



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE  
PRESUPUESTOS PARA LA PERFORACIÓN DE  
POZOS DE AGUA CON EQUIPO ROTARIO**

INFORME QUE PRESENTA:

**ARTURO PEÑA CÁRDENAS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO BAJO LA MODALIDAD DE TRABAJO  
PROFESIONAL



DIRECTOR DE INFORME:

**ING. MIGUEL I. VERA OCAMPO**

**MÉXICO DF.**

**MAYO 2013**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN  
CIENCIAS DE LA TIERRA  
OFICIO/FING/DICT/ 400/2013

SR. ARTURO PEÑA CÁRDENAS  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento que la opción de titulación: **POR TRABAJO PROFESIONAL**, así como el tema y contenido propuestos por el Ing. Miguel Vera Ocampo, en calidad de **Aval**, han sido aprobados por el comité de titulación de la carrera de **Ingeniería Geológica** y se muestran a continuación

**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS PARA PERFORACIÓN DE POZOS DE AGUA CON EQUIPO ROTARIO**

- I INTRODUCCIÓN
- II ANTECEDENTES
- III DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA
- IV EQUIPO DE PERFORACIÓN
- V ETAPAS DE LA PERFORACIÓN
- VI COSTOS DE LA PERFORACIÓN POR ETAPAS DE TRABAJO

Por otra parte, le comunico que le ha sido asignado el siguiente jurado que tendrá como función básica, avalar su trabajo escrito y autorizar la réplica oral requerida para la obtención del título profesional, de acuerdo al Reglamento de Opciones de Titulación vigente.

PRESIDENTE: ING. ALBERTO ARIAS PAZ  
VOCAL: ING. MIGUEL VERA OCAMPO  
SECRETARIO: DR. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIÚ  
1ER. SUPLENTE: ING. ISRAEL CASTRO HERRERA  
2DO. SUPLENTE: ING. GABRIEL SALINAS CALLEROS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de Administración Escolar, en el sentido que se imprima en lugar visible de cada ejemplar del trabajo escrito, el título de este.

Asimismo, le recuerdo que para optar por el título profesional, es necesario haber acreditado el 100% de los créditos establecidos en el plan de estudios, haber realizado el Servicio Social de acuerdo con la Legislación Universitaria y haber aprobado el examen de comprensión de lectura de un idioma extranjero, en términos de lo dispuesto por el Consejo Técnico.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
CD. Universitaria, D. F. a 23 de Abril de 2013.  
El Presidente del Comité de Titulación de Ingeniería Geológica

  
DR. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIÚ

ccp Coordinador de la Carrera  
ccp Interesado

*In memoriam :*

**Ma. Antonieta y Roberto**

# **MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS PARA PERFORACIÓN DE POZOS DE AGUA CON EQUIPO ROTARIO**

## **Contenido**

### **OBJETIVO**

#### **I INTRODUCCIÓN**

#### **II ANTECEDENTES**

#### **III DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA**

#### **IV EQUIPO DE PERFORACIÓN**

#### **V ETAPAS DE LA PERFORACIÓN**

#### **VI COSTOS DE LA PERFORACIÓN POR ETAPAS DE TRABAJO**

### **CONCLUSIONES**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **AGRADECIMIENTOS**

## **OBJETIVO**

Este trabajo tiene como propósito elaborar un documento de consulta, dirigido al estudiante o egresado de la carrera de ingeniería geológica, para incrementar o dar a conocer las actividades que se llevan a cabo en la perforación de pozos para agua con equipo rotario y la elaboración de presupuestos para ejecutarlas.

# CAPITULO I

## Introducción

El problema de escasez de agua se está convirtiendo en uno de los principales problemas mundiales. Cada día que pasa disminuye dramáticamente la cantidad de agua potable disponible por cada habitante. Esta amenaza es la consecuencia del mal manejo que todos los seres humanos hemos hecho de los recursos naturales durante los últimos doscientos cincuenta años. Desde el inicio de la "revolución industrial", la compleja problemática en torno al agua se está agravando aceleradamente por la confluencia de múltiples causas combinadas, que afectan tanto a su cantidad como a su calidad: La disponibilidad disminuye, los solicitantes aumentan, la contaminación se extiende y el agua limpia escasea.

A nivel atmosférico, el cambio climático causado en parte por los gases resultantes del abuso en la quema de combustibles fósiles, pero sobre todo, el periodo interglaciar que estamos viviendo, provoca que las sequías sean más severas e impredecibles, pero también en otras partes, los desastres causados por las lluvias torrenciales e inundaciones se presentan en lugares que anteriormente no se sentían amenazados por estos fenómenos meteorológicos.

En la actualidad se tienen de los conocimientos científicos suficientes para comprender las causas del problema y también se cuenta con la tecnología necesaria para darle solución. En muchos de los casos, la única solución para el abastecimiento de agua limpia para uso humano consiste en la perforación de pozos.

En el Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geológica, impartida en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, incluye a nivel básico, la enseñanza de los métodos directos de prospección y explotación de los recursos hídricos del subsuelo.

Como geólogos, la prospección queda enunciada mas no limitada, a la exploración superficial por medio de recorridos y muestreos de roca y el levantamiento topográfico de las estructuras y formaciones que conforman el lugar de interés geohidrológico.

El ingeniero geólogo, determina la probable existencia de acuíferos en el subsuelo, pero carece de preparación académica para estimar el costo de una exploración directa y no tiene conocimientos suficientes del desarrollo de una exploración con equipo de perforación. En realidad, el ingeniero geólogo tiene conocimientos teóricos sobre diversos métodos de exploración pero desconoce el aspecto económico de los mismos.

A menudo se pregunta: ¿Cuánto cuesta un pozo para agua?, ¿Qué equipo necesito?, ¿Es posible hacerlo?

Los egresados de la carrera de Ingeniero Geólogo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, requieren contar con elementos para resolver las preguntas que arriba se mencionan.

Es la intención de este trabajo ocupar los huecos de información, sobre todo de aspectos económicos, en la preparación de los estudiantes de esta carrera.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

La perforación de pozos para agua en México, se remonta al norte del país hacia mediados de los años 40 del siglo pasado; fueron contratistas estadounidenses que llamados por los rancheros y ganaderos mexicanos de esa zona, los primeros en traer equipos de perforación de golpe (pulsetas) para el alumbramiento de las aguas subterráneas.

Estos pozos no llegaban a más de 50 m de profundidad y con un diámetro no mayor de 12 pulgadas. La extracción del agua la hacían por medio de aeromotores y accionaban una bomba de varilla tipo *Pumping Jack*, que producía un gasto hidráulico de 0.75 litros por segundo (l.p.s.) en el mejor de los casos.

Estos perforistas norteamericanos eran los dueños de sus equipos, a menudo llegaban acompañados de su familia, los cuales ayudaban en todo lo relacionado a la perforación. De igual modo, iniciaban como ayudantes a jóvenes mexicanos que con el tiempo se convertían en oficiales perforistas, lo que dio inicio a una gran tradición de perforadores en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango principalmente.

Los equipos de perforación rotaria para agua en México, se empiezan a utilizar en el centro del país a partir de los años sesenta. Los únicos técnicos profesionalmente preparados para el uso de estos equipos en esos tiempos, eran los Ingenieros Petroleros egresados tanto de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM) como del Instituto Politécnico Nacional (IPN), pero en ambos casos, absolutamente todos los egresados de esa carrera eran contratados por PEMEX, así que el uso de los equipos de perforación rotarios, cayó en manos de otros profesionistas, principalmente los Ingenieros Civiles que, por sus conocimientos de hidráulica, suelos, cimentaciones y precios unitarios, crearon grandes empresas de perforación empatadas con sus empresas constructoras.

Independientemente que la carrera de Ingeniero Geólogo en la UNAM sea una de las más antiguas, ocasionalmente se han incluido, en los planes de estudio, asignaturas en las que enseñen los principios básicos de los diferentes métodos de exploración y perforación, de hidráulica de pozos, de equipos de bombeo y todo lo relacionado a la industria de la perforación de pozos para agua. Para el nuevo profesionista que desea desarrollarse en la prospección de aguas subterráneas, la falta de estos conocimientos es una desventaja en el ejercicio de su profesión.



## CAPITULO III

### DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA

**Acuífero:** Formación o conjunto de formaciones geológicas capaces de almacenar y conducir cantidades significativas de agua subterránea.

Se llama formación acuífera a cualquier estrato geológico capaz de almacenar y transmitir agua. Por consiguiente, para que un pozo produzca agua se necesita que esté en contacto con una formación acuífera.

Las formaciones ígneas y metamórficas, por lo general, no dan paso al agua debido a que son poco permeables. Estas formaciones sólo permiten el paso del agua a través de grietas o canales formados en ellas.

Las rocas y formaciones de tipo sedimentario constituyen la mayoría de los acuíferos debido a que son más porosas y más permeables.

**Balancín:** Mecanismo utilizado en las perforadoras tipo pulseta, el cual por medio de un movimiento ascendente y descendente, mueve el cable para lograr el golpe de la herramienta de perforación en la roca que está cortando.

**Balero de carga:** Son rodillos cónicos que constan de dos piezas, una llamada caja y va sobre un asiento o pista de rodadura exterior. En otras palabras una pieza es el centro o jaula que contiene los cilindros y la otra es la pista interior. Este tipo de rodillo es el más apto para soportar esfuerzos axiales, siempre van en pares de un eje debido a que la carga en movimiento puede ser positiva (sube) o negativa (baja).

**Barrena:** Herramienta de acero que es la punta de la sarta de perforación, la barrena en los equipo rotarios es del tipo tricónica, en los equipos de pulseta es una barra de acero con punta de estrella.

**Block** (del inglés *traveling block* = polea viajera): Este nombre corto es utilizado para señalar a la polea viajera. Es el mecanismo móvil que sostiene al *swivel* y toda la sarta de perforación.

**Brocal:** También llamado brocal del pozo, es lo único de obra que se puede ver después de perforar un pozo para agua. Por lo general es un dado de concreto armado en forma cubica envolviendo a las tuberías de ademe y contraademe y sirve de base para la instalación del equipo de bombeo. También se llama brocal al orificio provocado por la barrena durante el proceso de la perforación, sin que exista tubería instalada aún.

**Bushing:** (del inglés *bushing* = cojinete o casquillo) Es el casquillo de acero que sirve para unir y centrar la barra *Kelly* dentro de la mesa rotaria.

**Cabezal Rotario:** Mecanismo utilizado por algunos equipos de perforación principalmente mineros que no cuentan con mesa rotaria o mesa giratoria. El cabezal rotario es accionado por motores hidráulicos instalados en la parte superior de la sarta de perforación. Este mecanismo es de muy baja torsión comparado con las mesas rotarias.

**Condensación.-** (precipitación): El agua evaporada que forman las nubes, al llegar a zonas frías, se condensa y cae en forma de lluvia.

**Cruceta:** Las crucetas o uniones universales (*U-joints*) son probablemente uno de los componentes que se ve sometido a un mayor soporte en el sistema de transmisión de fuerza en el equipo de perforación. Las crucetas forman parte indispensable de la flecha cardán.

**Driles:** (mexicanismo del inglés *drill collars* = lastrabarreras) Los driles o lastrabarreras, son tubulares de acero pesados y rígidos. Se utilizan en el ensamble de fondo (*BHA*, por sus siglas en inglés) para suministrar rigidez y peso sobre la barrena.

**Enjarre:** término utilizado en la perforación de pozos que se da a la película de lodo formada en la pared del pozo, esto debido al filtrado del lodo bentonítico durante la perforación en el proceso de circulación al retornar a la superficie. Este enjarre ayuda a mantener estables las paredes del pozo.

**Escorrentía superficial.-** Cuando parte de la lluvia cae sobre la superficie de la tierra y forman corrientes que llegan a los ríos, lagunas o mares etc.

**Escurrimiento subterráneo.-** Ocurre cuando gran parte de agua penetra en el suelo, formando manantiales.

**Espacio anular:** El espacio entre dos estructuras cilíndricas generalmente concéntricas. En la perforación de pozos para agua, el espacio anular es el espacio que queda entre la tubería de ademe y la pared del pozo.

**Filtro grava del pozo:** Un dispositivo cilíndrico de filtración utilizado para estabilizar el acuífero. Consiste en un empaque de grava redondeada que permite el paso del flujo de agua hacia el interior del pozo y ayuda al desarrollo de la formación captada. Este filtro se coloca en el espacio anular.

**Flecha cardán:** Es un componente mecánico, descrito por primera vez por Girolamo Cardano, que permite unir dos ejes que giran en un ángulo distinto uno respecto del otro. Su objetivo es transmitir el movimiento de rotación de un eje al otro a pesar de ese ángulo debido a la utilización de crucetas.

**Flujo laminar:** Movimiento de un fluido en el cual las partículas se desplazan en líneas paralelas a la dirección del flujo.

**Fosa de lodos:** También conocidos como tanques de succión, son las fosas excavadas o tanques de acero donde se hace la mezcla del fluido o lodo de perforación. Como parte del sistema de bombeo de los equipos de perforación rotarios, en las fosas de lodos inicia y termina el ciclo de circulación de lodos dentro del proceso de perforación.

**Kelly** (barra *Kelly*): También llamada flecha, de ella depende toda la columna de perforación. Su función es transmitir el giro que le proporciona la mesa de rotación al varillaje, permitir su descenso y ascenso, así como conducir por su interior el fluido de perforación que ha de circular por toda la sarta de perforación. En su extremo superior va enroscado el *swivel* que a su vez sirve para suspender toda la sarta de perforación. La barra *Kelly* pasa por el *bushing* que con este fin tiene la mesa de rotación, por el cual se desliza al hacer las maniobras de descenso o extracción de la columna de perforación.

**Malacate:** (del náhuatl *malacatl*, cosa giratoria). También conocido como cabrestante o cabestrante y también winche del inglés *winch*, es un dispositivo mecánico, impulsado por un motor hidráulico o mecánico unido a un cable que sirve para arrastrar, levantar o desplazar objetos o grandes cargas. En los equipos de perforación el malacate es el encargado de soportar, levantar y bajar toda la sarta de perforación.

**Mesa Rotaria:** En los equipos de perforación, la mesa rotaria es el mecanismo que hace girar la barra *Kelly* por medio de la torque que produce la cremallera y el piñón.

**Nivel dinámico (ND).**- Medida de un pozo de agua en producción, relativa a la superficie del terreno en el lugar.

**Nivel de bombeo:** El nivel de agua en el pozo mientras que se está bombeando.

**Nivel estático (NE).**- Medida de nivel de agua de un pozo, en reposo o estancamiento, relativa a la superficie del terreno en el lugar.

**Permeabilidad.**- Propiedad de las rocas más importante de un sedimento y que regula la facilidad relativa del paso de un fluido a través de sus poros.

**Perforación exploratoria:** Sondeo mecánico utilizado para obtener información sobre las condiciones geológicas e hidrogeológicas.

**Prueba de aforo:** La prueba de bombeo es aquella cuyos datos conciernen al pozo como la capacidad específica y la ecuación de producción del pozo, datos necesarios para la selección del sistema y equipo de bombeo que se instalará para la explotación del pozo. Esta prueba tiene una duración mínima de 72 hrs.

**Prueba de Bombeo:** Esta prueba consiste en conocer si un pozo produce o no agua. A diferencia de la prueba de aforo, esta prueba puede durar solo algunas horas y se realiza cuando en la perforación exploratoria se tienen dudas fundadas de la no producción de agua.

**Piñón y Cremallera:** En los equipos de perforación rotaria, el piñón y cremallera es un mecanismo que tiene por finalidad la transformación de un movimiento de rotación o circular (piñón) en un movimiento rectilíneo (cremallera) o viceversa. Este mecanismo como su mismo nombre indica está formado por dos elementos componentes que son el piñón y la cremallera. El piñón es una rueda dentada normalmente con forma cilíndrica que describe un movimiento de rotación alrededor de su eje, el piñón está conectado a la flecha cardán. La cremallera es una pieza dentada circular que forma parte de la mesa rotaria y esta soportada por un balero que describe un movimiento en uno u otro sentido según la rotación del piñón.

**Porosidad.-** Es el porcentaje de volumen de poros de una roca, la porosidad total es el porcentaje total del volumen de huecos, mientras que la porosidad efectiva es el porcentaje de los huecos comunicados entre sí. La porosidad puede considerarse como original o secundaria; la porosidad original es una propiedad inherente que fue determinada en el momento que se formó la roca. La porosidad secundaria es el resultado de cambios posteriores que pueden aumentar o disminuir la porosidad original, tales como la cementación, el fracturamiento y la disolución.

**Pulseta:** Equipo de perforación cuya principal actividad es subir y bajar la herramienta de perforación, todo por medio de un cable adaptado al balancín; este movimiento de arriba a abajo y viceversa, provoca el golpe de la herramienta directo en la roca a perforar.

**Sarta de Perforación:** Es el conjunto de herramientas y tubería de perforación sostenida desde el *swivel* que tiene instalado el equipo de perforación en un momento dado. La sarta de perforación tiene como punta a la broca, continuando con los drilles, estabilizadores y toda tubería de perforación hasta llegar al *swivel*.

**Swivel:** (del inglés *swivel* = girar). Nombre utilizado para señalar la unión giratoria, que es el mecanismo que une la manguera viajera con la sarta de perforación. El *swivel* es fijo en la parte superior que es donde recibe a la manguera viajera; en su parte inferior es giratorio para recibir a la barra *Kelly* y su movimiento giratorio.

**Transfer:** Palabra en inglés utilizada para nombrar a los mecanismos de transferencia utilizados en los equipos de perforación, estos mecanismos se utilizan para transferir fuerza motriz por medio de engranes y embragues a todos los sistemas que componen el equipo de perforación.

**Torque:** El momento de una fuerza con respecto a un punto; es la fuerza o sistema de fuerzas para cambiar el estado de la rotación del cuerpo alrededor de un eje que pase por dicho punto.

Torre de perforación: estructura metálica rígida calculada para soportar el peso de toda la sarta de perforación. La torre alberga la polea viajera, las poleas del malacate, el *swivel* y al *Kelly*. La longitud de la torre de perforación esta en relación a la longitud de cada tramo de la sarta de perforación para que las maniobras de introducción y extracción de la sarta sean fáciles y seguras.

**Tubería de Ademe:** Es la tubería que se instala en el interior del pozo para evitar el colapso de las paredes del pozo.

**Tubería de ademe ranurada:** Es la tubería de ademe que tiene ranuras que permiten el paso de agua subterránea del subsuelo hacia el interior de tubería para ser bombeada.

**Tubería de ademe liso:** Es la tubería de ademe sin ranuras, es decir, tubería completamente sellada.

**Venturi:** (efecto de), consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido que va a pasar al segundo conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Batista Venturi (1746-1822).

**Verticalidad:** La desviación horizontal de la línea central del pozo con respecto a una línea central vertical imaginaria.

**Zona saturada:** También llamada **zona de saturación**, es la situada encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas. El límite superior de esta zona, que lo separa de la zona vadosa o de aireación, es el nivel freático y varía según las circunstancias: descendiendo en épocas secas, cuando el acuífero no se recarga o lo hace a un ritmo más lento que su descarga; y ascendiendo, en épocas húmedas.

## CAPITULO IV

### EQUIPO DE PERFORACIÓN ROTARIO

Los primeros sistemas mecánicos de perforación fueron de lo que ahora se conocen como perforación por percusión, (China, 4000 AC) y consistían en un balancín contrapesado con un grupo de hombres, que efectuaban el tiro en un extremo de una cuerda mientras que de otro colgaba la sarta de perforación construida con cañas de bambú.

Este sistema de perforación, por razones obvias, ha ido evolucionando; incorporando técnica y materiales modernos, por lo que sigue siendo uno de los procedimientos más usados actualmente para la explotación de acuíferos e investigación, ya que presenta ventajas, en lo referente a contaminación de muestra obtenida, sobre los más modernos sistemas de perforación rotario. Estos últimos no han podido igualar ese tipo de muestreo.

La técnica de perforación por percusión, consiste en realizar un movimiento alternativo de bajada-subida de una masa pesada llamada broca, que en su caída va fracturando o disgregando la roca, que desprende trozos de variado tamaño, que después se extraen por medio de una válvula o cuchara de limpieza. Es una técnica válida para cualquier tipo de material, sobre todo de rocas consolidadas. La perforación se hace lentamente y se corre un alto riesgo de desviaciones de la verticalidad del pozo por la elongación que sufre el cable que soporta la broca; este método de perforación no puede alcanzar más de 200 m de profundidad.

En la actualidad, el 98% de los pozos que se construyen, son construidos por equipos de perforación rotarios, ya que penetran cualquier formación con más rapidez, mantienen la verticalidad del pozo y pueden llegar a mucho más profundidad que los equipos de percusión.

Un equipo de perforación rotatorio para cualquier uso, está compuesto básicamente por cuatro sistemas base:

- a) **Sistema de potencia**
- b) **Sistema de elevación**
- c) **Sistema de rotación**
- d) **Sistema de circulación**
- e) **Sistema de seguridad (solo equipos petroleros).**

Los equipos de perforación de pozos para agua tipo rotarios tienen una nomenclatura internacional para determinar su capacidad. Este código es un número que se escribe inmediatamente después de la marca del equipo.

De las marcas más comunes de equipos que existen en México, se tienen:

- Gardner Denver
- G.E. Failling
- Franks
- Continental
- Schramm
- Mayhew

Todas las marcas anteriores son de equipos de perforación hechos en los Estados Unidos de América, la capacidad del equipo queda determinada en la profundidad en pies que pueden perforar con una barrena de 8 1/2" Ø, por ejemplo:

- Gardner Denver 2500

Este equipo Gardner Denver 2500 es el más utilizado para la perforación de pozos para agua en México, es un referente para comparar capacidades entre diferentes marcas. El Gardner Denver 2500 es un equipo de perforación capaz de perforar 2500 ft de profundidad con una barrena de 8 1/2" Ø, es decir, su sistema de potencia, elevación, rotación y circulación están calculados para perforar 2500 ft (762 m) con barrena nominal de 8 1/2 ". Por lo que en el mercado se pueden encontrar equipos con capacidad de 500 ft (152 m), montados en camiones tipo rabones hasta los equipos petroleros 15 000 ft (4575m), que requieren toda una flotilla de tráiler para ser transportados y grúas de gran capacidad para ser instalados.

Dentro de la variedad de equipos de perforación de pozos para agua, por las características de la geología en México y las diferentes profundidades de los acuíferos presentes en la actualidad, los equipos de perforación más usados son desde 1500 hasta 3000, que pueden ser auto transportados o montados en plataformas quinta rueda para que un tráiler los remolque la lugar de trabajo.

Todos los sistemas de estos equipos de perforación, están completamente equilibrados para la capacidad diseñada. Absolutamente todos los equipos de perforación rotarios, sean pequeños o grandes, cuentan con los cuatro sistemas básicos; la potencia y tamaño de todos sus componentes varía de acuerdo a su capacidad y en algunos casos, como es el petrolero, se les adiciona el quinto sistema, llamado sistema de seguridad, del cual no se hablará en este escrito, ya que los equipos de perforación para agua no lo requieren, debido a que este sistema es para prevenir que el gas o aceite sea expulsado a la superficie por su propia presión.

Como sucede en muchos casos en la industria de cualquier índole, aunque todos los componentes de los diferentes sistemas de los equipos de perforación tienen su nombre técnico en español, a algunos de los componentes se les conoce y se les identifica con su nombre en inglés por ser más corto y de fácil pronunciación, que con el tiempo se han mexicanizado esos nombres así que en este escrito, se mencionarán de acuerdo a como comúnmente se les conoce.

### **A) Sistema de potencia**

Este sistema es el músculo del equipo de perforación y se constituye principalmente por motores diésel que tienen buena eficiencia y torque a bajas revoluciones; estos a su vez accionan bombas hidráulicas que mueven malacates, mesas rotarias, gatos hidráulicos y en general la mayoría de las partes móviles del equipo de perforación. Por lo general, el sistema de potencia viene acompañado de mecanismos de transferencia de potencia o “transfer”, que por medio de transmisión y poleas, transmiten la fuerza por medio de revoluciones a los diferentes componentes del equipo.

Todo el equipo o sistema de perforación puede estar montado en una unidad auto transportable (fig. 1) o en un remolque quinta rueda (fig. 2). En los equipos pequeños que están montados en una unidad auto transportable, por lo general el motor de esa unidad es la que sirve de sistema de potencia de todo el equipo de perforación, por medio de convertidores y embragues, ese motor hace funcionar absolutamente todos los sistemas.

A mediados de los 90 empezaron a surgir equipos de perforación 1500 auto transportados completamente hidráulicos, es decir, la unidad de potencia sólo mueve un par de bombas hidráulicas que sirven de flujo y fuerza a diferentes motores hidráulicos que van instalados en los demás sistemas que componen el equipo de perforación.



Fig.1.- Autotrasportado



fig. 2.- Quinta Rueda



## **B) Sistema de elevación**

Este sistema es la fuerza del equipo. Formado por tres componentes principalmente: el malacate, la torre o estructura del equipo y la polea viajera.

Su función principal es soportar todo la sarta de perforación, además de proporcionar el desplazamiento vertical necesario a la sarta de perforación durante el acoplamiento y desenrosque de la tubería.

Este es el sistema que más energía necesita debido a que es el que tiene que soportar el peso de varios cientos de metros de tubería pesada y en ocasiones necesita extraerse del pozo, lo que implica levantar dicha tubería de manera vertical, entendiéndose que se estarían levantando varias toneladas de herramienta en un momento dado.

Con los avances en la tecnología los antiguos sistemas de poleas y embragues se han reducido, dando paso a sistemas hidráulicos. Tanto el malacate como la erección y abatimiento de la torre ahora se realizan con sistemas hidráulicos, lo que hace más segura su operación y más eficiente en cuanto a consumos de energía.

El malacate (fig. 3) y la torre de perforación (fig. 4), están ligadas y calculadas para trabajar conforme fueron diseñadas. La unión de estos dos componentes se hace por medio de poleas instaladas en la punta de la torre. El cable del malacate, de diámetro calculado de acuerdo a su capacidad, recorre todas las poleas de la torre, teniendo el regreso de cada vuelta del block o polea viajera. Al accionar el malacate tanto en sentido derecho o inverso, el block baja o sube de acuerdo al sentido del malacate.

El block puede ser de una o varias poleas, de acuerdo a la potencia del malacate y la resistencia de la torre. No hay que olvidar que cada vuelta de la polea, aumenta 100% la capacidad de carga con la misma energía. El block tiene en su parte inferior un gancho giratorio, a este gancho se le inserta el swivel o unión giratoria, componente del sistema de rotación.



Fig. 3.- Malacates



Fig. 4.- Block y torre de perforación

### C) Sistema de rotación

Este sistema es el que le da nombre al tipo de equipo motivo de este trabajo.

En la perforación de pozos para agua, actualmente se tienen 2 tipos de sistemas rotarios: mesa rotaria y cabezal rotario (top head). El primero es generalmente accionado por medio de cadenas o flecha cardan y crucetas, mientras el segundo es accionado por medio de motores hidráulicos (fig. 5).

En los equipos de perforación de pozos para agua y hablando de fuerza de torque, el cabezal rotario es mucho menor que la mesa rotaria, por lo que los equipos de perforación con cabezal rotario quedan limitados a pozos de poca profundidad y diámetros no mayores de 12 pulgadas.

En cambio, las mesas rotarias pueden llegar a ser tan robustas como se desea. La capacidad de torque de la mesa rotaria está ligada al diámetro de la misma, por lo que se tienen equipos 1500, con mesas rotarias de 8"Ø y equipos 3000, con mesas de 24"Ø. Por lo que se debe considerar: a mayor diámetro de la mesa rotaria, mayor torque; a mayor torque, mayor profundidad; a mayor profundidad, se requiere mayor potencia; a mayor potencia, mayor consumo de combustible.

Realmente en México, el sistema más común es el de mesa rotatoria, el cual consiste en una mesa giratoria formada por un piñón y cremallera soportados por dos baleros de carga, ubicada al pie del equipo de perforación y exactamente centrada con la torre del

equipo, la mesa posee un agujero en su centro, generalmente de forma hexagonal o cuadrada, por el cual se introduce la barra Kelly por medio de adaptadores llamados bushing, una tubería larga y hueca en forma cuadrada o hexagonal llamada Kelly o flecha. El centro hexagonal o cuadrado de la mesa rotaria gira generalmente para perforar de acuerdo al sentido de las manecillas del reloj, esto debido a que las cuerdas de la sarta de perforación por lo general son derechas.

El piñón de la mesa, está conectado por medio de cadenas o flecha cardan a un sistema transmisión o caja de velocidades, lo que le permite acelerar o disminuir las revoluciones por minuto que se desean para el proceso de perforación.

La mesa rotaria genera el giro a toda la sarta de perforación exclusivamente con el *Kelly*, por lo que para la introducción de la tubería de perforación, es necesario desacoplar el centro hexagonal o cuadrado para retirar el *Kelly* y dejar libre para que la tubería sea instalada o desmantelada directamente con el Block.

La barra *Kelly* siempre se desacopla en su parte inferior, es decir, en su unión con la tubería de perforación. Nunca se desacopla del *swivel*, ambos componentes siempre permanecen juntos salvo por cuestiones de mantenimiento se deben separar.



Fig. 5.- Mesa Rotaria Oilwell de 17 ½" de Ø

El Kelly siempre está unido en su parte superior al *swivel* o unión giratoria; el *swivel* está unido en su parte superior al Block. La unión entre el sistema de rotación y el sistema de circulación es el *swivel*. Este componente tiene una parte superior fija y una parte inferior giratoria, que por medio de empaques, baleros y un tubo lavador, que hace la función de sello mecánico, es posible inyectar el fluido dentro de la sarta de perforación.

El *swivel* (fig. 6), soporta toda la carga de la sarta de perforación por lo que debe estar de acuerdo al peso de la tubería. El *swivel* está conectado a la manguera viajera que es parte del sistema de circulación.



Fig. 6.- Swivel

El sistema de rotación transmite la fuerza a la **sarta de perforación** que consiste principalmente en:

- Barra Kelly que se desliza sobre la mesa rotaria y transmite la fuerza (torque) de ésta a la tubería de perforación.
- Tubería de perforación que transmite la fuerza hacia la barrena y mantiene la verticalidad del pozo (figs. 7 y 8).

Como parte de la tubería de perforación, un componente importante son los drill collars o lastra barrenas, mejor conocidos como driles. Esta es una tubería de gran peso y un diámetro mayor al de la tubería de perforación (TP). A diferencia de la TP, los drilles aportan peso a la barrena y por lo mismo dan la verticalidad al pozo.

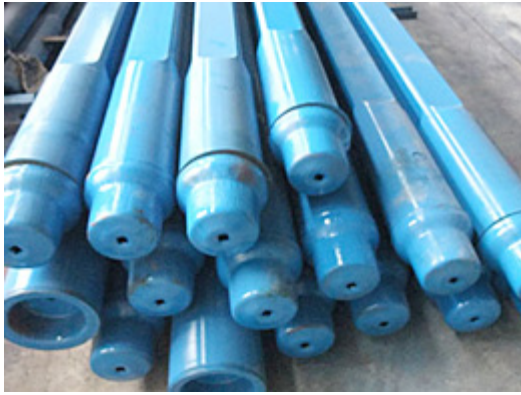


Fig. 7 y 8.- Tubería de perforación

- Barrena: Es la que realiza el corte del terreno (fig. 9). Dentro del capítulo de etapas de la perforación se hace una descripción detallada de las barrenas.



Fig. 9.- Barrena de dientes de acero

#### **D) Sistema de circulación**

En este sistema se trabaja con altas presiones, ya que consiste en la circulación del fluido de perforación a alta presión, cuyo objetivo es lubricar, enfriar y transportar los escombros removidos por la barrena a su paso dentro del terreno. Es de vital importancia ya que sin este sistema la sarta de perforación no lograría penetrar siquiera 5 metros en el suelo, pues la fricción es grande y por consiguiente también la temperatura aumentaría y dañaría irremediablemente la barrena.

Los componentes del sistema de circulación de un equipo de perforación rotario son: la bomba de lodos, manguera de succión y manguera viajera.

La circulación del lodo empieza en la fosa de lodos o tanque de succión. La bomba succiona el lodo del tanque, después que el lodo sale de la bomba a alta presión, este fluido viaja a través de una manguera viajera que está conectada a su vez al *swivel*; el lodo entra por el *swivel* y baja por la barra Kelly y la tubería de perforación, sale por la barrena, la enfría y lubrica y por diferencia de densidad, sube el recorte a la superficie y regresa a la misma entre la tubería y las paredes del pozo (espacio anular).

La bomba de lodos es el corazón del sistema de circulación; esta bomba de alto flujo y alta presión debe ser capaz de inyectar el lodo dentro de la sarta de perforación y levantarlo para que regrese por las paredes del pozo.

Como ya se mencionó, al igual que los otros componentes de los diferentes sistemas del equipo de perforación, la bomba está calculada de acuerdo a la capacidad de perforación del equipo.

Dentro de las bombas de lodos utilizadas para la perforación en general, se tienen de dos tipos: bombas dúplex y bombas triplex

**Las bombas dúplex:** Son bombas que llevan dos cilindros y son de doble acción porque desplazan lodo en dos sentidos en la carrera de ida y vuelta (fig. 10).

Este tipo de bomba queda definido por el diámetro del vástago del pistón que es del mismo diámetro y longitud que la camisa, además se emplea en adición una válvula check y una válvula de sobre presión.

En la bomba dúplex, independientemente de la marca, se puede saber su capacidad de bombeo en la nomenclatura utilizada por su diámetro y desplazamiento en pulgadas.

En los equipos 1500, es común encontrar bombas dúplex 4 ½ x 10, lo que significa que es una bomba con un par de pistones de 4 ½" Ø x 10" de desplazamiento. Con estos datos se puede calcular el volumen de inyección por cada movimiento, es decir 108 in<sup>3</sup> por pistón.

En los equipos 3000, generalmente se tienen bombas de 10 x 14; pistones de 10"Ø con un desplazamiento de 14". Esta bomba desplaza un volumen de 1100 in<sup>3</sup> por pistón. Si se comparan ambas bombas, la del equipo 3000 desplaza 11 veces más volumen por pistón que la del equipo 1500. Cada bomba se utiliza para cada propósito y profundidad.





Fig. 10.- Bomba de lodos dúplex 10x 14

**Bombas Triplex:** Son bombas que llevan tres cilindros, y son de simple acción, es decir desplazan el lodo en un solo sentido, al igual que las bomba dúplex, este tipo de bomba queda definido por el diámetro y longitud de la camisa (desplazamiento), se emplea en adición una válvula *check* y una válvula de sobre presión (fig. 11).

Este tipo de bombas se utiliza para pozos de más de 1200 m de profundidad. Es un equipo de bombeo para la perforación de pozos petroleros. Por su forma de acción simple y sus tres pistones (las hay hasta de 5 pistones), otorgan hasta el 150 veces más presión que una bomba dúplex. En México son contados los equipos de perforación de pozos para agua que tiene bombas triplex como parte de su sistema de circulación.



Fig. 11.- Bomba triplex de 6 x 10

**Manguera viajera:** Es una manguera de goma reforzada, flexible y extremadamente fuerte. La característica de flexibilidad permite bajar y subir junto con el *swivel* la tubería de perforación durante las operaciones de perforación, mientras el lodo se está bombeado a través y hacia abajo de la tubería. Es extremadamente durable, transporta fluido muy abrasivo a alta presión. Esta manguera inicia en la bomba de lodos y se conecta al *swivel* (fig. 6).

Al igual que todos los componentes de los equipos de perforación, la manguera viajera varía en diámetro y calibre de acuerdo a la capacidad de la bomba. Mientras más grande sea la bomba y el equipo de perforación, más grande será su diámetro y más resistente la manguera.

**Manguera de succión:** Esta manguera es de gran diámetro (mayor que la manguera viajera), es para presión baja pero debe ser acorazada ya que la succión del lodo o fluido de perforación por parte de la bomba de lodos es fuerte (fig. 12). Esta manguera inicia con una válvula check vertical o pichancha, la cual queda instalada dentro de la fosa dos de la fosas de lodos (en el capítulo VI, se detallan las fosas de lodos), y se conecta a la bomba de lodos.



Fig. 12.- Manguera de succión



## CAPITULO V

### ETAPAS DE LA PERFORACIÓN ROTARIA EN POZOS PARA AGUA

#### **Introducción**

Un pozo para abastecimiento de agua es un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas.

Los pozos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el método de construcción.

#### **Pozo excavado**

Se construye a mano por medio de picos, palas o equipos para excavación como cucharones de arena. Son pozos de poca profundidad y se usan donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie; Su principal ventaja es que se pueden construir con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva dentro del mismo pozo.

#### **Pozo taladrado**

Es aquel donde la excavación se hace por medio de taladros rotatorios ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz. Su principal ventaja es que se pueden construir con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva dentro del pozo mismo.

#### **Pozo a chorro**

Se conoce así al pozo en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad. El chorro afloja el material sobre el cual actúa y lo hace resbalar fuera del hueco.

#### **Pozo clavado**

Éste se construye clavado a una rejilla con punta llamada puntera. A medida que ésta se clava en el terreno, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados. Son de pequeño diámetro.

#### **Pozo Perforado**

La excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco por medio de bombeo, mediante presión hidráulica o con alguna herramienta hueca de perforar, etc.

Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o facilidad de protección al ambiente de la contaminación.

Como cualquier actividad, la perforación de pozos para agua tiene un principio y llega a un final. La actividad inicia desde el momento que se elige el punto a perforar y termina con el retiro del equipo una vez perforado el pozo.

La decisión de perforar de un pozo para agua, es el resultado de una serie de estudios previos, primero es un estudio basado en las necesidades reales del vital líquido tanto en cantidad como en calidad; después debe de existir un estudio geohidrológico donde se determine la factibilidad de encontrar y explotar mantos acuíferos en una determinada profundidad, finalmente debe elaborarse un proyecto donde se muestre el modelo o tipo de pozo que se necesita que indique ubicación, profundidad y características de construcción. Como se verá más adelante, la perforación de pozos para agua son obras de alto costo económico, de ahí la importancia de la decisión de construir la obra.

Aunque suena paradójico, para perforar un pozo para agua se requiere de mucha agua para su construcción, entre otras cosas. Una vez tomada la decisión de perforar un pozo y antes de hacer cualquier movimiento de equipo y personal, es necesario resolver algunos puntos logísticos que involucran el abastecimiento del agua para perforar, combustibles y lubricantes, estancia del personal de descanso, comestibles, topografía y clima principalmente. Todo esto va a influir directamente en el costo final de perforación.

Un pozo es una obra subterránea vertical de alto riesgo, donde el avance se mide en metros perforados, pero es un avance relativo ya que entre el arranque de la obra y el retiro del equipo, pueden suceder contratiempos que provoquen el atraso de la obra o la pérdida del avance. En un momento determinado, los contratiempos por causas fortuitas pueden provocar el abandono de la obra.

La perforación de pozos para agua siempre lleva un grado elevado de riesgo inherente, ya que no se puede observar lo que sucede en la punta de la sarta de perforación o en las paredes del pozo; en muchos casos es imposible evitar el colapso o derrumbe del pozo.

Por el tipo de trabajo, el desarrollo de la perforación con equipo rotario lleva un orden en cada etapa, es decir, lo recomendable es seguir un orden en la perforación para llevar al mínimo posible el riesgo al perforar, por lo que se ha generalizado y ha funcionado, el trabajar por etapas consecutivas para garantizar un buen término de la obra.

Las etapas de la perforación de pozos para agua se pueden resumir de la siguiente manera:

---

**1.- Instalación del equipo de perforación.**

- 1.1.- Elección del lugar de instalación
- 1.2.- Excavación de fosas de lodos
- 1.3.- Excavación de canal de lodos
- 1.4.- Preparación de accesos de vehículos de servicio.

**2.- Perforación exploratoria.**

- 2.1.- Preparación de lodo de perforación
- 2.2.- Selección de la barrena adecuada
- 2.3.- Perforación exploratoria
- 2.4.- Ampliación del pozo para la colocación del contra-ademe

**3.- Registro eléctrico**

- 3.1.- Adelgazamiento de lodo de perforación
- 3.2.- Registro eléctrico

**4.- Perforación de ampliación.**

- 4.1.- Selección del ampliador adecuado
- 4.2.- Perforación de ampliación.

**5.- Instalación de tubería de ademe**

- 5.1.- Calibración del pozo con la tubería de ademe
- 5.2.- Instalación de la tubería de ademe
- 5.3.- Adelgazamiento del lodo de perforación
- 5.4.- Colocación del filtro de grava.
- 5.5.- Lavado y pistoneo del pozo

**6.- Prueba de desarrollo y aforo del pozo**

- 6.1.- Instalación del equipo y prueba de aforo
- 6.2.- Desmantelamiento de equipo de perforación.

**7.- Entrega de la Obra.**

---

En México, toda la actividad de perforación de pozos para agua, está regulada por medio de la norma oficial mexicana NOM-003-CONAGUA-1996 para la construcción de pozos para agua y evitar contaminación de acuíferos (*Dirección General de Normas. Secretaría de Economía. www.economia-noms.gob.mx*). Lo óptimo para elaborar una normatividad es conocer de perforación de pozos y después con el conocimiento adquirido, incursionar a la normatividad que regula esta actividad para entenderla plenamente y actuar en consecuencia.

Todo personal que labora en un equipo de perforación, incluidos los jefes de pozo, supervisores e ingenieros, deben contar con equipo de seguridad personal básico para acercarse al equipo de perforación. El equipo de seguridad básico debe estar conformado por casco, anteojos de seguridad, overol, guantes y calzado con casquillo de acero con suela antiderrapante resistente a lubricantes y combustibles. Para el caso de los operadores y ayudantes del equipo de perforación, se debe agregar la faja lumbar. Por ningún motivo, el personal se debe desprender de cualquier parte del equipo de seguridad mientras se encuentran en los alrededores del equipo de perforación.

Nadie sin equipo completo de seguridad personal básico, debe acercarse a menos de 100 m de un equipo de perforación de pozos.

## **1.- Instalación del equipo de perforación.**

### **1.1.- Elección del lugar de instalación**

Como se vio en el capítulo anterior, los equipos de perforación rotarios para agua, son de gran volumen y gran peso. Un equipo común de capacidad 2500 para perforar 600 m de profundidad, mide el largo de un tráiler y pesa más de 35 toneladas. Cuando la torre o mástil de este equipo se encuentra erecta, llega a medir más de 30 m de altura.

El equipo de perforación debe llegar a una plataforma firme, horizontal y amplia. El equipo no puede llegar a un lugar fangoso, suelto o por donde se sospeche que en un momento dado, puede correr o acumularse agua en ese punto.

Cuando llega el equipo de perforación, por lo general el terreno está libre, por lo que para su instalación se debe pensar en cómo y por dónde se harán llegar los suministros como agua, bentonita, grava, tuberías de ademe y contrademe, refacciones, combustibles, etc. Además se debe considerar que al término de la obra, el equipo debe salir exactamente en sentido contrario por donde entró, ya que no hay reversa, al término de la obra, el brocal de un pozo recién construido, estará en la parte trasera.

El punto a perforar, es decir, donde se va a hincar la barrena, deberá ser el más alto de toda la plataforma de perforación, con el fin de evitar derrames dentro del pozo. Una vez instalado el equipo en su lugar definitivo y antes de iniciar cualquier otra maniobra, es necesario colocar una alfombra de plástico por debajo de todo el equipo de perforación, con el fin de que todo tipo de fugas de aceites o combustibles que se presenten durante el periodo de la perforación, no caigan al suelo y se contamine por tal acción. Al término de la obra, esta alfombra se retira y se envía al lugar de confinamiento de materiales contaminados por hidrocarburos. Se sabe que cualquier unidad mecánica con motores de combustión interna, sistemas hidráulicos embragues, etc., siempre van a presentar fugas de fluidos, por mínimas que sean.

## 1.2.- Excavación de fosas de lodos

Se habla en plural al mencionar las fosas de lodos, debido a que por lo menos deben de ser dos para el buen funcionamiento y mantenimiento del fluido de perforación.

El tamaño de las fosas de lodos está directamente ligado a la profundidad planeada a perforar y al diámetro final del pozo. Siempre se debe considerar que el lodo bentonítico tiene entre otras funciones, el de levantar las esquirlas que la barrena va generando en el proceso de perforación. Estas esquirlas, llamadas comúnmente “recorte”, son las que se van a precipitar una vez que el lodo pierda velocidad al llegar a la primera fosa de lodos o en su camino hacia la fosa.

Así que la oquedad recomendada de las fosas debe ser por lo menos el 50 % del volumen teórico del cilindro que va a formar la perforación al construir el pozo. Un ejemplo es:

Profundidad del pozo:	250 m
Diámetro final del pozo:	20” ( 0.508 m)
Volumen del cilindro teórico:	$=(\pi r^2) h = 3.1416 (0.254)^2 \times 250$ $= 50.67 \text{ m}^3$

Si el volumen teórico de este ejemplo es igual a  $50.67 \text{ m}^3$ , entonces el volumen de la suma de ambas fosas deberá ser de  $25 \text{ m}^3$  aproximadamente, es decir cada fosa debe captar  $12.5 \text{ m}^3$ , lo que conlleva a excavar un par de fosas de  $3 \times 2 \times 2$  aproximadamente, cada una.

Las fosas deben quedar conectadas por medio de un canal o una media caña de tubo de por lo menos 8” Ø.

La primera fosa recibe el lodo de perforación por medio del canal de lodos que inicia en el brocal y, en la segunda fosa, se deberá instalar la tubería de succión de la bomba de lodos.

Durante la perforación, el recorte de rocas producido, se va acumulando principalmente en la primera fosa, por lo que hay que limpiarla con frecuencia para evitar la contaminación del lodo por saturación de recorte.

En la excavación de las fosas de lodos es posible encontrar que el material extraído sea poroso y no permita la acumulación del agua para la preparación del lodo de perforación, por lo que se hace necesario, cubrir la base y paredes de las fosas con plástico para evitar fugas. Esta práctica es recomendable en la construcción de las fosas independientemente de la porosidad que presenten, ya que evita cualquier tipo de filtración de lodo al subsuelo.

### **1.3.- Excavación de canal de lodos**

El canal de lodos es la excavación que une el brocal del pozo con la primera fosa de lodos. La sección del canal debe ser lo suficiente amplia para que el lodo, en su recorrido hacia la fosa, no rebase los bordos del canal. Este canal deberá ser construido recto y para doblar deberá ser a 90°, en cada giro se deberá construir un pequeño registro cuadrado con el doble de la profundidad que el canal tiene, con el fin de provocar cambio de velocidad y provocar la precipitación de los recortes más grandes que son los que más interesan para conocer la litología del material que en esa profundidad se está perforando.

El canal de lodos deberá llegar a la fosa de lodos en no más de 2 giros de 90° cada uno. La velocidad y presión del lodo están ligadas directamente a la capacidad de la bomba de lodos que se encuentra instalada en el equipo de perforación. En la perforación petrolera, no existe el canal de lodos, el retorno del lodo desde el brocal hacia los tanques es por medio de tubería.

### **1.4.- Preparación de accesos de vehículos de servicio**

Paralelamente al proceso de instalación del equipo y excavación de las fosas y canal de lodos, es necesario habilitar los accesos para los insumos que se requieren para la perforación de pozos.

Estos insumos son tan variados que existen desde los que pueden ser cargados con la mano, o hasta ser necesario utilizar el malacate del equipo de perforación ya que el

insumo es demasiado pesado, como puede ser un ampliador de 20" Ø que llega a pesar una tonelada, hay que considerar el acceso del camión pipa que abastecerá de agua a las fosas de lodos.

Así que se deben habilitar accesos para todo tipo de vehículos, que estén transitables en cualquier tipo de clima y que no interfieran o destruyan las fosas de lodos y el canal de lodos. Estos accesos pueden ser, de ser posible, habilitados con tepetate y compactarlos con vehículos pesados. Hay que tomar en cuenta que los combustibles y lubricantes deben llegar a pie del equipo así que no se debe escatimar en la construcción de accesos de calidad y duraderos ya que una obra de perforación de pozos para agua, dependiendo de la profundidad proyectada, llega a tener un tiempo de ejecución no menor a 2 meses, lapso de tiempo en cual las lluvias, la temperatura y demás agentes ambientales, pueden dañar severamente los accesos y así dificultar seriamente el abastecimiento de los insumos que el equipo y personal requieran.

Los accesos deben habilitarse con la idea de respeto al entorno ambiental; los insumos, principalmente los lubricantes y combustibles, deben llegar completamente sellados para evitar derrames y consecuente contaminación. Evitar en lo posible el derribo de árboles, arbustos y matorrales. En México, actualmente hay muchas especies de plantas, arbustos y árboles protegidas por ley; es considerado delito federal el dañar o extraer las especies protegidas, las penas por estos delitos son catalogados graves, con pena de reclusión y multas económicas grandes, por lo que es una obligación del responsable de la obra de perforación, conocer sobre la existencia de especies protegidas en la zona donde se pretende ubicar el equipo de perforación y la construcción de accesos.

## **2.- Perforación exploratoria.**

### **2.1.- Preparación de lodo de perforación**

Lodo de perforación se le llama al fluido bombeado por dentro de la tubería de perforación, desde la superficie hasta la punta de la sarta de perforación, y que regresa por el espacio anular. Este es el elemento fundamental para lograr el éxito de la perforación.

Este fluido tiene 3 funciones principales:

- a) **Enfriar y lubricar** la barrena, ya que la fricción provocada por la rotación de la barrena y el corte de la roca, provocan calor que puede dañar prematuramente los baleros de los roles que tiene la barrena.

- b) **Levantar las esquirlas** o recorte que la barrena deja al ir cortando la roca, la viscosidad del fluido más la presión a la que está bombeado, hace que los fragmentos de roca sean llevados a la superficie y así queda limpia toda el área de contacto entre la barrena y la roca y evita un atrapamiento de la barrena por falta de limpieza.
- c) **Construir un enjarre** en las paredes del pozo. El fluido de perforación, en su regreso desde el fondo del pozo (barrena) hasta la superficie (brocal), deja una pequeña capa en la pared del pozo, esta capa o enjarre, sirve para mantener la estabilidad de las paredes para evitar caídos de pedazos de roca que pueden provocar que la barrena se atrape y no pueda seguir girando.

El lodo de perforación o lodo bentonítico, es una mezcla de agua limpia y bentonita sódica (montmorillonita), el pH del agua debe encontrarse entre 6 y 9, es importante medir el pH del agua con la que se va a elaborar el lodo bentonítico ya que si ésta es muy ácida, no permite la mezcla de ambos componentes; si el agua es demasiado alcalina, la bentonita se precipita al fondo de la fosa sin lograr el objetivo de formar un lodo viscoso.

La viscosidad del lodo bentonítico se mide en grados *marsh*, siendo un grado *marsh*, el equivalente a un segundo por el paso del embudo que lleva el mismo nombre (*marsh*). La viscosidad ideal para un lodo bentonítico utilizado en pozos para agua, es de 36 segundos o 36 grados. El embudo de marsh tiene un diámetro superior de 6" y un orificio de salida de 3/16" con una capacidad de ¼ de galón ( 916 ml), por lo que el tiempo que debe tardar en pasar un cuarto de galón de lodo bentonítico por el embudo de marsh debe ser de 36 segundos.

Como ejemplo práctico, un cuarto de galón de agua limpia tarda en pasar 28 segundos por el mismo embudo; ahora bien, en la práctica se utilizan entre 600 y 620 kg de bentonita por cada 10 m<sup>3</sup> de agua para obtener un lodo con una viscosidad similar a los 36 grados. El contenido de bentonita por cada 10 m<sup>3</sup> puede variar dependiendo de la calidad de la arcilla y también de la calidad del agua que se utiliza.

La propiedad fundamental del lodo bentonítico es su viscosidad pero también tiene la propiedad de que no fragua, es decir, si llegase a secarse, puede volver a su estado inicial por medio de rehidratación y movimiento, por lo que al construir pozos con bentonita, ésta puede ser recuperada de toda la pared por medio de agitación, de lo contrario, si se utiliza otro lodo que al secar fragua, no es posible rehidratarlo por lo que quitarlo de las paredes sería imposible y esto pudiera ocasionar el taponamiento de áreas de posibles acuíferos, por lo que para la elaboración del lodo de perforación, se debe utilizar **bentonita sódica**.



Dentro de los yacimientos de bentonita mexicanos, asociada a la bentonita sódica siempre existe bentonita cálcica, pero esta última no debe ser utilizada para fines de perforación de pozos para agua ya que tiene cierto grado de fraguado. El color es un referente para diferenciar las diferentes bentonitas; la sódica es color tendiente al rosado y la cálcica tiende al blanco.

En México, en la localidad de Pedriceñas, estado de Durango, existen excelentes yacimientos de bentonita sódica; según la Dirección de Minería del estado de Durango, el estado produce el 67% de la bentonita que se consume en México, seguido por Coahuila con el 23%; a la bentonita sódica también se le conoce comercialmente con el nombre de bentonita para perforación o perfobent. La presentación de la bentonita es en sacos de 45 kg y totalmente molida al grado que parece talco.

Para hacer una buena mezcla de la bentonita y el agua, se debe utilizar la bomba de lodos del equipo de perforación y hacer pasar el flujo de agua limpia debajo de un cono donde se coloca la bentonita, esto provoca el efecto de Venturi que hace la mezcla por la presión ejercida en el tubo. Siempre se debe tener el embudo de *marsh* para medir la viscosidad ideal.

Si la mezcla hecha es más viscosa de lo deseado, la bomba de lodos trabajará a más presión, pero con menos volumen; la limpieza y lubricación de la broca sería inadecuada por la falta de agua y a grandes profundidades existe la posibilidad de que el lodo de perforación no regrese a la superficie por la densidad provocada al excederse de bentonita ya que tiene un peso específico de 2.5. Como dato adicional se tiene que el cemento tiene un peso específico de 3.15.

Al contrario, si la mezcla hecha es menos viscosa de lo deseado, se corre el riesgo que, por falta de viscosidad, el fluido no pueda levantar el recorte que barrena produce al romper la roca, lo que puede provocar el atrapamiento de la sarta de perforación.

El volumen de lodo bentonítico a preparar es igual a la capacidad de ambas fosas de lodos. Mientras va avanzando la perforación, el volumen de roca desplazada del subsuelo, es reemplazado por el lodo de perforación, así que hay que ir recuperando, dentro de las fosas de lodos, el volumen que se va quedando dentro del pozo. Este reabastecimiento de lodo de perforación se debe realizar cada vez que se limpian las fosas de lodos.

En sí, el lodo bentonítico utilizado para la perforación de pozos para agua es inerte, es decir, no contamina ni produce malos olores. Los desechos de recorte con lodo bentonítico, producto de la perforación, pueden ser depositados en tiraderos municipales o lugares donde reciban escombros. Si en el lugar donde se lleva a cabo la perforación no hay un sitio de confinamiento, es posible extender por el terreno el recorte, y formará

una capa como parte del suelo una vez que se deshidrate. En la industria petrolera, en la perforación de pozos, el lodo utilizado por lo general se contamina de hidrocarburos, es necesario confinarlo en lugares especiales para tal fin. Este lodo si es contaminante del medio ambiente.

## **2.2.- Selección de la barrena adecuada**

En México, para la perforación de pozos para agua con equipo rotario, se utiliza la barrena tricónica. Esta herramienta tiene un cuerpo de fierro fundido con tres conos de acero unidos por medio de baleros sellados.

Este tipo de barrenas, patentadas por el estadounidense Howard Hughes (padre), a principios del siglo pasado, evolucionó el proceso de la perforación rotaria, ya que da más rapidez al corte de las rocas y alcanza mayor profundidad.

En la actualidad, basados en el modelo inicial de Hughes, se tienen 2 tipos de barrenas tricónicas:

- a) Barrenas de dientes de acero.
- b) Barrenas de insertos de carburo de tungsteno.

Las barrenas de dientes de acero, se utilizan para rocas que en perforación se les conocen como “suaves” o “blandas”; por el contrario, las barrenas de insertos de carburo de tungsteno (TCI por sus siglas en inglés), son utilizadas para cortar las rocas “duras” o “Semiduras”.

A diferencia de la escala de dureza de Mohs, donde se mide la dureza de los minerales, en cuestión de perforación de pozos, todos los organismos abastecedores de agua municipales, estatales o federales, agrupan a las rocas según su dureza, así se tienen rocas material I, rocas material II y rocas material III, en donde el material I es el más “suave” y el material III es el más “duro”.

Este tipo de clasificación es valiosa para determinar el tipo de barrena a seleccionar para la perforación de pozos, debido a que el geólogo está capacitado para clasificar a las rocas que se encuentran en el subsuelo, y al compararlas con las clasificaciones de dureza de rocas generalmente utilizadas, puede escoger la barrena a emplearse.

A continuación la clasificación utilizada por la Comisión Estatal de Agua del estado de Querétaro, (Anexo I: “Especificaciones particulares” para la perforación de pozos para agua, en todas las licitaciones).

Clasificación general de las formaciones geológicas para formular estimaciones de trabajo de perforación de pozos.

MATERIAL TIPO I	MATERIAL TIPO II	MATERIAL TIPO III
Arcilla	Areniscas	Rocas ígneas extrusivas sanas
Arenas y Gravas	Conglomerados y brechas	Rocas ígneas intrusivas sanas
Limos	Lutitas	Cuarcitas
Tobas redepositadas	Pizarras	Cantos y boleos inestables
Depósitos lacustres	Calizas y dolomitas	Aglomerados volcánicos
Pómez, Lapilli	Rocas ígneas fracturadas	
Cenizas volcánicas.	Rocas metamórficas	
Rocas volcánicas alteradas	Tobas no depositadas	
	Tezontle	

Así que para las rocas de material I se debe utilizar una barrena de dientes de acero y para las rocas de materiales II y III, deberá utilizarse una barrena TCI.

Si se intenta cortar una roca material III con una barrena para material I, el resultado será no avanzar un solo metro y la destrucción total de la barrena en cuestión de horas, con el riesgo de dejar alguna pieza de la barrena en el fondo del pozo.

Si se intenta cortar una roca material I con una barrena TCI, el resultado será un pobre avance porque los insertos de carburo de tungsteno no podrán triturar la roca por lo suave. En este caso no hay destrucción de la barrena pero el avance sería muy lento.

En ambos tipos de barrenas, existen diámetros desde los 5 ½” hasta los 24” de Ø. Por lo que la selección del diámetro se hace con base en el tamaño del orificio con el que se quiera explorar. Comúnmente en México se utiliza la barrena de 12 ¼” como diámetro de perforación de exploración.

### 2.3.- Perforación exploratoria

El inicio de la perforación de un pozo para agua, se le llama perforación exploratoria, debido a que se van a conocer todos los estratos de las diferentes rocas que cortará la barrena en su avance hasta su objetivo de profundidad. Esta etapa de la perforación requiere la presencia del ingeniero geólogo constantemente, es la etapa donde se toman las más importantes decisiones en la perforación del pozo para garantizar un buen resultado.

La perforación con equipo rotario se hace girando por medio de la mesa rotaria, una barra llamada “barra *Kelly*” o flecha. Al *Kelly* se conecta la tubería de perforación conforme se avance en la profundidad.

En los equipos rotarios para la perforación de pozos para agua, la tubería de perforación más utilizada es de 4 ½” Ø, y el largo varía desde 7 m hasta 9.5 m., esta tubería tiene un peso de 40 kg por metro y está elaborada de un acero especial altamente flexible y resistente al torque. La tubería de perforación es exclusivamente para darle distancia a la sarta de perforación.

Por norma, toda la sarta de perforación y su herramienta deberá ser desinfectada antes de iniciar la perforación exploratoria; previa a la desinfección, la tubería y herramienta deberán ser lavadas y quedar libres de grasas. La desinfección de la sarta de perforación se realiza por medio de una solución de agua con ácido clorhídrico al 10%.

La penetración de la barrena al rompimiento de la roca se hace por medio del peso que tiene la barrena encima de ella. Este peso está regulado por una o varias barras de acero grueso llamadas *drill collers* (driles) o lastra barrenas en español. Los driles son de 6 u 8 pulgadas de diámetro y tienen un peso de 200 kg y 300 kg por metro, respectivamente, con la misma longitud que los tramos de tubería de perforación.

La velocidad de penetración está de acuerdo al tipo de roca, tipo de barrena, revoluciones por minuto de rotación de la mesa rotaria y el peso de la sarta de perforación así como la presión de la bomba de lodos.

En una formación suave, se puede incrementar la velocidad de rotación, con lo que se logra un mejor avance en el corte de la roca. Un dato importante es que a mayor velocidad de penetración en la perforación, mayor deberá ser la velocidad del flujo de la bomba de lodos. Cuando la perforación exploratoria lleva menos de 150 m de profundidad es recomendable, si así se requiere, incrementar la velocidad de rotación. Como la tubería de perforación es flexible, a profundidades mayores de los 300 m ocurre el efecto de elongación o estiramiento del acero, este estado elástico puede pasar a un estado plástico en cuestión de segundos al atraparse la barrena y la tubería sigue girando a gran velocidad. Este imprevisto puede provocar rompimiento de la tubería debido a la falla por torque. A más profundidad la mesa deberá girar más lentamente y para lograr avances en la perforación es necesario incrementar el peso de la sarta por medio de los driles. Como ya se ha dicho, todo equipo rotario cuenta con malacate para levantar y bajar la sarta de perforación. Todo malacate tiene una capacidad de carga, por lo que es recomendable que todo el peso de la sarta de perforación no exceda el 50% de la capacidad de carga del malacate en un momento dado; si por algún problema se tiene que levantar la sarta y tiene esquirlas que la detienen, al exceder el 50% de la capacidad, el malacate probablemente no podrá extraer la sarta, lo que genera grandes problemas. Es importante, medir y pesar cada uno de los componentes y tramos de tubería que van conformando e incrementando la sarta de perforación para así tener el control de avance y peso en el proceso de perforación.

En la perforación de pozos, la bomba de lodos inyecta el lodo bentonítico por medio de la manguera viajera que va desde la bomba hasta el *swivel* (unión giratoria), el *swivel* está conectado, en su parte inferior al *Kelly*, y por la parte superior al block o polea viajera, que es la que soporta toda la carga de la sarta de perforación. La polea viajera está soportada por los cables que mueve el malacate.

Para dar seguimiento a la exploración conforme avanza la perforación del pozo, es necesario sacar muestras del canal de lodos; dependiendo de las costumbres, las muestras de canal pueden ser obtenidas cada metro o dos de perforación ya que la norma oficial mexicana NOM-003-CNA-1996, para la construcción de pozos para agua evitando contaminación de acuíferos, no indica el tipo ni la periodicidad del muestreo, pero si exige un registro litológico.

Para tener un buen registro litológico de la columna que se va cortando, es bueno tener muestras de canal cada metro de perforación. Hay que tener cuidado en obtener 3 muestras equivalentes a 500 cm<sup>3</sup> cada una. Un buen lugar para obtener las muestras de canal es el registro construido en el primer codo del canal de lodos (ver capítulo 1.3 de este manual). Si se mantiene constantemente limpio este registro, se obtendrán muestras confiables.

Es importante clasificar a las muestras y determinar con exactitud el tipo de roca que se ha cortado ya que esta columna litológica será comparada con el registro eléctrico que se realizará al término de la perforación exploratoria, una de las tres muestras tomadas cada metro, deberá permanecer en el sitio de la perforación para consulta cuando se requiera.

En la perforación exploratoria es importante llevar el registro de los principales factores de la actividad diaria, como son: peso de la sarta, tiempos de penetración y la adición o pérdida de lodos de perforación. La etapa de perforación de exploración se da por concluida parcialmente cuando se llega a la profundidad proyectada.

#### **2.4.- Ampliación para la colocación del contra-ademe**

Según la norma oficial mexicana NOM-003-CNA-1996, el contraademe es la tubería que se coloca en los primeros metros de la perforación del pozo, para evitar la filtración de agua superficial o agua contaminada contenida en el subsuelo, hacia el interior del pozo. La instalación de la tubería de contraademe es obligatoria en la perforación de pozos para agua.

El diámetro del contraademe es 2 pulgadas mayor al diámetro de ampliación propuesto en el proyecto de perforación de pozo y su longitud según la norma NOM-003-CNA-1996, no deberá ser menor de 6 m y el espacio anular entre el la tubería de contraademe

y la ampliación para el contraademe, debe quedar sellada con lechada de cemento normal. La tubería de contraademe debe salir por lo menos 20 cm por encima del suelo.

En la práctica y para el buen desarrollo de la perforación de exploración, la colocación de un contraademe ayuda a controlar y prevenir caídos de pedazos de roca que se encuentran inmediatamente debajo del suelo. Estas rocas por lo general están intemperizadas y en algunos casos están en el proceso de ser parte del suelo. Además la colocación del contraademe impide la erosión del suelo por el paso del fluido de perforación, y se evita que el brocal del pozo aumente su diámetro lo que, en algunos casos, pone en peligro la estabilidad del equipo de perforación.

La perforación de ampliación para el contraademe, es recomendable iniciarla inmediatamente después de llegar a los 20 m de profundidad de perforación exploratoria para evitar los contratiempos arriba mencionados.

El diámetro del ampliador deberá ser 4 pulgadas más largo que el diámetro de la tubería de contraademe que se tiene proyectado instalar. La profundidad de la ampliación para el contraademe la debe determinar el geólogo de acuerdo a la calidad de las rocas más someras. La profundidad deberá ser la que asegure que no habrá caídos al interior del pozo, sin pasar por alto que, por norma, en ningún caso la profundidad del contraademe debe ser menor de 6 m. Una vez instalado y sellado el contraademe, se puede continuar con la perforación de exploración hasta la profundidad de proyecto.

### **3.- Registro Eléctrico**

#### **3.1.- Adelgazamiento de lodo de perforación**

Una vez concluida parcialmente la fase de la perforación de exploración al llegar a la profundidad proyectada, se solicita el servicio para correr el registro eléctrico del pozo.

Estos registros se desarrollan por medio de equipo portátil que llega hasta el brocal del pozo. Estos equipos cuentan con su fuente de energía autónoma y de fácil operación.

Como la sonda es ligera, al igual que el cable del malacate que lo soporta, es necesario adelgazar el lodo de perforación que se encuentra dentro del pozo, para evitar que la sonda flote y que ésta baje sin contratiempos.

El adelgazamiento del lodo consiste en inyectar al pozo, por medio de la bomba de lodos, agua limpia en un volumen igual al 30% del volumen teórico del cilindro hecho por la perforación de exploración.

El bombeo se debe realizar a baja velocidad desde el fondo del pozo con tubería franca, es decir, sin barrena y sin drill collers. Es recomendable inyectar no más del 30% del volumen teórico, para no debilitar las paredes del pozo.

Esta acción se hace con tubería franca debido a que si se presentan caídos por el adelgazamiento del lodo, sea menos factible el atrapamiento de la tubería de perforación. Una vez realizado el adelgazamiento del lodo, se retira la tubería para dejar libre el agujero y dar paso a la sonda del registro eléctrico.

### **3.2.- Registro eléctrico.**

En geofísica, un registro es la representación gráfica de una o varias características de las diferentes rocas o formaciones atravesadas por un pozo en función a su profundidad.

Un registro eléctrico para un pozo de agua, es la medición de las propiedades físicas de las rocas por medio de estímulos eléctricos conocidos. La medición se hace por medio de sensores instalados en una sonda al igual que los estímulos.

El registro eléctrico arroja como resultado, la medición del potencial natural, la resistividad y la respuesta natural de rayos gamma de cada una de las diferentes rocas que ha cortado la perforación de exploración.

Para que la medición sea confiable, debe haber un medio comunicante entre la sonda y la pared de pozo, que en este caso es el lodo de perforación. Así que si no hay lodo en el pozo, no se puede correr el registro.

En forma de resumen, lo que debe obtener el registro eléctrico realizado en el pozo, son las formaciones con saturación de agua (acuíferos) y el espesor de éstas, ya que por un lado se tienen muestras de canal de toda la columna litológica perforada y por el otro, con el registro eléctrico, se tienen las propiedades físicas de la misma columna.

Los registros de resistividad miden la diferencia de potencial causada por el paso de la corriente eléctrica a través de las rocas. Consiste en enviar corrientes a la formación a través de unos electrodos y medir los potenciales en otros. Entonces la resistividad de la roca puede determinarse ya que es proporcional a la diferencia de potencial.

La resistividad mostrada en las gráficas del registro son 2 curvas principalmente, llamadas normal corta y normal larga; esta resistividad se mide en ohm/m, y tienen como finalidad ver el contraste entre la resistividad de la pared del pozo que está contaminada con el fluido de perforación y la resistividad de la roca que está detrás de esa pared contaminada.

Si se considera que la resistividad de una formación pura saturada con agua es proporcional a la resistividad del agua con la que se encuentra saturada, se puede decir que a menor resistividad mayor la posibilidad de saturación de agua. Existen formaciones fracturadas y sus fracturas están rellenas de arcillas, así que darán información de saturación, pero no de agua exactamente, el registro indica que la respuesta eléctrica de esa formación es baja resistividad. ¿Pero cómo saber si es agua o arcilla?

Para resolver esta duda se analiza la respuesta a los rayos gamma natural, donde se mide el potasio y uranio que pueden tener las formaciones, que por lo general se encuentran en las arcillas, si fuera el caso que exista baja resistividad y se interprete la presencia de agua, esa interpretación deberá ser eliminada cuando haya alta respuesta de rayos gamma natural.

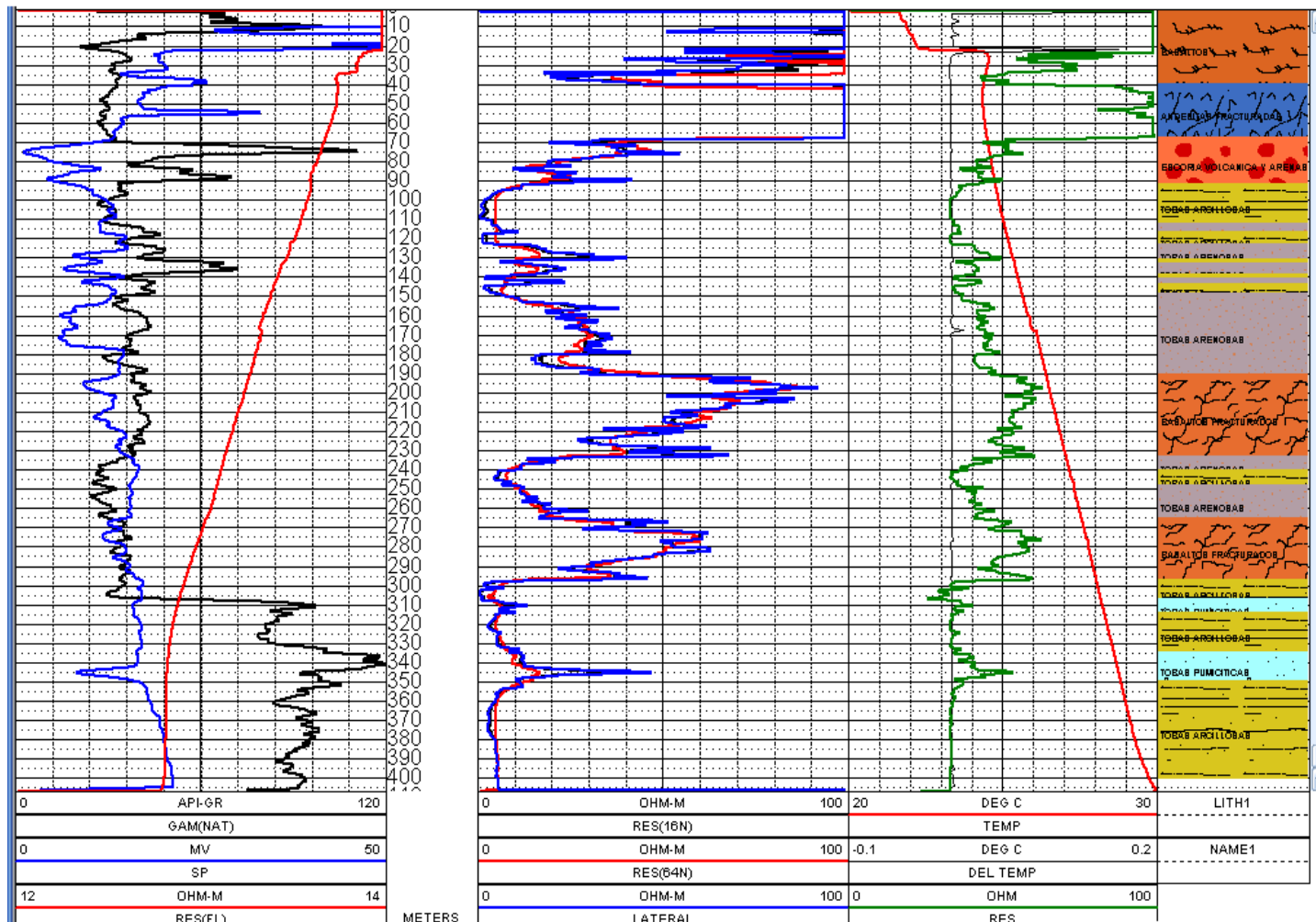
Además de estas dos curvas (resistividad y rayos gamma), se tiene la curva de potencial natural (SP), que aunque no hay una relación directa entre la magnitud de la deflexión del SP y la permeabilidad de una formación, en general, una deflexión negativa (hacia la izquierda) del SP, indica una zona permeable. Siempre con la consideración de que las deflexiones del SP son reducidas por la presencia de arcillas. Las deflexiones del SP son bien definidas en formaciones de baja resistividad (arenas) y son graduales en formaciones altamente resistivas.

Las gráficas del registro eléctrico, comparadas con la columna litológica que se tienen de las muestras de canal, dan una información importante para determinar si en la perforación exploratoria se han cortado rocas o formaciones capaces de ser acuíferos con permeabilidad suficiente para ser explotados.

Este es el punto decisivo en la perforación de pozos para agua, precisamente aquí, el ingeniero geólogo, debe determinar si se continúa con la perforación de exploración porque no se encontraron suficientes vestigios de acuíferos o se sigue con el proyecto original y se da inicio inmediatamente a la perforación de ampliación ya que la información con la que se cuenta es suficiente para llevar la obra a un plano positivo en cuestión de alumbramiento de aguas subterráneas.

A continuación (gráfica 1), la gráfica del registro eléctrico realizado al pozo “El Rosario”, poblado del mismo nombre, Mpio. de Huimilpan, Qro. El 8 de agosto del 2010. Pozo perforado en la etapa de exploración en 12 ¼” Ø a 405 m de profundidad. Se pueden observar las diferentes curvas iniciando con gamma natural, potencial espontaneo (sp), resistividad del lodo de perforación, normal corta (16N), normal larga (64N), registro lateral y líneas de temperatura. En el extremo derecho se observa la descripción litológica de toda la columna perforada.





Gráfica 1

#### 4.-Perforación de ampliación.

##### 4.1.- Selección del ampliador adecuado

Al ser estudiados el registro eléctrico y la litología de toda la columna perforada y tomada la decisión de seguir con la obra conforme al proyecto, es necesario pasar a la fase de terminación de la obra, la cual inicia con la perforación de ampliación.

A diferencia de la etapa de exploración, al inicio de la etapa de perforación de ampliación ya se conocen todas las rocas y sus profundidades reales; se conocen los

pormenores de los problemas que se presentaron en la etapa de exploración, así que elegir la herramienta adecuada no es mayor problema.

La herramienta para la etapa de la perforación de ampliación se llama **ampliador**. De acuerdo al diámetro de ampliación, este ampliador bien puede ser una barrena tricónica del diámetro igual al que marca el proyecto o en su defecto puede ser un ampliador hecho en obra para tal fin.

Para tomar la decisión que tipo de ampliador utilizar, se debe considerar que en México es difícil conseguir barrenas de más de 17 ½”Ø y si el material es duro, se requiere una barrena TCI, lo cual la hace aún más escasa. La ventaja que se tiene al utilizar una barrena del diámetro de la perforación de ampliación, es que no se corren riesgos de que alguna pieza se desprenda ya que no tiene partes soldadas.

El ampliador hecho en obra, es una herramienta donde se van soldando varios roles de barrenas de 8 o 12 pulgadas de diámetro, alrededor de un tubo roscado para ser acoplado a la sarta de perforación, llevando en la punta una barrena soldada que sirve de guía, esta barrena es del mismo diámetro de la que se utilizó en la exploración y lleva el nombre de barrena piloto.

Este tipo de ampliador es mucho más barato que una barrena del mismo diámetro pero tiene varios inconvenientes:

- a) Al tratarse de piezas soldadas unas a otras, es necesario tener a soldador calificado que sea quien construya la herramienta, para que la herramienta quede firme y alineada.
- b) Esta herramienta se construye con base en varios roles de barrenas de menor diámetro. Estos roles son previamente cortados en forma de gajos para ser utilizados en la elaboración del ampliador, así que como el corte se hace con equipo de oxi-corte, la temperatura generada en los roles es demasiado alta, lo que provoca que el balero que forma parte del rol, se le funda la grasa que tiene, lo que a la postre provocará un desgaste prematuro del rol y en consecuencia de todo el ampliador.
- c) Armar un ampliador requiere mínimo 24 horas de trabajo continuo.

Para ambos tipo de ampliadores, se debe considerar el tipo de barrenas adecuadas para el material que se cortará. Este principio es el mismo utilizado para la selección de la barrena en la etapa de exploración.

## 4.2.- Perforación de ampliación.

La perforación de ampliación es en general un poco más lenta que la perforación de exploración. Aunque ya se conocen los materiales a cortar, el hecho de abrir aún más el agujero, hace que se requiera más torque por parte de la mesa rotaria y esto va en relación a la velocidad de rotación, relación directa a la transmisión de la mesa rotaria. Se obtiene mayor torque a velocidades de rotación más bajas.

Al bajar las revoluciones por minuto de la mesa rotaria, se baja la velocidad de penetración por corte en la roca. Esto también es bueno, porque se tiene un mejor control sobre la verticalidad del pozo.

En la etapa de ampliación puede suceder que mucho del material que se corta en este proceso, no salga por medio del espacio anular hacia la superficie, sino que se vaya acumulando dentro del espacio generado por la perforación de exploración, llega un momento que se pega ese recorte dentro del pozo y dificulta el proceso de ampliación. A esta acumulación de recorte dentro del pozo de exploración se le conoce como **“tapón”**.

Cuando se llega al tapón, es necesario sacar toda la sarta de perforación, desacoplar el ampliador y en su lugar, instalar la barrena de exploración utilizada anteriormente. Se vuelve a insertar la sarta hasta donde se encuentra el tapón y se reinicia la perforación hasta el fondo del pozo explorado. Este proceso se debe realizar cada vez que se encuentre un tapón cuando se amplía el pozo.

Una vez limpio todo el pozo, de nueva cuenta se debe sacar toda la sarta de perforación para volver a instalar el ampliador y continuar con la perforación de ampliación.

Todo el proceso de limpiar tapones, se debe realizar cuantas veces sea necesario. La experiencia dice que seguir ampliando con un tapón en el fondo, es perder mucho tiempo y dinero, además de que se corren riesgos innecesarios.

Cuando se llega con la ampliación a la profundidad igual que la perforación de exploración, se da por concluida la etapa de la ampliación pero no hay que sacar inmediatamente la sarta de perforación; es recomendable seguir bombeando lodo desde el fondo del pozo con la mesa rotaria a muy bajas revoluciones y dejar que el lodo bombeado saque todo el recorte que aún queda dentro del espacio anular. A esta operación de bombeo se le llama **“limpiar el pozo”** y según la profundidad del pozo, es recomendable limpiar 2 horas por cada 150 m perforados. Así que si un pozo tiene 300 m de profundidad, la limpieza debe durar por lo menos 4 horas. Una vez terminada la limpieza del pozo, se procede a sacar toda la sarta de perforación y se inicia la preparación para la instalación de la tubería de ademe.

## **5.- Instalación de tubería de ademe**

### **5.1.- Calibración del pozo con la tubería de ademe**

La instalación de la tubería de ademe es la cereza del pastel, es el equivalente en la construcción de una casa habitación, a instalar puertas, ventanas y closets para que pueda ser habitada. En este caso, para hacer uso seguro de un pozo para agua, es necesario que éste cuente con tubería de ademe.

La actividad de instalación de la tubería de ademe inicia con la calibración del pozo y termina con el lavado y pistoneo del mismo, por lo que antes de iniciar estos trabajos, se debe contar con todo el material y equipo, puesto en la obra.

La tubería de ademe o tubería de revestimiento del pozo, es el tubo que se instala para evitar derrumbes de la pared del pozo o el colapso total del pozo. Esta tubería puede ser de acero al carbón, acero inoxidable o PVC (policloruro de vinilo). La tubería de ademe para pozos de agua, se divide de dos tipos: tubería lisa y tubería ranurada.

La tubería lisa o ciega, es la tubería que todos conocen: un tubo completo de un diámetro determinado, sin oberturas ni oquedades que impidan la entrada o salida de fluidos en la tubería.

La tubería ranurada es aquella que tiene aberturas o ranuras hechas *ex profeso* que permiten la entrada del agua subterránea desde la pared del pozo hacia la tubería (infiltración). En el mercado nacional existen tuberías ranuradas con diferentes tipos de aberturas, todas tienen diferentes áreas de filtración. La selección del tipo de abertura, depende del tipo de roca que forma el acuífero y la cantidad de arena presente en el mismo.

El calibre o espesor de la tubería debe ser de acuerdo a las características del diámetro y profundidad total del ademe. Para la tubería de acero, el calibre de  $\frac{1}{4}$  de pulgada es el más común hasta 300 m de profundidad.

El ademe de PVC es utilizado en pozos de menos de 100 m de profundidad y donde la calidad del agua puede afectar al acero; este caso se ve en pozos costeros y pozos en minas. El ademe de PVC tiene la desventaja que es difícil encontrarlo en diámetros mayores a 10 pulgadas.

En México, en más del 90 % de los pozos para agua, se utiliza ademe de acero al carbón, después el PVC y contadas veces, el ademe de acero inoxidable.

Aunque al utilizar equipo rotario para la perforación de pozos la verticalidad del pozo difícilmente se ve afectada, antes de instalar la tubería de ademe debe hacerse la calibración del pozo con parte de esta misma tubería para garantizar la buena colocación del ademe. Este tramo de tubería se lo conoce como **calibrador**.

El método Halliburton de calibración, consiste en bajar el calibrador hasta la profundidad total del pozo. El largo del calibrador debe ser el resultado de la relación de 18.00 m de tubería por cada 100 m de perforación. Si un pozo tiene una profundidad perforada de 300 m, el largo del calibrador deberá ser 3 veces 18.00 m, es decir, introducir un tramo de tubería de ademe de 54.00 m de largo hasta el fondo del pozo.

Si el calibrador baja sin problemas de roces o atrapamiento hasta el fondo del pozo, se puede considerar la prueba positiva y se estará en condiciones de garantizar el ademado del pozo al 100 %. El método Halliburton es por mucho, el más efectivo para la calibración de pozos para agua.

## **5.2.- Instalación de la tubería de ademe**

Una vez terminada la prueba de calibración, y antes de iniciar la instalación de la tubería de ademe de acuerdo al proyecto o a las instrucciones de instalación específicas de cada pozo, es necesario tener habilitada y preparada el 100% de la tubería a instalarse. Parte de la habilitación de la tubería, es instalarle centradores a cada 50 m de profundidad; estos centradores son 3 tramos de solera soldados alrededor de tubo, los cuales deben de dar un diámetro exterior similar a 2 pulgadas menos que el diámetro de ampliación nominal. Con estos centradores se garantiza que el espacio anular quede libre en todo lo largo del pozo y así se facilitará la instalación del filtro de grava.

Para los trabajos de instalación de la tubería de ademe, es importante considerar que esta actividad se debe realizar desde su inicio hasta su término, ininterrumpidamente, su ejecución es continua, independientemente del número de horas requeridas, por lo que es importante tener todos los insumos en cantidad y calidad requeridos, el personal suficiente para no interrumpir los trabajos; el equipo de soldadura y oxicorte deberán contar con equipo auxiliares, en caso de fallo de alguno de ellos.

El proceso de instalación se hace sin interrupciones ya que desde el inicio de la prueba de calibración y la instalación del ademe, se van a consumir varias jornadas sin bombeo de lodo de perforación, lo que puede provocar pequeños derrumbes y caídos dentro del pozo; así que mientras menos tiempo se consuma para la calibración e instalación de la tubería de ademe, menos riesgos se correrán de derrumbes dentro del pozo.

En la instalación de cada tramo de tubería de ademe, se debe asegurar su verticalidad por medio de niveles de burbuja. La unión entre cada tramo de tubería de acero, debe

hacerse soldando la unión con doble cordón de soldadura en todo el perímetro de la unión. Se debe bajar lentamente cada tramo soldado.

Mientras baja la tubería tramo por tramo, el peso aumenta directamente con el número de metros introducidos, lo que hace que los últimos metros se deban de introducir con mucho más cuidado. Al llegar la tubería al fondo del pozo, se suelta para que se hincque con su propio peso. Gracias a los centradores instalados previamente en la tubería de ademe, la tubería queda centrada y con buena verticalidad.

La verticalidad y alineación de todos los pozos de agua deben permitir la instalación exitosa y la operación a largo plazo del equipo de bombeo que se instale en el pozo.

En cuanto a equipos de bombeo de flecha con motor superficial de turbina vertical, la desviación horizontal máxima permitida (desplazamiento) del pozo con respecto a la vertical no debe exceder dos terceras partes del diámetro del ademe por cada 30.5 m (100 pies) de profundidad. Los pozos equipados con bombas sumergibles, no requieren una verticalidad y alineación tan precisas. En general, las bombas sin eje vertical operarán satisfactoriamente si se pueden instalar libremente en el pozo.

### **5.3.- Adelgazamiento del lodo de perforación**

Al llegar la tubería de ademe al fondo, inmediatamente se debe introducir la tubería de perforación dentro de esa tubería. Esta tubería deberá ser franca (sin broca ni drilles) porque antes de introducir el filtro de grava o empaque de grava, se debe reacondicionar el fluido de perforación que se encuentra dentro del pozo.

A menos que se necesiten propiedades diferentes para proteger el pozo por la presencia constante de caídos, el fluido de perforación deberá ser adelgazado por medio del bombeo de agua limpia dentro de la tubería de perforación hasta que tenga las siguientes propiedades:

- 1) Peso máximo de  $1\ 083\ \text{kg/m}^3$  ( $68\ \text{lb/pie}^3$ )
- 2) Viscosidad máxima de 30 s con la prueba del embudo de Marsh y
- 3) Contenido de arena máximo de 1 % del total del volumen.

El bombeo del agua limpia debe ser constante pero despacio para evitar posibles derrumbes en la pared del pozo. Una vez que se tengan las nuevas propiedades del lodo bentonítico dentro del pozo, se puede proceder a la colocación del filtro de grava.

#### **5.4.- Colocación del filtro de grava.**

La grava se debe colocar de manera tal que se asegure la continuidad del empaque de grava sin puentes, vacíos o segregaciones. La tubería de perforación franca, se mantiene en el fondo del pozo.

En pozos para agua, la grava debe ser de cantos redondeados naturalmente, cribada y seleccionada. El diámetro de la grava para filtro más utilizada en los pozos para agua es la que pasa por la criba de 1/2 de pulgada y se detiene en la criba de 1/4 de pulgada. Esto garantiza un buen empaque de la grava y un buen filtro natural.

No debe utilizarse grava triturada como la que se utiliza como agregados del concreto, ya que no se asentará de manera correcta, no garantizando un buen empaque y por ende, crea un filtro de malas condiciones.

El volumen de suministro de grava debe ser el diferencial del volumen del cilindro teórico de la perforación de ampliación contra el volumen del cilindro de la tubería de ademe más un 10% para garantizar el empacamiento del filtro.

La grava se debe instalar en el espacio anular dejado entre la tubería de ademe y la perforación de ampliación. Al estar colocando la grava dentro del pozo, se debe inyectar agua limpia para que lubrique las paredes del pozo y ayude a la grava a bajar de forma adecuada y evitar puentes y atascamientos.

Al igual que la instalación de la tubería de ademe, la colocación de la grava para filtro, debe ser una actividad que se realiza en una sola operación y debe quedar colocada hasta el brocal del pozo.

#### **5.5.- Lavado y pistoneo del pozo**

Con el filtro de grava instalado y la tubería de perforación franca instalada en fondo del pozo, se inicia el lavado del pozo con agua limpia.

Se le inyecta desde el fondo del pozo, la cantidad de agua necesaria hasta que el lodo de perforación pierda toda su viscosidad. No necesariamente va a cambiar o perder el color que la bentonita le otorgó, pero deberá tener la misma viscosidad que el agua limpia.

Una vez disminuida a cero la viscosidad del fluido de perforación, se inicia la inyección del dispersor de arcillas, mientras se va sacando la tubería de perforación.

El dispersor de arcillas, es un compuesto químico biodegradable que actúa en el ablandamiento de la bentonita que se queda en las paredes del pozo así como dentro del área filtrante de la grava y en las ranuras de la tubería ranurada.

La cantidad de dispersor de arcillas usada comúnmente, es de 2 l.p.s. por metro de tubería ranurada. Y se inyecta mientras se va sacando la tubería de perforación. Es innecesario inyectar dispersor de arcillas dentro de la tubería lisa.

Una vez inyectado el dispersor de arcillas y desacoplada la tubería de perforación en la superficie, se deja sin operaciones el equipo durante 72 hrs para que el dispersor actúe contra la bentonita.

Durante este tiempo de receso, se prepara el pistón que ayudará a remover toda la arena y arcillas que se encuentran tanto en la pared del pozo como en la grava y en las ranuras de la tubería.

El pistón, es una herramienta ciega que se hace de anillos de hule centrados que tienen un diámetro igual a una pulgada menos que el diámetro del ademe.

Esta herramienta se acopla a la tubería de perforación y después de las 72 hrs de espera, se introduce despacio hasta el fondo del pozo. Una vez llegado a esa profundidad, se inicia la **maniobra de pistoneo**, la cual consiste en subir y bajar rápidamente a lo largo de todo el Kelly, la tubería de perforación, provocando en el recorrido una succión al subir y una compresión al bajar en la tubería ranurada, ayudando este proceso a que toda la arcilla y arena que se encuentra en las paredes de la tubería de ademe, en las paredes del pozo y en la grava, sean removidas y se introduzcan al pozo.

Este proceso se hace en toda la parte correspondiente a la tubería ranurada y se deben de realizar no menos de 20 recorridos por cada tramo de kelly. No tiene objeto realizar el pistoneo dentro de la tubería lisa.

Al término del pistoneo del pozo, se desacopla el pistón y se introduce de nueva cuenta hasta el fondo del pozo la tubería de perforación franca. Una vez en el fondo, se bombea agua limpia a **alta velocidad**, con el fin de remover toda la arcilla y arena que fue introducida al pozo por medio del pistoneo.

## **6.- Prueba de desarrollo y aforo del pozo**

### **6.1.- Instalación del equipo, desarrollo y prueba de aforo**

El desarrollo de un pozo es el conjunto de operaciones por medio de las cuales se logra el máximo de la porosidad y permeabilidad de las formaciones acuíferas que ha cortado



la perforación, desalojando de ellas los materiales granulares finos que llegasen a obstruir la porosidad de las formaciones y así mismo de lodos infiltrados en las formaciones acuíferas.

Para lograr este desarrollo, se utiliza una bomba, generalmente del tipo de turbina de pozo profundo accionada por cualquier fuente de energía externa, que habilite y proceda con el bombeo del pozo. El equipo de bombeo deberá ser lo suficientemente robusto para que pueda cumplir sobradamente con el bombeo del gasto hidráulico proyectado.

La bomba bien puede ser instalada con ayuda del malacate del equipo de perforación y ahorrarse el contratar una grúa. Misma ayuda puede ser para el desmantelamiento del equipo de bombeo.

Mientras se instala el equipo de bombeo, se le adicionará una tubería de plástico rígido de 1" Ø, acoplada a la columna de bombeo, la cual servirá para introducir la sonda eléctrica y cuya longitud será igual a la columna de bombeo. Esta sonda es la que medirá los abatimientos y recuperaciones de los diferentes niveles dinámicos que se presenten durante las pruebas de desarrollo y aforo del pozo.

El desarrollo del pozo se iniciará con gasto cercano a CERO y a medida que se vaya obteniendo agua limpia libre de sólidos en suspensión, se irá aumentando la magnitud del caudal bombeado, para lo cual se podrán dar incrementos de 100 (cien) en 100 (cien) revoluciones por minuto a la velocidad de la flecha de la bomba. En cada escalón de velocidad y caudal se permanecerá el tiempo necesario hasta que se obtenga agua limpia. De esta forma se procederá con incrementos periódicos de los caudales bombeados hasta llegar a un máximo igual al 50 (cincuenta) por ciento mayores que el caudal del proyecto y el que será compatible con la capacidad de los acuíferos explotables y las características constructivas y funcionales del pozo, siempre con un régimen de flujo laminar.

El principio hidráulico en que se basa este tipo de pruebas de desarrollo con pocas revoluciones es precisamente evitar flujo turbulento en el aporte de agua hacia el interior del pozo. El flujo turbulento provoca que se muevan arcillas, arenas o gravas dentro de las formaciones y estos lleguen a tapar o bloquear el acceso del agua dentro del pozo. En mecánica de fluidos, la determinación si un flujo es laminar o turbulento está definido por el número de Reynolds ( Re ) :

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Dónde:

$\rho$ : densidad del fluido

$v_s$ : velocidad característica del fluido

$D$ : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

$\mu$ : viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} .$$

Tratándose de agua limpia y en medio homogéneo, el flujo es laminar si se tiene un **Re** menor o igual a 500. La obtención del número de Reynolds en la práctica es sumamente difícil, por lo que se ha optado por desarrollar el pozo al inicio con muy pocas revoluciones en el proceso de bombeo.

Durante la etapa de desarrollo deberán anotarse las profundidades del nivel del agua en el pozo, que se observan a intervalos de 30 minutos y cada cambio de revoluciones de bomba

Después de haber desarrollado el pozo, se suspenderá el bombeo y se esperará el tiempo necesario para que el nivel del agua se recupere hasta una profundidad equivalente al 80% del abatimiento total observado durante la etapa de desarrollo, o en su defecto, hasta un máximo de 24 horas; momento a partir del cual se da inicio de la prueba de productividad mejor conocida como prueba de **aforo**.

A partir del momento en que se dé por iniciado el aforo, se mantendrá el bombeo en un mismo escalón de caudal durante el lapso requerido para que el nivel dinámico se estabilice. Para considerar este nivel como estabilizado, es necesaria la observación de tres lecturas a intervalos iguales de 30 minutos, sin que se aprecien variaciones entre ellas. Una vez estabilizado el nivel dinámico, se procederá a incrementar el caudal de extracción al siguiente paso de revoluciones de la bomba, ejecutando la misma operación hasta lograr el nivel dinámico estabilizado y así sucesivamente hasta llegar al caudal máximo proyectado. En este momento se dará por terminado el aforo.

Los resultados que se vayan obteniendo durante la prueba de aforo, deberán consignarse en las formas aprobadas para tal fin, anotando las observaciones correspondientes a intervalos de 30 minutos.

Durante la etapa de aforo, por ningún motivo se puede suspender el bombeo. En caso de que esto último llegara a suceder, por cualquier causa, se deberá iniciar nuevamente la prueba.

## **6.2.- Desmantelamiento de equipo de perforación.**

Al término de la prueba de desarrollo y aforo del pozo, y una vez desmantelado el equipo de bombeo, se darán por concluidos los trabajos de perforación del pozo; se llena la bitácora levantada para tal fin, y se especifican todos y cada uno de los trabajos realizados así como sus alcances.

Se deberá desmantelar el equipo de perforación, cargando toda su herramienta y equipos auxiliares. Dejando al último la contracción de la torre de perforación.

Se procederá al relleno de las fosas de lodos utilizadas en el proceso de la perforación y se confinará, en recipientes cerrados, toda la tierra que haya sido contaminada con lubricantes y combustibles. Estos recipientes se llevarán al confinamiento que para tal fin tienen empresas especializadas.

El lugar de los trabajos, debe quedar completamente limpio, libre de basura y sin escombros. Todos los pedazos de fierro y partes de tubería sobrantes, deberán ser levantados y llevados al sitio que sea indicado. El sobrante de bentonita será reutilizada en otras perforaciones.

Antes de desalojar el lugar, en el brocal del pozo, se debe soldar una placa de acero para evitar accidentes posteriores a la retirada del equipo, así como sabotajes por personas que con un fin de curiosidad, introducen objetos que pueden quedar atrapados dentro de la tubería de ademe.

## **7.- Entrega de la Obra.**

Para la entrega de la obra, se elabora el escrito correspondiente, donde se indican las características de construcción finales de la obra. Se anexa un desglose de la columna litológica de todo el pozo, incluidas las muestras; el original del registro eléctrico; la gráfica original del resultado de la prueba de desarrollo y aforo así como una carta donde se especifique la calidad y la norma de los materiales empleados. Todos estos datos, le serán solicitados al usuario de la obra por parte de la Comisión Nacional del Agua, en el momento que se registre la obra para obtener el permiso de explotación. Requisito obligatorio para todos los pozos de agua.

En la actualidad, existen videos sumergibles que se pueden correr y formar parte de la entrega de la obra. En estos videos se pueden ver y medir la profundidad de cada uno de los diferentes ademes, el nivel estático, el tipo de ranura utilizada y llegar hasta la profundidad total, que debe ser la misma que la reportada durante la perforación del pozo.

## CAPITULO VII

### COSTOS DE LA PERFORACIÓN POR ETAPAS DE TRABAJO

#### Análisis de Precios Unitarios

Un buen presupuesto se elabora con base en el conocimiento de los trabajos a realizar, de descifrar la logística para el desarrollo de esos trabajos, de entender y conocer los equipos con los cuales se cuenta para lograr los objetivos. Todo lo anterior se pone a prueba en la elaboración de los precios unitarios que conforman el catálogo de conceptos. Como se verá a continuación, un precio unitario está formado por dos tipos de costos: **directos** e **indirectos**.

La parte del precio unitario directo, es lo que se ve, es el trabajo en sí, lo que al final se manifiesta; en perforación de pozos, es la máquina haciendo el agujero, el soldador uniendo la tubería, el equipo de bombeo aforando el pozo, etc., son los precios de los trabajos que se han detallado anteriormente. Lo contrario, son los precios indirectos es lo que no se ve; son los impuestos, son las prestaciones, son las rentas, son los mantenimientos, los desperdicios, los fletes, el financiamiento, etc. Son los costos indirectos los que hacen que una obra fracase por falta de liquidez o no se realice por ser excesivamente costosa.

Muchos ingenieros creen que lo importante del presupuesto en las obras son los costos directos, sin embargo, lo real está en el cálculo de los indirectos, en conocer la cuantificación de todos y cada uno de los indirectos en la obra, en la mano de obra, en la maquinaria y equipo, para que de esta forma, se tenga conocimiento pleno y real del costo de la obra de perforación de acuerdo a lo que el diseño marque, a lo que las leyes dictan en lo técnico, lo fiscal y lo referente a prestaciones laborales, incluyendo el financiamiento y la utilidad calculada, mas no asignada.

Para entender mejor la formulación de presupuestos con base en Precios Unitarios (PU), se verán en forma general los costos indirectos; a continuación se analizarán los costos directos y programación para que al final, todo lo mostrado se aplique en un proyecto real de perforación de pozos. Todo con el propósito fundamental de que los Ingenieros en Ciencias de la Tierra, que no llevan un curso de presupuestos de obras dentro de su formación académica, estén mucho más familiarizados con el costeo y formulación de presupuestos de las obras que probablemente más contacto tendrán en el desarrollo de su vida profesional: **la perforación de pozos**.

## **1. Introducción**

Se entiende por presupuesto de una obra o proyecto, la determinación previa de la cantidad en dinero necesaria para realizarla, a cuyo fin se tomó como base la experiencia adquirida en otras obras de índole semejante. La forma o el método para realizar esa determinación es diferente según sea el objeto que se persiga con ella. No cabe duda que la mejor forma para la integración del costo o presupuesto de una obra de perforación de un pozo para agua, es por medio de la integración de los precios unitarios del 100% de los trabajos y actividades que componen el catálogo de conceptos.

Antes era común para formar un precio unitario, el expresar en un porcentaje del costo en dinero de materiales, mano de obra y maquinaria, de tal modo que los precios precedentes de la estadística de una obra anterior se aumentaban o disminuían para adaptarlos al caso presente. Como ejemplo se tiene que si una obra costó el año pasado \$1000.00 este año puede costar los mismos \$1,000.00 más la inflación calculada por el Banco de México.

Cuando se trata de obras de la misma naturaleza, ejecutadas en circunstancias iguales, pueden obtenerse de la manera mencionada arriba, resultados bastante exactos. En el caso de la perforación de pozos, este criterio se puede utilizar siempre y cuando las características geológicas del subsuelo no presenten cambios significativos. Pero, en general, varían tanto las circunstancias de una perforación a otra, que, aunque se trate de trabajos de la misma naturaleza, no es recomendable aplicar a obras diferentes un mismo precio que esté expresado total o parcialmente en dinero, puesto que se llega a resultados inexactos y, a veces, completamente falsos y por ende, a una posible pérdida lo que implica la no terminación de la obra por falta de liquidez.

## **2. Costos**

La palabra costo tiene varios significados, en función de muchas circunstancias. El tipo de concepto de costo que debe aplicarse depende de la decisión que haya de tomarse en la empresa.

Considérese por un instante los diferentes tipos de factores productivos que utiliza una empresa para obtener el bien que fabrica. Algunos de estos factores los compra en el mercado cuando los necesita y los incorpora totalmente al producto. El costo de estos factores es simplemente el precio que se ha pagado por ellos en el mercado.

Otros factores, los factores en propiedad, como puede ser el edificio de la fábrica, el equipo de transporte o la maquinaria, la empresa los ha comprado hace mucho tiempo y son de una naturaleza tal, que su utilización dura varios periodos productivos. El costo que en su tiempo tuvieron estos factores no será, en general, el mismo que tendrán hoy.

Lo que es más, puede ser que a la vista de las condiciones económicas hoy existentes, la decisión de adquirir aquellos factores no se hubiera tomado, pues los fondos necesarios para adquirirlos podrían tener hoy más rentabilidad de otra forma.

En conclusión, el costo es el valor que representa el monto total de lo invertido: tiempo, dinero y esfuerzo para comprar o producir un bien o un servicio.

### **3. Características de los costos**

Para lograr un congruente y óptimo aprovechamiento en el análisis de precios unitarios (PU), es necesario desglosar el costo por sus integrantes los cuales se dan en el diagrama general de balance de una obra de perforación.

Importancia del costo indirecto

Es necesario hacer notar que el costo indirecto está considerado en dos partes:

1. El costo indirecto por administración central y,
2. El costo indirecto por administración de campo.

El costo indirecto, relacionado específicamente en las empresas perforadoras, es el costo adicional al costo directo; es la suma total de los gastos y beneficios que se agregan al costo directo, no contenido en éste, hasta integrar el precio total de venta.

Observando los conceptos que integran el costo directo, se concluye que se puede determinar el valor del mismo con la precisión que se desee y, en caso de omisión o error, ello sólo afecta al concepto en particular de que se trate.

**Sin embargo, una omisión u error en caso del costo indirecto afectará a todos los costos directos de los conceptos de un contrato.**

Cuando el costo indirecto se refiere a la administración de campo, cualquier error y omisión afectará únicamente a la obra en particular.

En cambio, cuando el costo indirecto se refiere a la administración central, el efecto cubrirá a todos los contratos de la empresa.

### **4. Costos indirectos de operación**

En la actualidad, se pueden considerar que la demanda de servicios, en una empresa perforadora, es cíclica, por lo que la organización debe contemplar la posibilidad de colapsarse, en otras palabras, crecer al crecer la demanda y disminuir cuando ésta

disminuye hasta un límite mínimo de eficiencia. Aquí se le llama la organización acordeón, el cual se puede disminuir sin problema pero no se puede estirar más de lo estructurado ya que puede romperse irremediablemente. Esto es lo que le ha pasado a las grandes empresas constructoras y perforadoras en México en los últimos 20 años.

### **Costo de la oficina central**

Para el análisis del costo de una organización central, independientemente de su estructura orgánica, sus gastos pueden agruparse en cinco principales rubros, que en forma enunciativa más no limitativa, pueden ser:

- a). Gastos administrativos y técnicos.
- b). Alquileres y depreciaciones.
- c). Obligaciones y seguros.
- d). Materiales de consumo.
- e). Capacitación y promoción.

### **5. Costos indirectos de obra**

Los costos indirectos se definen como la suma de todos los gastos que, por su naturaleza intrínseca, son aplicables a todos los conceptos de una obra en especial.

Los componentes de los costos indirectos de obra se dividen en dos: costos indirectos fijos y costos indirectos variables.

Los factores componentes que pueden aplicarse a una obra en forma no limitativa, en el cálculo de los costos indirectos fijos son:

- ✓ Superficie ocupada
- ✓ Repercusión en los impuestos
- ✓ Valor de piezas de refacción
- ✓ Costos de demoras
- ✓ Costos del tiempo ocioso
- ✓ Cambios en el ritmo de producción

Los factores componentes de los costos indirectos variables son:

- ✓ Gerencia
- ✓ Gastos de viaje en investigación
- ✓ Costos de relevos
- ✓ Adiestramiento —Capacitación o entrenamiento— del personal

- ✓ Tiempo extra requerido para compensar pérdidas o atrasos de producción
- ✓ Volumen de trabajo en curso
- ✓ Cargos a la operación después de depreciación total
- ✓ Maniobras de obras rechazadas o equipos devueltos

Los análisis económicos y de costos se reducen solamente a tomar en cuenta aquellos objetivos o factores que pueden expresarse en términos de dinero. Los resultados de estos análisis deberán ponderarse, a la par que otros objetivos y factores inexpresables en dinero, antes de poder toma una determinación definitiva.

### Ejemplo de cálculo

Los costos indirectos son calculados en función del monto de obra, servicios, proyectos y/o volumen de ventas estimado para el periodo de un año, expresado en porcentaje como sigue:

Como se ha expresado anteriormente, los costos indirectos están divididos en costos de administración central y costos de administración de campo; los costos indirectos de campo están calculados en función de los gastos de las oficinas de campo y los costos directos de obra, expresados, también, en porcentaje como sigue:

PERFORADORA EL PUMA, SA DE CV				
OBRA: Marzo/2011			EQUIS	
CÁLCULO DE COSTOS INDIRECTOS DE CAMPO				
Preparó: A. B. C.		Revisó:		Aprobó:
	Costo Directo			\$ 4,750,000.00
DESCRIPCIÓN	COSTO MENSUAL	MESES	IMPORTE	% de Indirectos
<b>Honorarios y sueldos:</b>				
Superintendente de obra	\$ 8,000.00	12	\$ 96,000.00	0.020
Residente de obra	\$ 6,000.00	12	\$ 72,000.00	0.015
Ayudante del residente de obra	\$ 4,500.00	12	\$ 54,000.00	0.011
Secretaria del Supte. de obra	\$ 3,200.00	12	\$ 38,400.00	0.008
Velador	\$ 2,800.00	12	\$ 33,600.00	0.007
Almacenista	\$ 2,800.00	12	\$ 33,600.00	0.007
Chofer	\$ 2,400.00	12	\$ 28,800.00	0.006
<b>Total de honorarios y sueldos:</b>			\$ 356,400.00	<b>0.075</b>



<b>Depreciaciones, Mantenimiento Y Renta:</b>				
Renta de oficina	\$ 3,000.00	12	\$ 36,000.00	0.008
Renta de almacén	\$ 2,500.00	12	\$ 30,000.00	0.006
Teléfono	\$ 1,500.00	12	\$ 18,000.00	0.004
Luz	\$ 800.00	6	\$ 4,800.00	0.001
Agua	\$ 200.00	12	\$ 2,400.00	0.001
Depre. de equipo de obra	\$ 10,000.00	12	\$ 120,000.00	0.025
Comb. y lub. de equipo de obra	\$ 3,500.00	12	\$ 42,000.00	0.009
Mantto. de equipos de obra	\$ 15,000.00	12	\$ 180,000.00	0.038
Depre. mobiliario de oficina	\$ 3,000.00	12	\$ 36,000.00	0.008
Depre. equipo de oficina	\$ 5,600.00	12	\$ 67,200.00	0.014
<b>Total de depre. mantto. y renta:</b>			\$ 536,400.00	<b>0.113</b>
<b>Obras provisionales:</b>				
Oficina	\$ 2,000.00	12	\$ 24,000.00	0.005
Bodegas	\$ 1,500.00	12	\$ 18,000.00	0.004
Cercas perimetrales	\$ 2,000.00	12	\$ 24,000.00	0.005
Sanitarios	\$ 1,800.00	12	\$ 21,600.00	0.005
Caminos de acceso	\$ 8,000.00	12	\$ 96,000.00	0.020
<b>Total de gastos provisionales:</b>			\$ 183,600.00	<b>0.039</b>
<b>Factor de indirectos por administración de campo:</b>				<b>0.227</b>

Cabe hacer la aclaración que el porcentaje de indirectos mostrado en la última imagen de la hoja de cálculo es demasiado alto, debido a que todo el gasto se aplicó a una sola obra durante todo el año, por lo que este ejemplo debe considerarse únicamente como ejemplo de la utilización de dicha herramienta de trabajo.

## 6. Sobrecosto para suministrar el precio de venta

### El factor de sobrecosto.

Una vez determinados todos los conceptos de costos indirectos que repercuten sobre el costo directo de una obra, servicio o investigación, se deben integrar y aplicarlos a éste, con la finalidad de asegurar el cumplimiento de las obligaciones que contrae la empresa con terceros, así como también de una justa utilidad para la misma.

Las obligaciones que una persona o empresa contraen con terceros son principalmente el pago de impuestos, almacenajes, rentas o hipotecas, préstamos, etc. Todos los porcentajes de las obligaciones contraídas deben ser perfectamente conocidas por la empresa, para que así esté en condiciones de aplicarlas dentro de sus tarjetas de precios unitarios.

**En la actualidad, el concepto de “IMPREVISTOS”, no es utilizado en la formulación del PU, por lo que se debe ser muy puntual en no considerar imprevistos en el factor de sobrecosto.**

El factor de sobrecosto se define como: “El factor por el cual deberá multiplicarse el costo directo para obtener el precio de venta”

Precio de venta = (Factor de sobrecosto) (Costo directo);  $PV = (FSC) (CD)$

## **7. Costos directos**

### **Definición:**

El costo directo se define como: “la suma de materiales, mano de obra, equipo y herramienta necesario para la realización de un proceso constructivo”.

### **Integración del costo:**

Los precios de los materiales considerados en los análisis de costos directos para la obtención del precio unitario (P.U.), deben estar calculados tomando en cuenta el precio de lista, menos su descuento correspondiente, más el cargo por concepto de fletes en su caso, esto es, el precio del material puesto en la obra, sin considerar el impuesto al valor agregado (I.V.A.), este impuesto deberá aplicarse al final del presupuesto, excepto en los casos que marca la Ley para obras exentas como son los inmuebles destinados a casa habitación, en cuyo caso el I.V.A. que trasladan los proveedores sí deberá incluirse dentro del costo.

### **Elaboración del costo directo**

La secuencia para la elaboración del costo directo es como sigue:

Planos y especificaciones.- Es el punto de partida para la elaboración del costo directo, para llegar al P. U. y finalmente al presupuesto, se deben estudiar perfectamente todos los planos de cortes, isométricos, equipos, estructurales, instalaciones, así como las especificaciones que en ellos se proponen. **Para el caso específico de la perforación de pozos, se deberá estudiar con detenimiento el proyecto del pozo propuesto en donde deberá enmarcar: profundidad, diámetro de perforación de exploración y perforación de ampliación, diámetro y calibre de la tubería de ademe, corte litológico, diámetro del filtro, trabajos adicionales (aforos, registro eléctrico, lavado, cepillado, etc.)**

Determinación de los conceptos de obra.- Del estudio anterior se deduce una apreciación de las partidas y conceptos que en ella puedan intervenir. También el estudio anterior sirve para determinar el alcance de cada uno de los conceptos de obra, es decir, de acuerdo al procedimiento constructivo, es posible delimitar el alcance del concepto de obra, esto es, que incluye y que no se incluye

Lista de materiales.- Del estudio de los planos y proyectos, se obtiene la lista de materiales fijos, es decir, aquellos materiales que serán instalados y quedarán permanentes en la obra; del estudio de las especificaciones se obtiene la clase de material requerido; también este estudio permite determinar el volumen de materiales de consumo necesario para realizar la instalación de los materiales permanentes.

Cuantificación de conceptos.- Para la realización de esta actividad es necesario seguir un método que permita cuantificar los conceptos en una forma ordenada y precisa, así como verificar en forma directa las cantidades de obra obtenidas.

Maquinaria y equipo.- El análisis de los planos y especificaciones también permiten determinar el procedimiento constructivo a seguir y, por tanto, se puede determinar la maquinaria y equipo necesario para el desarrollo de la obra en cuestión, esto obliga a determinar los costos horarios de la maquinaria y equipo que intervendrán en la obra y que formarán parte del costo directo. **Para el caso de perforación de pozos la profundidad del pozo así como el diámetro de ampliación determinado en el proyecto del pozo a perforar, determinarán el tipo de equipo a proponer y cuantificar para el desarrollo de la obra.**

## **COSTO HORARIO DE MAQUINARIA Y EQUIPO**

En la perforación de pozos para agua, éste es un aspecto importante en el análisis de costos para posteriormente fijar el precio unitario, debido a que una perforación se realiza siempre con maquinaria y equipo.

Las cifras que aquí se muestran son válidas para condiciones promedio de la operación de la maquinaria, se refieren a máquinas nuevas durante el primer año de operación. Si por alguna razón se requiere elaborar un análisis de costo horario de maquinaria usada, se deberán hacer consideraciones similares con las modificaciones de vida útil, precio de adquisición y reparaciones correspondientes.

Factores que intervienen en el costo horario de maquinaria y equipo:

- Cargos fijos
- Cargos por consumo

- Cargos por operación y
- Cargos por transporte

A su vez los cargos fijos y los cargos por consumo se subdividen de la manera siguiente:

- ♣ Cargos fijos:
  - Inversión
  - Depreciación
  - Seguros
  - Almacenaje
  - Mantenimiento
- ♣ Cargos por consumo:
  - Combustible
  - Lubricantes
  - Llantas

**Para la perforación de pozos el equipo se resume a:**

Equipo de transporte:

- camioneta 1 ton \*
- camión de 3.5 ton\*
- camión de 12 ton
- tracto camión 5ta rueda 25 ton.

Equipo de perforación:

- máquina perforadora:
  - Equipo 1000 = 200 h.p. incluye Bomba de lodos
  - Equipo 1500 = 400 h.p. incluye Bomba de lodos
  - Equipo 2000 = 600 h.p. incluye Bomba de lodos
  - Equipo 2500 = 800 h.p.
  - Equipo 3000 = 1000 h.p.
  - Equipo 3500 = 1300 h.p.
  - Equipo 5000 = 1700 h.p.

- bomba de lodos:
  - para equipo 2500 = 150 h.p.
  - Equipo 3000 = 225 h.p.
  - Equipo 3500 = 350 h.p.
  - Equipo 5000 = 600 h.p.

-equipo auxiliar

-planta de soldar 75 h.p.

-planta de luz 10 h.p.

\* combustible = gasolina

Todos los demás, combustible = diésel

## Aceites lubricantes

El consumo de aceites lubricantes horario es uno de los elementos que se toman en cuenta para la determinación del costo hora máquina.

De acuerdo con observaciones efectuadas tanto en el laboratorio como en el campo de las obras, el consumo horario de aceite lubricante total es función de:

1. La capacidad del cárter de la máquina.
2. Del tiempo de operación de la máquina entre dos cambios sucesivos de aceite.
3. Del consumo de combustible utilizado.

Ejemplo de cálculo para el costo horario de maquinaria y equipo.

Se necesita calcular el costo horario de un equipo correspondiente a un camión volteo, marca Dina, con capacidad de 7 m<sup>3</sup> y motor Diésel de 140 H. P.

<b>COSTO HORARIO DE MAQUINARIA</b>			
Vc=Valor de compra	\$	178,250.00	
Ea=Equipo adicional	\$	-	
Vn=Valor neumáticos (llantas)	\$	5,520.00	
Va=Valor adquisición=Vc+Ea-Vn	\$	172,730.00	
%Vr=%Valor de rescate		30.00%	
Vr=Valor de rescate=(%Vr)(Va)	\$	51,819.00	
Ve=Vida económica en horas		9000	
Ha=Horas trabajadas al año (horas)		1500	
i=Tasa de interés anual		10.00%	
s=Prima anual de seguro		1.00%	
Q=Coeficiente para mantenimiento		0.95	
Ka=Coeficiente para almacenaje		0.00	
HP=Potencia del motor		140.00	
Cc=Capacidad del cárter en litros		7.00	
Tipo de combustible		Diésel	
Pc=Precio del combustible	\$	1.67	
Ce=Coef. experimental p/comb.(l/h)		25.00	
Tipo de lubricante		Aceite Dorado	
Pa=Precio del lubricante	\$	8.48	
tc=Tiempo p/cambio de aceite (hrs)		140.00	
Ca=Coef. Experimental p/lub. (l/h)		0.625	
He=Vida económica neumáticos (h)		2000.00	
h=Horas efectivas por turno		8.00	
Salario diario operador	\$	202.70	
DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPORTE	%
<b>1. CARGOS FIJOS:</b>			
D = Depreciación	$D=(Va-Vr)/Ve$	\$ 13.43	12.83%
I = Inversión	$I=[(Va+Vr)/2Ha]i$	\$ 7.48	7.15%
S = Seguros	$S=[(Va+Vr)/2Ha]s$	\$ 0.75	0.71%
M = Mantenimiento	$M=(Q)(D)$	\$ 12.76	12.19%
A = Almacenaje	$A=(Ka)(D)$	\$ -	0.00%
<b>SUMA DE CARGOS FIJOS:</b>		<b>\$ 34.43</b>	<b>32.89%</b>

<b>2. CARGOS POR CONSUMO:</b>			
Combustible	$E=(Ce)(Pc)$	\$ 41.75	39.88%
Lubricante	$A=[(Cc)/(tc+Ca)]Pa$	\$ 0.42	0.40%
Neumáticos	$LL=Vn/He$	\$ 2.76	2.64%
<b>SUMA DE CARGOS POR CONSUMO:</b>		<b>\$ 44.93</b>	<b>42.91%</b>
<b>3. CARGOS POR OPERACIÓN</b>			
Operador (Chofer especialista)	$Op=Salario\ diario/h$	\$ 25.34	24.20%
<b>COSTO HORARIO:</b>		<b>\$ 104.70</b>	<b>100.00</b>

El costo final mostrado de \$104.70 (ciento cuatro pesos 70/100 M.N.) es el resultado de la operación o uso por hora del camión volteo, este precio es el que deberá ser utilizado para cada concepto en donde esta unidad o maquinaria sea requerido. El análisis incluye todos mencionados requeridos para lograr un costo real.

## 9. Costos de mano de obra

### Análisis de salarios

La estimación del costo de la mano de obra en las empresas de perforación es un problema dinámico y sumamente complejo; este carácter dinámico lo determina el costo de la vida, así como el desarrollo de procedimientos constructivos diferentes debido a nuevos materiales, herramientas y tecnología. Su complejidad, varía conforme a la dificultad o facilidad de ejecución, la magnitud del proyecto, el riesgo o la seguridad en el proceso, el sistema de pago, las relaciones laborales y los bonos de productividad; además de las condiciones climáticas, las costumbres locales y, en general todas las características que definen una forma de vida, afecta directa o indirectamente el valor de la mano de obra.

### Fundamento legal aplicado al salario

En este aspecto, independientemente del tipo de control o comprobantes que se utilicen, resulta imprescindible señalar el fundamento legal de los conceptos que se incluyen en la nómina. A este respecto, además de fundamentar los pagos en nómina, facilita el cálculo del ISR a retener a los trabajadores o bien las cuotas obrero - patronales al Seguro Social, así como la determinación de la aportación patronal al Infonavit, la AFORE o cualquier otra contribución derivada de la relación laboral.

Es importante el desglose de los conceptos que se manejan en las percepciones para cada trabajador, reiterando que la base para su determinación llega a ser radicalmente

variable, lo que repercute en el costo de un proyecto y el analista debe considerar cada uno de ellos:

1. Impuesto sobre la renta
2. Cuotas al Seguro Social
3. Aportaciones al Infonavit
4. Crédito al salario

## **10. Costo unitario del trabajo**

El costo unitario del trabajo es un sistema de valoración que permite, a partir de rendimientos, obtener el costo del trabajo a realizar por unidad de medida.

Cualquier sistema de valoración en este sentido, debe basarse en rendimientos promedio resultado de un análisis estadístico que representa las condiciones repetitivas normales de cada proceso productivo.

Por otra parte, debe encontrarse un factor de corrección, llamado en ocasiones factor de zona, que considere las condiciones aleatorias que circunscriben cada actividad, así como el factor de herramienta menor que deberá retribuirse a la empresa o al trabajador, según sea el caso, también, es necesario otro factor que tome en cuenta la productividad del cabo o maestro, según la clasificación de categorías de cada empresa, que toma el riesgo, dicho factor es llamado factor de maestro. Finalmente, se debe investigar el salario diario total (SDT), por trabajador o cuadrillas de trabajadores, para poder realizar el proceso productivo.

## **11. Costos finales**

Los costos finales son la suma de gastos de material, mano de obra, equipo y herramienta, así como, subproductos para la realización de un proceso constructivo, esto es, puede contener como integrante uno o varios costos preliminares.

## **12. Programación**

### **Programa de ejecución**

Una vez realizado el análisis de precios unitarios, la determinación del volumen de obra y todas las revisiones de precios, el establecer el programa de ejecución toma un valor relevante.

Por programa de ejecución se entiende la distribución del total de la construcción dentro de un cierto lapso de tiempo, que por lo general lo fija el cliente, y constituye uno de los

requisitos a que se ha de ajustar la propuesta del constructor. Del plazo fijado para la construcción se deduce la cantidad de obra que debe hacerse diariamente, y de aquí el sistema de ejecución, el orden de sucesión de los diferentes trabajos parciales, tamaño y clase de equipo y maquinaria necesarias, importancia de las instalaciones auxiliares, etcétera. Sólo cuando se ha adquirido en esta forma una visión de conjunto de la obra a ejecutar puede pasarse al estudio detallado de las diversas unidades.

Cuando se proyecta el empleo de máquinas en la ejecución de las obras, como es el caso de la perforación de pozos, conviene al hacer el programa de ejecución enterarse bien de los plazos de entrega, pues son decisivos para el inicio, desarrollo y terminación de la obra.

### **Programación financiera.**

El flujo del recurso económico es vital para el desarrollo y culminación de cualquier obra. La programación financiera, tiene como principal objetivo, el conocimiento de las necesidades de flujo de dinero para el buen desarrollo de la obra.

La programación financiera va ligada con el programa de ejecución, la forma en que se unen en la práctica se llama estimación de obra, que es el instrumento donde el avance físico real de los trabajos se convierte en recurso económico. Con la estimación y la factura correspondiente entregada al cliente, ya se tiene un activo. Este flujo producto de estimaciones de obra, debe ser considerado en la programación financiera, al igual que el anticipo y sus respectivas amortizaciones.

### **ELABORACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS (PU).**

El precio unitario es la remuneración o pago en moneda que el contratante deberá cubrir al contratista por unidad de obra y por concepto de trabajo que ejecute de acuerdo a las especificaciones de la obra.

El precio unitario en la actualidad queda enmarcado o señalado en tarjetas u hojas que en todos los casos tienen una forma en común como se observará hojas adelante.

Las tarjetas u hojas de precios unitarios deben contar con la información básica necesaria como:

- Número de concepto
- Descripción del material
- Descripción de la mano de obra
- Descripción de la herramienta
- Descripción del equipo a utilizar



- Unidades empleadas
- Cantidad empleada
- Precio de cada una de las descripciones (los que se tienen en la explosión de insumos)

**La multiplicación de la cantidad empleada por el precio, da el total de la descripción aplicada. La suma de todos los totales de las descripciones utilizadas en la tarjeta da el COSTO DIRECTO del PU.**

Al tener el costo directo, posteriormente se le aplican los conceptos por medio de porcentaje, de INDIRECTOS, FINANCIAMIENTO, UTILIDAD y algunos otros gastos adicionales que en algunos casos por ley se deben incluir como: vigilancia y supervisión por parte de la Secretaría de la Función Pública. Esto último aplica sólo en obras con recursos económicos de carácter federal.

El procedimiento de análisis de los precios unitarios, será por el rendimiento, por hora o por turno; los costos directos incluirán los cargos por concepto de materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria y equipo a utilizarse.

Los costos indirectos estarán representados como un porcentaje del costo directo, dichos costos se desglosarán en los correspondientes a la administración de oficinas centrales, oficinas de la obra, fletes, seguros y fianzas,

El costo del financiamiento de los trabajos estará representado por un porcentaje de la suma de los costos directos e indirectos; para la determinación de este costo deberán considerarse los gastos que realizará en la ejecución de los trabajos, los pagos por anticipos y estimaciones que recibirá y la tasa de interés que aplicará, debiendo adjuntarse el análisis correspondiente.

El cargo por utilidad será fijado mediante un porcentaje obtenido mediante análisis y cálculo correspondiente incluyendo impuesto sobre la renta y reparto de utilidades de los trabajadores.

Los cargos por las aportaciones que eroguen, en caso de obras de perforación de carácter federal, por concepto de inspección, control y vigilancia de los trabajos, por la secretaria de la función pública, será del 0.5% (cinco al millar), únicamente aplicado como se indica en el formato que se anexa. Los precios unitarios siempre se presentan sin el impuesto al valor agregado (IVA).

Como sugerencia, los PU deberán guardar congruencia con los procedimientos constructivos, los programas de utilización de recursos y con costos vigentes de materiales, mano de obra y demás insumos necesarios en la zona de la misma,

cumpliendo especificaciones marcadas en las normas vigentes, tratando en lo posible, de incluir lo que realmente se sabe que se va a utilizar y con eficiencias reales.

Ejemplo de tarjeta de análisis de precio unitario comúnmente utilizada y aceptada en la mayoría de los presupuestos privados y gubernamentales.

Como se podrá observar a continuación, todas las tarjetas u hojas de precios unitarios tienen un encabezado en donde se deben llenar los datos correspondientes a la obra en particular que se trate, además de la fecha, claves y razón social del licitante y contratante.



## CANTIDADES EN LA HOJA DEL P.U.

Para entender la columna de cantidad dentro del desarrollo del PU, se ejemplifica con un concepto del catálogo de conceptos referente a perforación de exploración material tipo III de 0-100 mts de profundidad. Donde la unidad de medición del concepto es metro lineal. La perforación de exploración se realiza con la barrena 12 ¼” Ø.

En la perforación de pozos la herramienta principal y más usada es la broca, si se sabe que la broca para material duro tiene una durabilidad de 150 m en material tipo III, en la columna de cantidad se maneja la eficiencia de la broca por la unidad de medida que estaría en metros, siendo ésta:

$$\text{Cantidad} = \frac{\text{unidad de medida}}{\text{Eficiencia}} = \frac{1.00 \text{ m}}{150 \text{ m}} = 0.00666$$

Lo que equivale a que 0.00666 de esa barrena será utilizada para realizar 1.00 m de perforación.

Lo mismo sucede con la mano de obra, donde la unidad de medida es jornada; la cantidad será el cociente de la unidad de medida entre la eficiencia de ese día, es decir, lo que perfora la brigada de perforación en una jornada. Si se sabe que el equipo perfora en exploración 12 ¼” Ø material tipo III, 5.00 metros por jornada, la cantidad a escribir en la columna respectiva queda de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad} = \frac{1.00 \text{ jornada}}{5.00 \text{ m/jornada}} = 0.200$$

Lo que es importante saber que ya se tienen los datos básicos de los precios en el listado de la explosión de insumos, también se tiene ya el costo horario de la maquinaria. Por lo que siguiendo el mismo ejemplo, en una jornada de 8 hrs, y se conoce que se perforan 5.00 m de 12 ¼ “Ø material tipo III, ¿cuánto sería la cantidad que se tendría que escribir en la columna referente al equipo de perforación?

$$\text{Cantidad} = \frac{8 \text{ hrs/jornada}}{5 \text{ mts/jornada}} = 1.6 \text{ hrs/metro}$$

Por lo que la cantidad de horas que se utiliza el equipo de perforación para perforar 1.00 m con broca de 12 ¼” Ø en material tipo III de 0-100.00 m de profundidad es = 1.6 hrs.

En resumen, del catálogo de conceptos original, el concepto analizado tiene una unidad de medición: metros de perforación; metros cúbicos de agua; horas de bombeo; jornada de trabajo, etc. Y todos los elementos que se conforman para dar lugar al PU del concepto analizado, deberán ser transferidos a la unidad que tiene el concepto analizado,

deberá saberse la eficiencia para convertirlos a la unidad de medición del concepto analizado, tal y como se ejemplificó líneas arriba.

Caso especial lleva lo relacionado a la herramienta de mano. La herramienta de mano como se vio anteriormente, se maneja como un porcentaje de la mano de obra. Este porcentaje varía según el tipo de trabajo. Para la perforación de pozos, este porcentaje siempre es del 5%, por lo que al incrustar en el renglón el concepto de “herramienta”, en la columna de unidad se tendrá que escribir el símbolo de porcentaje ( % ), en la columna de cantidad, tendrá que ser el 5 pero como se está trabajando en porcentaje, se escribe = 0.050 y en la columna de precio habrá que escribir el número del resultado total que se obtuvo por la mano de obra, que es el mismo que se indica como “**Total de Mano de Obra**”, este procedimiento de herramienta de mano se aplica para todos los análisis de precio unitario del catálogo de conceptos en los que se lleva mano de obra.

### **PRECIO EN LA HOJA DE P.U.**

El precio que se inserta en la columna respectiva de cualquier elemento dentro del análisis deber ser el mismo que tiene el listado de explosión de insumos tanto de la mano de obra, materiales y maquinaria y equipo.

### **TOTAL EN LA HOJA DE P.U.**

Es la multiplicación de la columna de cantidad por la de precio de un elemento determinado. La sumatoria de todos los totales de los elementos que conforman el PU, es decir, la sumatoria de los totales de materiales, mano de obra y maquinaria y equipo, arroja como resultado el **costo directo**.

Como se puede observar, en el análisis de precios unitarios de conceptos similares, es la columna de la cantidad, ya que las unidades de medición y los precios son los mismos porque todos vienen del mismo listado de explosión de insumos.

A continuación se analizará el COSTO DIRECTO en dos conceptos de perforación similares obtenidos de un catálogo de conceptos original para trabajos a realizar a la Comisión Estatal de Agua del Estado de Querétaro, pozo San Pedro Mártir 3, Col. Satélite, Mpio. de Querétaro, en el año del 2010. Como ejemplo serán los conceptos de perforación exploratoria para materiales I y III, claves EXPLO0040 y EXPLO0160 respectivamente:

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad
EXPLO0040	PERFORACION EXPLORATORIA (12 1/4") DE DIAMETRO EN MATERIAL TIPO I. DE 200.00 - 300.00 MTS.	METRO	15
EXPLO0160	PERFORACION EXPLORATORIA DE POZOS DE 31.11 CM. (12 1/4" ) DE DIAMETRO EN MATERIAL TIPO III. DE 200.00 - 300.00 MTS.	METRO	45

Antes de iniciar, hay que considerar:

- 12 1/4" Ø tiene un área = 0.012 m<sup>2</sup> equivalente a un volumen = 0.012 m<sup>3</sup> por metro de perforación.
- EXPLO0040: material tipo I; penetración = 15 m/jornada
- EXPLO0160: material tipo III penetración = 5 m/jornada
- En el concepto de perforación no se incluye la bentonita ya que el volumen teórico a utilizarse es parte de un concepto exclusivo para tal fin. De todos modos es bueno recordar que para lograr 36 segundos de viscosidad se necesitan 65 kg de bentonita por cada metro cúbico de agua.
- En el catálogo no existe el concepto de traslado de maquinaria por lo que se tendrá que utilizar el equipo de tractor 5ta rueda y prorratarlo en los 350 m de perforación de exploración.
- En este caso, ambos precios se presentan en pesos mexicanos.

Es importante observar que la hoja de cálculo de los costos directos que vamos a analizar, cuenta con todos los datos que vimos en la hoja muestra. Es importante llenar todos los datos que se piden para tener una relación exacta de cada concepto y así evitar repetir su análisis.

El costo horario de los equipos que se mencionan en el análisis de costos directos, se ha obtenido siguiendo el procedimiento tal y como obtuvimos el costo horario del camión volteo de 7 toneladas visto páginas atrás.

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

### Descripción

Clave: EXPLO040

PERFORACION EXPLORATORIA DE POZOS DE 31.11 CM.( 12 1/4" ) DE DIAMETRO EN MATERIAL TIPO I  
DE 200.00 - 300.00 MTS.

Unidad: METRO  
Cantidad: 45.00

C	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
<b>Materiales</b>					
	BROCA TRICONICA DE 12 1/4" CON INSERTOS DE CARBURO DE TUGSTANO	Pza.	0.00454	26,896.00	122.11
	AGUA DE TOMA MUNICIPAL INCLUYE TRANSPORTE EN PIPA	m3	0.01200	75.00	0.90
<b>Total de Materiales</b>					<b>123.01</b>
<b>Mano de Obra</b>					
	AYUDANTE DE PERFORISTA DE ALTURA	Jor	0.06667	419.45	27.96
	AYUDANTE DE PERFORISTA DE PISO	Jor	0.06667	338.15	22.54
	OFICIAL PERFORISTA	Jor	0.06667	582.04	38.80
	OPERADOR DE MAQUINA LIGERA	Jor	0.06667	313.76	0.90
	OPERADOR DE VEHICULO MEDIANO	Jor	0.00286	297.50	1.98
	PEON	Jor	0.06667	208.75	13.92
<b>Total de Mano de Obra</b>					<b>106.10</b>
<b>Herramienta</b>					
	HERRAMIENTA MENOR	(%) mo	0.05000	106.10	5.31
<b>Total de Herramienta</b>					<b>5.31</b>
<b>Equipo</b>					
H	PERFORADORA ROTARIA GARDNER DENVER 2500 CON MALACATE DE 25000 LBS. QUINTA RUEDA CON MOTOR DIESEL DE 450 HP MESA ROTARIA DE 12"	hr	0.53333	1,010.76	539.07
H	CAMIONETA DE 3.5 TONELADAS CON MOTOR A GASOLINA DE 210 HP. INCLUYE OPERACIÓN	hr	0.26667	356.05	94.95
H	CAMION PLATAFORMA DE 15 TONELADAS CON BRAZO HIAB DE 3 TONELADAS Y MOTOR DIESEL DE 325 HP. INCLUYE OPERACIÓN	hr	0.02286	679.76	15.54
<b>Total de Equipo</b>					<b>649.56</b>
				Costo Directo	<b>883.98</b>

" OCHOCIENTOS OCHENTA Y TRES PESOS 98/100 M.N. "

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

### Descripción

Clave: EXPLO0160

PERFORACION EXPLORATORIA DE POZOS DE 31.11 CM.( 12 1/4" ) DE DIAMETRO EN MATERIAL TIPO III  
DE 200.00 - 300.00 MTS.

Unidad: METRO  
Cantidad: 45.00

C	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
<b>Materiales</b>					
	BROCA TRICONICA DE 12 1/4" CON INSERTOS DE CARBURO DE TUGSTANO	Pza.	0.00667	26,896.00	179.40
	AGUA DE TOMA MUNICIPAL INCLUYE TRANSPORTE EN PIPA	m3	0.01200	75.00	0.90
<b>Total de Materiales</b>					<b>180.30</b>
<b>Mano de Obra</b>					
	AYUDANTE DE PERFORISTA DE ALTURA	Jor	0.20000	419.45	83.89
	AYUDANTE DE PERFORISTA DE PISO	Jor	0.20000	338.15	67.63
	OFICIAL PERFORISTA	Jor	0.20000	582.04	116.41
	OPERADOR DE MAQUINA LIGERA	Jor	0.00286	313.76	0.90
	OPERADOR DE VEHICULO MEDIANO	Jor	0.20000	397.50	59.50
	PEON	Jor	0.20000	208.75	41.75
<b>Total de Mano de Obra</b>					<b>370.08</b>
<b>Herramienta</b>					
	HERRAMIENTA MENOR	(%) mo	0.05000	370.08	18.50
<b>Total de Herramienta</b>					<b>18.50</b>
<b>Equipo</b>					
H	PERFORADORA ROTARIA GARDNER DENVER 2500 CON MALACATE DE 25000 LBS. QUINTA RUEDA CON MOTOR DIESEL DE 450 HP MESA ROTARIA DE 12"	hr	1.60000	1,010.76	1,617.22
H	CAMIONETA DE 3.5 TONELADAS CON MOTOR A GASOLINA DE 210 HP. INCLUYE OPERACIÓN	hr	0.26667	356.05	94.95
H	CAMION PLATAFORMA DE 15 TONELADAS CON BRAZO HIAB DE 3 TONELADAS Y MOTOR DIESEL DE 325 HP. INCLUYE OPERACIÓN	hr	0.02286	679.76	15.54
<b>Total de Equipo</b>					<b>1,727.71</b>
				Costo Directo	<b>2,296.59</b>

" DOS MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y SEIS PESOS 59/100 M.N."

Como se puede observar en los anteriores análisis de precios, el COSTO DIRECTO de la perforación de exploración en 12 ¼" Ø de 200.00 a 300.00 m de profundidad en material tipo III es 260% más elevado que el de material tipo I. Siendo el costo directo unitario del primero en \$2,296.59 y del segundo en \$883.98.

Aunque todos los elementos que conforman ambos análisis son los mismos, la diferencia consiste en la cantidad aplicada en cada uno de ellos. Al inicio del análisis se escribieron las consideraciones especiales por cada tipo de material. Aunque el precio directo analizado tiene como unidad "metro de perforación", la diferencia entre ambos



precios esté en el uso de la barrena, la cantidad de la jornada laboral y principalmente el número de horas máquina que se requiere para construir cada metro en cada material diferente.

Es aquí donde la experiencia, el conocimiento en la perforación de pozos, puede hacer la diferencia entre un real presupuesto ante otro ficticio, fuera de todo contexto. En la cantidad de cada elemento se debe aplicar todo el conocimiento en perforación, en el tipo de maquinaria que se está utilizando, en la metodología de la perforación, en el peso que se puede imprimir a la broca, etc.

De primer contacto se observa que la diferencia del 260% es enorme, pero este porcentaje se incrementa al aplicarle los indirectos, financiamiento y utilidad al precio unitario para así tener completo el análisis.

Como se puede observar en la integración del análisis de precio unitario de los dos costos directos relacionados a un concepto de perforación exploratoria, se incluyó la broca, el agua, todo el personal que directamente trabaja para la realización de la obra, la herramienta menor y el equipo a utilizarse, desde el equipo de perforación hasta las unidades de auxilio que apoyan para la realización de la obra. Observen detenidamente como la cantidad varía de acuerdo al tiempo utilizado por cada metro a perforar. Se nota que en la mano de obra, el oficial perforista y todos sus ayudantes y peones no tienen el mismo rendimiento para realizar un metro de perforación exploratoria en los diferentes materiales; el operador de maquinaria ligera, que puede ser el chofer de la camioneta de abastecimiento de enseres y combustibles del equipo, sólo utiliza una fracción de la cantidad utilizada por todo el personal ya que este operador únicamente apoya un porcentaje del metro perforado. Del mismo modo se ve lo que sucede en la maquinaria; mientras el equipo de perforación se utiliza 100%, la camioneta es utilizada un porcentaje nada más para la perforación de un metro. Hay congruencia entre el personal utilizado para la perforación y el equipo para el mismo fin.

Mientras más conceptos reales y congruentes se tengan a consideración en la formulación del P.U., más real será el COSTO DIRECTO.

Para calcular el porcentaje de indirectos que se va a aplicar a cada uno de los PU directos, es necesario saber el costo total directo de la obra. Para obtener el costo directo de la obra, es necesario multiplicar el costo directo obtenido por cada concepto del catálogo original por la cantidad de obra marcada en el mismo; siendo el costo directo de la obra, la sumatoria de todos los costos directos totales de cada concepto de obra.

## ELABORACION DE PRESUPUESTO DE PERFORACION

Para hacer un presupuesto útil y que pueda servir de ejemplo en cualquier momento, el análisis realizará en dólares americanos. El siguiente presupuesto no es más que un ejemplo práctico, fácil de entender y rápido de elaborar; puede ser de gran ayuda para obtener en un momento dado, al costo directo de una perforación para agua, considerando que todos los presupuestos para la perforación de pozos para agua con equipo rotario, son en general similares; todos los costos directos consideran, equipo, mano de obra, consumibles, tuberías, lodos de perforación, agua, etc., es decir, todos los costos directos son similares en lo conceptual pero cambian en lo particular. Un ejemplo de lo anterior es: todos los presupuestos consideran perforación de exploración a 12 ¼" Ø, pero en todos cambia la cantidad de metros tanto por la profundidad como por la dureza del material. Otro ejemplo puede ser la tubería de ademe; todos los presupuestos consideran el suministro y colocación de tubería de ademe pero puede cambiar tanto la cantidad que va directamente relacionada con la profundidad del pozo así como puede cambiar también el diámetro de la tubería solicitada.

En el siguiente ejercicio, vamos a obtener de manera rápida y segura, el costo directo unitario presente procedimiento de presupuesto, **no se incluyen los cargos indirectos, financiamiento, utilidad, ni cargos adicionales**, los cuales se estudiarán y calcularán más adelante. Para mantener la vigencia del ejercicio, los precios están en dólares americanos.

### CONSIDERACIONES PARTICULARES

Cuando se habla de un presupuesto de perforación, éste debe de considerar, en la mayoría de los casos, las condiciones particulares del sitio en donde se llevarán a cabo los trabajos; éstos, de manera enunciativa más no limitativa serían:

- **Lugar de los trabajos.** Incide en el costo de traslado del equipo de perforación, del patio de maquinaria al sitio y el suministro de insumos, adicionalmente se deberán considerar las distancias del campamento de perforación hacia el suministro de combustibles y agua para la perforación.
- **Tipo de suelo a perforar,** Se correlacionarán pozos cercanos, lo que dará idea de la clasificación del suelo en tipos I, II y III, ya que no sólo afecta el rendimiento de la penetración, sino que también determina el tipo de barrena y herramienta a emplear.
- **Cargos indirectos,** Se debe tomar en cuenta al personal para la supervisión, los gastos inherentes de la operación de las oficinas centrales, el equipo de seguridad, señalamientos viales, así como la instalación y operación de oficina de campo y campamento del personal relacionado con los trabajos.

## **PERSONAL (MANO DE OBRA)**

El personal o brigada de perforación a emplear en un equipo rotario consta de:

- 1 Jefe de pozo o cabo de perforación que se encarga directamente de las labores.
- 1 Operador perforista calificado que es responsable de la operación del equipo
- 2 ayudantes de piso que se encargan de las maniobras de la herramienta.
- 1 ayudante de altura o chango que se encarga de la operación de acoplamiento y desacoplamiento de herramienta en la torre.
- 1 Oficial soldador que se encarga de la reparación y/o reforzamiento de la herramienta y colocación de tubería de revestimiento comúnmente llamado ademe

## **EQUIPO**

El equipo a considerar, sería:

- 1 Máquina perforadora auto transportable o quinta rueda
- 1 Retroexcavadora (para excavación de fosas, canales y accesos vehiculares)
- 1 Camión cisterna (para el suministro constante de agua limpia para la perforación)
- 1 Camioneta pick up (para el suministro de combustibles, insumos del campamento y movimiento de personal).
- 1 Planta de soldar autónoma diesel (para reparaciones, reforzamientos e instalación de tubería de ademe).

## **HERRAMIENTA**

Sin considerar a la herramienta menor (que se debe incluir como un porcentaje de la mano de obra de cada concepto) La herramienta a utilizar consta de:

- Tubería de perforación en cantidad correspondiente con la profundidad del Proyecto.
- Barrenas o Brocas de acuerdo al tipo de suelo a perforar en cantidad suficiente
- Adaptadores para hacer compatibles los diferentes tipos de cuerdas de la herramienta.
- Driles para dar peso a la sarta de perforación y mantener la verticalidad.
- Ampliadores para los diferentes tipos de suelos y diámetro final del proyecto.

Una vez considerado las condiciones particulares, el presupuesto está con base a las etapas del trabajo de perforación vistas en el capítulo anterior:

1. Trabajos preliminares (instalación de equipos)
2. Perforación exploratoria de pozo
3. Registro eléctrico
4. Perforación de ampliación de pozo
5. Instalación de tubería de ademe
6. Prueba de desarrollo y aforo de pozo

## 1.--TRABAJOS PRELIMINARES (INSTALACION DE EQUIPOS)

### 1.1 Traslado del equipo de perforación del patio de maquinara al sitio de los trabajos

Se entenderá por el movimiento del equipo de perforación a las maniobras que se deban de realizar para mover un equipo. Dentro de este concepto se incluyen todas las erogaciones que se deban realizar por concepto de maniobras de carga, descarga de todo el equipo, así como equipos activos e inactivos.

Unidad: Hora

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Equipo de perforación	hr	1.0000	\$77.52	\$77.52
Camión plataforma	hr	1.0000	\$52.41	\$52.41
Camioneta pickup 2500	hr	1.0000	\$27.31	\$27.31
			Total	\$157.24

### 1.2 Excavación y relleno de fosas para lodos de perforación y canal de lodos

Incluye todos los gastos que se deban realizar para la excavación, afine y rellenos posteriores de dos fosas de 3x4x2 metros, así como su canal de interconexión y el canal de retorno desde el sitio del pozo.

Unidad: Lote

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Retroexcavadora 550	hr	8.0000	\$57.69	\$461.52
Ayudante general	hr	8.0000	\$17.29	\$138.32
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$138.32	\$6.91
			Total	\$606.75

### 1.3 Preparacion de acceso para vehiculos de apoyo y servicio

Incluye todos los gastos que se deban realizar para el corte, afine y rellenos del terreno para garantizar el acceso de vehículos al sitio de los trabajos.

Unidad: Lote

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Retroexcavadora 550	hr	4.0000	\$57.69	\$230.76
Ayudante general	hr	4.0000	\$17.29	\$69.16
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$138.32	\$3.46
			Total	\$303.38

### 1.4 Preparacion de lodos de perforacion

Comprende todos los gastos directos que efectúe el Contratista por concepto de suministros y preparación de lodo de perforación preparado con agua dulce y bentonita, sin aditivos químicos. Dentro de los suministros se incluyen la bentonita, el agua, el empleo del equipo de perforación trabajando, empleo de viscosímetros, todo el personal para las actividades de este concepto, así como el acarreo de todos los materiales hasta el sitio de su utilización.

Unidad: M<sup>3</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Bentonita sódica	ton	0.0750	\$103.84	\$7.79
Agua	m <sup>3</sup>	1.0000	\$6.15	\$6.15
Equipo de perforación	hr	0.1000	\$77.52	\$7.75
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0125	\$133.53	\$1.67
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$1.67	\$0.08
			Total	\$23.44

## 2.--PERFORACION EXPLORATORIA DEL POZO

Están incluidos todos los gastos directos de máquina de perforación activa; así como todas las herramientas (barrenas, tubería de perforación, etc.) y desde luego quedan incluidos también accesorios, personal y equipo complementario. No se incluyen los riesgos de perforación como: pérdidas de circulación, desviaciones de la vertical, atrapamiento de la herramienta, maniobras de pesca, derrumbes, etc.

## 2.1 Perforación exploratoria a 12” (31.11 cm) de 0.00 mts a 100.00 mts, en material tipo I

Unidad: metro

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad / Rendimiento</b>	<b>Costo</b>	<b>Importe</b>
Barrena de dientes de acero	pza	0.0100	\$1,528.84	\$15.29
Equipo de perforación	hr	0.1666	\$77.52	\$12.91
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0208	\$133.53	\$2.77
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$2.77	\$0.13
			<b>Total</b>	<b>\$31.10</b>

Para material II se aplica un factor de 1.750 y para material III un factor de 2.750 ya que en ambos se cambia la barrena por una con insertos de carburo y la penetración es cada vez más lenta

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Factor</b>	<b>Costo Base</b>	<b>Importe Total</b>
Material II	m	1.750	\$31.10	\$54.43
Material III	m	2.750	\$31.10	\$85.53

## 2.2 perforación de ampliación para colocación de contra ademe

Se incluirán los gastos directos que deban realizarse por concepto de trabajos de ampliación de pozo para la colocación del contra-ademe, quedan incluidos la utilización del equipo trabajando, así como todas las herramientas, barrenas para guía, tubería de perforación, ampliador, etc., así como accesorios, personal y equipo complementario, necesario para tal objeto.

Unidad: Metro

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad / Rendimiento</b>	<b>Costo</b>	<b>Importe</b>
Barrena de dientes de acero	pza	0.0010	\$1,528.84	\$1.53
Ampliador con dientes de acero	pza	0.0200	\$2,400.00	\$48.00
Equipo de perforación	hr	0.1666	\$77.52	\$12.91
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0208	\$133.53	\$2.77
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$2.77	\$0.13
			<b>Total</b>	<b>\$65.34</b>

### 3.-- REGISTRO ELÉCTRICO

#### 3.1 Adelgazamiento de lodo de perforación

Se incluirán los gastos directos e indirectos que deban realizarse por concepto de adelgazamiento del lodo de perforación con agua limpia a lo largo de toda la columna, queda incluida la utilización del equipo trabajando, así como todas las herramientas, así como accesorios, personal y equipo complementario, necesario para tal objeto.

Unidad: M<sup>3</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Agua	m <sup>3</sup>	1.0000	\$6.15	\$6.15
Equipo de perforación	hr	0.0100	\$77.52	\$0.77
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0012	\$133.53	\$0.16
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$0.16	\$0.01
			Total	\$7.09

#### 3.2 Registro eléctrico

Este registro se llevará a cabo con gráficas de resistividad y potencial natural, con gráficas diferentes a la de resistividad y potencial natural. Asimismo quedan incluidos todos los trabajos que se requieran para dejar el pozo en condiciones que permitan la corrida del registro en forma satisfactoria.

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Equipo de Registro Eléctrico (contratación externa)	lote	1.0000	\$1,923.07	\$1,923.07
			Total	\$1,923.07

### 4.-- PERFORACIÓN DE AMPLIACIÓN

Se incluirán los gastos directos e indirectos que deban realizarse por concepto de trabajos de ampliación de pozo hasta la profundidad total, como para la colocación del contra-ademe, quedan incluidos la utilización del equipo trabajando, así como todas las herramientas, barrenas para guía, tubería de perforación, ampliadores, etc., así como accesorios, personal y equipo complementario, necesario para tal objeto. No se incluyen todos los riesgos de perforación como son: pérdida de circulación, desviaciones de la vertical, atrapamiento de la herramienta, maniobra de pesca, derrumbes, etc.

#### 4.1 Perforación de ampliación de 12” (31.11 cm) a 20” (50.84 cm) de 0.00 mts a 100.00 mts, en material tipo I

Unidad: metro

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Barrena de dientes de acero	pza	0.0010	\$1,528.84	\$1.53
Amplificador con dientes de acero	pza	0.0200	\$2,400.00	\$48.00
Equipo de perforación	hr	0.1666	\$77.52	\$12.91
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0208	\$133.53	\$2.77
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$2.77	\$0.13
			Total	\$65.34

Para material II se aplica un factor de 1.750 y para material III un factor de 2.750 ya que en ambos se cambian el amplificador y la barrena por unos con insertos de carburo y la penetración es cada vez más lenta.

Descripción	Unidad	Factor	Costo Base	Importe Total
Material II	m	1.750	\$65.34	\$114.35
Material III	m	2.750	\$65.34	\$179.69

## 5 .-- INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ADEME

### 5.1 Preparación de tuberías de ademe contra-ademe

Se prepararán los extremos a soldar para que cumplan la condición del bisel, se verificará su estructura para que no presenten abolladuras o torceduras.

Unidad: metro

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Esmeriladora orbital	hr	0.5000	\$0.60	\$0.30
Ayudante general	Jor	0.0625	\$17.29	\$1.08
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$1.08	\$0.05
			Total	\$1.43



## 5.2 Adelgazamiento de lodo de perforación

Se incluirán los gastos directos e indirectos que deban realizarse por concepto de adelgazamiento del lodo de perforación con agua limpia a lo largo de toda la columna, queda incluida la utilización del equipo trabajando, así como todas las herramientas, accesorios, personal y equipo complementario, necesario para tal objeto.

Unidad: M<sup>3</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Agua	m <sup>3</sup>	1.0000	\$6.15	\$6.15
Equipo de perforación	hr	0.0100	\$77.52	\$0.77
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0012	\$133.53	\$0.16
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$0.16	\$0.01
			Total	\$7.09

## 5.3 Colocación de tubería de contra-ademe

El contra ademe debe tener la longitud necesaria para evitar la infiltración de agua superficial o agua contaminada contenida en el subsuelo hacia el interior del pozo. El contra ademe debe tener una longitud mínima de seis metros y debe sobresalir 0.20 m del nivel del terreno natural o sobre elevado, o bien 0.50 m, dependiendo del diseño del pozo.

Unidad: Metro

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Equipo de perforación	hr	0.0688	\$77.52	\$5.33
Planta de Soldar	hr	0.0511	\$19.34	\$0.98
Soldadura 6011 y 6012	kg	0.3250	\$4.34	\$1.41
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0390	\$133.53	\$5.20
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$5.20	\$0.26
			Total	\$13.18

## 5.4 Cementación de espacio anular del contra-ademe y el terreno natural

El espacio anular entre el contra ademe y la formación adyacente será rellenado por completo con una lechada de cemento normal.

Unidad: M<sup>3</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Lechada de Cemento (agua-cemento arena) hecho en obra	m <sup>3</sup>	1.0000	\$92.30	\$92.30
Revolvedora un saco	hr	1.0000	\$9.61	\$9.61
Ayudante general	Jor	0.1250	\$17.29	\$2.16
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$2.16	\$0.11
			Total	\$104.18

### 5.5 Colocación de tubería de ademe

Las especificaciones de las tuberías para ademe lisas y ranuradas. Serán fabricados con lámina nueva y cada tramo deberá estar biselado a 30 grados en sus extremos, con una sola costura longitudinal soldada eléctrica y automáticamente a tope.

Unidad: Metro

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Equipo de perforación	hr	0.0688	\$77.52	\$5.33
Planta de Soldar	hr	0.0511	\$19.34	\$0.98
Soldadura 6011 y 6012	kg	0.3250	\$4.34	\$1.41
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0390	\$133.53	\$5.20
herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$5.20	\$0.26
			Total	\$13.18

### 5.6 Colocación de filtro grava

El filtro de grava se colocará por gravedad en el espacio anular entre la tubería de ademe y las paredes del agujero, se facilita su descenso mediante circulación de lodo diluido, es decir, de baja viscosidad. No incluye el flete de la grava desde el banco hasta el punto de perforación.

Unidad: M<sup>3</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad / Rendimiento	Costo	Importe
Grava seleccionada de cantos rodados	m <sup>3</sup>	1.0500	\$57.69	\$60.57
Equipo de perforación	hr	0.4000	\$77.52	\$31.01
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0500	\$133.53	\$6.68
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$6.68	\$0.33
			Total	\$98.59

## 5.7 Lavado y pistoneo del pozo

Se entenderá por este concepto a las operaciones que tendrá que efectuar el Contratista para extraer del pozo los sólidos y coloides en suspensión contenidos como consecuencia de los trabajos de perforación.

Unidad: Hora

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad / Rendimiento</b>	<b>Costo</b>	<b>Importe</b>
Equipo de perforación	hr	1.0000	\$77.52	\$12.91
Agua	m3	1.0000	\$6.15	\$6.15
Cuadrilla de perforación	Jor	0.0208	\$133.53	\$2.77
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$2.77	\$0.13
			Total	\$65.34

## 6 PRUEBA DE DESARROLLO Y AFORO DEL POZO

### 6.1 Instalación de equipo de aforo y prueba de aforo

Se entenderá por equipo de aforo, la bomba, columna y tazones adecuados para la extracción variable de agua, con la capacidad y diámetro suficiente a la profundidad del pozo.

Unidad: Lote

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad / Rendimiento</b>	<b>Costo</b>	<b>Importe</b>
Equipo de bombeo	hr	72.0000	\$41.80	\$3,009.60
Operador de bomba	Jor	9.0000	\$39.12	\$352.08
Herramienta menor	%(mo)	0.0500	\$352.08	\$17.60
			Total	\$3,379.28

### 6.2 Desmantelamiento de equipo de perforación

Se entenderá por este concepto el retiro de todo el equipo y herramienta empleado en la elaboración del pozo, dejando el lugar en condiciones adecuadas de limpieza y orden.

Unidad: Hora

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad / Rendimiento</b>	<b>Costo</b>	<b>Importe</b>
Equipo de perforación	hr	1.0000	\$77.52	\$77.52
Camión plataforma	hr	1.0000	\$52.41	\$52.41
Camioneta pickup 2500	hr	1.0000	\$27.31	\$27.31
			Total	\$157.24

Hasta aquí hemos desarrollado los **costos directos** de todos y cada uno de los conceptos que forman parte de los trabajos de perforación de pozos para agua con equipo rotario. Estos precios son vigentes al 2012 y para actualizarlos debemos considerar los incrementos en los salarios, insumos, maquinaria y combustibles principalmente.

En el siguiente capítulo entraremos al conocimiento y cálculo de los costos indirectos.

## **CÁLCULO DE COSTOS INDIRECTOS**

Como se dijo al inicio de este capítulo, los costos indirectos son los más importantes por implicar todo lo relacionado con el personal administrativo, cuotas patronales, fianzas, seguros, rentas, depreciaciones de bienes muebles e inmuebles, bodegas, estudios, asesores, papelería, caminos de acceso, uniformes, equipo de seguridad, etc.

El costo de los indirectos debe calcularse de acuerdo al costo de cada uno de los conceptos arriba mencionados, pero se les debe asignar un porcentaje por obra durante el tiempo que dura la obra.

Si se tiene un programa de perforación en donde todos los equipos van a estar trabajando para un solo cliente, durante todo un año, entonces el porcentaje que se le asigne a cada componente de los indirectos será del 100%.

Para entender lo anterior, se ejemplifica con la renta de la oficina central: si la empresa paga por renta de oficina la cantidad de \$10,000.00 mensuales, se tiene entonces que anualmente son \$120,000.00, lo que hace que toda esa cantidad se aplique al 100% a los indirectos de esa obra.

Si al contrario, se tienen todas las máquinas trabajando en cuatro proyectos diferentes durante todo el año, lo concerniente a renta de oficina central será aplicar 25% del total a cada uno de los proyectos, es decir \$30,000.00 a cada uno de los proyectos. De todos modos se está aplicando el gasto de renta al 100% pero en diferentes obras.

Entonces se debe tener cuidado en saber el costo directo de la obra, la duración de la obra, y el total de recursos humanos, vehiculares, logísticos, de oficina, fianzas, impuestos, etc., que se van a gastar o se tiene proyectado gastar en ese año, para así estar en condiciones de aplicar un porcentaje real y justo de indirectos a ese proyecto.

Para entender bien lo que son los costos indirectos y su respectivo cálculo, a continuación se ve la tabla de **cálculo de indirectos**, que se utilizó en una obra X.

Esta obra X tiene un programa de ejecución de 59 días calendario y vamos a suponer que ya tenemos su costo directo que llamaremos X1 y es de **\$1'966,403.27 (un millón novecientos sesenta y seis mil cuatrocientos tres pesos 27/100 M.N.)**.

Hay que observar la columna de la descripción, el porcentaje de participación de oficina y campo respectivamente. E

En la tabla que a continuación se presenta, se enumeran todos y cada uno de los conceptos que generalmente forman parte de un análisis de costos de indirectos. Para el caso específico de la perforación de pozos para agua, es decir, una empresa de perforación, el listado presentado a continuación bien llena todos los requisitos que plantea este análisis, independientemente que es el permitido por la mayoría de las dependencias gubernamentales y aceptado por la Ley de Obras Publicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

CÁLCULO DE INDIRECTOS						
DESCRIPCIÓN	IMPORTE/PERIODO	%	IMPORTE PERIODO	TOTAL PARA	IMPORTE/PERIODO	TOTAL OFICINA
	OFICINA CENTRAL	PARTICIPACIO	PARA OF. CENTRAL	OFICINA CENTRAL	OFICINA OBRA	OBRA
<b>Cálculo de Indirectos</b>				<b>39,494.40</b>		<b>81,024.00</b>
<b>HONORARIOS SUELDOS Y PRESTACIONES</b>				<b>14,832.00</b>		<b>67,200.00</b>
<b>Personal Directivo</b>				<b>5,856.00</b>		<b>0.00</b>
Gerente General	25,000.00	5.00	1,250.00	2,400.00	0.00	0.00
Gerente Técnico	20,000.00	5.00	1,000.00	1,920.00	0.00	0.00
Secretaria Gerencia General	8,000.00	5.00	400.00	768.00	0.00	0.00
Secretaria Gerencia Técnica	8,000.00	5.00	400.00	768.00	0.00	0.00
<b>Personal Técnico</b>				<b>2,208.00</b>		<b>48,000.00</b>
Superintendente de Obra	0.00	5.00	0.00	0.00	15,000.00	28,600.00
Residente de Obra	0.00	5.00	0.00	0.00	10,000.00	19,200.00
Secretaria de la Superintendencia	7,000.00	5.00	350.00	672.00	0.00	0.00
Jefe de Compras	9,000.00	5.00	450.00	864.00	0.00	0.00
Técnico Dibujante Cadista	7,000.00	5.00	350.00	672.00	0.00	0.00
<b>Personal Administrativo</b>				<b>4,464.00</b>		<b>19,200.00</b>
Residente Administrador	0.00	5.00	0.00	0.00	10,000.00	19,200.00
Almacenista	7,000.00	5.00	350.00	672.00	0.00	0.00
Recepcionista	6,500.00	5.00	325.00	624.00	0.00	0.00
Chofer Mensajero	6,000.00	5.00	300.00	575.00	0.00	0.00
Gerente de Administración	19,000.00	5.00	950.00	1,824.00	0.00	0.00
Secretaria Gerencia de Administracion	8,000.00	5.00	400.00	768.00	0.00	0.00
Personal de Tránsito	14,000.00	5.00	700.00	1,344.00	0.00	0.00
Cuotas Patronales	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prestaciones que obliga la Ley	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pasajes y Viáticos	10,000.00	5.00	500.00	960.00	0.00	0.00
<b>TOTAL DE HONORARIOS SUELDOS Y PRESTACIONES</b>				<b>14,832.00</b>		<b>67,200.00</b>
<b>DEPRECIACION, MANTENIMIENTO Y RENTAS</b>				<b>2,784.00</b>		<b>4,608.00</b>
Edificios y Locales	4,000.00	5.00	200.00	384.00	900.00	1,728.00
Locales de Mantenimiento y Guarda	3,000.00	5.00	150.00	288.00	0.00	0.00
Instalaciones Generales	5,000.00	5.00	250.00	480.00	0.00	0.00
Bodegas	4,000.00	5.00	200.00	384.00	500.00	960.00
Muebles y Enseres	2,500.00	5.00	125.00	240.00	0.00	0.00
Depreciación o Renta y Operación de Vehiculos	6,000.00	5.00	300.00	576.00	500.00	960.00
Campamentos	4,500.00	5.00	225.00	432.00	500.00	960.00
<b>TOTAL DE DEPRECIACIÓN, MANTENIMIENTO Y SERVICIOS</b>				<b>2,784.00</b>		<b>4,608.00</b>
<b>SERVICIOS</b>				<b>1,872.00</b>		<b>1,920.00</b>
Consultores, Asesores, Servicios y Laboratorios (Certificaciones)	12,000.00	5.00	600.00	1,152.00	0.00	0.00
Elaboración de planos (de Registros Eléctricos y demas Servicios de Impresión y Digitalización)	7,500.00	5.00	375.00	720.00	1,000.00	1,920.00
<b>TOTAL DE SERVICIOS</b>				<b>1,872.00</b>		<b>1,920.00</b>
<b>FLETES Y ACARREOS</b>				<b>5,856.00</b>		<b>0.00</b>
De Campamentos	12,000.00	5.00	600.00	1,152.00	0.00	0.00
De Equipo de Perforación	4,500.00	5.00	2,250.00	4,320.00	0.00	0.00
De plantas y Elementos para Instalaciones	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
De mobiliario	4,000.00	5.00	200.00	384.00	0.00	0.00
<b>TOTAL DE FLETES Y ACARREOS</b>				<b>5,856.00</b>		<b>0.00</b>
<b>GASTOS DE OFICINA</b>				<b>3,302.40</b>		<b>4,224.00</b>
Papelería y Útiles de Escritorio	2,500.00	5.00	125.00	240.00	500.00	960.00
Correos, Teléfonos, Telégrafos, Radio	5,000.00	5.00	250.00	480.00	1,000.00	1,920.00
Copias y Duplicados	700.00	5.00	35.00	67.20	200.00	384.00
Luz, Gas y otros consumos	7,000.00	5.00	350.00	672.00	500.00	960.00
Gastos de concursos	19,200.00	5.00	960.00	1,843.00	0.00	0.00
<b>TOTAL DE GASTOS DE OFICINA</b>				<b>3,302.40</b>		<b>4,224.00</b>
<b>TRABAJOS PREVIOS AUXILIARES</b>				<b>3,072.00</b>		<b>3,072.00</b>
Construcción y Conservación de Caminos de Acceso y Plataforma de Perforación	19,000.00	5.00	950.00	1,824.00	800.00	1,536.00
Montajes y Desmantelamiento de Equipo	13,000.00	5.00	650.00	1,248.00	800.00	1,536.00
<b>TOTAL DE TRABAJOS PREVIOS AUXILIARES</b>				<b>3,072.00</b>		<b>3,072.00</b>
<b>SEGURIDAD, HIGIENE, SEGUROS Y FIANZAS</b>				<b>7,776.00</b>		<b>0.00</b>
Primas por Seguros	25,000.00	5.00	1,250.00	2,400.00	0.00	0.00
Primas por Fianzas	30,000.00	5.00	1,500.00	2,880.00	0.00	0.00
Señalización Preventiva de Obra (Diurna y Nocturna)	14,000.00	5.00	700.00	1,344.00	0.00	0.00
Uniformes y Equipos de Seguridad Personal	12,000.00	5.00	600.00	1,152.00	0.00	0.00
<b>TOTAL DE SEGURIDAD, HIGIENE, SEGUROS Y FIANZAS</b>				<b>7,776.00</b>		<b>0.00</b>

CÁLCULO DE INDIRECTOS						
DESCRIPCIÓN	IMPORTE/PERIODO	%	IMPORTE PERIODO	TOTAL PARA	IMPORTE/PERIODO	IMPORTE TOTAL
	OFICINA CENTRAL	PARTICIPACIO	PARA OF. CENTRAL	OFICINA CENTRAL	OFICINA OBRA	OFICINA OBRA
<b>RESUMEN</b>						
HONORARIOS SUELDOS Y PRESTACIONES				14,832.00		67,200.00
DEPRECIACION, MANTENIMIENTO Y RENTAS				2,784.00		4,608.00
SERVICIOS				1,872.00		1,920.00
FLETES Y ACARREOS				5,856.00		0.00
GASTOS DE OFICINA				3,302.40		4,224.00
TRABAJOS PREVIOS AUXILIARES				3,072.00		3,072.00
SEGURIDAD, HIGIENE, SEGUROS Y FIANZAS				7,776.00		0.00
<b>TOTAL</b>				<b>39,494.40</b>		<b>81,024.00</b>
A ) Costo Directo de la obra:	1,966,403.27					
B) Gastos de oficina central para la obra:	39,494.40					
D) Indirectos de la oficina en obra:	81,024.00					
E) % Indirectos de oficina central = (B/A) 100 =		2.01				
F) % Indirectos de oficina en obra = (D/A) 100 =		4.12				
% DE INDIRECTOS = E + F =		6.13				

Como se ve en las hojas anteriores, el **CÁLCULO DE INDIRECTOS**, utilizó únicamente el 5% del total del gasto de cada concepto que constituyen las hojas para esta obra. Esto se debe entender que los 59 días que durará la obra, con el equipo de perforación y personal asignado, equivale al 5% del total de obras programadas y/o realizadas por la empresa en el lapso de un año.

En la primera columna se observa el monto de cada concepto, de la oficina central, totalizado a 30 días.

En la segunda columna se observa el porcentaje aplicado del total a esta obra. Que en este caso es el 5%.

En la tercera columna se observa el resultado de aplicar el 5% del total del concepto aplicado al monto totalizado a 30 días.

En la cuarta columna se observa el total aplicado de cada concepto al total de días contemplados como tiempo de ejecución, que para este caso es de 59 días.

En la quinta columna se observa el costo aplicado al concepto de la oficina de campo totalizado a 30 días.

En la sexta columna se observa el total del costo del concepto de la oficina de campo totalizado al periodo que dura la obra, que en este caso es de 59 días.

En el resumen se analiza lo siguiente:

El total de gastos indirectos por oficina central es de: **\$39,464.40**

El total de gastos indirectos por oficina de campo es de: **\$81,024.00**

Si el total del costo directo de la obra es de: **\$ 1'966,403.27**

el porcentaje de indirectos es el cociente de dividir los gastos de oficina central entre el total del costo directo de la obra, más el cociente de dividir los gastos de la oficina de campo entre el costo directo total de la obra.

$$\begin{aligned} \text{Indirectos} &= \frac{\text{Gastos indirectos oficina central}}{\text{Costo directo total de la obra}} \times 100 + \frac{\text{Gastos indirecto oficina de campo}}{\text{Costo directo total de la obra}} \times 100 \\ &= \frac{\$39,464.40}{\$1'966,403.27} \times 100 + \frac{\$81,024.00}{\$1'966,403.27} \times 100 = 2.01 + 4.12 = \mathbf{6.13 \%} \end{aligned}$$

El porcentaje de indirectos para esta obra asciende al **6.13 %**

Costo directo: **\$ 1'966,403.27**

**% de indirectos:** 6.13% = (1'966,403.27) \* 6.13% = \$ **120,540.52**

Costo directo + % indirectos = 1'966,403.27 + 120,540.52 = \$ **2'086,943.79**

Este porcentaje se aplicará a todos los análisis de PU inmediatamente después del **Costo Directo** y se le sumará para obtener el primer subtotal marcado en la hoja de P.U. en espera del cálculo de financiamiento.

### **Calculo del Financiamiento:**

Otro tipo de gastos indirectos en una obra es el financiamiento y está definido por el cociente en porcentaje resultado de dividir el interés neto de la obra entre los gastos de la obra.

En el cálculo del financiamiento, se debe incluir, si existe, el anticipo otorgado, la tasa de interés interbancario ( TII ) que en el momento de realizar el presupuesto exista en el mercado, así como el monto ejercido y los gastos erogados por periodo.



Para este concepto se debe entender interés neto como el resultado de la sumatoria de los intereses a pagar por periodo, que para los casos de obras de perforación, los periodos de estimación de obra son de 30 días.

**Los gastos de la obra totales son la sumatoria del costo directo + indirectos.**

Para calcular el financiamiento de la obra X, se debe conocer lo siguiente:

Interés anual ( TII ) :	<b>4.90%</b>
Anticipo propuesto:	<b>30%</b>
Tiempo de ejecución:	<b>59 días</b>
Gasto de obra totales: costo directo + indirectos =	<b>\$2'086,943.79</b>
Gastos de obra primer periodo =	<b>\$ 1'021,270.37</b>
Gastos de obra segundo periodo =	<b>\$ 1'065,673.42</b>

Cálculo del Porcentaje de Financiamiento									
MES	Ob. Ejecutada	Anticipo	Estimación	Amort. Atcpo	Cobros	Gastos	Cobro-Gasto	Dif. Acumul	Int. A Pagar
1	1,021,270.37	626,083.14	0.00	0.00	626,083.14	1,021,270.37	-395,187.23	-395,187.23	1,613.68
2	1,065,673.42	0.00	0.00	0.00	0.00	1,065,673.42	-1,065,673.42	-1,460,860.65	5,965.18
3	0.00	0.00	1,021,270.37	306,381.11	714,889.25	0.00	714,889.26	-745,971.40	3,046.05
4	0.00	0.00	1,065,673.42	319,702.03	745,971.39	0.00	745,971.39	0.00	0.00
<b>TOTALES</b>	<b>2,086,943.79</b>	<b>626,083.14</b>	<b>2,086,943.79</b>	<b>626,083.14</b>	<b>2,086,943.79</b>	<b>2,086,943.79</b>			<b>10,624.91</b>

**Int. A Pagar = \$ 10,624.91**

**interés neto = 4.90%**

**% Financiamiento = Interes a Pagar / Gastos de Obra = 10,624.91/ 2,086,343.79 = 0.51%**

Para el caso de esta obra, el **porcentaje de financiamiento es = 0.51%**

La lectura de la tabla del cálculo del porcentaje de financiamiento es que en el primer mes se recibe el anticipo del 30% equivalente a \$626,083.14, pero se gastan \$ 1'021,270.37, por lo que se tiene un déficit de - \$395,187.23; también se presenta la primera estimación

por el valor de los gastos pero esta será pagada hasta el tercer mes. La tasa de interés anual, se aplica al déficit obtenido en el periodo.

Para el segundo mes se gastan \$ 1'065,673.42 y no hay ingresos, así que el déficit en este mes es igual al gasto erogado. Se presenta la segunda estimación pero ésta será pagada hasta el cuarto mes. Al igual que el mes anterior, la tasa de interés se aplica al déficit del periodo y así sucesivamente hasta lograr el cobro total de la obra según lo planeado.

El porcentaje de financiamiento se aplicará a todo los PU inmediatamente después de los indirectos para obtener el segundo subtotal de la hoja de análisis de precios unitarios en espera de la utilidad:

Costo directo + indirectos = \$ 2'086,943.79

Porcentaje de financiamiento aplicado = \$ 2'086,943.79 \* 0.51% = \$ 10,643.41

C.D.+C.I.+Financiamiento = \$ 2'097,587.20

### **Cálculo de la Utilidad**

La utilidad es la ganancia que se obtiene por la ejecución del concepto de trabajo. La utilidad será fijada por cada empresa de acuerdo a sus necesidades, convicción y ética.

Al cálculo de la utilidad estará representado por un porcentaje sobre la suma de los costos directos, indirectos y de financiamiento. Para el caso de los trabajos de perforación de pozos para agua, el porcentaje de utilidad neta comúnmente utilizado es entre el 10 y 15%.

**Es importante saber que este cargo deberá considerar las deducciones correspondientes al impuesto sobre la renta (ISR) y la participación de los trabajadores en las utilidades de las empresas.**

Quedando el cálculo de la utilidad de la siguiente forma:

% de utilidad neta propuesta	<b>10 %</b>	
Impuesto sobre la renta vigente propuesta	<b>30 %</b>	sobre la utilidad neta propuesta
Participación de los trabajadores en las utilidades propuesta	<b>10 %</b>	sobre la utilidad neta propuesta

% de utilidad = 10% + (30% del 10%) + (10%(30% del 10%))= 10%+3.33%+0.33%= **13.66%**

para fines prácticos se redondea, quedando:

**Porcentaje de Utilidad** **14 %**

Obteniendo así el tercer subtotal de la hoja de análisis de precios unitarios.

C.D.+C.I.+Financiamiento = \$ 2'097,587.20

% de utilidad aplicado al C.D.+C.I.+Fin =  $2'097,587.20 * 14\% = \$ 293,662.21$

C.D.+C.I.+Fin + Utilidad = \$ 2'391249.41

## **OTROS GASTOS**

En todas las licitaciones públicas y en algunas licitaciones del orden privado, existen otros gastos adicionales que deben considerarse en la formulación de precios unitarios.

En algunas obras de perforación que se realizan a empresas particulares y si éstas son de gran envergadura, es común que el área de construcción de la contratante, contrate los servicios de alguna empresa para llevar al cabo la supervisión de la obra, ya que como se ha dicho, la perforación de pozos es una construcción especializada y se requiere conocimiento previo para estar al tanto del desarrollo de la obra. Cuando esto sucede, por lo general la empresa contratada para dar los servicios de supervisión, cobra una iguala equivalente al 10% del valor de la obra, por lo que se hace necesario, insertar al final del análisis del PU, inmediatamente después del porcentaje de la utilidad, el porcentaje acordado de iguala que la supervisión pretende cobrar.

En el caso de las licitaciones públicas donde se utilizan fondos económicos de la Federación, la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionadas con las Mismas (artículo 75 de ley y artículo 14 del reglamento de la misma ley), obliga a que se inserte dentro del análisis de los PU, un porcentaje equivalente a 5 al millar, es decir 0.5% para que esta cantidad sea utilizada en supervisión y vigilancia de obras por parte de la Secretaría de la Función Pública. Este porcentaje deberá ser aplicado después de obtener y aplicar en los PU, los porcentajes de indirectos, financiamiento y utilidad. Y así se obtiene el cuarto subtotal de la hoja de precios unitarios. Para dar seguimiento al ejemplo, se aplicará 5 al millar marcado en la ley para la supervisión y vigilancia de obras por parte de la Secretaría de la Función Pública.

C.D.+C.I.+Fin + Utilidad = \$ 2'391249.41

Porcentaje de supervisión aplicado =  $2'391249.41 * 0.5\% = \$ 11,956.25$

C.D.+C.I.+Fin + Utilidad+ supervisión = \$ 2'403,205.66

## RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Ahora bien, si al costo directo total de la obra X, se le aplican los porcentajes que obtenidos, el total del presupuesto, queda de la siguiente forma:

Costo directo de la obra:	\$ 1'966,403.27
Indirectos 6.13%	120,540.52
<b>Subtotal 1</b>	<b><u>\$ 2'086,943.79</u></b>

Financiamiento 0.51 %	10,643.41
<b>Subtotal 2</b>	<b><u>\$ 2'097,587.20</u></b>

Utilidad 14 %	293,662.21
<b>Subtotal 3</b>	<b><u>\$ 2'391,249.41</u></b>

Vigilancia SFP 0.05%	11,956.25
----------------------	-----------

<b>Total de la obra X</b>	<b><u>\$ 2'403,205.66</u></b>
---------------------------	-------------------------------

(Dos millones cuatrocientos tres mil doscientos cinco pesos 66/100 M.N.)

La tarjeta del precio unitario clave EXPLO0160 para la perforación de exploración en material tipo III queda de la siguiente forma.

COSTO DIRECTO:	\$	<u>2,296.59</u>
Indirectos (6.13%)		144.68
Subtotal		<u>2,441.27</u>
Financiamiento (0.51%)		12.45
Subtotal		<u>2,453.72</u>
Utilidad (14%)		343.52
Subtotal		<u>2,797.24</u>
Otros gastos (0.05%)		13.98
PRECIO UNITARIO	\$	<b><u>2,811.22</u></b>

### DEL TOTAL DE LA OBRA SE TIENE EN PORCENTAJE:

<b>% COSTO DIRECTO</b>	<b>81.69%</b>
<b>% COSTO INDIRECTO</b>	<b><u>18.31%</u></b>

<b>COSTO TOTAL P.U.</b>	<b>100.00%</b>
-------------------------	----------------

Por lo que en el ambiente de la construcción se dice: La obra X tiene un **18.31%** de indirectos.

## CONCLUSIONES

Todo el procedimiento que se hizo para obtener el presupuesto de la obra X con base en un costo directo X1 va de acuerdo a los lineamientos generales para la generación de presupuestos de obras permitidas por la ley, de acuerdo a procedimientos que los diferentes colegios de ingenieros han creado para tal fin. Nunca hay que olvidar que los porcentajes de Indirectos, Financiamiento, Utilidad y en su caso Supervisión, una vez obtenidos, se aplican a todos los conceptos por igual. Es decir, estos porcentajes son **FIJOS e INAMOVIBLES** en cualquier presupuesto. Y en el caso de obras federales, son parte de la ley y el reglamento correspondiente.

Desde mediados de los años noventa, existen en el mercado 2 o 3 buenos *software* para la elaboración de precios unitarios; todos estos *software* tienen ambiente Windows y como base de datos Excel, como pueden ser el OPUS PLANET, el NEODATA-12 y el ALL PLANNER DATABASE; todos están actualizados acorde a los cambios que llegase a tener la ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, así que no se requiere ser un experto conocedor de esta ley para aplicar lo que de ella emana y cambia. Pero en cambio, si no se tiene un conocimiento fuerte en la elaboración y análisis de precios unitarios, ningún *software* sirve; **absolutamente a todos hay que suministrarle los datos concernientes de cada concepto.**

Tener conocimiento de la elaboración de presupuestos para perforación de pozos para agua, abre un gran campo donde el Ingeniero Geólogo, Minero, Petrolero y Geofísico, tendrá la visión de programar mejor los recursos económicos en donde vean la posibilidad de hacer la obra.

El mismo procedimiento de elaboración de presupuestos puede ser utilizado para la barrenación minera, ya sea para obtención de núcleos o para pozos de venteo; así como barrenos para dinamita en superficie o en interior de mina. Como se dijo anteriormente, el no contar con cursos de ingeniería de costos más detallados, representa desventaja con aquellos ingenieros que si los llevan. Como es el caso de los Ingenieros Civiles.

La UNAM, para el caso de las ingenierías en ciencias de la tierra, no ha puesto la atención debida dentro de su programa de estudios, el lado de la ingeniería; para el caso específico de los geólogos que estudian en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, al incorporarse a la actividad profesional, no tienen idea de los costos y evaluaciones de las obras que han de desarrollar. El ingeniero geólogo anda en el monte observando formaciones, afloramientos, rocas y minerales en búsqueda frenética de algo que espera encontrar; si lo encuentra, no sabe cómo explotarlo y

si sabe explotarlo, no tiene idea de la cantidad de recursos económicos que se necesita para tal fin.

A la fecha, el egresado de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, no conoce el costo de la construcción de una brecha o terracería para acceso al punto localizado, mucho menos tiene el conocimiento de lo que cuesta hacer una perforación. El ingeniero geólogo, en ese momento, es sólo geólogo, no sabe cómo aplicar su parte de ingeniería, el ya cumplió con encontrar un interesante afloramiento lleno de grandes minerales o estructuras que hacen suponer un gran acuífero, se retira hasta saber si alguien programó barrenos o perforaciones o algún tipo de obra minera; él espera ver un núcleo o el resultado del muestreo de un socavón, el sólo dice lo que ve en los minerales, la parte de “ingeniería” de su formación académica en la UNAM, quedó olvidada porque nunca le dijeron como aplicarla, nunca le explicaron de lo que se trata.

Después de muchos años de experiencia en la aplicación de la Ingeniería Geológica en la perforación de pozos y en la exploración minera directa por medio de barrenación, ahora se puede recomendar que se incluya en el plan de estudios de la carrera de Ingeniero Geólogo, un par de asignaturas que tienen que ver con la **exploración, explotación y construcción**, asignaturas en donde se vea a detalle maquinaria y equipo, no sólo mencionarlas, sino conocer su funcionamiento y sus alcances, para llegar a tener conocimiento pleno de que se puede hacer y que no; también asignaturas de ingeniería económica, donde se vean a detalle los procesos de elaboración de presupuestos; ambos casos son asignaturas dónde hacer verdaderos Ingenieros Geólogos.

Se debe entender que como geólogos, se tiene un conocimiento mucho más amplio del entorno, se sabe que en el interior de la tierra se pueden encontrar: agua, oro, diamantes, petróleo, carbón, níquel, platino, molibdeno, cobre, etc. y eso, porque existe el conocimiento de su génesis, de sus ambientes, se tiene la preparación de transportarse en el tiempo geológico y saber lo que pasó. Pero se carece de los conocimientos sobre lo que costaría llegar; se sabe o se supone lo que ahí está o deberá estar, pero no se sabe cómo se puede llegar; no se comprende lo que es económicamente viable y posible contra lo que es económicamente imposible. **No se tienen conocimientos sobre aspectos económicos porque nunca existió la preparación adecuada en ese aspecto.**

México requiere Geólogos, pero padece por falta de Ingenieros Geólogos. Es necesariamente urgente hacer Ingeniería Geológica desde las aulas de la Universidad; replantear los programas de estudios para que, sin dejar de hacer la investigación que siempre se requiere, hacer más ingeniera geológica aplicada a la prospección minera y petrolera, a la hidrogeología y a la remediación de acuíferos y evitar su contaminación y activar su recarga por medio de pozos de absorción y

barrenos de monitoreo; hacer ingeniería geológica para que los nuevos desarrollos habitacionales no estén en zonas de riesgo; hacer del ingeniero geólogo un especialista en mecánica de rocas y en bio-remediación de zonas contaminadas.

Para lograr todo lo anterior, independientemente del conocimiento de Geología, se debe tener una buena base en ingeniería de costos y presupuestos así como un conocimiento pleno de la maquinaria y equipo que se emplea en esas actividades.

Arturo Peña Cárdenas  
077033725

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Equipos de Perforación Rotaria. Cabrera Pantoja Oswal Augusto. 2012.
- La vida Diaria de los Costos. Castillo Tufiño Jorge Luis. 1998.
- Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Misma (LOPSRM). Enero 2012.
- Reglamento de la LOPSRM. Julio 2010.
- Reglamento para la Construcción de Pozos. Comisión Estatal de Agua, Querétaro. 1995
- Las Empresas y la Licitación de Obra Pública Federal. Tesis. Peña López Arturo. 2013
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-CONAGUA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-199-. Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.
- Introducción a la Física Moderna. John D. McGervey. Trillas. 2005.

## **AGRADECIMIENTOS**

Tengo el honor y un infinito orgullo de haber cursado la carrera de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por lo que estoy eternamente agradecido a todos y cada uno de los profesores que hicieron de este servidor, ser lo que ahora es. Para muchos de estos profesores este agradecimiento llega demasiado tarde, pero quiero dejar constancia que no los he olvidado y siempre tendré mucho que agradecerles.

Gracias a Miguel Vera Ocampo por su amistad, sapiencia y apoyo. Gracias a Alfredo Victoria por el apoyo recibido. Gracias a Enrique González Torres por su paciencia y sus porras para este trabajo. Gracias a todos los directivos y personal del área de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería, que de varias formas me ayudó en los trámites para la titulación, en especial a mis sinodales.

Gracias a Tito por alumbrar esa vereda que por mucho tiempo y por muchas razones, estuvo obscura, olvidada y sin vida. Tu ejemplo me hizo recordar mi gran pendiente.

Muchas gracias a mi Padre y a mi Madre donde quiera que se encuentren.

Gracias UNAM.