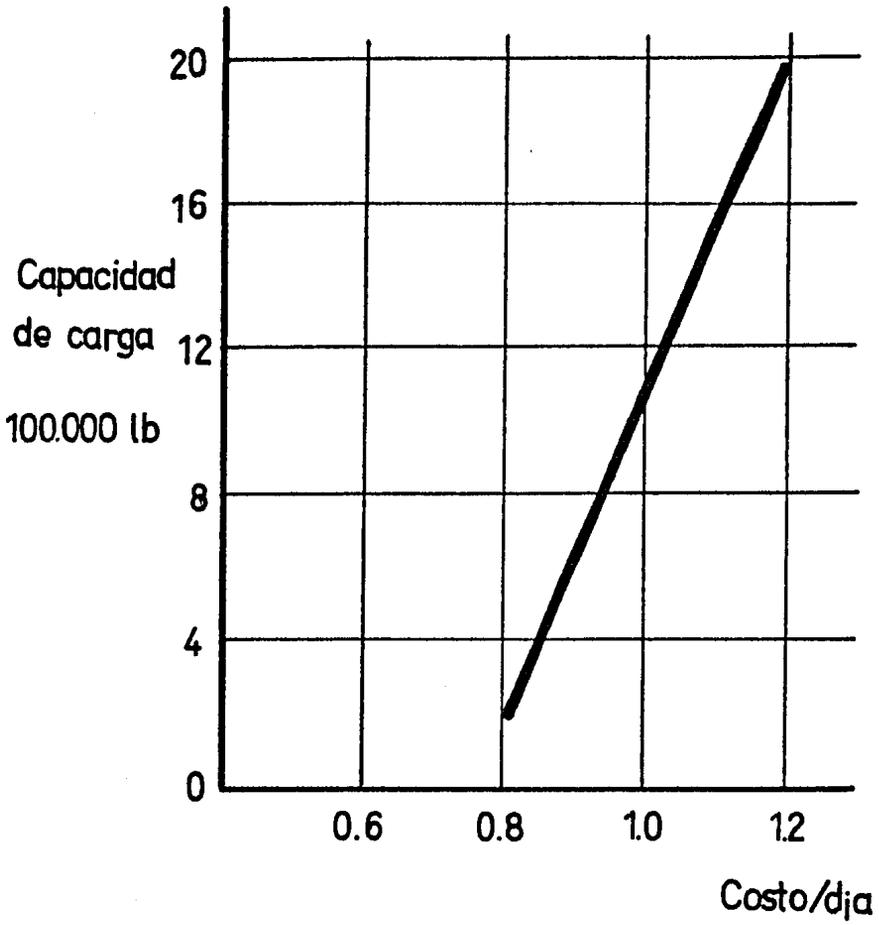


FIG. 3 COSTO DE EQUIPO

pesos para equipos del tipo III y IV y 400 000 pesos -- por día para equipos tipo I y II)

Los precios para equipos de perforación son comúnmente de 80 000 a 200 000 pesos/día menos que las cantidades mostradas en la fig. 3. Los precios incluyen cuadrilla de obreros y tubería de perforación. Los costos se usan para estimar tanto cargos de acarreo hacia el lugar de interés como su retiro.

COMBUSTIBLES. Es común que los contratos de perforación tengan una partida exclusiva para el combustible que empleará el equipo, esta importante política de contrato cambió a finales de la década de 1970 cuando los precios de los combustibles se incrementaron de 2.82 a alrededor de 45.00 pesos por litro.

El uso de combustible depende del tipo y aplicación del equipo, los rangos de consumo de combustible fueron evaluados previamente por un estudio, descritos como rangos de costos de equipo y cuyos resultados están mostrados en la fig. 4.

El rango promedio de consumo se evalúa en función del tamaño del aparejo y determinado por la habilidad o facilidad para correr tuberías de revestimiento.

AGUA. El abastecimiento de agua es una de las consideraciones de mayor importancia. El agua se usa para-

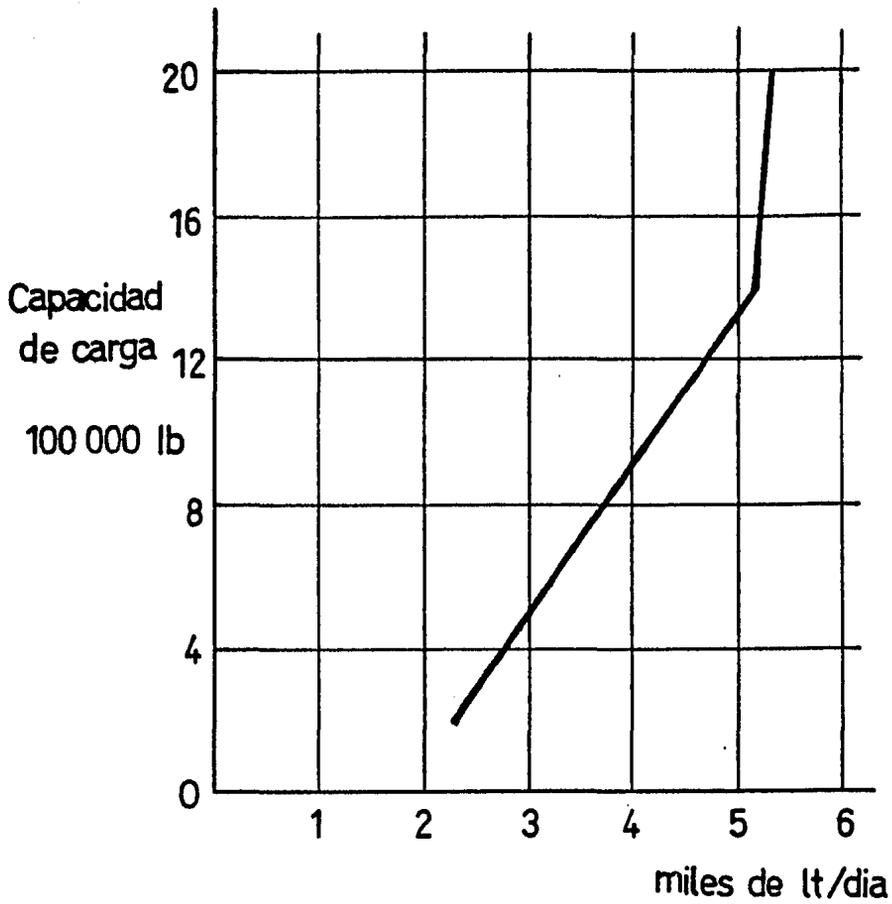


FIG. 4 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

lavar el equipo, mezclar el lodo y cemento, para el enfriamiento de las máquinas y operaciones diversas.

El abastecimiento de agua se puede lograr mediante tres maneras:

Se puede perforar un pozo somero para agua. Este método es muy común en muchas operaciones terrestres. Puede transportarse el agua a la localización por medio de pipas, tuberías, lanchones y barcos abastecedores para el caso de una zona pantanosa y para el caso de equipos marinos, ahora bien, éstos pueden usar agua de mar, pero evitando su uso para lavar el equipo, pues se expondría a un ambiente corrosivo.

Muchos ingenieros usan un valor de 10 000 000 de pesos para costos de agua. Esto es aproximadamente el equivalente al costo de perforar un pozo somero para agua. En resumen, ésta es una estimación regular que comprende el tendido de una línea de agua proveniente de alguna fuente de agua cercana. De cualquier manera, los costos de agua rara vez tienen un impacto mayor en el costo total del pozo.

**BARRENAS.** Establecer los costos por barrenas dependerá del número, tamaño y tipo de barrena y de sus respectivos costos unitarios, el tipo, número y tamaño de barrena están definidos en la planeación del pozo antes

de que se prepare el presupuesto del pozo, si las barrenas se rigen por el código de la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) se dispone de publicaciones de sus precios, bajo ésta asociación no existen precios disponibles para barrenas especiales, - de diamante y/o barrenas policristalinas, los costos de estas barrenas de diamante dependen tanto del diámetro de la barrena, como el tamaño de los diamantes, su espaciamiento y calidad. En muchos casos, estas barrenas se hacen bajo pedido, o sea que son artículos que no están en disponibilidad inmediata.

Una regla empírica para costos de barrenas de diamante es de dar 1 000 000 pesos/pg de diámetro de barrena. Como ejemplo, una barrena de 10 pulgadas de diámetro podría costar 10 000 000 de pesos.

De una manera conservadora, muchos ingenieros prefieren despreciar el costo bruto de la barrena en caso de que la barrena quede totalmente destruida.

Las barrenas de diamante cortado, llamadas policristalinas o "Stratapax" (una marca de la General Electric Co.), son relativamente nuevas en la industria de la perforación. Su estructura, su desarrollo al perforar y sus costos son significativamente diferentes de las barrenas de diamante o de conos rodantes, una mues-

tra de costos de barrenas la podemos ver en la tabla 2.

**EQUIPOS DE TERMINACION.** Un equipo de terminación es un aparejo más chico en cuanto a su construcción y cuyo costo es considerablemente menor a un equipo de perforación. Por regla general se deben usar los equipos chicos cuando los procedimientos de terminación se espera que requieran tiempos significativos. El aparejo de perforación deberá emplearse hasta cuando se corra y cimente el revestimiento de producción o explotación.

Los costos de los equipos de terminación se pueden establecer con ayuda de la fig. 3. Los requerimientos de carga de la tubería de producción (tubing) se emplean en la misma forma que la capacidad de la tubería de revestimiento en el equipo de perforación. Las decisiones económicas para usar un aparejo de terminación deben considerar también el costo de transportar el aparejo hacia el pozo, así como la diferencia de precios entre los equipos de perforación y terminación.

**FLUIDOS DE PERFORACION.** Los fluidos de perforación son una de las partidas más importante en la planeación de los programas del pozo y su perforación.

Sus costos varían para diferentes tipos de lodos y depende de los productos químicos requeridos y la base del lodo -agua o aceite-, costos varios incluyen produc

DIAMETRO, pg	PRECIO NETO (millones de pesos)
--------------	---------------------------------

---

6.0	3.50
6.25	3.60
6.5	4.00
6.75	4.40
7.875	5.50
8.5	6.10
8.75	6.20
9.875	7.40
10.625	8.00
12.25	10.40
14.75	12.40
17.50	18.07

TABLA 2. Costos de Barreras de Diamantes.

LISTA DE PRECIOS DE BARRENAS

<u>DIAMETRO pg</u>	<u>TIPO</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>
5.5-6.25	Dientes	131 047
5.5-6.25	Journal	540 066
6.5	Dientes	142 272
6.5	Journal	592 232
8.5	Dientes	178 516
8.5	B.S.	243 160
8.5	Dientes F.	242 194
8.5	Journal	762 463
9.5	Dientes	212 713
9.5	B.S.	307 129
9.5	Dientes F.	305 908
9.5	Journal	973 787
12.25	Dientes	302 260
12.25	B.S.	427 221
12.25	Dientes F.	425 524
12.25	Journal	1 475 305
14.75	Dientes	528 380
14.75	B.S.	769 977
14.75	Dientes F.	766 813
14.75	Journal	2 348 353
17.5	Dientes	868 507
17.5	Journal	3 097 636

TABLA 2. Continuación de costos de barrenas.

tos especiales tales como eliminadores o controladores de ácido sulfhídrico, materiales de pérdida de circulación y químicos que auxilian al lodo a cumplir sus funciones en el pozo.

Cabe hacer la explicación de la causa de la variación de la línea de densidad programada en la figura 1, para el lodo durante la perforación, en dicha figura se observa que conforme aumenta la profundidad perforada se va incrementando paulatinamente la densidad de los fluidos de perforación, y esta es la tendencia real; -- conforme aumenta la profundidad, aumentará la densidad, que equilibre la presión de la formación, pero se observa que después de alcanzar una densidad de alrededor de 2.0 (relativa al agua 1.0), se vuelve a bajar a una densidad de 1.3-1.5, la razón de ello es que se ha atravesado una zona de altas presiones o de presiones anormales, se tiene que revestir este intervalo y bajar la densidad del fluido de perforación, ya que si se sigue se con la misma densidad, se corre el peligro de dañar la formación al incrementarse el área de invasión del filtrado del agua.

También existe la necesidad de cambiar de lodos -- base agua a lodos base aceite al entrar a zonas que presentan inestabilidad, o arcillas hidrofílicas, que al -

entrar en contacto con el agua se hidratan y se hinchan provocando que ocurran derrumbes en el pozo, atorones de tubería, pegaduras, y sus consecuentes problemas de pérdida total o parcial de tuberías y así como problemas de pesca.

El costo para elaborar un sistema de lodos es el precio de los componentes individuales y de sus demandas de mezclas. Los lodos base aceite tienen un costo mayor de fabricación que muchos base agua, por lo caro que es la base aceite, materiales químicos para estabilizar la emulsión y la barita adicional, necesaria para completar densidades comparables con lodos base agua.

La fig. 5 muestra una comparación de los costos de elaboración de los lodos base aceite (conocidos como lodos de emulsión inversa) y un lodo lignosulfonado. El costo total incluye la compra del sistema de lodo inicial y los gastos que involucra el incrementar el peso del lodo mientras se perfora el pozo.

Los costos de mantenimiento para pozos profundos, de altas presiones, son usualmente mayores que los costos iniciales de elaboración, los gastos de mantenimiento incluyen los productos químicos que se necesitan diariamente para mantener las propiedades deseadas de los lodos. Estos productos químicos incluyen agentes para

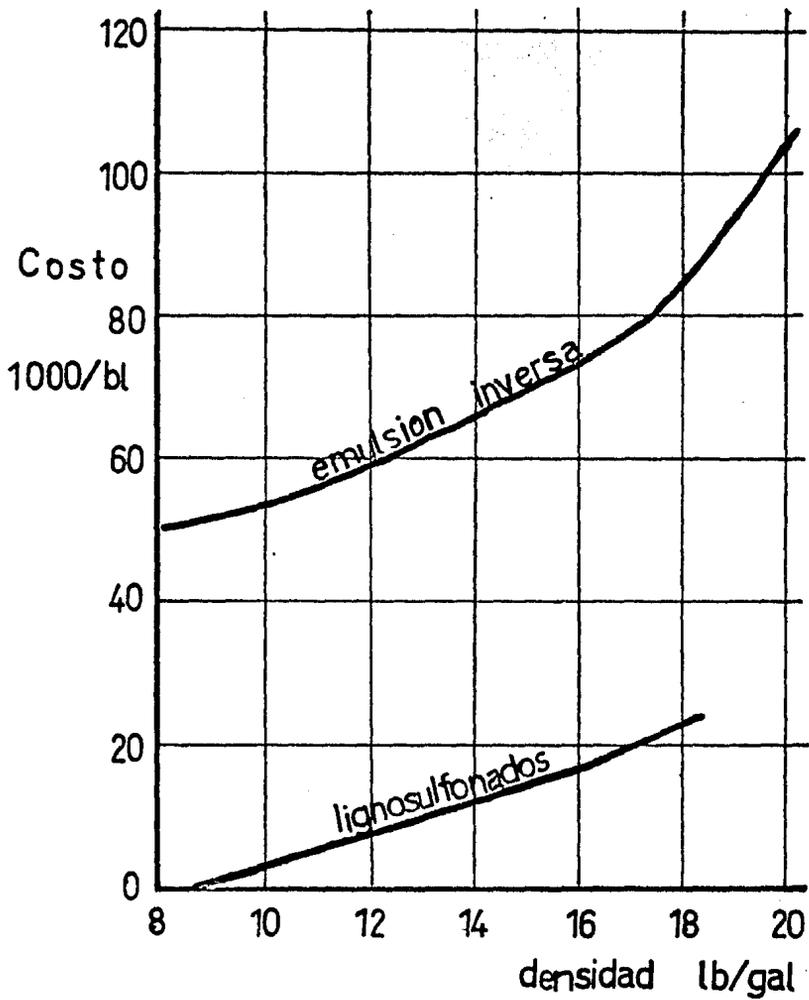


FIG. 5 VARIACION DE COSTOS DE FABRICACION DE LODOS

pérdida de filtrado, reductores de viscosidad y agentes alcalinizantes.

La fig. 6 muestra una estimación de costos empírica promedios derivada para lodos de emulsión inversa -- (base aceite), y lodos base agua lignosulfonados.

La ilustración demuestra que los lodos pesados pueden tener altos gastos diarios. Como ejemplo, un sistema con 1000 barriles de lodo lignosulfonado de densidad 16 lb/bl costará mantenerlo en buenas condiciones aproximadamente un millón de pesos diario.

En suma, es valioso notar que los costos de mantenimiento para lodos de emulsión inversa son significativamente menores que los lodos lignosulfonados, aún cuando es lo contrario en lo que se refiere a la elaboración inicial de los lodos.

Son diversos factores adicionales los que afectan los costos de lodos. En Estados Unidos existen compañías que pueden proveer de sistemas de lodos más baratos que compañías de renombre, aunque ocasionalmente se hacen sacrificios en términos de asistencia técnica y --- pruebas acerca de la capacidad de los problemas de lodos, otras compañías ofrecen lodos sin apoyo técnico o con una reducción de precio sobre el lodo con asistencia ingenieril, así como otras compañías ofrecerán al -

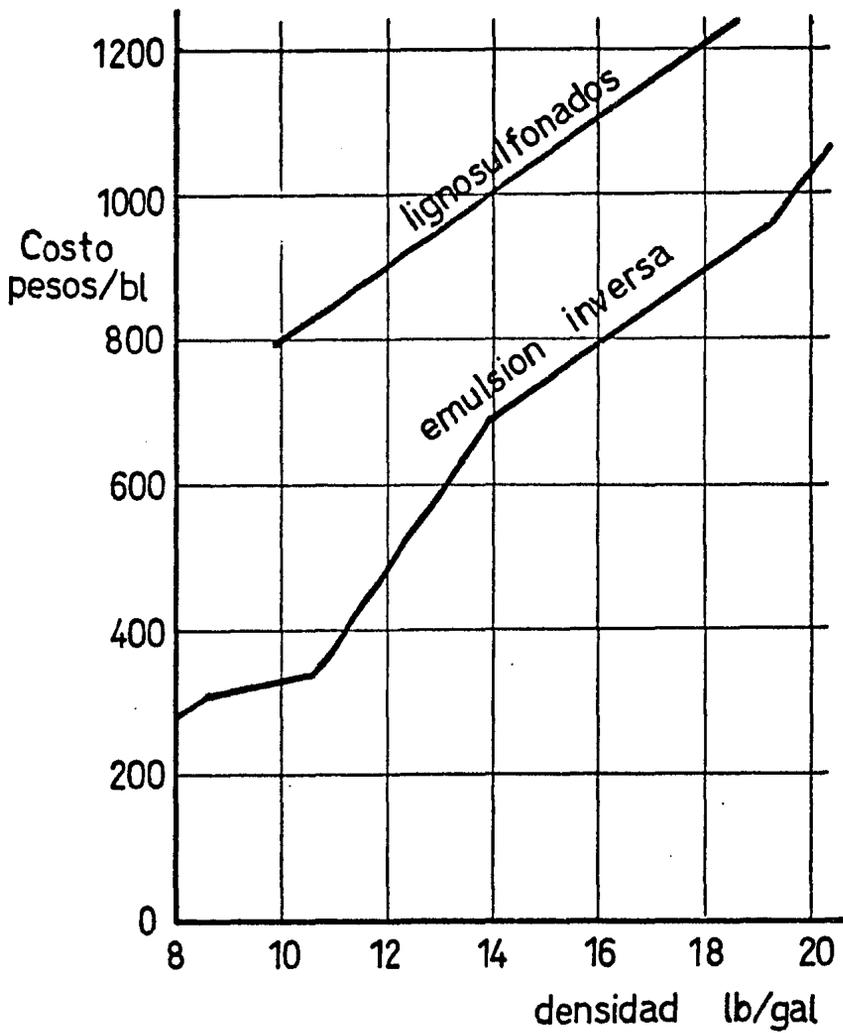


FIG. 6 MANTENIMIENTO DE LODO DIARIO

lodo con costos en base a programas de trabajo que tengan modificaciones de última hora.

FLUIDOS EMPACADORES. Los fluidos empacadores son aquellos que se colocan entre las tuberías de producción y revestimiento, el fluido es comunmente una salmuera de agua tratada, pero puede ser un lodo base aceite, un lodo base agua tratado, o puede emplearse simplemente diesel, en algunos casos no se usa fluido empacador.

Aunque comunmente se usa una salmuera de agua de baja densidad, ocasionalmente se puede usar agua de mayor densidad o lodo con el propósito de control de presión; la fig. 7 muestra las relaciones típicas de costos para varias salmueras de agua de varias diferentes densidades.

Los fluidos especiales ocasionalmente se usan con propósitos de terminación de pozos, son usualmente designados para minimizar los daños a las formaciones. Los fluidos pueden ser salmuera de agua filtrada, nitrógeno o aceite.

Los costos de estos fluidos se deben considerar cada uno por separado.

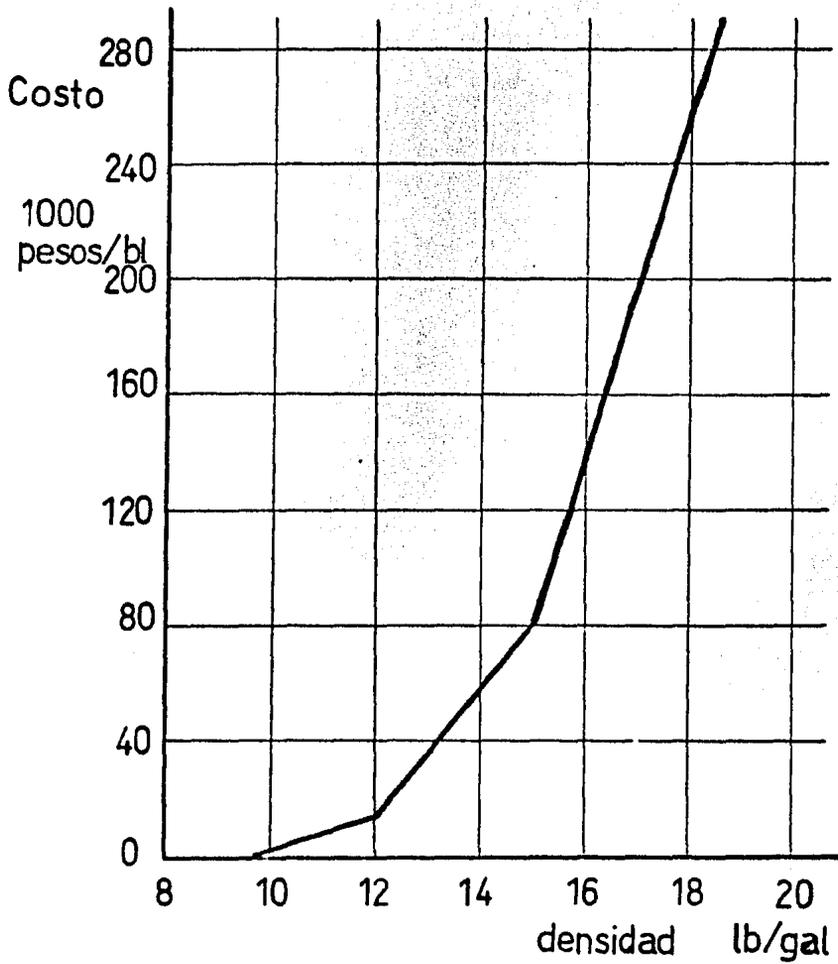


FIG. 7 COSTOS DE SALMUERA

## C A P I T U L O    I I I

### RENTA DE EQUIPO Y HERRAMIENTA

En el equipo de perforación que se alquila, puede no existir alguna herramienta que se requiera (bujes de rotaria de mayor diámetro, válvula de cierre en la flecha, etc.) para perforar un pozo, estos implementos se deben de rentar, el uso de equipos de características especiales como son: equipo de control de pozos, herramientas y accesorios de pesca, equipo relacionado con el lodo y herramientas de revestimiento, pueden representar sumas sustanciales en pozos profundos y de altas presiones.

EQUIPO DE CONTROL DE POZO. Los contratistas de perforación usualmente suministran con el equipo, los preventores, el árbol de estrangulación y en algunos casos unidades desgasadoras o desgasificadores, sin embargo, el equipo puede no ser satisfactorio para el pozo que se perforará, con esto se quiere decir que una gran mayoría de los equipos operan con equipo de control de pozos que llenan los mínimos requisitos para el control, tales como un estrangulador de manejo a control remoto, manual y sistemas de válvulas que cuenten con los manó-

metros de presión de las tuberías de perforación y de la tubería de revestimiento.

La renta de preventores de reventones es una partida en los costos de perforación excesiva, los conjuntos de alta presión van de 600 000 a 1 200 000 pesos -- por día, cantidad que es exclusiva del conjunto de estrangulación. La entidad contratante debe definir cual podría ser la presión razonable que se espera encontrar y así seleccionar el preventor apropiado. Los costos -- deben estimarse para un juego completo que considerará lo siguiente: preventor esférico, preventor de arietes (ciegos y para tubería, anulares), carretes espaciadores con salidas laterales, empaques energizadores de -- sello y válvulas para que opere selectivamente el conjunto.

Los estranguladores de control remoto, los de tipo hidráulico ajustables, son considerados como equipo especial, y de un alto costo que rara vez se adquieren -- por compra. El alquiler de estas herramientas normalmente es de 20000 a 50000 pesos por día, con un cargo mínimo de 30 días. Los múltiples de estrangulación deben diseñarse para soportar las máximas presiones en rangos que coincidan con las políticas de trabajo de las empresas.

HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS DE LA SARTA. Las herramientas relacionadas para usarse con la sarta de perforación o equipo que gire con la sarta, deberá requerirse como equipo de apoyo para la tubería de perforación suministrada por el contratista, o una sarta completamente diferente si el contratista de perforación no tiene los dispositivos, estos pueden ser probadores de formación, sargas telescópicas (de mayor a menor diámetro) y sargas de trabajo (para recementación o estimulación). Algunos implementos que requieren especial consideración incluyen a las tuberías de perforación, lastrabarrenas, flechas, al buje impulsor de la flecha, la válvula de control de la flecha, preventores de tubería o válvulas de seguridad, y entre los accesorios se deben incluir collarines de seguridad, elevadores, cuñas y hules limpiadores de tubería.

En los programas se deben evaluar los requerimientos para diferentes tamaños de tubería de perforación que son ofrecidos por los contratistas de los equipos. Un estudio reciente sobre los equipos mostró que los diámetros de tuberías de los aparejos se pueden correlacionar con el código hidráulico de la I A D C, (tabla 3). En la tabla 3, se ha seleccionado una guía para combinaciones de lastrabarrenas y tuberías de revesti-

CODIGO IADC	TUBERIA DE PERFORACION (pg)	DIAMETRO LASTRABARRENA (pg)	REVESTIMIENTO MINIMO ACEPTABLE (pg)
1	2.875	3.25-3.75	4.5
2	3.5	5.0-5.5	6.625
3	4.5	6.0-6.5	8.625
4	5.0	7.0-7.5	10.75

TABLA 3. Combinaciones de tuberías de perforación y  
Lastrabarreras.

miento.

Por ejemplo, una tubería de 4.5 pg con lastrabarrenas de 6.5 pg no se podrían recomendar para perforar -- por dentro de un revestimiento de 7.625 pg debido al -- diámetro de las juntas de tubería de perforación y los lastrabarrenas en el interior de la tubería de revestimiento, así como el tener la necesidad de operar ciertas herramientas de pesca en caso de ser necesario. Se podría recomendar una tubería de menor diámetro, adecuadamente combinada con los lastrabarrenas. Si el tubo de 7.625 pg de diámetro interno fuese una tubería de -- revestimiento corta, se podría recomendar el uso de una tubería de perforación telescopiada.

Una sarta de trabajo consiste de tuberías y las--- trabarrenas de diámetros pequeños, se usa generalmente durante operaciones de terminación y reparación, y dado que el tubo se usará dentro de una tubería de revestimiento de producción, los tamaños usuales son 2.375 pg- y 3.5 pg respectivamente. Muchas operaciones requieren de la renta de una sarta de este tipo, porque comunmente los equipos de perforación no tienen dichos diámetros de tuberías para el trabajo mencionado.

EQUIPO RELACIONADO CON EL LODO. Un mantenimiento - apropiado del sistema de lodos ofrece muchos beneficios

al lodo de perforación. A fin de que se tenga el nivel de eficiencia deseado, diversas piezas de equipo son especiales y deberán ser adquiridas por medio de compra y otros dispositivos podrán obtenerse por renta, siempre y cuando el equipo de perforación no tenga este tipo de herramientas auxiliares para el lodo de perforación.

Una serie completa de equipo requerida para trabajo del lodo dependerá usualmente del tipo y peso del lodo que se manejará. La siguiente combinación puede usarse en un rango de lodos cuyo peso sea de 8.3 a 12 lb/gal

- Temblorinas de mallas múltiples
- Deslimizador o desarcillador (con bomba centrífuga)
- Separador gas/lodo
- Desgasificador (vacío)
- Desarenadores (con bomba centrífuga)
- Controles para registrar los niveles en las presas y en la línea de descarga
- Registrador de velocidad de perforación
- Detector de gas

En lodos con pesos mayores de 12 lb/gal se requiere equipo adicional tal como una centrífuga decantadora y limpiadores de lodo.

En los lodos base aceite se deberán usar limpia--  
dores de recortes para remover el aceite antes de tirar  
los a la presa de desperdicio. Los limpiadores de recor  
tes deberán siempre usarse en operaciones terrestres y  
marinas ya que las normas del gobierno que controlan la  
ecología y regulan el medio ambiente, lo deben exigir.

HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN LA TUBERIA DE REVESTI---  
MIENTO. Durante los años recientes, se han logrado gran  
des avances en lo que se refiere a correr tuberías de -  
revestimiento. El equipo especial es manejado en forma-  
normal por las cuadrillas del equipo, rara vez se re---  
quiere de personal con mayor capacitación.

Algunas compañías contratistas de perforación no -  
cuentan en sus equipos con herramientas de alta capaci-  
dad para correr tuberías de revestimiento, por lo que -  
estas herramientas deben ser rentadas.

Las herramientas para tuberías de revestimiento se  
deben seleccionar de acuerdo con los tamaños y cargas -  
requeridos. Un método comunmente usado para evaluar los  
requerimientos de carga es agregar un factor de diseño-  
de 1.5 del peso de la sarta de revestimiento más pesada  
en el aire, por ejemplo, una sarta que pesa 250 ton en-  
el aire, requerirá de herramientas con capacidad mínima  
de carga de 375 ton.

El equipo para correr los revestimientos consistirá de elevadores y cuñas de potencia, de collarines de arrastre, llaves de potencia neumáticas o hidráulicas, otros accesorios importantes son: un calibrador de diámetro interior, la unidad de limpieza de roscas (caja y piñón) y lo que si es conveniente afirmar es que para la operación de introducción de la tubería de revestimiento, se deberá de contar con la duplicidad de equipo necesario, como de los dispositivos subsuperficiales. Aunque esto representa un costo adicional, es muy conveniente, pues la falla de cualesquier herramienta, si representará un retraso en las operaciones que, elevaría el costo total del pozo.

**CEMENTACIONES.** Desarrollar los costos por cargos de cementación en un pozo requiere una evaluación del tipo de cemento y su volumen, requerimientos de baches-espaciadores, aditivos especiales y cargos por bombeo si, éste se efectúa con el equipo de cementaciones. Esos cargos diversos se aplican usualmente a cada trabajo de cementación primaria en una o varias etapas, cementaciones forzadas, tapones y el relleno superior de las tuberías conductoras cuando éstas son para plataformas marinas. Indudablemente que existirá una diferencia en el costo de la operación, cuando esta sea en tierra-

o en mar. El cargo por bombeo para desplazar el cemento en operaciones terrestres y marinas se muestra en la -- fig. 8. Estos cargos se incrementan con la profundidad -- para el caso marino. También deberá variar el precio -- según sea que se emplee tubería de perforación para ce- mentar tubería de revestimiento o el uso de la tubería- de perforación en tapones o recomentaciones.

No deberá descartarse el emplear una unidad adicio- nal como reserva, en caso de falla de la unidad princi- pal cuando el equipo de cementaciones se emplea para -- desplazar, aunque para el caso de las cementaciones pri- marias, es recomendable el empleo de las bombas del lodo del equipo de perforación, lo que disminuirá el cos- to por alquiler de la unidad cementadora.

ESPACIADORES Y ADITIVOS. Un espaciador de cemento- separa el cemento del lodo de perforación para reducir- la contaminación del cemento. El costo de los materia- les químicos por un barril de fluido espaciador es apro- ximadamente de 20 000 a 40 000 pesos, dependiendo de la cantidad de retardadores, se deben agregar los costos - barita u otros materiales para apesantarlo. También, se deben agregar los costos de diesel cuando se prefiera - usar éste como una fase de aceite continua.

Los costos más importantes en grandes trabajos de-

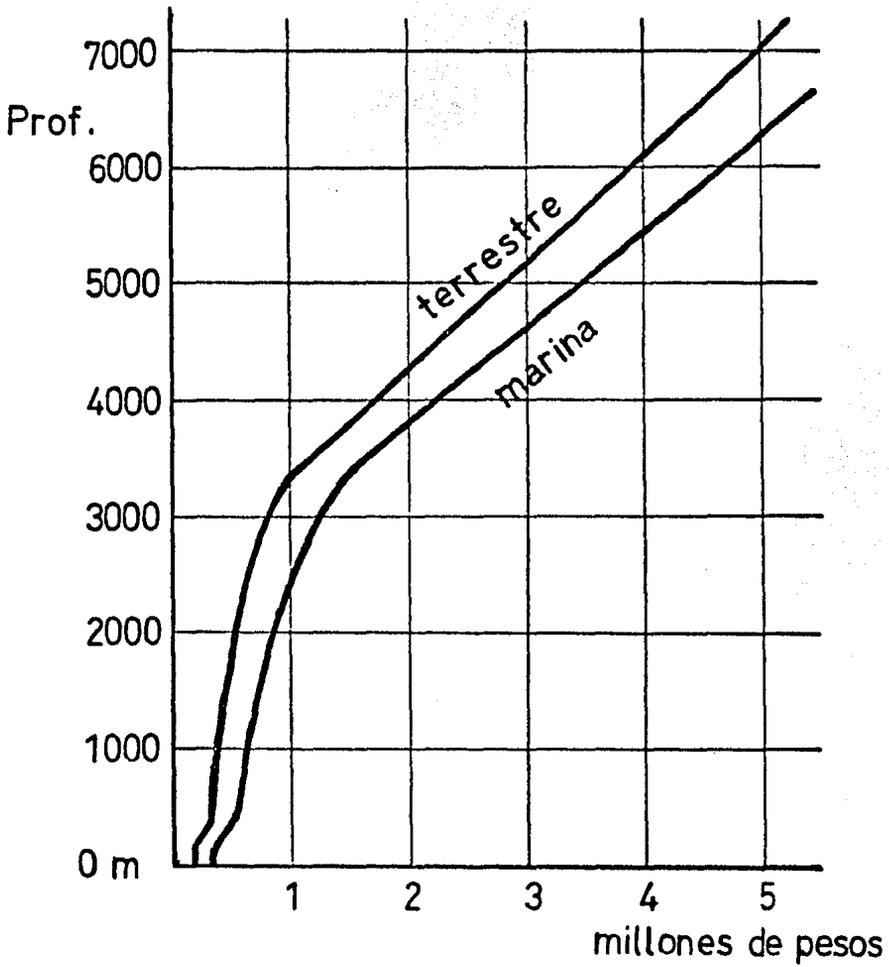


FIG. 8 COSTO DE BOMBEO DE CEMENTO

cementación tales como el revestimiento superficial es el costo de productos químicos y de aditivos. En las siguientes 3 páginas se muestran los costos típicos de materiales químicos.

Una regla empírica para computar el costo de aditivos tales como el costo de agentes de pérdida de agua y adelgazantes es del 75% de los cargos para el cemento, barita y bentonita. El costo del cemento es de alrededor de 30 000 pesos/ton.

Un fraguado rápido en la lechada de cemento empleada en el revestimiento superficial es conveniente, esto origina en un breve lapso de tiempo, que se genere una alta resistencia que permita la instalación del equipo de control superficial, sin requerir tiempos considerables de espera de fraguado del cemento.

ATAPULGITA-----	\$ 28,000.00	TON
BARITA-----	\$ 12,000.00	"
BENTONITA-----	\$ 6,250.00	"
BICARBONATO DE SODIO-----	\$ 19,750.00	"
CARBONATO DE SODIO-----	\$ 28,500.00	TON
CARBOXIMETILCELULOSA (CMC)-----	\$295,000.00	"
CANASOL NF-3070(EMULSIF. LODOS BAJA DENSIDAD)-----	\$203,000.00	M <sup>3</sup>
CLORURO DE SODIO (SAL COMUN)-----	\$ 6,450.00	TON
CLORURO DE CALCIO (SOLIDO)-----	\$ 25,000.00	"
CROMOLIGNOSULFONATO (SUPERCALTEX)-----	\$225,000.00	"
DJIDE-----	\$ 21,100.00	M <sup>3</sup>
DICROMATO DE SODIO-----	\$190,000.00	TON
DIESEL-----	\$ 1,100.00	M <sup>3</sup>
DISPERSIL-----	\$520,000.00	"
DRILEX-----	\$425,000.00	"
DRILOX-----	\$ 63,000.00	TON

DRIL G-----	\$230,000.00	"
DIETANOLAMINA-----	\$183,000.00	"
ESPUMANTE (IMP-302)-----	\$ 72,000.00	M <sup>3</sup>
FERROCROMOLIGNOSULFONATO(MINERA EULALIO GUTIERREZ)	\$119,000.00	TON
FERROBAR-----	\$ 4,230.00	"
FRILAX (QT-SOL) (CUBETA DE 18.9 LTS.)-----	\$ 11,000.00	CUBETA
GELTEX-----	\$1'300,000.00	TON
HIDROXIDO DE SODIO (SOSA CAUSTICA)-----	\$ 80,291.00	"
IRONITE SPONGE-----	\$111,000.00	"
INHIBIDOR DE CORROSION-----	\$240,000.00	M <sup>3</sup>
IMCO-VR-----	\$247,530.00	TON
KENOL S-----	\$607,460.00	M <sup>3</sup>
KENOX-----	\$ 37,700.00	TON
KEN CAL-----	\$540,820.00	M <sup>3</sup>
CROMOLIGNITO (LIGNEX)-----	\$ 190,000.00	TON
LUBRICANTE PRESION EXTREMA (D'LUBE)-----	\$ 462,000.00	M <sup>3</sup>

09

LUBRILEX-----	\$ 62,000.00	TON
MONOETANOLAMINA-----	\$ 173,250.00	"
OBTURANTE GRANULAR MEDIO-----	\$ 15,800.00	"
OBTURANTE LAMINAR-----	\$ 31,000.00	"
POLYCEL-----	\$ 180,000.00	"
PIROFOSFATO-----	\$ 94,430.50	"
PERFOIL I -----	\$ 286,000.00	"
PERFOIL 2 -----	\$ 278,000.00	M <sup>3</sup>
PERFOIL 3 -----	\$ 1'200,000.00	TON
PERFOX -----	\$ 35,000.00	"
QUIMOSEC-----	\$ 247,500.00	"
QUIK GEL-----	\$ 8,850.00	"
TRIETANOLAMINA-----	\$ 71,250.00	"
UNIVERSIL-----	\$ 95,000.00	"
XC-POLYMER-----	\$ 1,834.56	Kg.
FLOGGEL-----	\$ 127,582.40	TON

## C A P I T U L O    I V

### SERVICIOS DE APOYO

La operación de perforación de un pozo requiere -- los servicios de muchos grupos de apoyo. En algunos casos, esta ayuda externa se usa porque puede ejecutar un trabajo en particular con mayor eficiencia que la cuadrilla normal de base en el equipo.

Un ejemplo de mejorar la eficiencia es la contratación o el empleo de cuadrillas especiales para correr -- las tuberías de revestimiento mismas que tienen la suficiente experiencia en el manejo de tuberías de grandes diámetros. Otros grupos de apoyo pueden dar servicios -- que no se pueden realizar con la cuadrilla de perforación (registros geofísicos, inspección tubular o terminaciones especializadas).

Los costos de servicios de apoyo tienen gran peso en el costo total de los pozos y deben de ser consideradas ampliamente.

CUADRILLAS DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO. Durante -- los primeros años de la industria petrolera, la cuadrilla perforadora corría todas las sartas de tubería en -- el pozo. Sin embargo, al incrementarse las profundidades de los pozos así como los diámetros de tuberías, se

incrementaron los problemas, ultimamente, elementos como juntas especiales y medición de los aprietes correctos en la unión de los tubos hicieron aumentar la necesidad de cuadrillas capacitadas en tuberías de revestimiento para su introducción al pozo. La industria hoy en día no tan sólo emplea cuadrillas especiales para -- correr tuberías de revestimiento, sino que también las cuadrillas para almacenar y descargar las tuberías de - producción y tuberías de perforación.

REGISTROS DE LODOS. Los servicios instrumentados - tales como registros de lodos (propiedades geofísicas y químicas), interpretación de recortes y contenido de -- gas en el lodo, son empleados a menudo en aquellos po-- zos profundos o de altas presiones. En la actualidad -- hay disponible una variedad de servicios a diferentes - costos. Generalmente el costo por día de estos servi--- cios comunes, se muestran encerrados a continuación en-- tre paréntesis: Unidad portátil detectora de gas (de -- 20 000 a 32 000 pesos); unidad tipo casetta-habitación - detectora de gas (48 000 a 60 000 pesos); registros de-- propiedades físicas y químicas de lodo (160 000 a ----- 230 000 pesos); registro instrumentado de lodo (340 000 a 500 000 pesos); registro computarizado de lodo ( ---- 500 000 a 600 000 pesos).

El registro instrumentado de parámetros de perforación (ritmo de penetración, velocidad de rotaria, etc.), con el registro de lodos puede costar mucho más y aún más, hoy en día existe un servicio de captura de datos, en el que se involucran todos los parámetros, tanto de perforación, del equipo de bombas, preventores y del lodo, lo que eleva el precio en 2 200 000 pesos por día. El rentar equipo no es caro si no hay que involucrar los costos de personal, dado que este factor es importante por la especialización de los operadores. Las compañías prestadoras de estos servicios cobran de 100 000 a 160 000 pesos para esos trabajos por día, para cuando aportan personal que laborará en el pozo, incluyéndose en el costo, los días que no trabaja el personal a cargo de los registros, por suspensión de operaciones que no sean inherentes a la compañía. Como indicativo, los costos de este personal no se deben incluir en los precios ofrecidos por las compañías de registros, pero si deberán desglosarse para conocer en sí, el valor real de la operación.

Una estimación hipotética establecerá que un servicio en la perforación del pozo a tiempo completo de mano de obra y renta de equipo sería aproximadamente de 4.8 a 6.0 millones de pesos.

REGISTROS DE POZOS. Los servicios de evaluación de las formaciones, o registros de pozos, se hacen en todos los pozos, se deben incluir los registros de evaluación de la formación, de tubería de revestimiento, de cementaciones, y de inclinación del pozo, el cual puede ser acompañado por el rumbo de la desviación. Los cargos por los registros a efectuar varían de acuerdo con la compañía de servicio, mas sin embargo, respecto a los precios, existe una congruencia de las compañías.

Un cargo por profundidad, basado usualmente en una unidad de longitud específica, se aplica a la profundidad mayor de cada herramienta corrida. Un cargo por operación se aplica por cada pie o metro en que se opera la herramienta.

La estimación de costos de registros requiere el establecimiento de un programa de registros del pozo. Un programa típico se muestra en la tabla 4, lo más común es que los registros en pozos marinos sean más caros que los terrestres.

PERFORACIONES O DISPAROS. Los cargos por perforación no se aplican si el pozo se empaca de grava o se abandona. Los cargos incluyen la operación completa (bajada de la sonda) por profundidad de un mínimo de disparos (usualmente 20) y un cargo por disparo sobre

TIPO/CLASE	U S O	PROFUNDIDAD (pie) MINIMA DE OPERACION
ISF	Cada sección de agujero descubierto, excepto la superficial, corre sobre la sección total del agujero.	2000
SONICO-BHC	Cada sección de agujero descubierto.	2000
PROFUNDIDAD DE ALTA RES-PUESTA	Por arriba de los 2000 pies de agujero intermedio y las secciones más profundas, incluye cálculos de grupo.	2000
NUCLEOS	Se toman 48 nucleos en cada sección de agujero descubierto, excepto en la sección superficial.	2000
CBL-SONICO DE CEMENTACION	Se corre en cada tubería de revestimiento, excepto la superficial.	2000
CALIBRACION	Corre por todo agujero descubierto, excepto el superficial.	2000
DIRECCIONAL	Corre todo el pozo.	----
NEUTRON-GAMA	Corre dentro de la tubería de producción.	2000
DENSIDAD	Corre sólo en el revestimiento de producción.	2000

TABLA 4. Programa de registros.

el mínimo.

El total de disparos depende de la longitud de la zona productora y la densidad de disparos (ejemplo, 4 - disparos/pie), suponiendo un cargo por la colocación de la sonda frente al intervalo de 150 000 pesos y 20 disparos como el mínimo. La tabla siguiente ilustra algunos de los costos involucrados con los disparos:

PROFUNDIDAD (metros)	CARGO MINIMO DE 20 DISPAROS (x 1000 pesos)	POR DISPARO SOBRE EL MIN (x 1000 pesos)
1500	622	16
2500	678	18
3500	814	22
4500	1014	30
6000	1638	54

PRUEBAS DE FORMACION. Las pruebas de formación con cable son un método económico de tener una información confiable de la formación. Los probadores selectivos de formación son mecanismos que pueden tomar muestras de fluidos, así como obtener el valor de las presiones del fluido en alguna zona de interés, esta operación se puede incluir en el costo estimado para cada pozo exploratorio.

Los cargos por este servicio se basan en la profundidad a la que se efectúe la prueba, no se hacen cargos adicionales, si se corre junto a otros registros. Un --

ejemplo, el costo por una muestra a 4500 m podría ser de 1 millón de pesos/muestra obtenida y con un cargo adicional de 750 pesos/m adicional de profundidad.

Varios tipos de registros de producción se pueden correr en el pozo una vez terminado éste. Estos registros son generalmente corridos antes de efectuarse los disparos, de manera que se pueden hacer evaluaciones -- de formación antes y después de poner el pozo en producción, dado que los registros de producción son materia-compleja, éstos deben operarse mediante la planeación conjunta de los ingenieros de producción y de perforación. Como un mínimo de la operación a efectuarse debe ser el anclaje del empacador, así como el registro de degradación termal (TDT).

INSPECCION TUBULAR. La inspección de la tubería es un aspecto importante en el programa de tuberías de revestimiento y producción, este servicio de apoyo debe incluir inspección magnética, inspección visual de las roscas y juntas, pruebas de presión hidrostática y calibración del diámetro interno de los tubos, los cargos típicos de los servicios son de 2000 a 12000 pesos/junta, dependiendo del servicio prestado y del diámetro -- del tubo inspeccionado o probado.

SERVICIOS DE COCINA. El servicio de abastecimiento

para la cocina de plataformas marinas o barcazas de pantanos no está incluido en los gastos de costo diarios de los equipos, la compañía abastecedora surtirá a los elementos necesarios para la cocina, así como la limpieza de la unidad habitacional, la erogación de este gasto es común que sea de 10000 pesos/ hombre-día para cuadrillas con menos de 30 miembros. Para propósitos de cálculos de costos el número promedio de individuos que integran la cuadrilla es: para barcaza pantanera, 30 hombres; plataformas fijas o autoelevables, 45 hombres; unidades flotantes, 50 hombres.

TRABAJOS ESPECIALES. Durante las operaciones de perforación se requerirán ciertas labores especializadas, estos servicios se basan normalmente en costo por hora y a un cargo mínimo de 4 a 8 horas.

Ejemplos típicos deben incluir trabajos de soldadura de tubería conductora, zapatas de tubería de revestimiento, o de mantenimiento en general del equipo. La renta o instalación de algún equipo de apoyo puede requerir del apoyo de soldadura. Los representantes de compañías de servicios (empacadores, cabezales, conjuntos de estrangulación, etc.), también pueden requerir de apoyo tal como: mecánico, eléctrico, soldadura, etc.

Agregado esto a los cargos por hora de estos tra--

bajos (mano de obra), se deben considerar en ocasiones el traslado del personal anteriormente mencionado.

TRANSPORTES. Estos costos en los pozos son muchas veces subestimados debido a que son partidas que representan gastos menores. Por ejemplo, los cargos por ----transportación de unidades cementadoras, en ocasiones - pueden exceder los 700 000 pesos, lo que incluye viaje redondo, un par de unidades de bombas y un camión con - tolvas de cemento a granel, una cuidadosa evaluación de estos cargos darán una mejor estimación de costo del -- pozo.

En transportes tanto terrestres como marinos, se - se pueden incluir los cargos por camiones por material- químico o de combustibles, barcasas, botes y helicóte-- ros, los cambios de cuadrillas a largas distancias o -- aeroplanos rentados pueden tener costos significativos. Una estimación de costos de transporte requiere una pla neación detallada del pozo, un conocimiento de la dis-- tancia existente entre la ubicación del equipo al lugar donde se encuentra el almacén de materiales y las caracte rísticas del equipo de perforación, tales como su ti- po y el número de individuos que componen la cuadrilla. Los costos estimativos de los camiones deben incluir el cálculo del número aproximado de viajes, kilometraje co

rrido en base a viajes redondos. Los costos de camión - (1982) son aproximadamente 800 a 1000 pesos/km.

Una regla empírica para kilometraje recorrido por viaje redondo es establecer 200 km del almacén local al sitio del equipo.

Mientras que esta regla dé una buena estimación, - los gastos reales podrán representar un buen ahorro.

La tabla 5 da algunas guías para estimar el número de viajes redondos necesarios en el pozo al ejecutar -- ciertas operaciones ahí descritas.

Los cargos que deban incluirse para las operacio-- nes marinas y en zonas pantanosas, son los costos por - alquiler de lanchas de transporte y cualesquier facilidad de muelles, los cargos típicos para la operación de embarcaciones en el Golfo de México, se resumen en la - tabla 6.

Los cargos aéreos son más comunes en las operacio-- nes marinas, los cargos de helicópteros se basan en pre cio/día y comienzan al viaje de ida a la plataforma. Un helicóptero con capacidad de 3 ó 4 pasajeros, es reque-- rido para las operaciones día con día y un helicóptero-- con mayor capacidad, 13 ó 15 pasajeros se usa para cam-- bios semanales o quincenales de cuadrillas.

Un resumen de los costos se muestra en la tabla 7.

C A S O	VIAJES	OBSERVACIONES
Cementación	3/trabajo	2 unidades de bombeo, también de cemento a granel.
Registros	1/trabajo	
Revestimiento	10/sarta	Tubería de revestimiento, cuadrilla de T.R., artículos de soldadura de renta.
Lodo	1 (mínimo)	Agregue 1 viaje por lb/gal de lodo que pase arriba de 9.0 lb/gal.
Fluidos empacadores	2	
Empacamiento de grava	5	Opcional.

Tabla 5. Necesidades de transporte.

SUPERVISION Y ADMINISTRACION. Los costos de proyectos de administración se deben contabilizar, estos cargos incluyen la supervisión y administración del pozo, el aumento de los costos puede ser tal como, profundidad o problemas del pozo, producción de H<sub>2</sub>S ó cambios de programa de último momento.

La supervisión incluye la administración directa del pozo, por ejemplo, el jefe o encargado del campo o cualesquier miembro del equipo de oficina que están dedicados al proyecto. Una consulta del lodo o del fluido de terminación puede considerarse como supervisión, el personal especializado, tal como registradores de lodos no se consideran en los cargos de supervisión, pues éstos ya han sido contabilizados en el contrato para la operación.

Los cargos de administración se pueden manejar en varias formas, en ocasiones se prefiere aplicar sólo -- cargos directos de supervisión a un pozo dado por servicio de apoyo de oficina con personal propio de la compañía encargada de la perforación del pozo. A veces se -- tiene que dichas compañías dividirán todos los cargos -- entre los pozos que se perforarán en un año fiscal, sin tomar en cuenta el método contable, algunos de los cargos que se deben de considerar son los siguientes:

EMBARCACION	COSTO/DIA (incl. combs.) pesos
Barco de tripulacion de 100 pies	600 000
Barco de abastecimiento chico	1 320 000
Barco de abastecimiento grande	1 820 000
Barco de apoyo	320 000

TABLA 6. COSTOS DE EMBARCACIONES.

7L

CAPACIDAD DEL HELICOPTERO (personal)	PRECIO BASE/DIA (pesos)	CARGO/VIAJE (pesos)	TIEMPO PROMSDIO
4	200 000	60 000/hr	2 hr/día
11	990 000	180 000/hr	5 hr/día

TABLA 7. Costos de helicópteros.

- Equipo de apoyo de ingenieros
- Personal de apoyo de oficina
- Oficinas
- Seguros especiales y fianzas
- Unidad jurídica
- Elaboración de documentación especial

Un método para calcular los costos de administración y supervisión es suponer que una sola persona manejará todas las operaciones de perforación, movimiento de personal, materiales y/o suministros al equipo. Un empleado con el nombramiento de jefe de campo se hará cargo de las labores administrativas como el control de asistencias y pago correspondiente del tiempo laborado por los componentes de las cuadrillas.

TUBERIAS. Los costos de tuberías de revestimiento y tuberías de producción, son factores significativos en el costo del pozo. En algunos casos será del 40 al 60% del total del pozo. El costo dependerá de la profundidad del pozo, tamaño, peso, y grados requeridos, así como del tipo de juntas.

Los costos de la tubería están influenciados por varios factores, una consideración importante es el tamaño del tubo. En la fig. 9 se muestra la variación de costos de acuerdo con el tamaño del tubo; para un grado

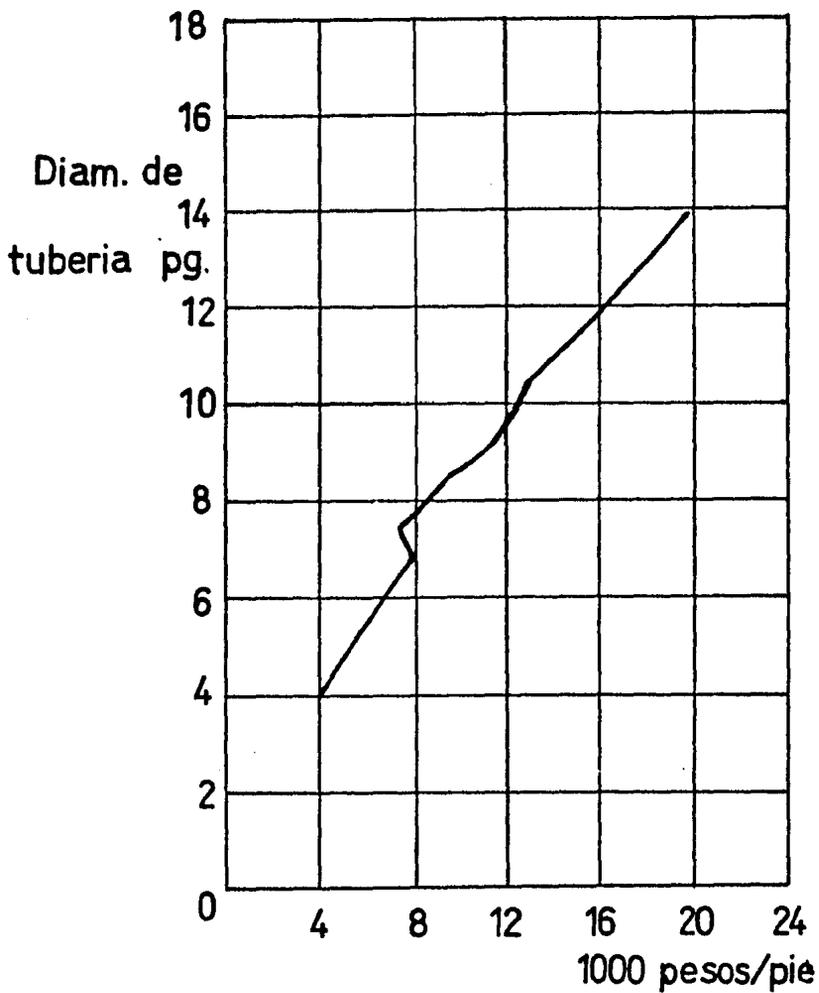


FIG.9 COSTOS TIPICOS DE T.R.

N-80, de cople largo, que excede la resistencia a la presión interna de 5000 lb/pg<sup>2</sup>. Aunque las consideraciones de diseño de la tubería de revestimiento deben tomarse en cuenta, el diámetro del tubo y los costos tienen alguna influencia.

Los costos aumentan con los grados de la tubería. Por ejemplo, se muestran los costos para tubo de 40 lb/pie, de 9.625 pg de diámetro, con juntas de cople largo.

GRADO	COSTO (pesos/pie)
K-55	8 300
N-80	12 700
C-75	14 600
S-95	14 100

Para el caso del diámetro del tubo, la selección del grado es decisión de carácter técnico.

Las juntas rara vez se seleccionan como resultado de un análisis de costos, pues los acoplamientos deberán ser para que resistan la carga a la tensión. Sin embargo existen coples de características primordiales en resistencia, mismos que son de alto precio y que pueden ser usados en tuberías de diámetros menores, lo que reduce los costos de la sarta de revestimiento.

La lista siguiente ilustra las variaciones promedio de costo de tubería con diferentes juntas. Todos los costos son para tubos de diámetro de 7.625 pg, gran N-80 y con 26.40 lb/pie.

TIPO DE JUNTA	COSTO DE TUBO. (pesos/pie)
Cople largo, 8 h.r.r. (LTC)	8 500
Rosca Buttrees (BTC)	9 100
Rosca Hydrill (SFJ)	13 700
Rosca Hydrill (FJ-P)	13 700
Rosca Hydrill triple sello (TS)	14 600
Rosca Atlas Bradford (FL-4S)	13 100

Nota: Las dos primeras roscas pertenecen a la denominación API, las siguientes son denominadas de acuerdo a la casa que las fabrica.

EQUIPO DE TUBERIA DE REVESTIMIENTO. El equipo de accesorios de tubería de revestimiento (o de cementación), se usan para aprovechar un trabajo efectivo de cementación primaria. Aunque este equipo no tiene mucho impacto en el costo total del pozo, se debe de considerar. A continuación se muestra un juego típico:

ACCESORIOS	T.R.	T.R. CORTA
Zapata (flotadora, diferencial, etc)	2	2
Cople (flotadora, diferencial, etc)	2	2
Centradores	30	20
Raspadores	10	10
Colgador de liner o tubería corta	0	1

NOTA: Se considera que deberán existir en el equipo, durante la corrida de tubería de revestimiento, duplicidad de zapatas y coples, aunque en la tubería de revestimiento únicamente se utilizase una pieza de cada componente enunciado.

La variación de los costos para un mismo diámetro de tubería de revestimiento varía entre una sarta completa y una sarta corta (liner) de 988 000 pesos para la primera y 10 244 000 pesos para la segunda.

Existen compañías prestadoras de servicios especializadas en el manejo de introducir tuberías de revestimiento y las tuberías cortas deberán de considerarse para este caso incluyendo el tipo de zapata.

Los costos de tubería conductora se deben calcular para pozos que utilizan este tipo de tubería. Los cargos por este concepto varían de acuerdo con el diámetro y espesor de la tubería en cuestión. Se debe incluir el costo de la zapata de la tubería conductora.

En la tabla 8 se muestran costos de tuberías y zapatas conductoras más usuales.

**CABEZALES Y TERMINACIONES.** Los cabezales son dispositivos que se unen a la(s) tubería(s) de revestimiento (roscados o con colgadores) para soportar el manejo de presiones y los pesos de las siguientes tuberías de revestimiento. Su costo depende del número y diámetro de las sarta de revestimiento y de producción, de las presiones de prueba, componentes del equipo, así como manufactura especial para resistir el ácido sulfhídrico. El costo total del equipo puede variar desde 1 millón de pesos para un conjunto de baja presión a 100 millones para uno de alta.

El conjunto completo de válvulas consiste en cabezal de tubería de revestimiento superficial, carretes de tuberías de revestimiento intermedias y de explotación y el árbol de producción con su cabezal.

El árbol tiene, además, las válvulas de producción y los portaestranguladores que se usan para controlar la producción de aceite y gas.

El equipo de terminación consiste de herramientas de fondo que se agregan a la sarta de tubería. Estos implementos incluyen empacadores, niples selladores para empacadores permanentes, coples de flujo, juntas de ex-

DIAMETRO (pg)	ESPEJOR DE PARED (pg)	COSTO DE TUBO (pesos/pie)	COSTO DE ZAPATA (pesos)
14	0.375	7 800	66 000
16	0.375	9 000	80 000
20	0.500	15 000	92 000
24	0.500	17 500	150 000
26	0.500	19 000	166 000
30	0.500	22 000	188 000
36	0.750	39 500	214 000

TABLA 8. COSTOS PARA TUBERIA CONDUCTORA.

pansión, niples de asiento, etc.

Se designa un empacador para controlar el flujo de los fluidos de la formación a la tubería de producción. Se selecciona de acuerdo al diámetro de tubería de re-vestimiento de explotación, así como el diámetro de trabajo del interior de la tubería de producción, cargas de tensión, y tipo de ensamble de sello. En los empacadores para H<sub>2</sub>S se tienen unidades selladoras que son -- aproximadamente 100 veces más costosos que las unidades normales.

También se emplean las juntas de abrasión, que son tubos de espesores mayores a la tubería de producción y que se instalan frente a las perforaciones para minimizar el daño por erosión de los fluidos producidos. Su costo depende del diámetro de la sarta de producción y del espesor de la zona disparada.

Las unidades selladoras son una parte importante del equipo de terminación. El costo está afectado por el número requerido de unidades, tipo de conexión y --- diámetro de tubería.

## C O N C L U S I O N E S

Para responder a la cuestión ¿cuánto cuesta perforar un pozo petrolero?, no se puede citar simplemente - tanto millones de pesos. Se deben tomar en cuenta los - múltiples factores que intervienen en la elaboración, - planeación y ejecución de la perforación de dicho pozo.

Para la elaboración de este trabajo, se toman en - cuenta todos estos factores, aunque en su mayoría, re-- presentan información confidencial de PEMEX.

En los factores que afectan el costo final de un - pozo se encuentran entre otros: situación geográfica, - terrestre, lacustre, marina, tipo de pozo, exploratorio o de desarrollo, profundidad probable a perforar, conocimiento sobre la experiencia de la zona donde dicho pozo se localiza, así como su litología, las vías de comunicación existentes y las necesarias para tener acceso a la localización, disponibilidad de agua y almacenes - cerca de la localización, la experiencia de los operadores que trabajan en el pozo, el orden de presiones y -- temperaturas que se esperan encontrar; de la profundi-- dad y tipo de la formación dependerá el número y tipo - de barrenas usadas, tuberías de revestimiento, produc-- ción y perforación, los fluidos o materiales químicos a-

utilizar, el equipo de renta, cementaciones, servicios de apoyo, etc. Si el pozo se perforará con personal y equipo de la industria (PEMEX), o si alguna compañía -- perforadora se contratará para dicho efecto. También se debe dejar un renglón para los imprevistos como brotes, atorones, problemas de pesca y los costos que éstos provocan, que son muy variados y no difícil sino imposible de prever.

Lo que si se puede hacer es dar un ejemplo de los costos promedio que se han de obtener dejando fijos algunos de los parámetros antes mencionados, esperando -- que en la perforación no se presenten mayores dificultades tanto técnicas como humanas. Para ésto se hará una presentación de costos para diferentes pozos, redondeando los costos finalmente obtenidos y agrupándolos de manera que tengan una presentación semejante a la usada -- en PEMEX.

Un pozo exploratorio con una profundidad de 5700 m y que se espera terminar en 590 días, tendrá las siguientes erogaciones:

CONCEPTO

Camino y localizaciones	30 000 000
Materiales químicos	50 000 000
Registros	42 250 000
Transporte	5 500 000
Tub. de rev. cementadas/U. Alta	304 000 000
Movimiento	29 000 000
Arbol de válvulas	41 000 000
Manto. a caminos y localizaciones	20 000 000
Barrenas	80 000 000
Equipo operando	1 050 000 000
TOTAL	1 651 750 000

En caso de que se trate de un pozo en zona lacustre, exploratorio, con una profundidad de 5750 m, que se espera terminar en 610 días será del orden de:

CONCEPTO

Camino y localizaciones	30 000 000
Materiales químicos	50 000 000
Registros	42 250 000
Transporte	5 500 000
Tub. de rev. cementadas/U. Alta	304 000 000
Movimiento	29 000 000
Arbol de válvulas	41 000 000
Manto. a caminos y localizaciones	20 000 000
Barrenas	80 000 000
Equipo operando	1 150 000 000
TOTAL	1 751 750 000

Otro caso correspondería a un pozo de desarrollo, -  
a la profundidad de 5 000 m, que se espera terminar en-  
240 días:

CONCEPTO

Camino y localizaciones	25 500 000
Materiales Químicos	55 000 000
Registros	42 250 000
Transporte	5 500 000
Tub. de rev. cementadas/U. Alta	235 000 000
Movimiento	27 000 000
Arbol de válvulas	41 000 000
Manto. a caminos y localizaciones	8 000 000
Barrenas	45 000 000
Equipo operando	425 000 000
TOTAL	909 250 000

Para un pozo más somero, 3 000 m, y 60 días de ope-  
ración:

CONCEPTO

Camino y localizaciones	15 500 000
Materiales Químicos	10 000 000
Registros	22 500 000
Transporte	5 500 000
Tub. de rev. cementadas/U. Alta	56 000 000
Movimiento	26 000 000
Arbol de válvulas	35 000 000
Manto. a caminos y localizaciones	2 000 000
Barrenas	4 000 000
Equipo operando	110 000 000
TOTAL	286 500 000

Es conveniente no perder de vista que en todo trabajo de ingeniería, uno de los objetivos primordiales es optimizar tanto en tiempo como dinero, para lo cual es indispensable cierta experiencia de conocimiento de campo, como de relaciones públicas con empresas del ramo, que darán su apoyo técnico y humano. Para llevar a cabo los presupuestos, es obvio, se tratará de hacer menor gasto de materiales, pero sin caer en economías riesgosas, ni sacrificios de calidad y seguridad del personal que opera en el pozo, así como el que tendrá que intervenir en el mismo durante su vida productiva, tomando en cuenta las estimulaciones y reparaciones.

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

1. Neal Adams y Marsha Frederick  
"How to estimate well costs"  
Oil & Gas Journal  
Diciembre 6, 1982
2. Neal Adams y Marsha Frederick  
"Rig, mud, rental tools account for about  
half the cost of a new well"  
Oil & Gas Journal  
Diciembre 13, 1982
3. Neal Adams y Marsha Frederick  
"Tangible drilling expenses complete Autho-  
rization-For-Expenditure preparation"  
Oil & Gas Journal  
Diciembre 27, 1982
4. Martin E. Chenevert y Reuven Hollo  
"Calculator program can help find basic  
drilling cost"  
Oil & Gas Journal  
Septiembre 21, 1981
5. Samuel L. Hawkes  
"How to analyze Bit Records To Increase  
Penetration Rates"  
Petroleum Engineer International  
Mayo 1985
6. Apuntes de Tecnología de la Perforación  
Ing. Miguel Angel Benítez Hernández  
Facultad de Ingeniería UNAM

7. Vladimir Gusev y Nadir Kiazimov  
Manual Técnico de la Perforación  
URMO, S.A. DE EDICIONES, 1974
  
8. Archivos de Tecnología de Perforación  
Piso 10 de la Torre de PEMEX  
Información confidencial
  
9. Departamento de Materiales Químicos  
Piso 10 de la Torre de PEMEX  
Comunicación Directa
  
10. Gerencia de Perforación Terrestre  
Piso 10 de la Torre de PEMEX  
Comunicación Directa