



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**RESIDENCIA LOS AZUFRES**

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**RESIDENTES DE CONSTRUCCION**

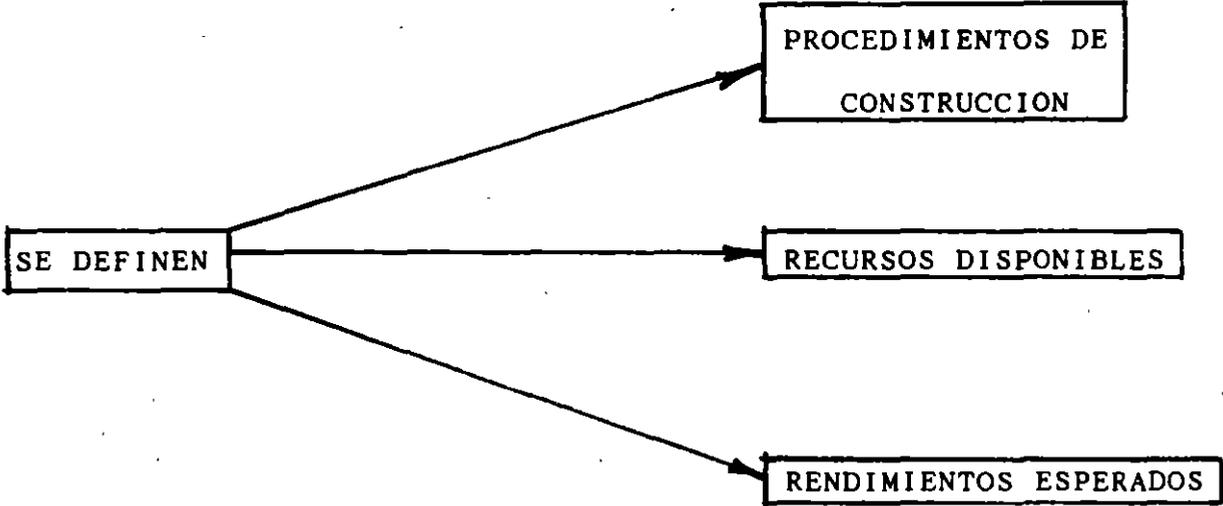
del 3 al 7 de julio de 1995

**TEMA I PLANEACION Y CONTROL DE OBRAS**

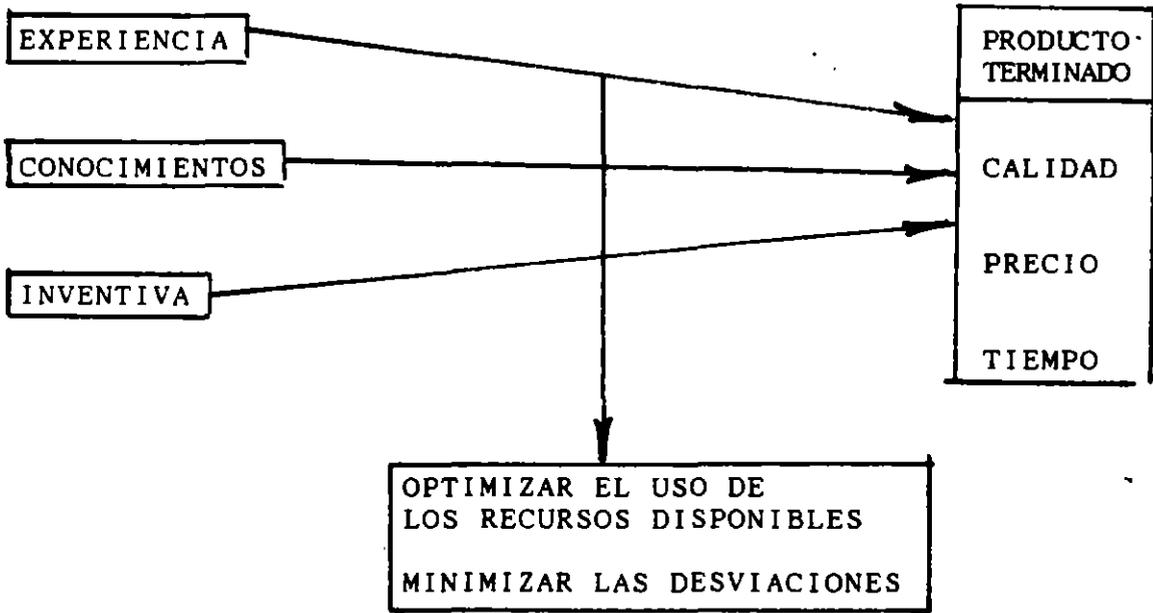
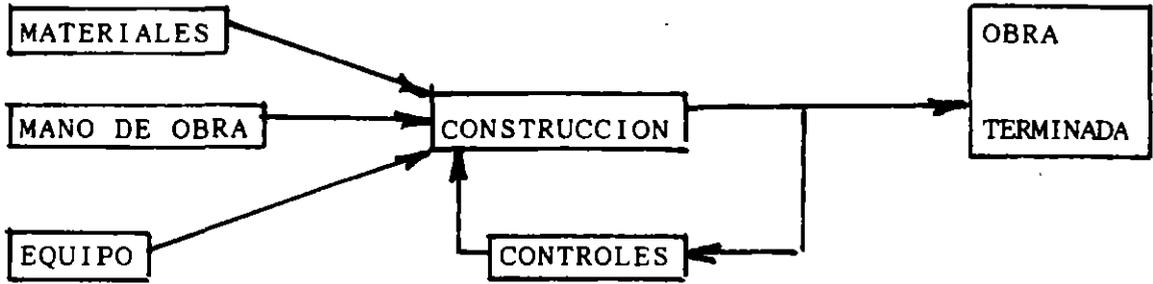
- a) Método de barras o de gantt
- b) Método de la ruta critica (C.P.M.)

LOS AZUFRES, MICH.  
1995

LA PLANEACION DE LAS OBRAS PUEDE DEFINIRSE COMO LA ETAPA EN DONDE EL CONSTRUCTOR PREVE LO QUE ACONTECERA EN EL CAMPO.



EL PROCESO CONSTRUCTIVO PUEDE REPRESENTARSE ASI

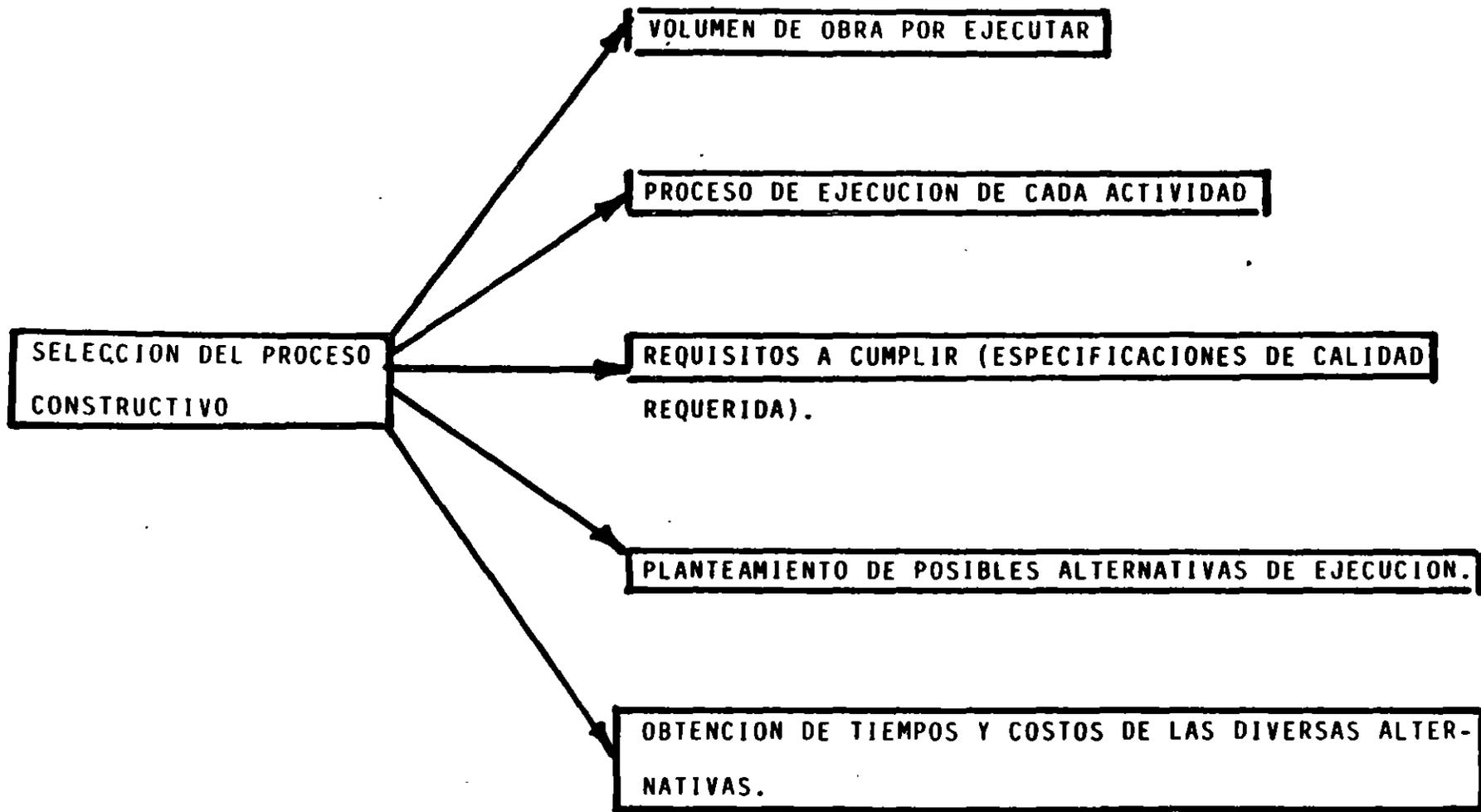


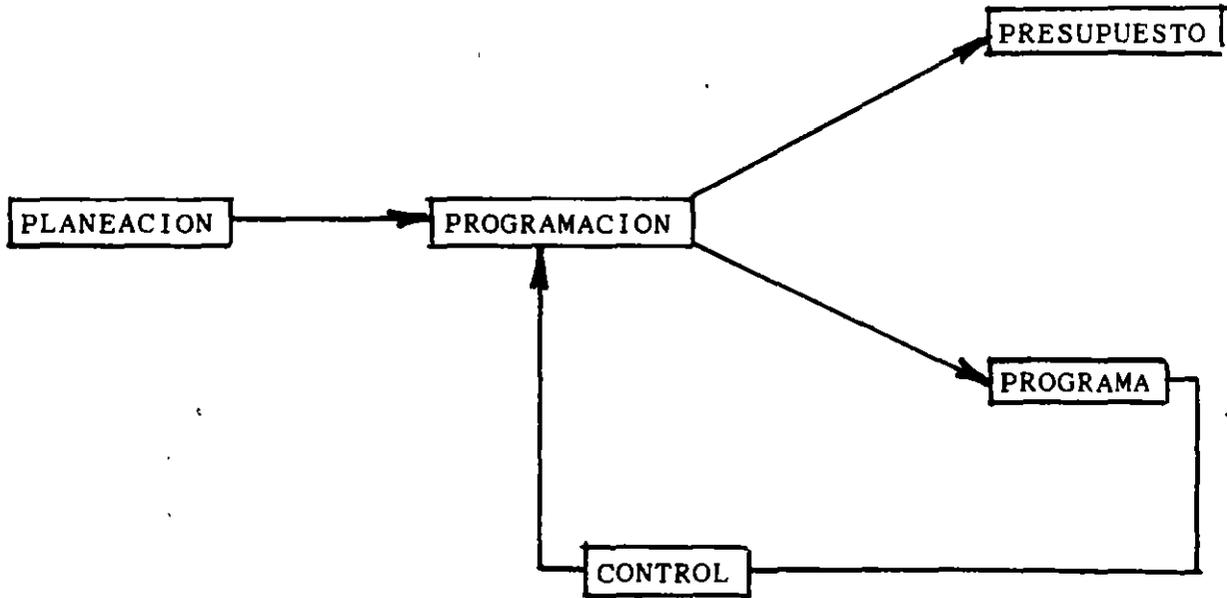
LA MEJOR CALIDAD DE LA PLANEACION DEPENDERA DE :

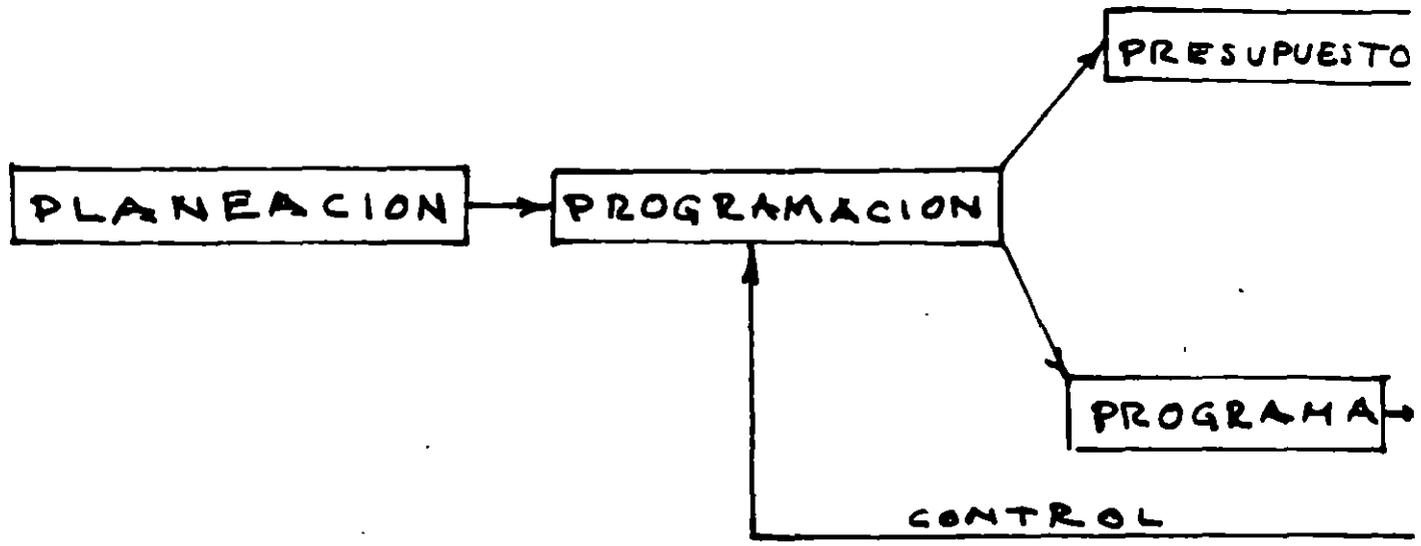
- CONOCIMIENTO DEL PROYECTO
- ALCANCE DE LAS ESPECIFICACIONES
- CUBICACIONES CORRECTAS
- INFORMACION SOBRE LOS MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO
- CONOCIMIENTO DEL LUGAR DE LA OBRA (CLIMA, TOPOGRAFIA, ACCESOS, SERVICIOS EXISTENTES, ETC.)

LA MEJOR CALIDAD DE LA PLANEACION DEPENDERA DE :

- CONOCIMIENTO DEL PROYECTO
- ALCANCES DE LAS ESPECIFICAC.
- CUBICACIONES CORRECTAS
- INFORMACION SOBRE LOS MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO.
- CONOCIMIENTO DEL LUGAR DE LA OBRA (CLIMA, TOPOGRAFIA, ACCESOS, SERVICIOS EXISTENTES, ETC.)

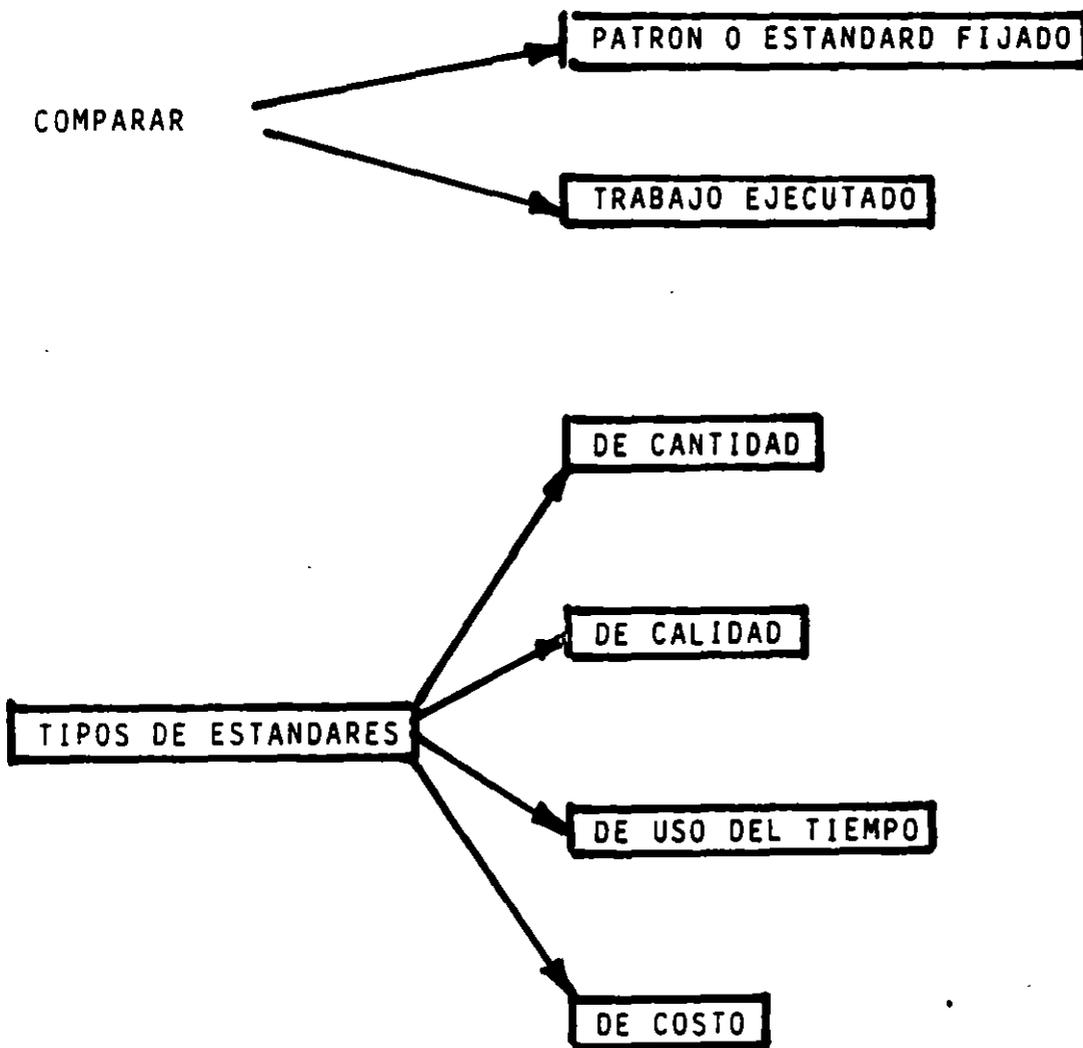






C O N T R O L

PROCESO DE COMPROBAR QUE LO REALIZADO VA DE ACUERDO CON LO PLANEADO Y SI NO FUERA ASI APLICAR LAS MEDIDAS CORRECTIVAS NECESARIAS.



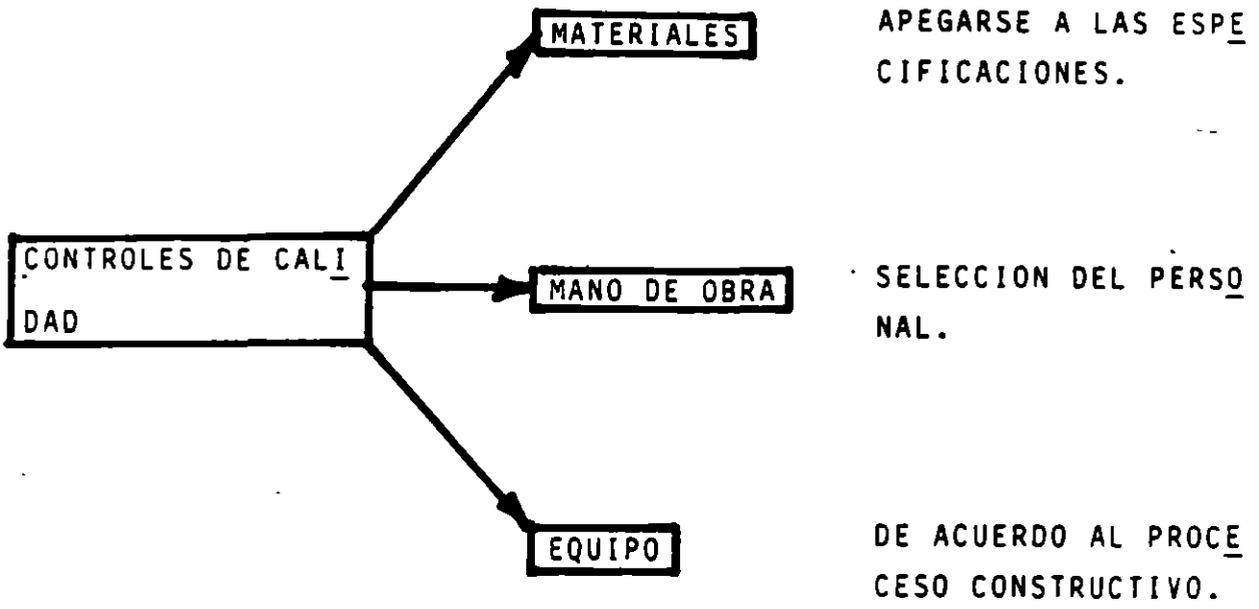
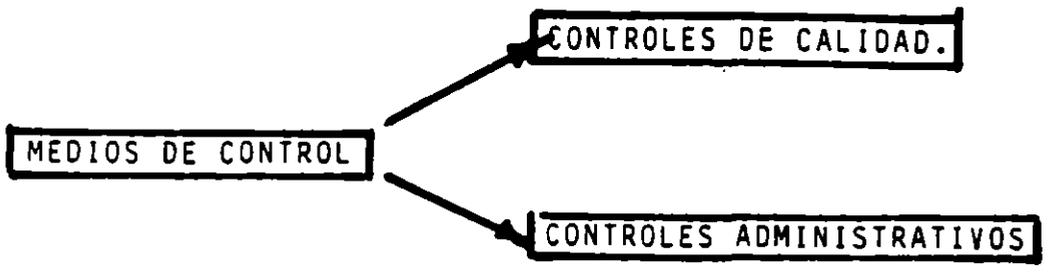
TIPOS MAS USUALES DE ESTANDARES

**DE CANTIDAD** → COMPARAR LOS VOLUMENES REALES CONTRA LOS DE PROYECTO.

**DE CALIDAD** → CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES GENERALES O PARTICULARES MEDIANTE OBSERVACION DIRECTA O MEDICIONES.

**DE USO DEL TIEMPO** → ESTABLECER UN PROGRAMA DE SECUENCIA Y DURACION DE ACTIVIDADES (C.P.M. - GANTT)

**DE COSTO** → PRECIOS UNITARIOS - SE COMPARAN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RETROALIMENTACION.

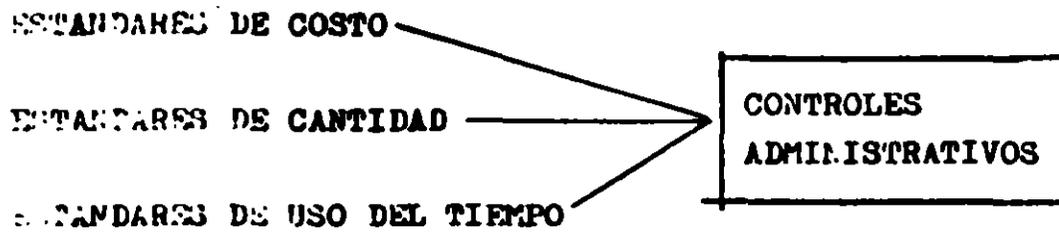


CONTROLES DE CALIDAD

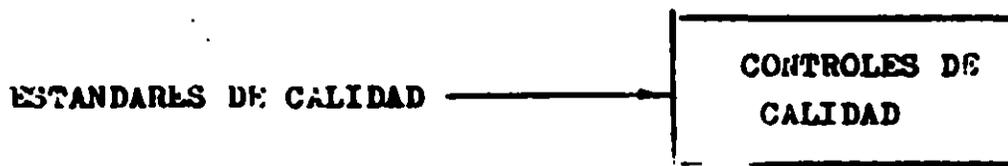
- PLANOS
- ESPECIFICACIONES
- TOLERANCIAS
- PRUEBAS DE LABORATORIO
- SELECCION DE PERSONAL Y EQUIPO ADECUADOS

CONTROLES ADMINISTRATIVOS

- CONCEPTOS DE OBRA.
- ESTIMACIONES.
- PROGRAMAS DE SUMINISTRO DE MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTA.
- PROGRAMAS DE AVANCE DE OBRA.
- PROGRAMA DE RECURSOS HUMANOS.
- PROGRAMA DE RECURSOS ECONOMICOS Y EROGACIONES.
- ALMACEN: RECEPCION Y DISTRIBUCION DE MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTA.
- TOMADURIA DE TIEMPO.



- CONCEPTOS DE OBRA
- ESTIMACIONES
- PROGRAMAS DE SUMINISTRO DE MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTA
- PROGRAMAS DE AVANCE DE OBRA
- PROGRAMA DE RECURSOS HUMANOS
- PROGRAMA DE RECURSOS ECONOMICOS Y EROGACIONES
- ALMACEN: RECEPCION Y DISTRIBUCION DE MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTAS
- TOMADURIA DE TIEMPO



- PLANOS
- ESPECIFICACIONES
- TOLERANCIAS
- PRUEBAS DE LABORATORIO
- SELECCION DE PERSONAL Y EQUIPO ADECUADOS

FIG. 3

#### 4.- EVALUACION DE PROGRAMAS DE OBRA

EL PROGRAMA DE OBRA ES LA HERRAMIENTA QUE NOS PERMITIRA CONTROLAR EL AVANCE QUE SE VA TENIENDO POR SEMANA O POR MES A FIN DE LOGRAR QUE SE TERMINE DENTRO DEL PLAZO PROGRAMADO, CORRIGIENDO OPORTUNAMENTE LAS FALLAS O ERRORES QUE SE HAYAN COMETIDO.

ESTE PROGRAMA DEBE SER CONGRUENTE CON :

- a). EL PROCESO CONSTRUCTIVO
- b). LOS VOLUMENES DE OBRA
- c). RENDIMIENTOS DE LA MANO DE OBRA Y LA MAQUINARIA

EL PROGRAMA DE OBRA ES LA REPRESENTACION GRAFICA DE LA SECUENCIA CON QUE SE EJECUTARAN LAS DIVERSAS ACTIVIDADES Y SU DURACION. LOS METODOS MAS USADOS PARA ELABORARLOS SON :

- METODO DE BARRAS O DE GANTT
- METODO DE LA RUTA CRITICA O CPM (CRITICAL PATH METHOD)

EL PRIMERO ES EL MAS ANTIGUO. EL SEGUNDO SE INICIO EN EL AÑO DE 1957 EN LOS E: E. U. U., SIMULTANEAMENTE POR M. R. WALKER Y J. K. KELLY JR. Y POR LA MARINA DE ESE PAIS.

AMBOS PARTEN DE UNA INFORMACION BASICA QUE ES LA DURACION DE LAS DIFERENTES ACTIVIDADES EN QUE SE HA DIVIDIDO LA OBRA.

ESTE CALCULO SE REALIZA DIVIDIENDO EL VOLUMEN DE OBRA POR EJECUTAR ENTRE EL RENDIMIENTO POR JORNADA DE LA O LAS CUADRILLAS QUE SE VAN A ASIGNAR A LA ACTIVIDAD EN PARTICULAR. SI EL TRABAJO LO VAMOS A REALIZAR CON UNA MAQUINA, DIVIDIMOS ENTRE SU RENDIMIENTO, O SEA, LA CANTIDAD DE TRABAJO QUE NOS ENTREGA EN UNA JORNADA DE 8 HRS.

### METODO DE BARRAS O DE GANTT

EN ESTE METODO SE REPRESENTA LA DURACION DE LA ACTIVIDAD MEDIANTE UNA BARRA CUYA LONGITUD ES EL NUMERO DE SEMANAS O MESES CALCULADOS EN LA FORMA YA DESCRITA.

LAS BARRAS SE VAN COLOCANDO EN LOS CASILLEROS CORRESPONDIENTES A LAS SEMANAS O MESES EN QUE SE VAYAN A INICIAR LAS ACTIVIDADES, TOMANDO EN CUENTA EL PROCESO CONSTRUCTIVO QUE SE VA A SEGUIR, SIENDO POR LO TANTO DETERMINANTE LA EXPERIENCIA O CRITERIO DE LA PERSONA QUE ESTA FORMULANDO EL PROGRAMA.

LA DURACION DE LA OBRA O SEA LA FECHA DE SU TERMINACION NOS LA DARA LA ULTIMA ACTIVIDAD POR REALIZAR.

ESTA FECHA O DURACION OBTENIDA EN UN PRIMER INTENTO PUEDE REDUCIRSE ANTICIPANDO EN ALGUNOS DIAS O SEMANAS LA INICIACION DE ALGUNA O ALGUNAS ACTIVIDADES, SIEMPRE Y CUANDO LO PERMITAN EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y LOS RECURSOS DISPONIBLES (HUMANOS O DE EQUIPO).

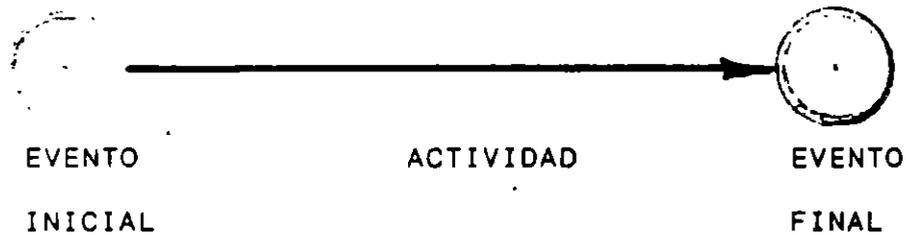
COMO SE VE, ESTE METODO TIENE COMO UNICA VENTAJA SU FACILIDAD DE INTERPRETACION, PERO EN CONTRAPARTIDA TIENE LA DESVENTAJA QUE EL CRITERIO DEL PROGRAMADOR ES DEFINITIVO, LO QUE AL VARIAR DE UNA PERSONA A OTRA DA COMO RESULTADO DIFERENTES SOLUCIONES.

### METODO DE LA RUTA CRITICA (CPM)

DESPUES DE HABER CALCULADO LAS DURACIONES DE LAS ACTIVIDADES COMO SE INDICO EN EL METODO ANTERIOR, SE CLASIFICAN, MEDIANTE UNA MATRIZ DE PRECEDENCIA (ANEXO 4<sup>1</sup>), EN AQUELLAS QUE PUEDEN REALIZARSE "INMEDIATAMENTE DESPUES", SI NOS GUIAMOS POR RENGLONES, O LAS QUE

PUEDEN REALIZARSE "INMEDIATAMENTE ANTES" SI NOS GUIAMOS POR COLUMNAS.

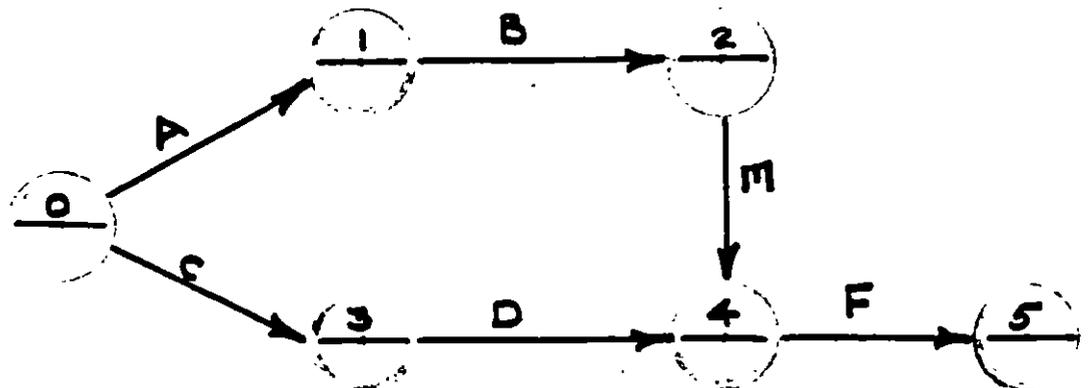
CON ESTA INFORMACION PODEMOS TRAZAR LA RED EN LA QUE CADA ACTIVIDAD QUEDA REPRESENTADA POR UNA FLECHA, CUYA LONGITUD NO TIENE NINGUN SIGNIFICADO; LIMITADA EN SU ORIGEN POR UN CIRCULO LLAMADO EVENTO INICIAL QUE MARCA EL INICIO DE LA ACTIVIDAD. EN SU OTRO EXTREMO ESTA LIMITADA POR OTRO CIRCULO "EVENTO FINAL" QUE MARCA SU TERMINACIO.



ESTOS "EVENTOS" SE UTILIZAN PARA IDENTIFICAR UNA ACTIVIDAD, COMO SE MUESTRA EN FIGURA SIGUIENTE



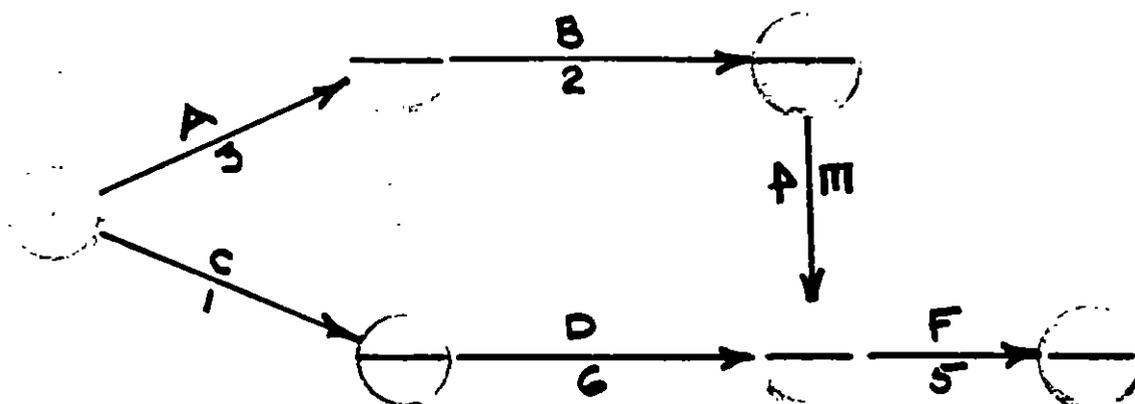
PODEMOS REFERIRNOS A LA ACTIVIDAD "A" O A LA ACTIVIDAD 1-2  
UNA RED PUEDE SER LA SIGUIENTE



SUPONGAMOS QUE LAS DURACIONES CALCULADAS PARA CADA ACTIVIDAD FUERON LAS SIGUIENTES :

ACTIVIDAD	DURACION EN JORNADAS
A 0-1	3
B 1-2	2
C 0-3	1
D 3-4	6
E 2-4	4
F 4-5	5

EN LA PARTE INFERIOR DE CADA FLECHA ANOTAMOS SU DURACION



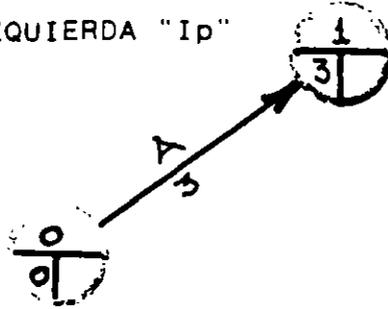
CADA EVENTO LO SUBDIVIDIREMOS EN ESTA FORMA



EN LA MITAD SUPERIOR ANOTAMOS SU NUMERO. EN EL CASILLERO DEL LADO IZQUIERDO ANOTAMOS LA FECHA DE INICIO QUE LLAMAREMOS "INICIACION PROXIMA" Y QUE PARA EL PRIMER EVENTO SERA EL DIA CERO.

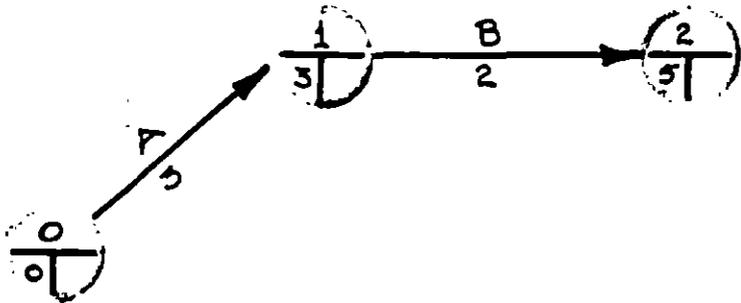
RECORRIENDO LA RED EN EL SENTIDO DE LAS FLECHAS VAMOS SUMANDO

LAS DURACIONES DE CADA ACTIVIDAD Y ANOTANDO EL RESULTADO EN EL CASILLERO DE LA IZQUIERDA "Ip"



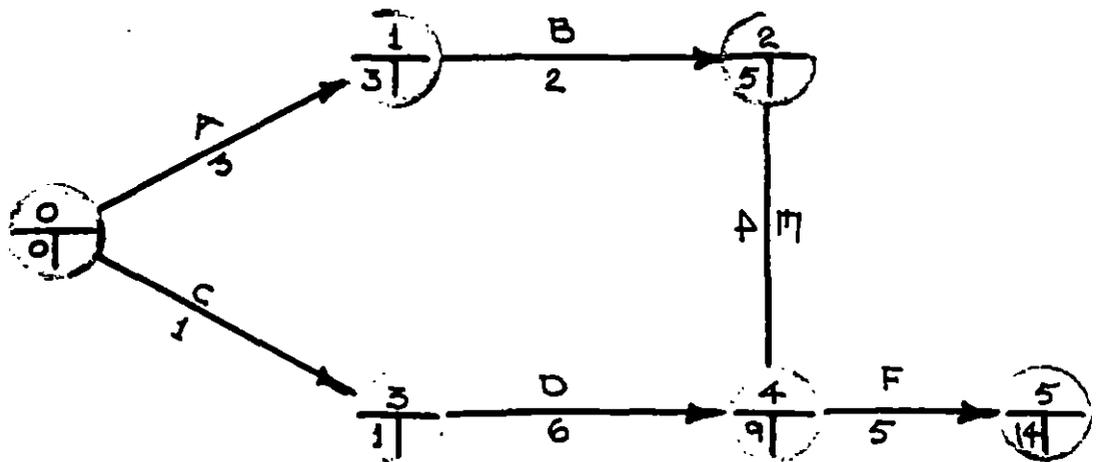
ESTO SE INTERPRETA QUE LA ACTIVIDAD "A" SE INICIA EL DIA CERO Y SE TERMINA EL DIA TRES.

CONTINUAMOS CON LA ACTIVIDAD B



LA ACTIVIDAD B SE INICIA EL DIA 3 (AL TERMINAR LA ACTIVIDAD A) Y TERMINA EL DIA 5.

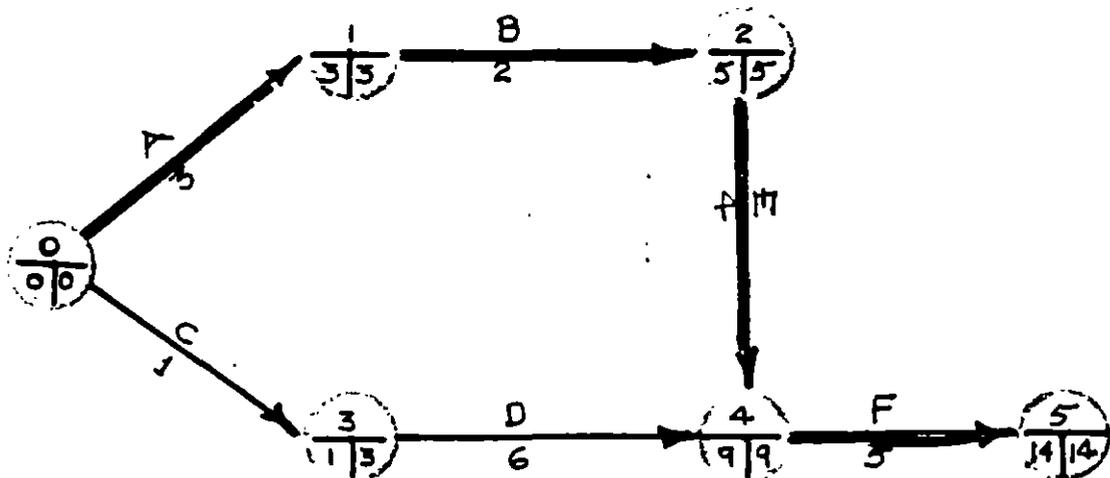
PROCEDIENDO EN LA MISMA FORMA LA RED QUEDARA ASI



EN EL EVENTO 4 CONFLUYEN DOS ACTIVIDADES, LA E LA CUAL LLEGA EL DIA 9 (5+4) Y LA D QUE LLEGA EL DIA 7 (1+6); DE LAS DOS FECHAS TOMAMOS LA MAYOR O SEA EL DIA 9.

EN EL EVENTO 5 TENEMOS LA FECHA DE TERMINACION DE LA OBRA, EL DIA 14.

AHORA VAMOS A RECORRER LA RED EN EL SENTIDO INVERSO, PARTIENDO DEL EVENTO FINAL 5 Y REPITIENDO LA FECHA 14 EN EL CASILLERO DEL LADO DERECHO A LA CUAL LLAMAREMOS TERMINACION TARDIA "Tt" Y VAMOS RESTANDO LAS DURACIONES Y ANOTANDO EL RESULTADO EN LOS CASILLEROS VACIOS, OBTENIENDO LO SIGUIENTE:



AL LLEGAR AL EVENTO CERO COINCIDEN DOS FECHAS; CON EL EVENTO C LLEGARIAMOS EL DIA 2 (3-1) Y CON EL EVENTO A EL DIA CERO (3-3); DE LAS DOS FECHAS TOMAMOS LA MENOR O SEA CERO LO CUAL COMPRUEBA QUE ESTA BIEN NUESTRO CALCULO YA QUE DE HABER LLEGADO CON UNA FECHA DIFERENTE A LA DE INICIACION DEL PROYECTO QUIERE DECIR QUE HEMOS COMETIDO UN ERROR.

LAS DOS FECHAS EN CADA EVENTO REPRESENTAN : EN UN EVENTO

INICIAL, LA INICIACION MAS PROXIMA  $I_p$  Y LA INICIACION MAS REMOTA  $I_r$

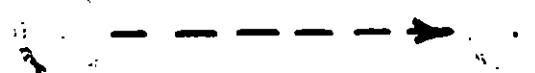


Y EN UN EVENTO FINAL LA TERMINACION MAS PROXIMA  $T_p$  Y LA TERMINACION MAS REMOTA  $T_r$ .



UNIENDO LOS EVENTOS DONDE COINCIDEN LAS DOS FECHAS TENDREMOS EL TRAZO DE LA RUTA CRITICA. LAS ACTIVIDADES QUE LA CONSTITUYEN (A,B,E Y F) SE CLASIFICAN COMO CRITICAS Y DEBE DEDICARSE A ELLAS NUESTRA MAYOR ATENCION, SUMINISTRANDOLES TODOS LOS RECURSOS QUE LES SEAN NECESARIOS YA QUE CUALQUIER ATRASO EN ELLAS RETRASARIA LA FECHA DE TERMINACION DE LA OBRA, SIENDO NECESARIO CALCULAR LA NUEVA RUTA CRITICA AL CONVERTIRSE EN CRITICAS ACTIVIDADES QUE NO LO ERAN.

CUANDO EN UN EVENTO O NODO NO COINCIDEN LAS FECHAS, SU DIFERENCIA SE DENOMINA "HOLGURA" Y REPRESENTA EL NUMERO DE DIAS QUE PODRIA DEMORARSE LA TERMINACION DE ESA ACTIVIDAD O EL INICIO DE LA SIGUIENTE.

SI EN UN PROYECTO EXISTEN RESTRICCIONES DE ALGUN TIPO, DE MANO DE OBRA O DE ALGUNA MAQUINARIA DE LA QUE NO PODEMOS DISPONER HASTA DETERMINADA FECHA, ESTA SITUACION SE REPRESENTA CON UNA LINEA DE GUIONES  SE LLAMAN ACTIVIDADES FICTICIAS, NO CONSUMEN TIEMPO PERO SI PUEDEN MODIFICAR EL TRAZO DE LA RUTA CRITICA.

PODEMOS CONCLUIR QUE EL METODO DE LA RUTA CRITICA TIENE LAS SIGUIENTES VENTAJAS:

- a). - MEDIANTE SIMPLES SUMAS Y RESTAS ARITMETICAS OBTENEMOS

UNA FECHA PRECISA DE TERMINACION DE LA OBRA, LO CUAL  
DESCARTA EL CRITERIO DEL PROYECTISTA.

- b). - JERARQUIZA LAS ACTIVIDADES DANDONOS A CONOCER CUALES SON  
CRITICAS Y EN CUALES DISPONEMOS DE HOLGURAS.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CPM SE REPRESENTAN EN UN  
DIAGRAMA DE BARRAS MEDIANTE EL CUAL PROGRAMAMOS NUESTROS RECURSOS  
DE MANO DE OBRA, MATERIALES, MAQUINARIA Y FINANCIEROS.

AL EVALUAR UN PROGRAMA DE OBRAS DEBEN CONSIDERARSE LOS  
SIGUIENTES ASPECTOS :

- DURACION DE LA OBRA
- PROCESO CONSTRUCTIVO PROPUESTO
- CONDICIONES CLIMATOLOGICAS (TEMPORADA E INTENSIDAD DE LAS  
LLUVIAS)
- PLANEACION DE LOS RECURSOS

UNO SOLO DE ESTOS ASPECTOS PUEDE MODIFICARNOS NUESTRO PROGRAMA.

## 5 .- EVALUACION DEL PRESUPUESTO CONTRA EL PROGRAMA DE OBRAS

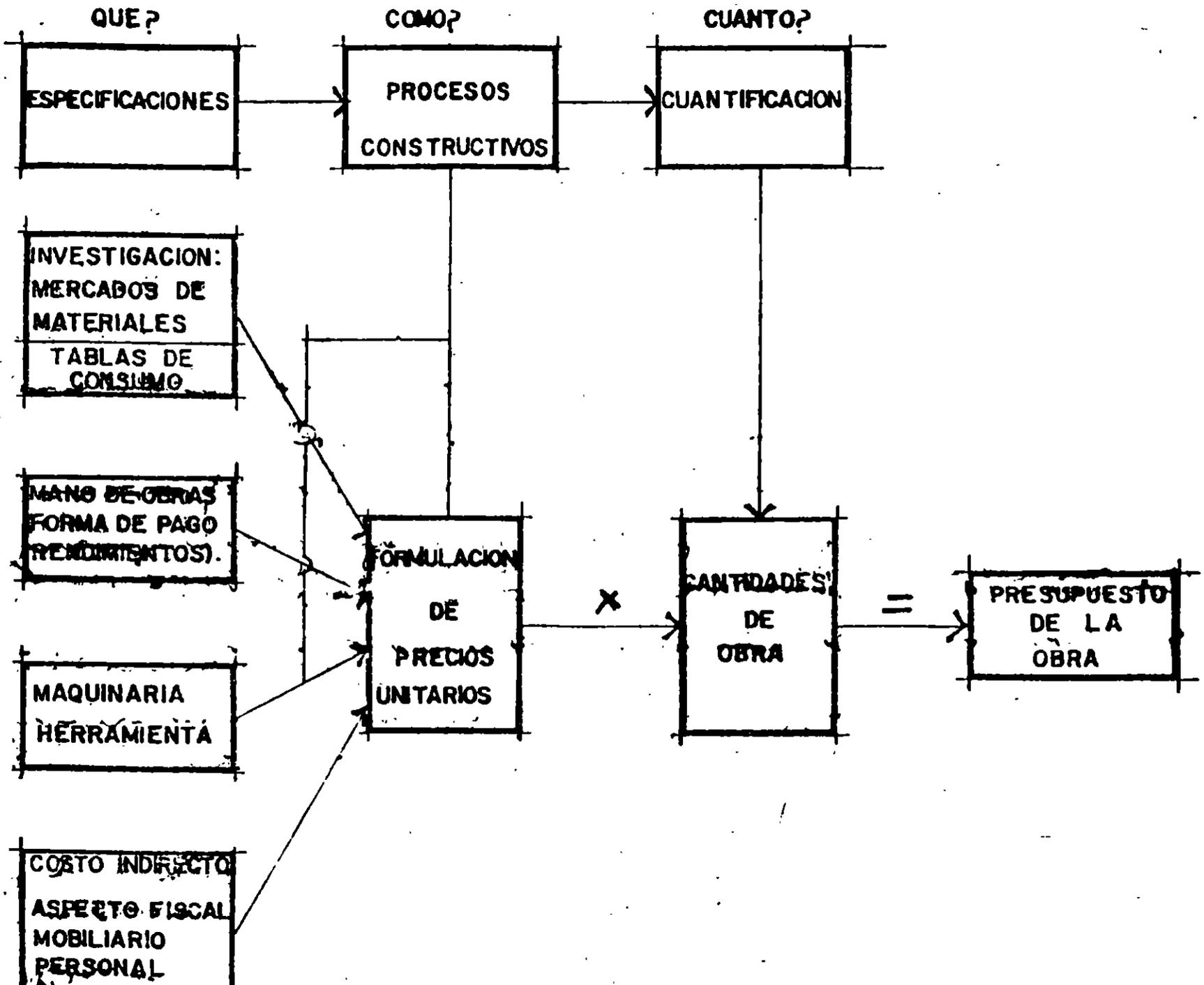
UN ASPECTO TAN IMPORTANTE COMO EL CONTROL DEL AVANCE EN LA OBRA LO ES EL ESTUDIO DEL ASPECTO FINANCIERO DE LA MISMA. PARA ELLO NOS VALEMOS DEL PROGRAMA DE OBRA Y DE SU PRESUPUESTO.

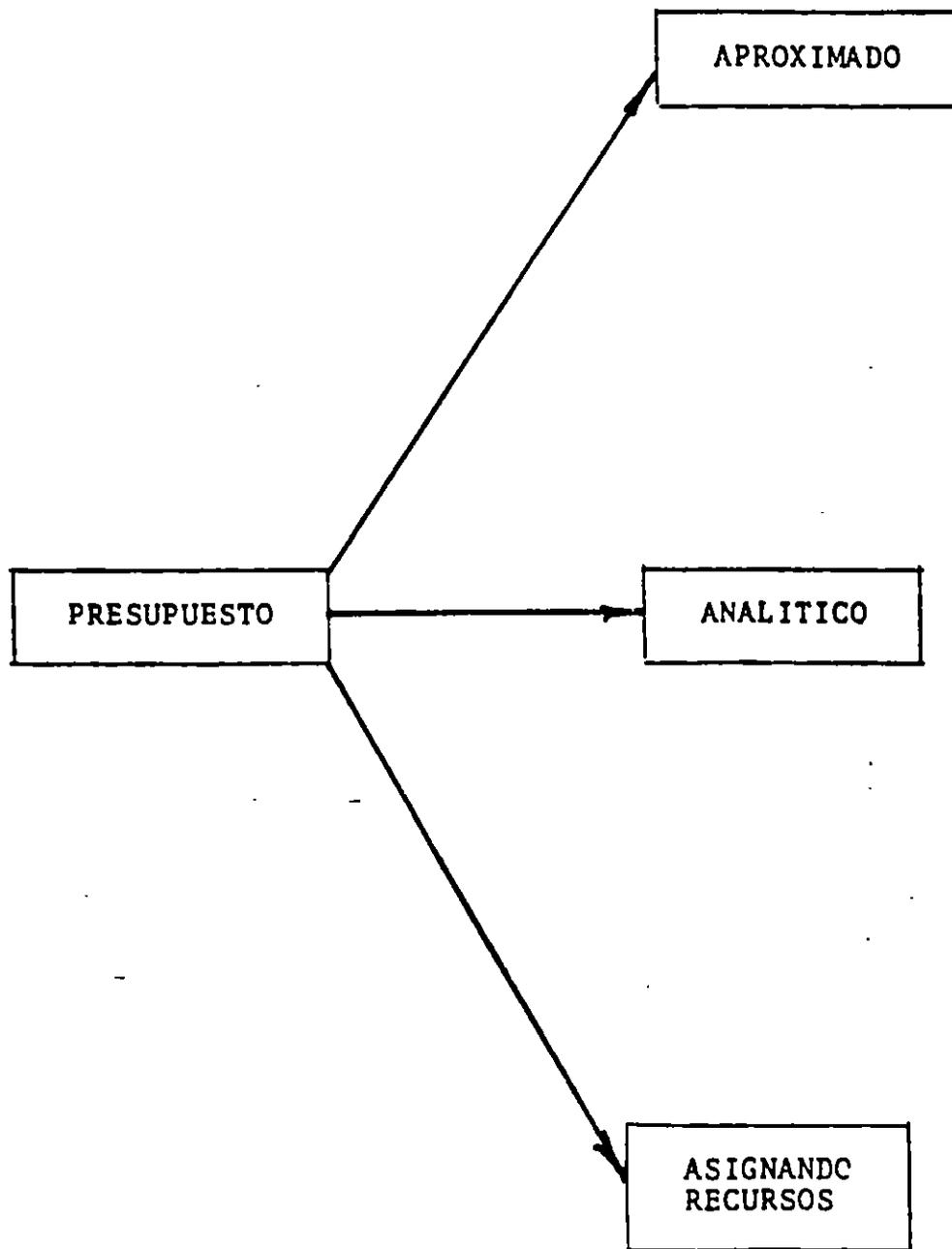
LOS PASOS A SEGUIR SON LOS SIGUIENTES :

- VACIAMOS EN UN DIAGRAMA DE BARRAS LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA RUTA CRITICA EN CUANTO A LAS ACTIVIDADES, SUS FECHAS DE INICIO Y TERMINACION ASI COMO LAS HOLGURAS DE TIEMPO DE QUE DISPONEMOS EN LAS QUE NO SEAN CRITICAS (ANEXO 5).
- ANOTAMOS A LO LARGO DE CADA BARRA LA EROGACION POR SEMANA O POR MES, SEGUN LA UNIDAD DE TIEMPO QUE ESTEMOS MANEJANDO, DIVIDIENDO SU IMPORTE ENTRE EL NUMERO DE SEMANAS O MESES.
- SUMAMOS VERTICALMENTE LAS EROGACIONES LO QUE NOS DARA LOS MONTOS POR MES Y ACUMULADOS.
- EN EL RENGLON INFERIOR ANOTAMOS LOS INGRESOS CORRESPONDIENTES AL COBRO DE ESTIMACIONES CON EL DEFASAMIENTO EN TIEMPO POR LO QUE DEMORE SU TRAMITACION Y COBRO.
- EN EL SIGUIENTE RENGLON ANOTAMOS LOS INGRESOS ACUMULADOS. NUESTRA TABLA QUEDARA COMO SE VE EN EL ANEXO 6.
- GRAFICAMOS LOS INGRESOS Y EGRESOS ACUMULADOS (ANEXO 7). LA DIFERENCIA ENTRE LAS DOS ULTIMAS ORDENADAS NOS DARA LA UTILIDAD. DE ESTA GRAFICA PODEMOS SACAR LAS SIGUIENTES CONCLUSIONES:
  - a) . CUANDO LA CURVA DE EROGACIONES VAYA ARRIBA DE LA DE INGRESOS INDICARA QUE SE REQUIERE UN FINANCIAMIENTO YA QUE LA CONTABILIDAD ARROJARA NUMEROS ROJOS.

b) . CUANDO LA CURVA DE INGRESOS VAYA ARRIBA DE LA DE  
EROGACIONES NOS INDICA QUE SE TIENE UNA UTILIDAD.







a) Costo histórico indexado

$$Pa = Po \times FP \times \frac{Ia}{Io}$$

Pa= Precio actualizado

Po= Precio original o base

FP= Factor de ponderación  
de los insumos

Ia= índice actual

Io= índice original

Presupuesto aproximado

± 10 a 20%

b) Tabuladores de precios  
oficiales y particulares

PRESUPUESTO ANALITICO

SE CALCULA SIGUIENDO LOS LINEAMIENTOS DE LA LEY DE

OBRAS PUBLICAS (9 DE ENERO DE 1990)

$P.U. = C.D. + C.I. + C.F. + U + C.A.$

DONDE:

P.U. = PRECIO UNITARIO

C.D. = COSTO DIRECTO

C.I. = COSTO INDIRECTO

C.F. = COSTO DE FINANCIAMIENTO

U = UTILIDAD

C.A. = CARGOS ADICIONALES



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**RESIDENCIA LOS AZUFRES**

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**RESIDENTES DE CONSTRUCCION**

del 3 al 7 de julio de 1995

**TEMA II FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO**

LOS AZUFRES, MICH.  
1995

## DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO

- I Común o Normal - Para condiciones normales no agresivas
- II Portland Modificado - Menor calor de hidratación, mayor resistencia a aguas y suelos sulfatados. Adecuado para obras hidráulicas y estructuras de tamaño considerable como grandes muelles, contrafuertes de gran espesor y grandes muros de contención en los cuales es necesario reducir la elevación de la temperatura.
- III Resistencia Rápida - Desarrolla mayor resistencia a primeras edades, y así, su resistencia a 7 días es comparable con la del tipo I a 28 días. No es apto para concreto en masa.
- IV Cemento Portland de Bajo Color - Genera al hidratarse menos calor que los otros cementos y a menor velocidad: reduce el agrietamiento que resulta de las grandes elevaciones de temperatura. Para usarse en grandes masas de concreto, como en presas de gravedad.
- V Cemento Portland de Alta Resistencia a los sulfatos - En especial para usarse en construcciones expuestas a la acción severa de los sulfatos, como pueden ser revestimiento de canales, alcantarillas, túneles, sifones etc.

Cemento Portland Blanco - Para usos decorativos.

Cemento Portland Puzolánico - Consiste de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana, la cual se obtiene a través de la molienda simultánea de clinker, puzolana y yeso. - Se emplea principalmente en concretos para obras hidráulicas y marítimas.

Cemento Portland-Escoria de Alto Horno - Es el producto que se obtiene de la molienda simultánea de clinker, escoria granulada de alto horno y yeso. Se emplea en construcciones de tipo masivo. Es resistente a la acción de los sulfatos y no es bueno en climas fríos por su bajo calor de hidratación.

# PROPORCIONAMIENTOS DE CONCRETO PARA UN BULTO DE CEMENTO

(Revenimiento 10 cm. Botes alcoholeros de 18 lts)

F <sub>c</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	Grava de 3/4"				Grava de 1 1/2"				EMPLEO
	Cemento Saco	Arena botes	Grava botes	Agua botes	Cemento Saco	Arena botes	Grava botes	Agua botes	
100	1	5 1/2	6	2	1	6	8	2	Firmes para pisos
150	1	4 3/4	5 1/4	1 3/4	1	5 1/4	7 1/2	1 3/4	Trabes-Dalas
200	1	4	4 1/2	1 1/2	1	4 1/4	6	1 1/2	Losas-Zapatas
250	1	3 1/2	4	1 1/4	1	3 3/4	5 1/2	1 1/4	Columnas-Techos
300	1	2 3/4	3 1/2	1	1	3	4 3/4	1	Alta Resistencia

## FABRICACION DE CONCRETO

### INTRODUCCION

#### 1.1 ALCANCE.

En este trabajo se bosquejan métodos y procedimientos para lograr buenos resultados en la medición y mezcla de ingredientes para el concreto. Se revisan también equipos y métodos desarrollados recientemente.

#### 1.2 OBJETIVO.

Al hacer estas recomendaciones, se consideró:

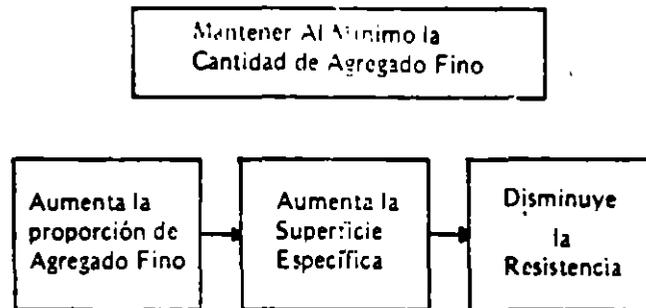
1. Que el adelanto en el mejoramiento de la construcción con concreto, dará un mejor resultado en cuanto a la presentación de altos estándares de uso, en lugar de "prácticas comunes". En este aspecto, algunos consideran que los sistemas inferiores les bastan, pero estas recomendaciones se proponen tomando como base lo que "debería hacerse".
2. Es evidente que los sistemas empleados para producir y colocar concreto de alta calidad, pueden ser tan económicos como aquellos que nos dan un concreto de baja calidad.

#### 1.3 OTRAS CONSIDERACIONES.

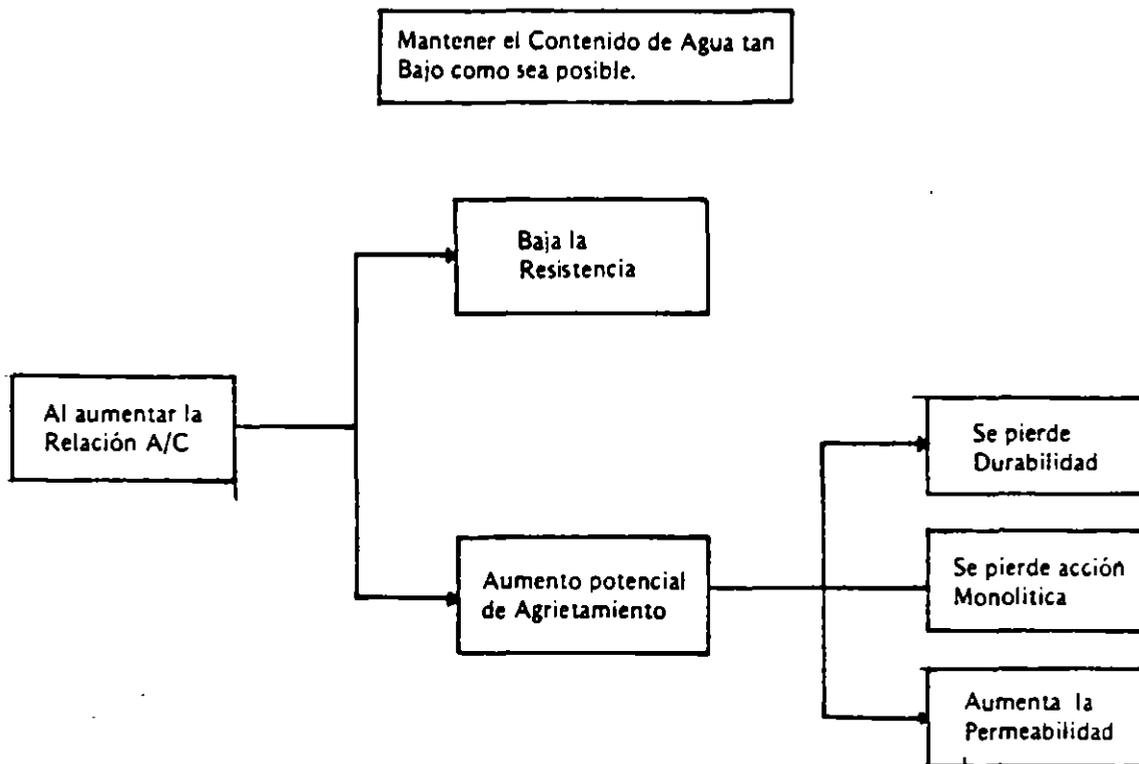
Todos aquellos que se ocupan en trabajos de concreto, deben tomar en cuenta la importancia de mantener el contenido unitario de agua tan bajo como lo permitan los requisitos de colocación. Aunque la relación agua-cemento se mantenga constante, un aumento del agua por unidad también aumenta potencialmente el agrietamiento por contracción durante el secado y con este agrietamiento el concreto pierde parte de su durabilidad y otras características deseables, por ejemplo: Su acción monolítica y baja permeabilidad. Cuando se aumenta arbitrariamente agua, se incrementa la relación agua-cemento y tanto la resistencia como la durabilidad se afectan adversamente. A medida que la cimbra se llena

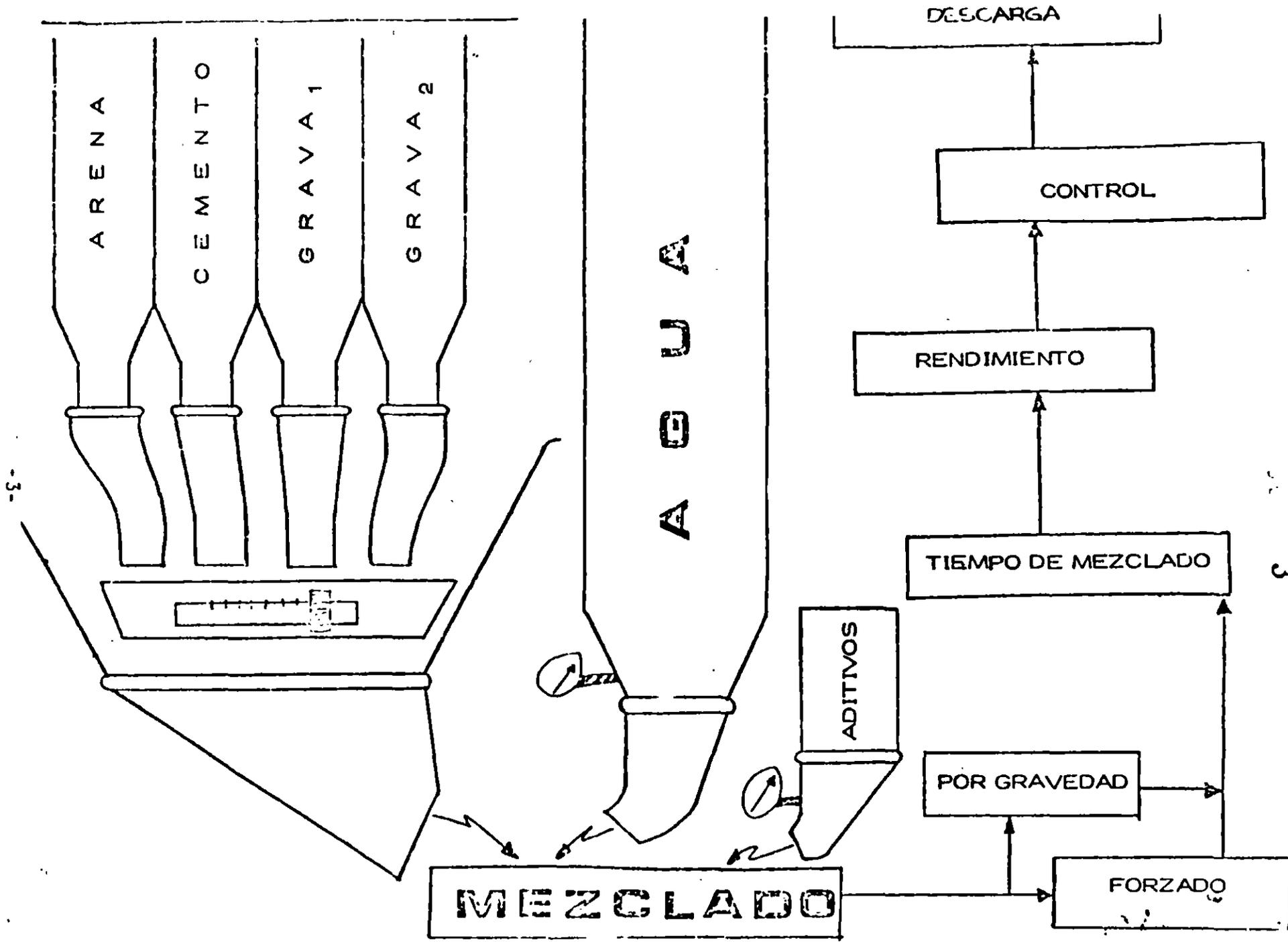
con la correcta combinación de sólidos y la menor cantidad posible de agua, mejor será el concreto resultante. Debe practicarse un uso moderado en la cantidad de agua-cemento y agregado fino, junto con el uso del agregado graduado al tamaño máximo permitido por las aberturas de la cimbra y el espacio entre el refuerzo. También debe emplearse la estricta cantidad de cemento que se requiera para obtener la resistencia adecuada y otras propiedades esenciales. Únicamente se empleará la cantidad de agua y agregado fino que se requiera para hacer fácil su manejo, y obtener así un buen vaciado y consolidación por medio de la vibración.

### RECOMENDACION



### RECOMENDACION





-3-

TRANSPORTE DE CONCRETO

FACTORES QUE INTERVIENEN:

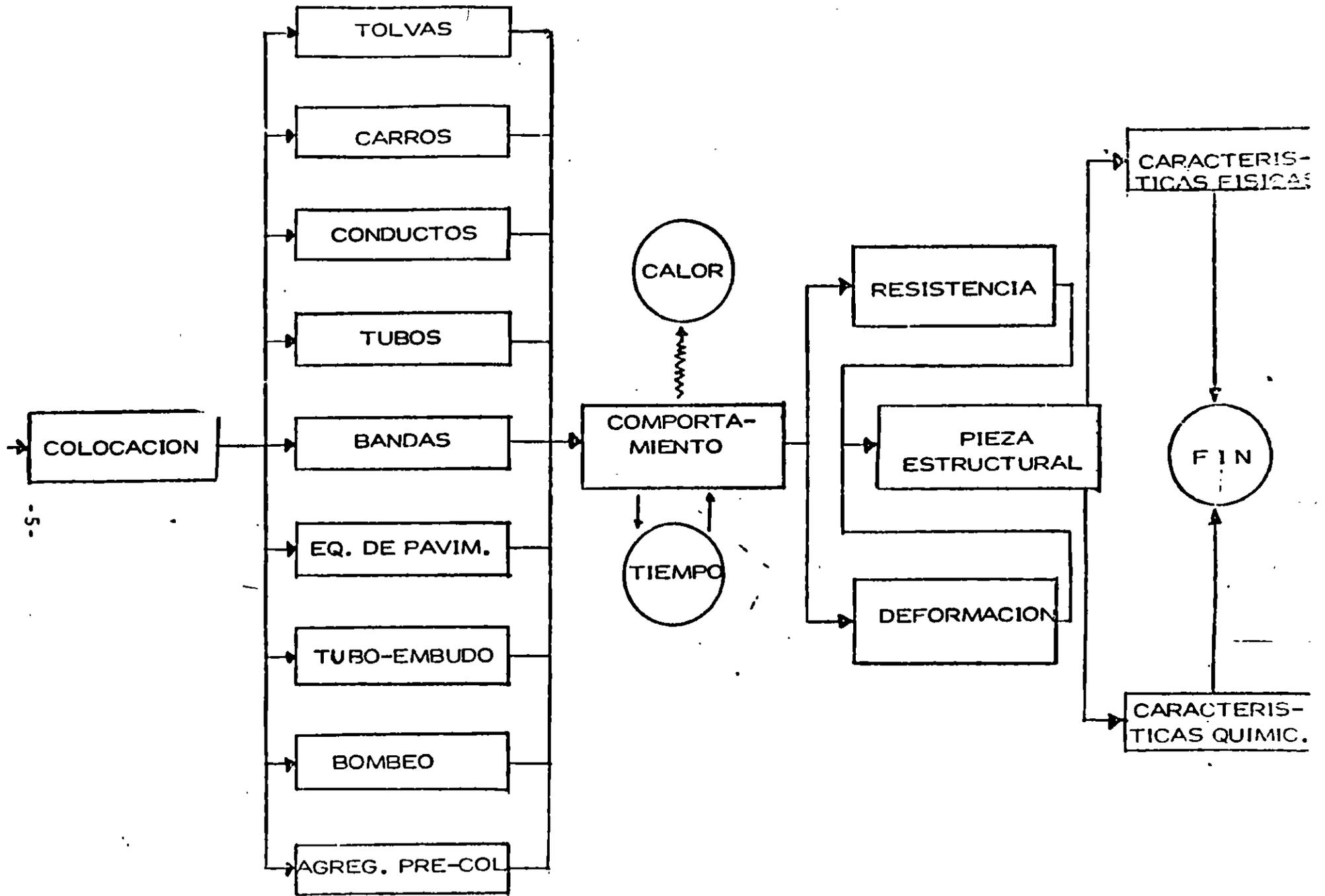
- = DISTANCIA A RECORRER
- = TIEMPO DE TRANSPORTE
- = CONDICIONES DEL CAMINO
- = TRANSPORTE DISPONIBLE
- = CARACTERISTICAS DEL CONCRETO
- = DESPLAZAMIENTO: HORIZONTAL O VERTICAL
- = VOLUMEN A TRANSPORTAR
- = COSTO

MEDIO DE UTILIZAR

= CAJAS  
CAMION = CUCHARONES  
= REVOLVEDORA (OLLA)

= CAJA FIJA  
= CUCHARONES  
FERROCARRIL: = GONDOLA.  
= TOLVAS

= BANDA TRANSPORT.  
= TUBERIA  
OTROS: = MANGUERA  
= TORNILLO HELICOIDAL  
= MALACATES Y POLEAS



## CONTROL, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

### 2.1 AGREGADOS.

Los agregados fino y grueso, al descargarse en la tolva dosificadora por peso, deben ser de buena calidad, uniformes en granulometría y contenido de humedad. La producción de un concreto uniforme será difícil, si no se siguen las especificaciones relativas a la selección, preparación y manejo adecuado de los agregados.

#### 2.1.1 Agregado grueso.

##### 2.1.1.1 Tamaños.

La segregación en un agregado grueso se reduce prácticamente al mínimo, mediante la separación del material en fracciones de varios tamaños y de la dosificación de estas fracciones por separado. A medida que la variedad de tamaños de cada fracción disminuye y el número de separaciones por tamaño aumenta, la segregación disminuye aún más. El control eficaz de segregación y de materiales de inferior tamaño que lo normal se logra adecuadamente cuando la proporción de medidas máximas a mínimas en cada fracción se mantiene a no más de cuatro, para agregados menores de 25.4 mm. (1 pulgada) de diámetro, y de dos, para los tamaños mayores.

Ejemplos de algunas maneras de agrupar fracciones de agregados son las siguientes:

##### EJEMPLO 1.

4.76 hasta 20 mm (Núm. 4 hasta 3/4 de pulgada)  
20 hasta 40 mm (3/4 hasta 1-1/2 pulgada)  
40 hasta 75 mm (1-1/2 hasta 3 de pulgadas)  
75 hasta 150 mm (3 hasta 6 pulgadas)

##### EJEMPLO 2.

4.76 hasta 125 mm (Núm. 4 hasta 1 pulgada)  
25 hasta 50 mm (1 hasta 2 pulgadas)  
50 hasta 100 mm (2 hasta 4 pulgadas)

##### 2.1.1.2 Control de material de menor tamaño.

Para un control eficaz de granulometría, es esencial que las operaciones de manejo no aumenten significativamente la cantidad de los materiales de menor tamaño en los agregados, antes de su uso en concreto. La granulometría del agregado al entrar en la revolvedora debe ser uniforme y dentro de los límites especificados. Los análisis de mallas del agregado grueso deben practicarse frecuentemente, para asegurarnos que cumple con los requisitos de granulometría. Cuando se emplean dos o más tamaños de agregado, deben hacerse cambios en las proporciones de los tamaños las veces que sea necesario, para mejorar la graduación total del agregado combinado.

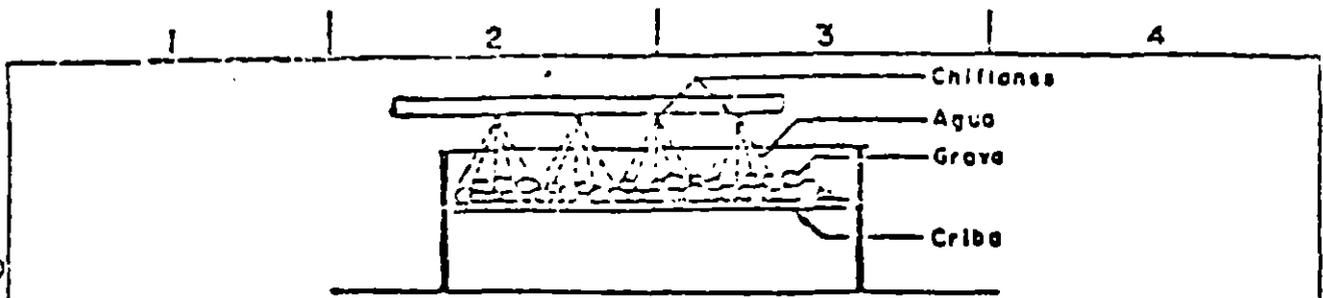
#### 2.1.2 Agregado fino (arena).

El agregado fino debe controlarse para reducir al mínimo las variaciones en la graduación, manteniendo las fracciones más finas uniformes y teniendo cuidado de evitar la excesiva eliminación de los finos durante el proceso.

#### 2.1.3 Almacenamiento.

El almacenaje en montones de agregados debe mantenerse al mínimo, pues aún bajo condiciones ideales los finos tienden a acumularse. Sin embargo, cuando es necesario almacenar en montones, el uso de métodos incorrectos acentúa problemas con los finos y también causa segregación, rompimiento del agregado y una excesiva variación en la graduación. Los montones deben construirse en capas horizontales o suavemente inclinadas, no por volteo. Sobre los montones no deben operarse camiones, bulldozers, y otros vehículos, puesto que, además de quemar el agregado, a menudo dejan tierra sobre los depósitos. Debe proveerse una base dura para evitar la contaminación del material en el fondo, y el traslape de los diferentes tamaños debe evitarse mediante muros apropiados o amplios espacios entre los montones. No debe permitirse que el viento separe los agregados finos secos, y los depósitos no deben contaminarse oscilando cucharones o cangilones sobre los varios tamaños de agregados almacenados en montones.

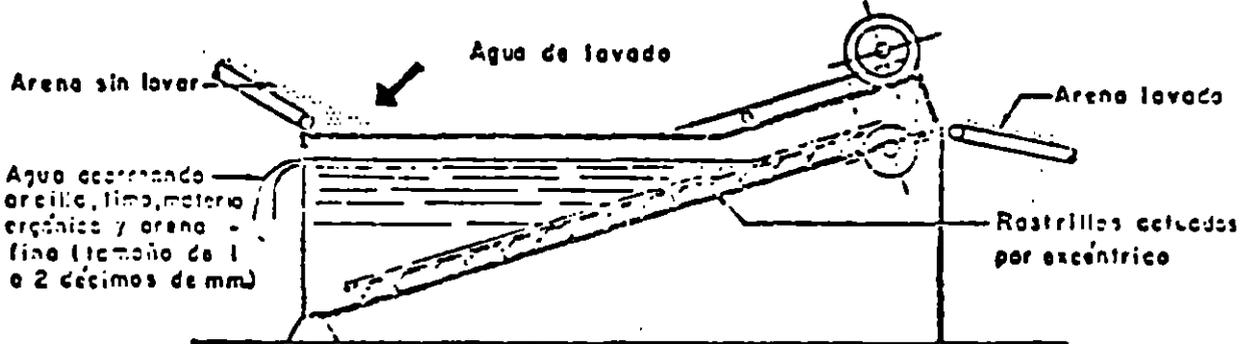
Los silos de agregados deben mantenerse tan llenos como sea práctico, para reducir al mínimo el res-



①

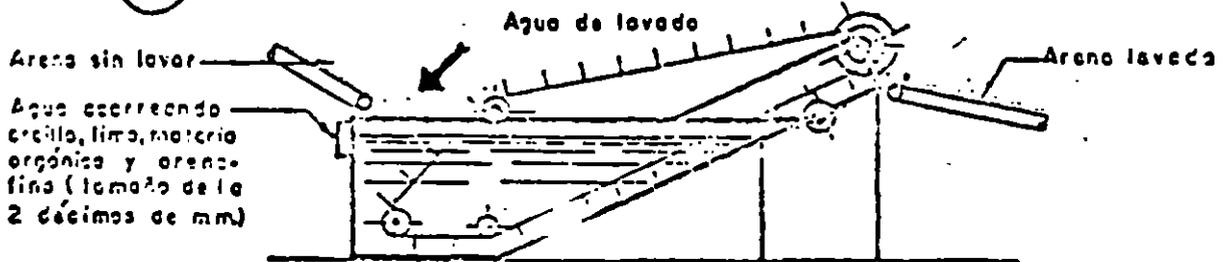
### LAVADO DE GRAVA

Se hará durante el cribado de la misma aplicándole chorros de agua a alta velocidad (chiflonas) los que les removerán la arena y polvo adheridos a la grava.



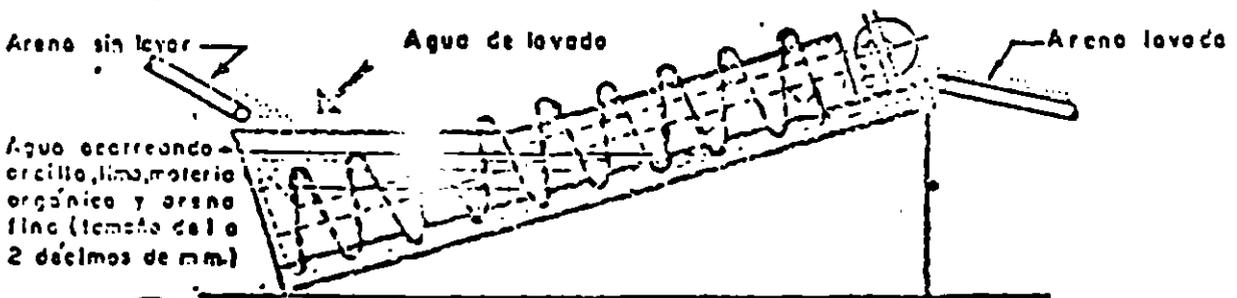
②

### RASTRILLOS ACTUADOS POR EXCENTRICO



③

### RASTRILLOS EN ESLABON O EN BANDA



④

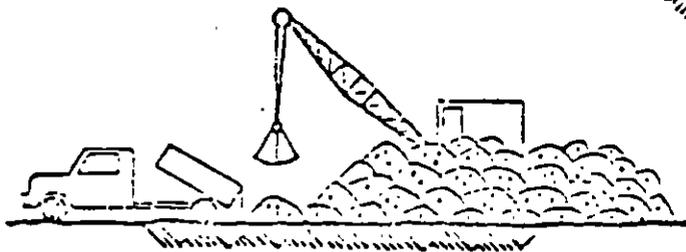
### ELEVADOR DE GUSANO LAVADO DE ARENA

Se hará con chiflonas y dispositivos de agitación similares a los mostrados en las figuras 2, 3 y 4.

Se deberá recuperar la arena fina por medio de un ciclón porque es útil para ocupar los espacios comprendidos entre los granos de la arena gruesa y grava, además provee mayor plasticidad y trabajabilidad en las revolturas.

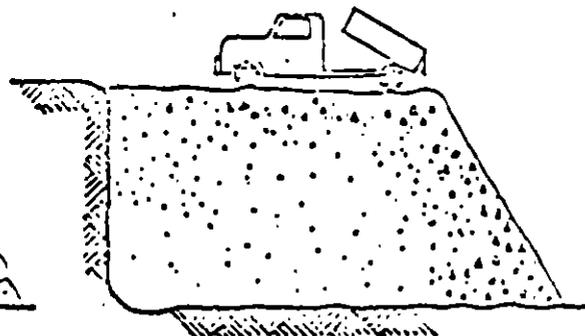
TITULO

LAVADO DE AGREGADOS



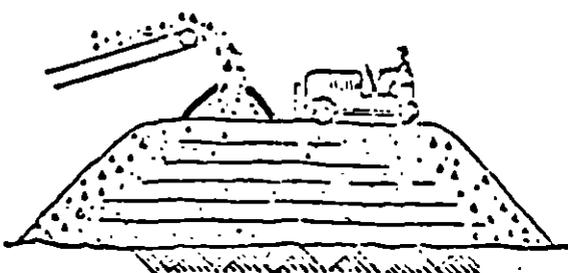
1 PREFERIBLE

El uso de grúas u otros medios para colocar material en pila, en unidades no mayores que una carga de comichá la cual permanece donde se coloca sin rodar por la pendiente.



2 OBJETABLE

Emplear métodos que permitan al agregado rodar por las pendientes a medida que se agrega a la pila. Permitir al equipo de acarreo operar sobre el mismo nivel repetidamente.



3 ACEPTABILIDAD LIMITADA

Apilar radialmente en capas horizontales por medio de un bulldozer desde los materiales conforma con de la banda transportadora. Un exceso de roca puede ser requerido en esta arreglo.



4 GENERALMENTE OBJETABLE

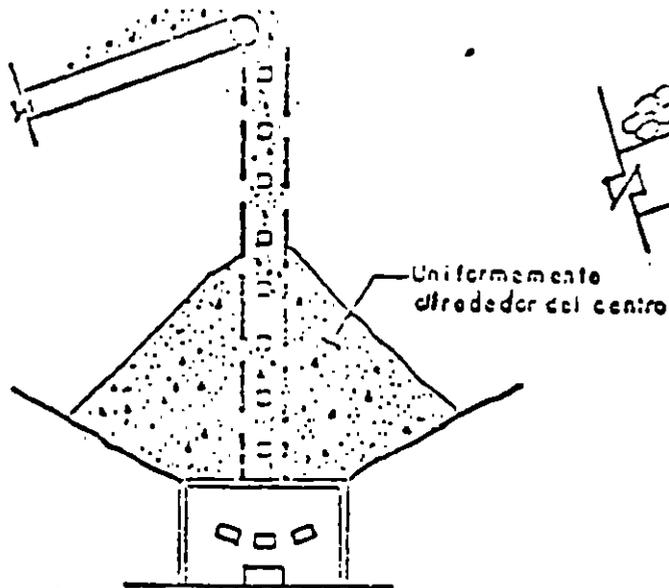
Acomodar el agregado por medio de un bulldozer en capas progresivas sobre pendientes no menores de 3 a 1. A menos que el material sea altamente resistente a la ruptura estos métodos son también objetables.

**MÉTODOS INCORRECTOS DE APILAR AGREGADOS CAUSANDO SEGREGACION Y RUPTURA**

Nota: Se permitirá el apilamiento de agregado grueso cuando en la planta dosificadora se cribe al mismo.

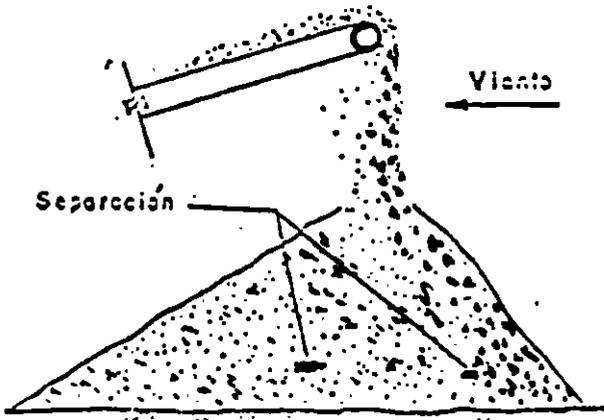
TÍTULO

MANEJO DE AGREGADOS  
MÉTODOS RECOMENDADOS



① CORRECTO

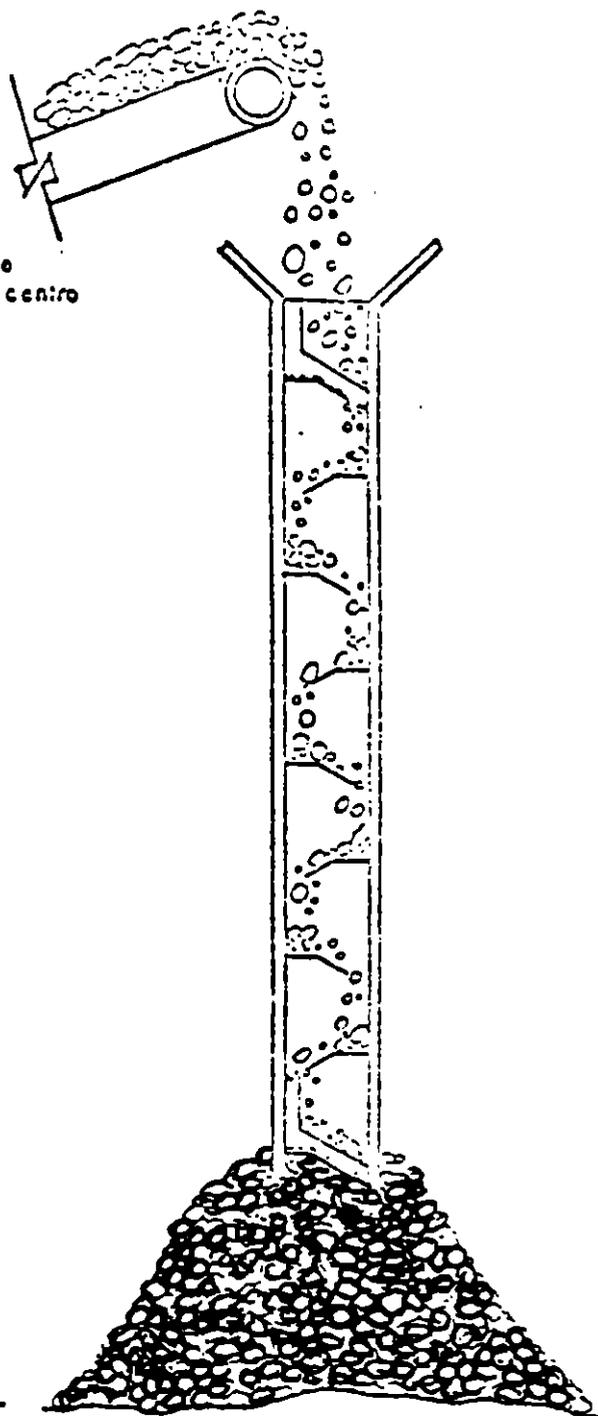
Verter el material proveniente de una banda transportadora en una chimenea que prevendrá la separación de materiales gruesos y finos por el viento. Es conveniente proveer aberturas según se requiera para descargar material a diferentes alturas de la pila.



② INCORRECTO

Permitir la caída libre del material desde el extremo elevado de la banda transportadora ocasionando así la separación de materiales gruesos y finos por el viento.

ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS FINOS O SIN TERMINAR (SECOS)



③

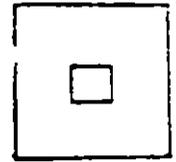
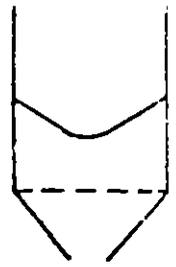
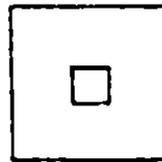
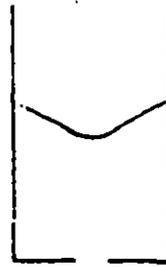
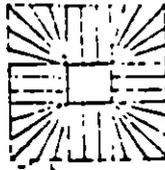
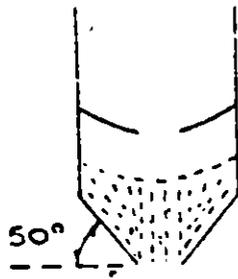
Cuando se apilen agregados de tamaño grande por medio de transportadores elevados es conveniente usar un escalonamiento como el mostrado para hacer mínima la ruptura del material.

ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS TERMINADOS

TÍTULO

MANEJO DE AGREGADOS  
MÉTODOS RECOMENDADOS

a



**CORRECTO**

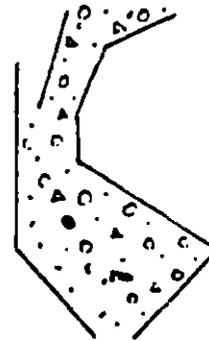
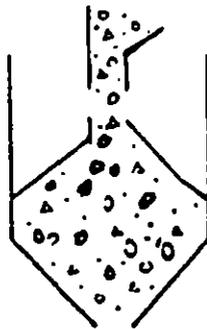
**INCORRECTO**

FONDO COMPLETO CON INCLINACION DE 50° EN RELACION CON LA HORIZONTAL EN TODOS LOS SENTIDOS HACIA LA SALIDA, CON LAS ESQUINAS DE LA TOLVA REDONDEADOS DE MODO QUE TODO EL MATERIAL SE DESLICE HACIA LA SALIDA

DEPOSITOS DE FONDO PLANO O CON CUALQUIER COMBINACION DEPENDIENTES QUE TENGAN ESQUINAS O AREAS OCASIONANDO QUE NO TODO EL MATERIAL EN LA TOLVA FLUYA FACILMENTE POR LA SALIDA

**INCLINACION DEL FONDO DE LAS TOLVAS PARA AGREGADOS**

b



**CORRECTO**

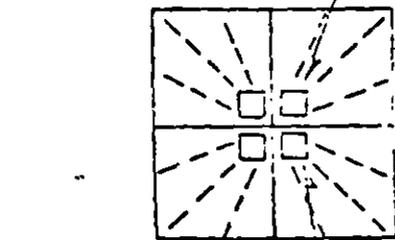
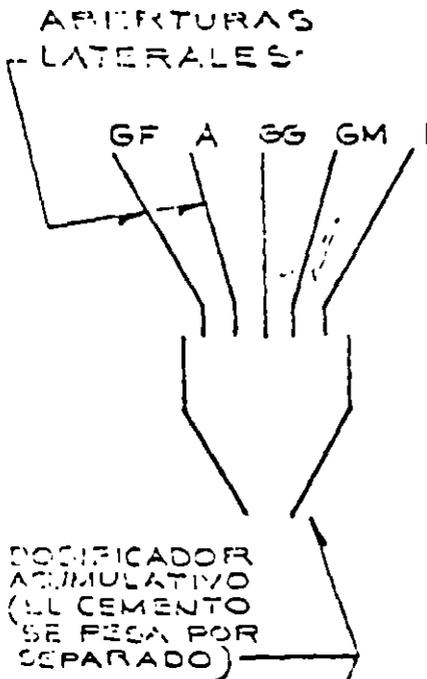
**INCORRECTO**

EL MATERIAL CAE VERTICALMENTE EN LA TOLVA, DIRECTAMENTE SOBRE LA ABERTURA DE DESCARGA, PERMITIENDO LA DESCARGA DEL MATERIAL MAS UNIFORME

CAIDA DEL MATERIAL DENTRO DE LA TOLVA EN ANGULO. EL MATERIAL QUE NO CAE DIRECTAMENTE SOBRE LA ABERTURA NO SIEMPRE RESULTA UNIFORME AL DESCARGARLO

**LLENADO DE LAS TOLVAS DE AGREGADOS**

d

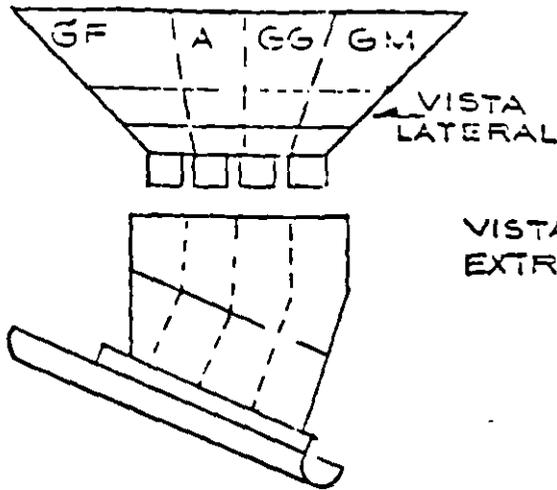


ABERTURAS EN LAS ESQUINAS

ACOMODOS POCO CONVENIENTES

CUALSIQUIERA DE LAS DISPOSICIONES (QUE SE VEN ARRIBA) PARA DESCARGA DE TOLVAS CON FUERTES PENDIENTES PROVOCAN SEGREGACION Y DETERIORO EN LA UNIFORMIDAD.

e ii

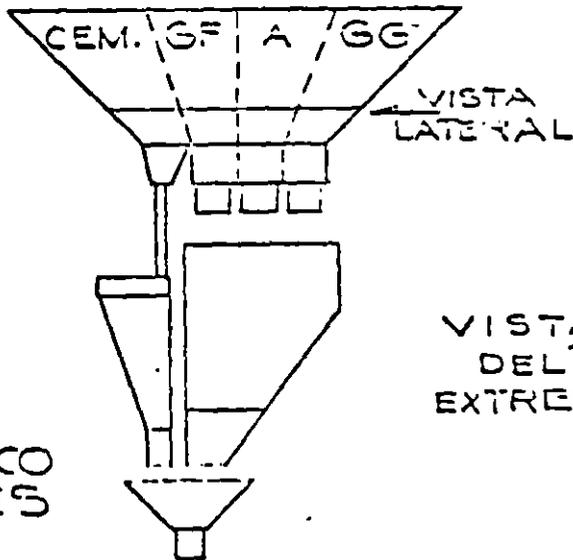


VISTA DEL EXTREMO

### DISPOSICION PREFERIBLE

PESADA AUTOMÁTICA Y ACUMULADA DE AGREGADOS QUE SE LLEVAN A LA MEZCLADORA POR BANDA TRANSPORTADORA. EL CEMENTO PESADO SEPARADAMENTE SE DESCARGA EN FORMA CONTROLADA DE MANERA QUE EL CEMENTO FLUYA MIENTRAS LOS AGREGADOS SE DESCARGAN.

f



VISTA DEL EXTREMO

### DISPOSICION ACEPTABLE

PESADA AUTOMÁTICA Y ACUMULADA DE AGREGADOS. EL CEMENTO PESADO SEPARADAMENTE SE DESCARGA EN FORMA CONTROLADA, DE MANERA QUE EL CEMENTO FLUYA MIENTRAS LOS AGREGADOS SE DESCARGAN.

quebrajamiento y los cambios de graduación al extraer los materiales. Los materiales deben depositarse verticalmente en los silos y directamente sobre el orificio de salida.

#### 2.1.4 Control de Humedad.

Hay que hacer un esfuerzo para asegurar un contenido de humedad uniforme y estabilizar el agregado al dosificarlo. El uso de agregados que tienen cantidades variables de agua libre, es una de las causas más frecuentes de la pérdida de control de la consistencia del concreto (revenimiento). En algunos casos puede ser necesario mojar el agregado grueso en los montones de reserva o en las cintas de entrega, para compensar el alto grado de absorción, o suministrar enfriamiento. Posteriormente, los agregados deben pasarse sobre cribas secadoras apropiadas, para impedir que el exceso de agua libre vaya a los silos.

Debe darse tiempo suficiente para el drenaje del agua libre del agregado fino, antes de trasladarse a los silos de la planta de dosificación. El tiempo de almacenaje que se necesita depende sobre todo de la graduación y forma de las partículas del agregado. La experiencia ha demostrado que un contenido de humedad libre de hasta el 6% y de vez en cuando hasta del 8%, se mantendrá estable en el agregado fino. Sin embargo, algunas empresas que se dedican a la colocación de concreto a gran escala exigen que la variación de humedad en el agregado fino no sea mayor del 2% en 8 horas, o del 0.5% en 1 hora.

La insistencia en un contenido de humedad estable en el agregado; el uso de medidores de humedad para indicar variaciones en la humedad del agregado fino al dosificarlo; y el uso de compensadores de humedad para el rápido ajuste de peso de la dosificación, pueden reducir al mínimo la influencia de la variación de humedad en el agregado fino.

#### 2.1.5 Muestras para pruebas.

Las muestras representativas de los varios tamaños del agregado que se dosifica deben tomarse lo más cerca posible del punto de su mezcla con el concreto. La dificultad en conseguir muestras representativas aumenta de acuerdo con el tamaño del agregado. Por lo tanto, los aparatos de muestreo que se utilizan requieren un cuidadoso diseño si han de obtenerse resultados de pruebas significativos.

#### 2.2 Almacenamiento del Cemento.

Todo el cemento debe almacenarse en estructuras contra el mal tiempo, apropiadamente ventiladas, para impedir la absorción de humedad.

Las facilidades de almacenamiento para cemento a granel deben incluir compartimentos separados para cada tipo de cemento que se utiliza. El interior de un silo de cemento debe ser lizo, con una inclinación horizontal mínima de 50 grados en el fondo para un silo circular, y desde 55 a 60 grados para un silo rectangular. Los silos que no sean construcción circular, deben ser provistos de cojines de deslizamiento, que no se atasquen, por los cuales se pueda introducir a intervalos, pequeñas cantidades de aire a baja presión de 3 hasta 5 pies (aproximadamente 0.2 — 0.4 Kg/cm<sup>2</sup>.), para soltar el cemento que se haya compactado dentro de los silos.

Los silos de almacenaje deben ser limpiados con frecuencia, preferentemente una vez por mes, para impedir la formación de costras de cemento.

El cemento envasado en sacos debe ser apilado sobre plataformas, para permitir la apropiada circulación de aire. Para un período de almacenamiento de menos de 60 días, se recomienda evitar que se superpongan más de 14 sacos de cemento, y para períodos mayores no deben superponerse más de 7 sacos. Como precaución adicional, se recomienda que se utilice primero (hasta donde sea posible) el cemento más viejo.

#### 2.3 Almacenamiento de materiales puzolánicos.

Las puzolanas y otros materiales cementantes deben manejarse, trasladarse y almacenarse de la misma manera que el cemento.

#### 2.4 Aditivos.

Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tambores o tanques herméticos, protegidos de la congelación. La agitación de estos materiales durante su uso debe hacerse de acuerdo con las indicaciones dadas por el fabricante.

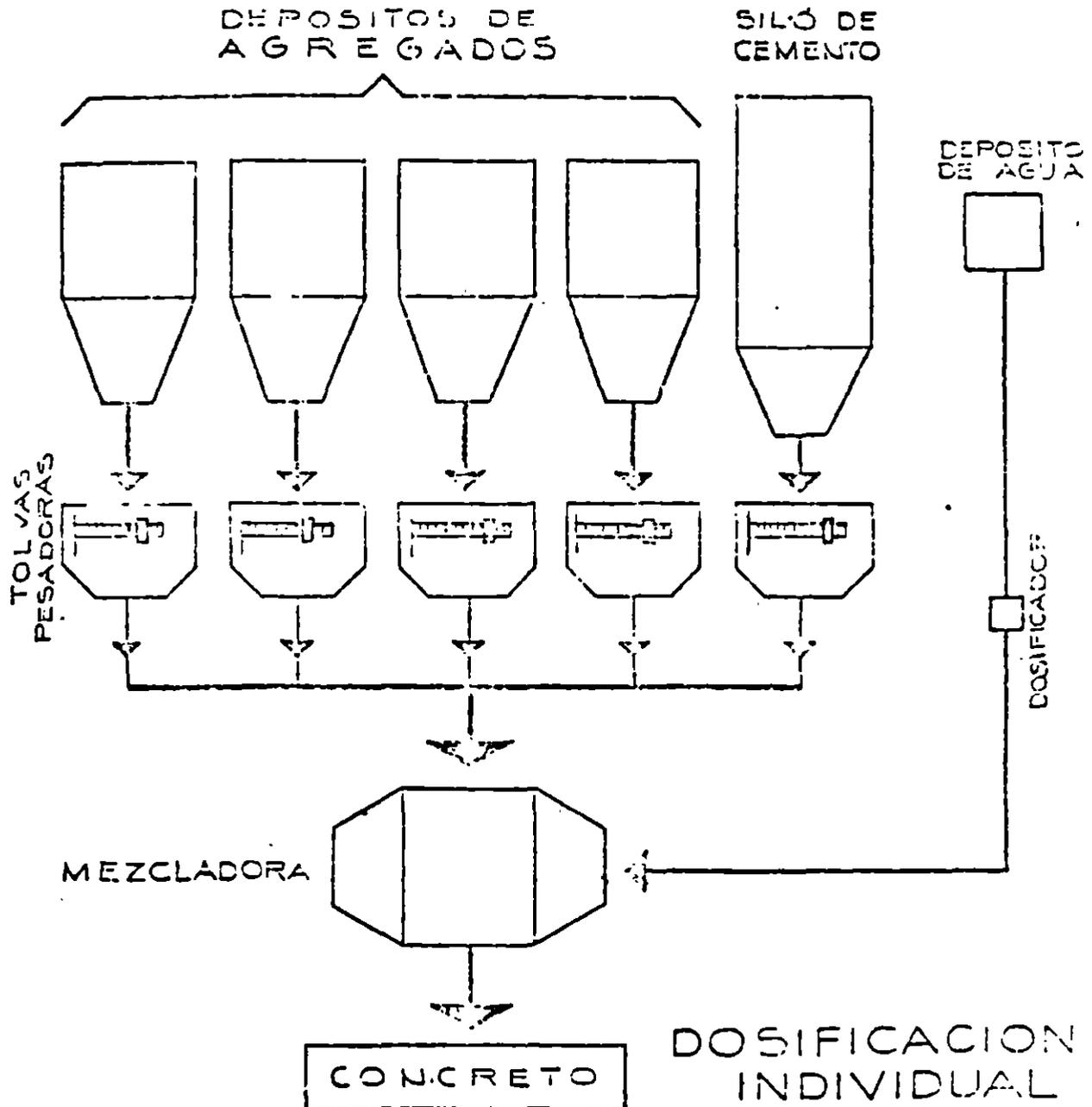
Con frecuencia es también conveniente licuar aditivos fabricados en forma de polvo para disolverse. Cuando esto se hace, los tambores o tanques de almacenaje, desde los cuales se suministrarán los aditivos, deben estar provistos de equipo de agitación o mezcla, para mantener los sólidos en suspensión.

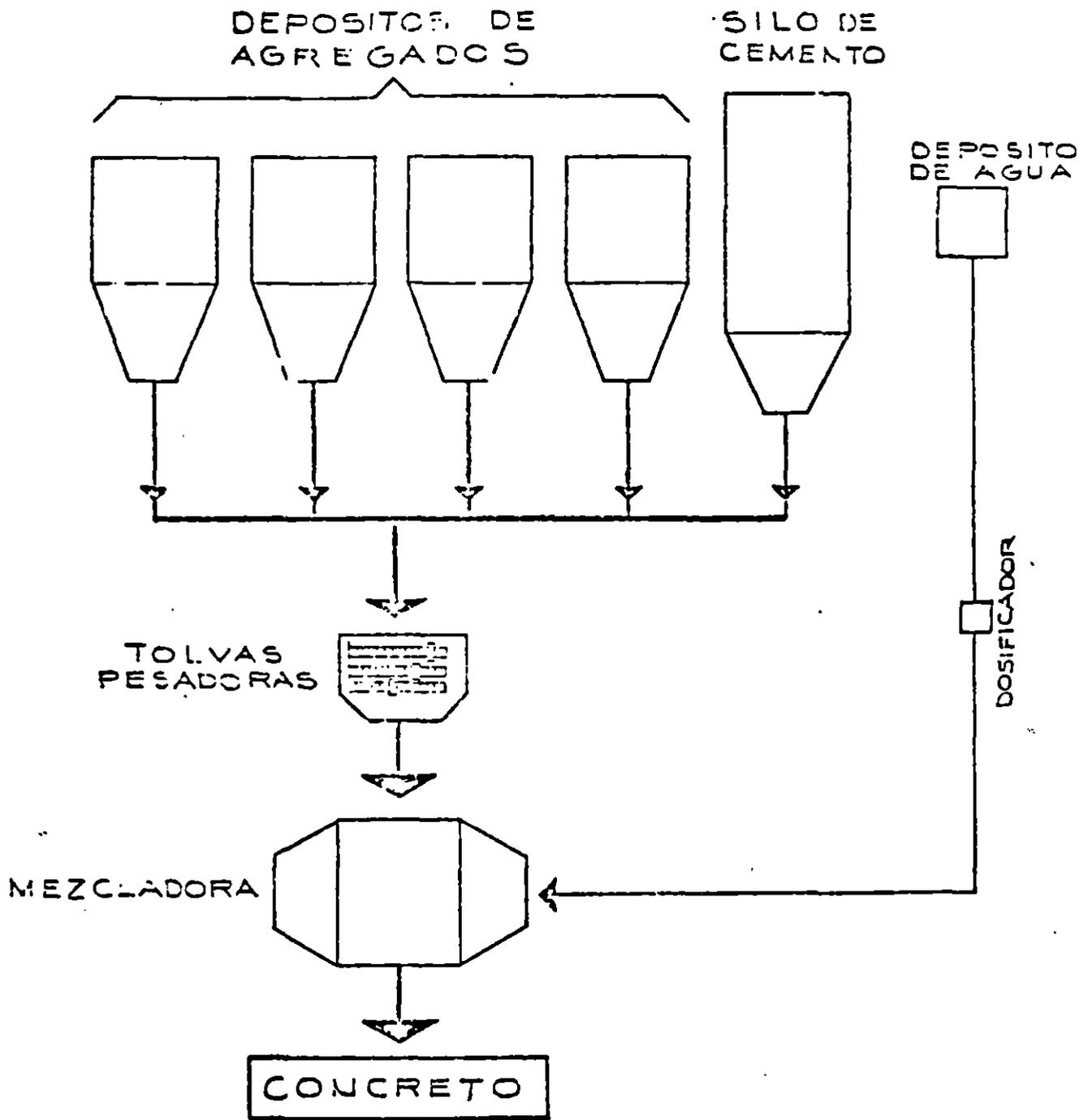
## MEDICION

### 3.1 Requisitos generales.

#### 3.1.1 Objetivos.

Durante las operaciones de medición, los agregados deben manjarse de tal manera que mantengan la graduación deseada, pesándose todos los materiales a la tolerancia requerida para mantener homogéneas las reproducciones de la mezcla de concreto escopida. Además del peso exacto, otro objetivo importante para el éxito del mezclado es la apropiada secuencia y combinación de los ingredientes durante la carga de las remiscadoras. El objetivo final es obtener uniformidad, y homogeneidad en el concreto producido, como lo indican propiedades físicas tales como: peso unitario, revenimiento contenido de aire y resistencia.





DOSIFICACION ACUMULADA

### 3.1.2 Tolerancias.

La mayoría de las organizaciones de ingeniería, tanto públicas como privadas, emiten especificaciones que contienen requisitos detallados para el equipo de dosificación manual, semiautomático y automático de concreto.

El equipo de dosificación, de los que hay actualmente en el mercado, operará dentro de las tolerancias de peso de carga usualmente especificadas, mientras el equipo se mantenga mecánicamente en buen estado.

#### TOLERANCIAS TÍPICAS DE MEZCLADO

Ingredientes	Dosificación Individual	Dosificación Acumulada
Cemento y otros materiales cementantes	1 por ciento y 0.3 por ciento de la capacidad de la báscula, el que mayor sea	
Agua (por volumen o peso), en por ciento (%)	$\pm 1$	No recomendado
Agregados por ciento (%)	$\pm 2$	$\pm 1$
Aditivos (por volumen o peso) por ciento (%)	$\pm 3$	No recomendado

### 3.2 Silos de almacenamiento y tolvas pesadoras.

Los silos de la planta dosificadora tendrá el tamaño adecuado para alimentar eficazmente la capacidad productora de la planta. Los compartimientos de los silos deben separar adecuadamente los diversos materiales de concreto, y la forma y disposición de los silos para agregado se harán de tal manera que prevengan la segregación y rotura del agregado. Las tolvas pesadoras deben estar compuestas de cajones de conchas de almeja o tipo socavación radial de fácil operación. Las compuertas empleadas para cargar dosificadores semi o totalmente automáticos deberán estar equipados con motor y con un apropiado control de "goteo" para lograr la exactitud deseada de peso. Se dispondrán las tolvas pesadoras con el debido acceso para obtener muestras representativas, o para lograr la apropiada secuencia y combinación de agregados durante la carga de la mezcladora.

### 3.3 Tipo de planta.

Los factores que afectan la selección del sistema apropiado de dosificación son: 1) tamaño de la obra; 2) volumen/hora requerida; y 3) normas de rendimiento que se requieren en la dosificación. La capacidad productiva de una planta se determina por una combinación de detalles tales como: sis-

temas de manejo de materiales, tamaño del silo, tamaño de la dosificación y tamaño y número de la mezcladora de la planta.

El equipo disponible se clasifica en tres categorías generales, manual, semi-automático y totalmente automático.

### 3.3.1 Dosificación manual.

Como su nombre lo indica, todas las operaciones de pesado y dosificación de los ingredientes del concreto se llevan a cabo manualmente. Las plantas manuales son aceptables para trabajos pequeños que no requieren grandes volúmenes de dosificación, generalmente para trabajos hasta de 4,000 m<sup>3</sup>, a razón de 15 m<sup>3</sup>/hr., pero al incrementarse el tamaño de la obra, la automatización de las operaciones de dosificación se justifica. Los esfuerzos para aumentar la capacidad de plantas manuales mediante dosificación rápida, conducen invariablemente a excesivas inexactitudes en el peso.

### 3.3.2 Dosificación semiautomática.

En este sistema, las compuertas de los silos del agregado, para carga las tolvas medidoras, se operan manualmente mediante botones o interruptores de presión. Las compuertas se cierran automáticamente cuando el peso estipulado del material ha sido entregado. Con un mantenimiento satisfactorio de la planta, la exactitud de la dosificación se mantendrá dentro de las tolerancias. El sistema tiene interruptores que impiden que la carga y descarga de la dosificadora ocurra simultáneamente. En otras palabras, cuando la revoladora está siendo cargada no puede ser descargada, y cuando se está descargando, no puede cargarse.

### 3.3.3 Dosificación automática.

En este sistema la dosificación automática de todos los materiales se maneja eléctricamente por medio de un solo control de mando. Sin embargo, hay interruptores que cortan el ciclo de la dosificación cuando el indicador de la báscula no ha regresado a  $\pm 0.3\%$  del cero, o cuando se excedieran las tolerancias de peso predeterminadas.

#### 3.3.3.1 Dosificación automática acumulada.

Se requieren controles de interruptores en secuencia para este tipo de dosificación. El pesaje no empezará, y se interrumpirá automáticamente cuando las tolerancias predeterminadas dentro de cualquier secuencia de pesaje excedan los valores especificados.

##### 3.3.3.1 El ciclo de carga.

El ciclo de carga no empezará mientras la compuerta de descarga de la tolva medidora esté abierta, y el ciclo de descarga de la tolva medidora no empezará mientras las compuertas de carga de tolva medidora estén abiertas, o cuando cualesquiera de los pesos indicados para los materiales no estén dentro de las tolerancias aplicables. Los pesos prefijados deseados para las revolturas, se hacen mediante dispositivos tales como tarjetas perforadas, o interruptores digitales.

##### 3.3.3.2 Dosificación individual automática.

Este sistema provee básculas y tolvas medidoras separadas para cada tamaño de agregado y para cada uno de los otros materiales que entran en la revoltura.

El ciclo de pesaje se inicia mediante un interruptor sencillo, y las tolvas medidoras individuales se cargan simultáneamente.

## 3.4 Materiales cementantes.

### 3.4.1 Dosificación de materiales cementantes.

Para una alta producción que requiera una dosificación rápida y exacta, se recomienda que los cementos y puzolanas a granel se pesen con equipo automático y no semi-automático o manual. Todas las tolvas medidoras deben estar provistas de un acceso para su inspección y estar equipadas para permitir que se tomen muestras en cualquier momento. Las tolvas medidoras deben ser equipadas con dispositivos para ventilación y vibradores para ayudar a lograr una suave y completa descarga de la mezcla.

### 3.4.2 Descarga de materiales cementantes.

Deben tomarse precauciones eficaces para impedir pérdidas de materiales cementantes al cargar la mezcladora. No debe permitirse la caída libre del cemento de las tolvas medidoras. En plantas múltiples,

las pérdidas deben minimizarse descargando el cemento a través de una manguera estrecha. Para mezcladoras de planta, debe emplearse un tubo de tamaño adecuado para descargar los materiales cementantes en un punto cerca del centro de la mezcladora, después de que el agua y los agregados hayan empezado a entrar en ella.

### 3.5 Medición del agua.

#### 3.5.1 Equipo de dosificación.

En las obras grandes y en plantas centrales de dosificación y mezclado, donde se requiere una producción alta, sólo puede conseguirse una medición de agua exacta mediante las tolvas pesadoras automáticas o medidores.

El equipo para la dosificación de agua en camiones mezcladores debe inyectar el agua bajo presión dentro del tambor, donde se distribuirá bien en la revoltura.

#### 3.5.2 Determinación y compensación de la humedad del agregado.

Además de la exacta dosificación del agua que se agrega, la medición del total exacto del agua de la mezcla, depende de saber con exactitud la cantidad y variación de humedad en el agregado (particularmente en la arena), al dosificarlo. Los medidores de humedad en la arena se emplean frecuentemente en las plantas, y cuando están debidamente calibradas y tienen mantenimiento adecuado, indican satisfactoriamente la magnitud general y los cambios de humedad en la arena.

#### 3.5.3 Agua de mezclado total.

Mantener uniformidad en la medición del agua para el mezclado total, implica, además del peso exacto del agua añadida, un control de las fuentes de agua adicionales, como son el agua para el lavado de la revoladora, y el agua libre en los agregados. Una de las tolerancias especificadas (ASTM C 94), para exactitud en la medición del agua de mezclado total de todas las fuentes, es de  $\pm 3\%$ . Otra recomendada por el comité, es que la variación en la relación agua/cemento no exceda de  $\pm 0.02$ .

### 3.6 Medición de los aditivos.

El empleo de aditivos en el concreto, particularmente agentes inclusores de aire, es una práctica universalmente aceptada. La tolerancia de dosificación y la interrelación de carga y descarga descritos anteriormente para otros ingredientes de la mezcla deben ser provistos para los aditivos. La dosificación y el equipo de distribución que se usa deben ser fácilmente calibrables.

### 3.7 Otras consideraciones.

Además de la exacta medición de los materiales, también deben emplearse procedimientos correctos de operación si se quiere mantener la uniformidad del concreto. Ha de tenerse cuidado de asegurarse que los materiales que se han pesado estén puestos en la secuencia apropiada, y combinados de manera que se carguen como revolturas uniformes dentro de la mezcla.

Algunas de las deficiencias comunes que han de evitarse son:

1. Traslape de revolturas al cargar y descargar.
2. Pérdida de materiales al transferir revolturas a mezcladoras portátiles.

## MEZCLADO

### 4.1 Requisitos generales.

Es esencial un mezclado completo para la producción de un concreto uniforme. Por lo tanto, el equipo y los métodos empleados deben ser capaces de mezclar eficazmente los materiales de concreto.

### 4.2 Diseño y mantenimiento de las mezcladoras.

Los tipos más comunes de mezcladora son las de tambor, de tiro vertical y el de aspas en espiral. Una mezcladora de tambor, de diseño satisfactorio, tiene un arreglo de aspas en espiral y una forma de tambor para asegurar de extremo a extremo, el intercambio de materiales paralelo al eje de rotación, y un movimiento envolvente que voltea y esparce la revoltura sobre sí misma al mezclarse. En la mezclado-

ra de tiro vertical, las aspas giran sobre ejes verticales que operan en un recipiente fijo o giratorio que da vueltas en sentido opuesto. Con esta mezcladora, la revoltura puede observarse fácilmente. La mezcladora de paleta en espiral consta de un eje horizontal movido por fuerza motriz con paletas en espirales que operan dentro de un tambor horizontal.

Las mezcladoras fijas deben estar equipadas con dispositivos para regular el tiempo a fin de evitar insuficiencia o exceso en el mezclado de la revoltura.

#### **4.3 Carga de la mezcladora.**

Es preferible que el cemento se cargue junto con otros materiales, pero debe entrar en la descarga después de que aproximadamente el 10% del agregado haya entrado en la mezcladora.

El agua debe entrar primero en la mezcladora, y continuar fluyendo mientras los demás ingredientes se van cargando. Las tuberías para cargar el agua deben ser de diseño apropiado y de tamaño suficiente de manera que el agua entre bien en la mezcladora y termine de introducirse dentro de un 25% inicialmente del tiempo de mezclado.

#### **4.4 Tiempo de mezclado para mezcladora fija.**

El tiempo del mezclado debe basarse en la capacidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme en cada revoltura y mantener la misma calidad en las revolturas siguientes. Las recomendaciones del fabricante y las especificaciones usuales, tal como 1 minuto por yarda cúbica más 1/4 de minuto por cada yarda cúbica adicional de capacidad, pueden utilizarse como guías satisfactorias para establecer el tiempo inicial de mezclado. Sin embargo, los tiempos de mezclado que se determine emplear deben basarse en los resultados de las pruebas de efectividad de la mezcladora que se practiquen a intervalos regulares mientras que dura la obra. El tiempo de mezclado debe medirse a partir del momento en que todos los ingredientes estén dentro de la mezcladora.

## MANEJO Y TRANSPORTE

### 1.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Después de realizar los preparativos para un colado o colocación de concreto, se debe tener especial cuidado en el manejo y transporte de este.

Uno de los aspectos que más se debe cuidar es que no se produzca segregación, ya que trae como consecuencia un concreto con una resistencia muy dudosa y distinta en las diferentes capas que se colocan, por lo tanto, se debe cuidar que la vibración que se transmite en el transporte no sea perjudicial. El método que se seleccione para transporte debe ser el adecuado para que aparte de la segregación tampoco se produzca el secado o endurecimiento.

Con respecto a la segregación todos sabemos que el concreto no es una mezcla homogénea, sino por el contrario es una combinación de materiales de diferentes tamaños y densidades, ya que los de mayor peso tienden a depositarse.

La humedad que debe tener el concreto debe ser aquella con la que se va a colocar y consolidar, ya que dar una humedad mayor, para que el transporte y colocación sea más fácil, trae como consecuencia que la segregación se produzca más fácilmente.

El secado se produce en cualquier concreto, cuando se tenga un secado que afecte sus características que bien pueden ser por clima caluroso o una distancia muy grande de recorrido entre la planta productora y la colocación, esto se puede evitar protegiendo el concreto de los rayos del sol y del viento y también reduciendo la distancia entre la planta y lugar de depósito del concreto.

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos, tales como mezcladoras de camión, cajas de camión fijas con o sin agitadores; cucharones transportados por camión o carro de ferrocarril; por conductos o mangueras, o por bandas transportadoras. Cada tipo de transportación posee ventajas y desventajas específicas que dependen de las condiciones del uso, los ingredientes de la mezcla, la accesibilidad y ubicación del sitio de colocación, la capacidad y tiempo de entrega requeridos, y las condiciones ambientales. Algunos de los sistemas de transporte descritos en este capítulo se tratarán con más detalles en capítulos subsecuentes.

### 1.2. MEZCLADO Y TRANSPORTE EN CAMIONES DE TAMBOR GIRATORIO.

Algunas especificaciones limitan las revoluciones totales del tambor que pueden emplearse para la carga, mezclado, agitación y descarga del concreto en camiones de tambor giratorio. Otras fijan límites en el número de revoluciones para velocidad de mezclado. También a menudo se especifica para el mezclado un tiempo máximo de 1y1/2 horas a partir del momento en que el cemento haya entrado en el

tambor y hasta que termina la descarga. También se prevé una reducción del tiempo máximo de espera en climas calientes. Otro método de especificación es no poner límites a las revoluciones o al tiempo de espera, mientras no se exceda el agua de mezclado especificada, no se agregue agua de retempiado o mientras el concreto conserve propiedades físicas plásticas satisfactorias, consistencia y homogeneidad para su colocación y consolidación. Esta manera de proceder es favorecida específicamente en relación con el tiempo máximo permisible para descargar, y es particularmente aplicable cuando el concreto tiene una temperatura fresca o cuando no hace calor. La determinación final de si se está o no logrando satisfactoriamente el mezclado, debe basarse en las pruebas normales de uniformidad de la mezcladora. Hay disponible gran variedad, y deben ser recomendados y utilizados en todas las unidades de camión de tambor giratorio.

#### **Concreto Mezclado en Camión.**

El mezclado en camión es un proceso en el cual los materiales para concreto previamente dosificados en una planta dosificadora se transfieren a un camión mezclador donde se lleva a cabo la operación de mezclado. Muchos productores dosifican todos los ingredientes en el camión mezclador funcionando a velocidad de carga, detienen el tambor cuando el camión está cerca de la obra, o bien cuando haya llegado a ella, y entonces llevan a cabo el mezclado. Otro procedimiento consiste en completar todo el mezclado en el camión mezclador, en el patio del productor, haciendo el viaje a la obra con el tambor sin girar.

Cuando el tambor se está cargando, debe girarse a la velocidad designada por el fabricante. Después de cargar completamente todos los materiales, el tambor debe girarse a la velocidad de mezclado, empleando entre 70 y 100 revoluciones para completar el mezclado bajo condiciones normales. Si transcurre tiempo adicional después del mezclado y antes de descargar, la velocidad del tambor se reduce a la velocidad de agitación, o se detiene. Antes de la descarga, el tambor debe girarse de nuevo a velocidad de mezclado por unas 10 a 15 revoluciones, para remezclar los posibles puntos de estancamientos, cerca ya a la descarga. El volumen absoluto total de todos los ingredientes dosificados para mezclado completo en un camión de tambor giratorio no debe exceder el 63% de la capacidad del tambor.

#### **Concreto Mezclado Parcialmente en Planta Fija y Terminado en Tránsito.**

El concreto transportado por este método se mezcla por poco tiempo, generalmente de 15 a 30 segundos en una mezcladora fija en la planta, y el mezclado se completa en el tambor del camión. Los requisitos para este tipo de concretos son los mismos que para el concreto mezclado en camión, excepto que el tiempo de mezclado dentro del tambor del camión será reducido a lo determinado como satisfactorio por las pruebas de uniformidad.

#### **Concreto Dosificado en Seco.**

Mediante este método, los materiales secos se transportan al sitio de la obra en el tambor del camión, y el agua de mezclado se lleva por separado, en un tanque montado en el mismo camión. El agua se agrega a presión, de preferencia a la entrada y en la parte posterior del tambor que está girando a velocidad de mezclado, y el mezclado se completa con las usuales 70 a 100 revoluciones que se requieren para las mezcladoras de camión. Este método que evoluciona como una solución para viajes largos y demoras en la colocación, permite con seguridad un mayor tiempo de espera para el transporte y la descarga. Sin embargo, la humedad libre en los agregados, que debe considerarse como parte del agua de mezclado, provoca algo de hidratación en el cemento. Por lo tanto, los materiales no pueden mantenerse indefinidamente de esta manera. El volumen total de concreto que puede transportarse por este método es el mismo que en el caso del mezclado en camión normal.

### **3 TRANSPORTE DE CONCRETO MEZCLADO EN PLANTA**

#### **Tambor Giratorio**

Por este método, la mezcladora de camión ya descrita sirve como unidad agitadora de transporte. El tambor se gira a velocidad de carga durante la carga y luego se reduce a velocidad de agitación o se detiene después de completar la carga. El tiempo transcurrido para la descarga del concreto puede ser el mismo que en el caso del mezclado en camión, y el volumen transportado puede aumentarse hasta el 80 % de la capacidad del tambor.

#### **Camión de Caja Fija con o sin Agitador.**

Las unidades empleadas en esta forma de transporte constan de una caja abierta, montada sobre un camión. La caja metálica debe tener superficies de contacto lisas, perfiladas, y, en general, está diseñada para descargar el concreto desde atrás, cuando la caja es volteada. Una puerta de descarga y vibradores montados en la caja deben proveerse en el punto de descarga para controlar el flujo. Un agitador ayuda en la descarga, y mezcla el concreto al descargarse. Sin embargo, jamás debe agregarse agua en la caja del camión, porque no se logra nada de mezclado con el agitador.

El uso de cubiertas protectoras para las cajas de camión durante el mal tiempo, la apropiada limpieza de todas las superficies de contacto, y caminos de transporte llanos contribuyen significativamente a la calidad y eficiencia de esta forma de transportación. El tiempo de entrega usualmente es de 30 a 45 minutos, aunque las condiciones de temperatura puedan o requieran, menos tiempo o permitan tiempos más largos.

#### **Recipientes para Concreto Montados en Camiones o Carros de Ferrocarril.**

Este es un método común de transporte de concreto masivo desde la planta de mezclado hasta un punto cerca del lugar de colocación. Una grúa entonces levanta el recipiente hasta el punto final de colocación. En ocasiones, se usan carros de traslado, que operan en rieles, para transportar el concreto desde la planta de mezclado hasta los recipientes que se operan en cables transportadores. La descarga del concreto de los carros de transporte al recipiente, que puede ser por el fondo, o por alguna forma de volteo, debe ser cuidadosamente controlada para impedir la segregación. El tiempo de entrega por transporte en esta forma es el mismo que para otras unidades sin agitador, generalmente de 30 a 45 minutos.

#### **Otros Métodos.**

El transporte de concreto mediante banda transportadora y por métodos de bombeo se discutirá en la parte correspondiente a bombas para concreto y colocación del concreto.

Se han utilizado recipientes de hule pesado de dos compartimientos para transportar revolturas de concreto no mezclado a sitios apartados de construcción en terreno quebrado. Un compartimiento interior contiene el cemento, y otro compartimiento exterior circundante contiene el agregado y el agua. Se proveen anillos para el izado y la descarga. El pre-dosificado y transporte de esta manera proporcionan un medio de control de calidad en las obras apartadas, que de otra manera no suele lograrse.

## **4 OBJETIVO FINAL**

El método de transporte que se utilice debe entregarse eficazmente el concreto en el punto de colocación, sin alterar de manera significativa las propiedades deseadas en cuanto a la relación agua-cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. Cada método de transporte tiene sus ventajas bajo condiciones particulares de uso, que atañen a renglones tales como diseño y mezcla de materiales, tipo y accesibilidad de la colocación, capacidad de entrega requerida, ubicación de la planta de dosificación y otros. Estas diversas condiciones deben revisarse cuidadosamente al seleccionar el tipo de transporte más apropiado para lograr concreto económico y de calidad en la obra.

## 1. INTRODUCCION.

El uso del concreto hidráulico está muy extendido entre todas las ramas de la construcción, dado que su manejo y adaptabilidad es relativamente sencillo, sin embargo, se abusa en los procedimientos de colocación, no cumpliéndose en muchas ocasiones con los requisitos que señalan las especificaciones en demérito de la calidad y durabilidad del concreto.

Si se observan las normas que establecen las especificaciones y se aplican métodos de colocación adecuados a los volúmenes de obras por ejecutar, lo más seguro es que se obtengan resultados satisfactorios a corto y largo plazo, tanto en calidad como en el aspecto más importante de la ingeniería civil, que es el económico.

La importancia que tienen la colocación del concreto en todo tipo de obras se puede deducir del hecho de que la calidad de una obra, no solamente es función de la elección de buenos materiales y del adecuado diseño estructural, sino también y muy importantemente, de todas las actividades que es necesario realizar, tanto antes como durante la colocación del concreto, tales como: planeación, programación, selección y supervisión del equipo, selección del personal, supervisión durante la colocación, etc.

En forma breve trataremos de establecer métodos adecuados de colocación del concreto hidráulico para grandes obras para obtener resultados óptimos de calidad, costo y una duración máxima.

## 2. DESCRIPCION Y SELECCION DEL EQUIPO

El equipo necesario para la colocación del concreto hidráulico, puede dividirse en:

- A) Equipo para transporte de concreto fresco.
- B) Equipo para colocación.
  - a) Colado continuo.
  - b) Colado discontinuo.
- C) Equipo de terminación final.
- D) Equipo auxiliar

### A) EQUIPO PARA TRANSPORTE

Para llevar el concreto al sitio de colado es necesario hacer uso del equipo que garantice que el concreto sea depositado con la calidad especificada, sin segregación y sin pérdida de humedad. Esto quiere decir que el equipo a utilizar estará en función de la distancia existente entre la planta elaboradora del concreto y el lugar donde se depositará el mismo.

Para distancias hasta de tres kilómetros y en caminos en buenas condiciones es posible usar camiones de volteo de 5 a 6 m<sup>3</sup> que tenga caja en buen estado y selle perfectamente la puerta de descargas; siendo conveniente cubrir la caja con una lona que ayude a evitar la evaporación del agua del concreto.

Para distancias mayores conviene usar equipos especializados en el acarreo del concreto, tales como camiones con cajas en forma de media pera, que pueden o no estar equipadas con un agitador dentro de la caja (Dumperete) o los camiones con uñas revoledoras que son los que con más frecuencia se usan.

Podemos considerar también como equipo de transporte a las bandas y a las bombas.

## B) EQUIPO PARA COLOCACION

### a) Colado continuo

Lo que podríamos considerar ideal en todo colado de concreto es tener un flujo continuo de material, el mismo que podemos lograr con el uso de cimbras deslizantes; aunque se requiere tener especial cuidado en varios aspectos del trabajo para tener buenos resultados.

Su principal uso se recomienda en la construcción de silos, pilas para puentes, pavimentos, recubrimiento de canales, túneles, etc., teniendo este equipo importantes variantes de acuerdo al trabajo de que se trate.

La operación del equipo con cimbras deslizantes es más económico que aquel de cimbra fija removible, ya que se ahorra obra de mano y puede trabajarse en zonas más reducidas facilitando la supervisión y calidad del trabajo, pudiendo además, reducir muy importantemente los tiempos de duración de los colados.

Una desventaja para la utilización de equipo de colado muy especializado es que se hace necesario contar con personal y técnicos de operación altamente entrenados que muchas veces es difícil encontrar.

Las carretillas, los bogues, las bombas y las bandas transportadoras constituyen un importante auxiliar en los trabajos de colados continuos.

### b) Colado discontinuo.

Existen una gran cantidad de equipos para colados de concreto hidráulico que utilizan cimbras de formas estacionarias. Así, por ejemplo, podemos mencionar a las carretillas que son uno de los inventos más útiles para la transportación del concreto dentro de la obra y su correspondiente depósito en la cimbra.

Los bogues con ruedas neumáticas, de mayor capacidad que las carretillas, son usados también con mucha frecuencia y, cuando necesitamos transportar mayores volúmenes podemos hacer uso de los bogues motorizados, cuyas capacidades (0.168 m<sup>3</sup> - 0.280 m<sup>3</sup>) y radio de acción (300 m) son mayores.

El incremento en el abastecimiento del concreto ha originado que los bogues comiencen a ser cada vez mayores hasta convertirse en los conocidos como volquetes cuyas capacidades varían de 0.50 m<sup>3</sup> a 1 m<sup>3</sup>.

Los cubos son otro medio para transportar y colocar concreto, aunque siempre nos tendremos que auxiliar de algún otro medio para manejar los adecuadamente, como por ejemplo, grúas, montacargas, camiones, cablevía y en algunas ocasiones helicópteros, cuando las condiciones lo requieran.

Actualmente se está utilizando con mucha frecuencia el sistema de bombeo para la colocación del concreto, siendo las bombas neumáticas las de mayor uso, las mismas que pueden encontrarse con capacidades que varían de 15 m<sup>3</sup> por hora a 16 m<sup>3</sup> por hora. También existen las bombas de pistón y las de retacado. Se anexan diagramas.

Las bandas transportadoras son sin lugar a dudas, otro importante auxiliar en la colocación del

concreto, siempre y cuando se utilicen en las condiciones adecuadas y que su diseño permita su fácil manejo en la obra.

Para evitar problemas de segregación, se hace necesaria la utilización de los canalones y de las llamadas "trompas de elefante" en la descarga de la banda, así como para llevar el concreto fresco de un nivel superior a otro inferior.

El compresor llena de aire comprimido el tanque, que empuja el concreto en la bomba a través de la tubería.

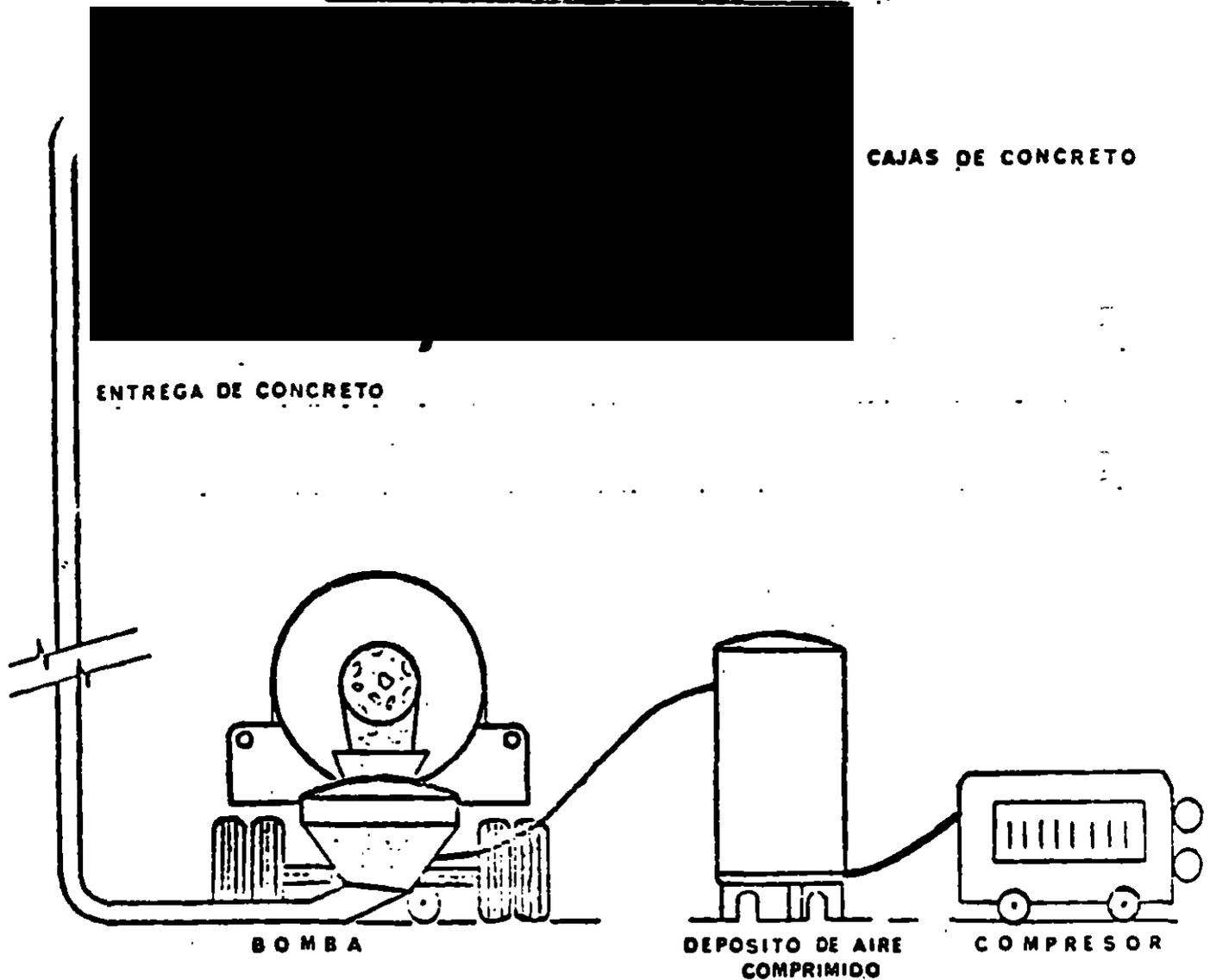
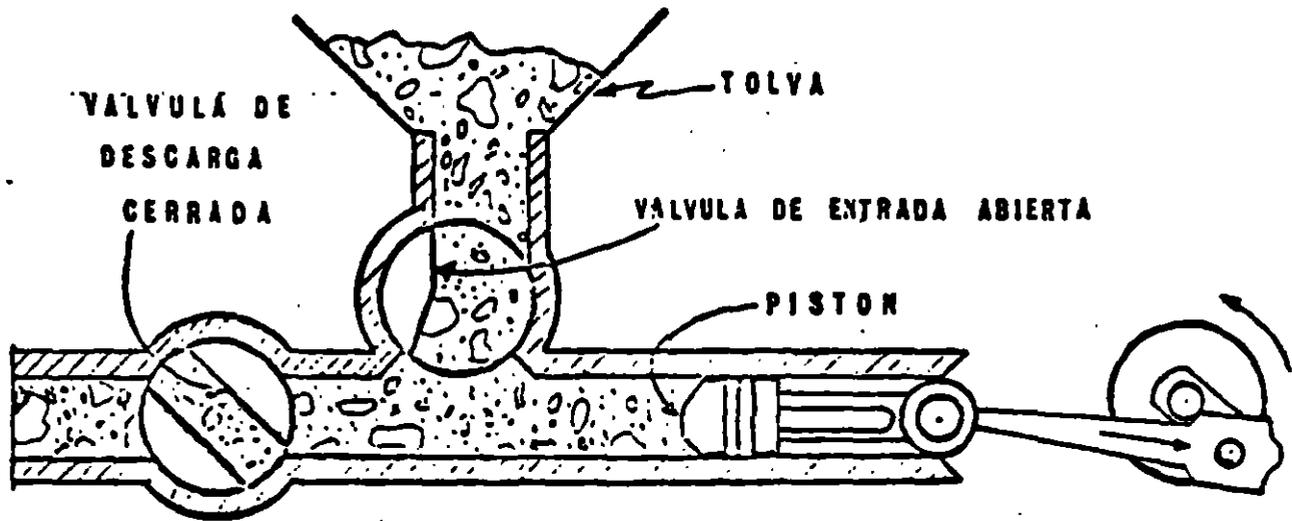
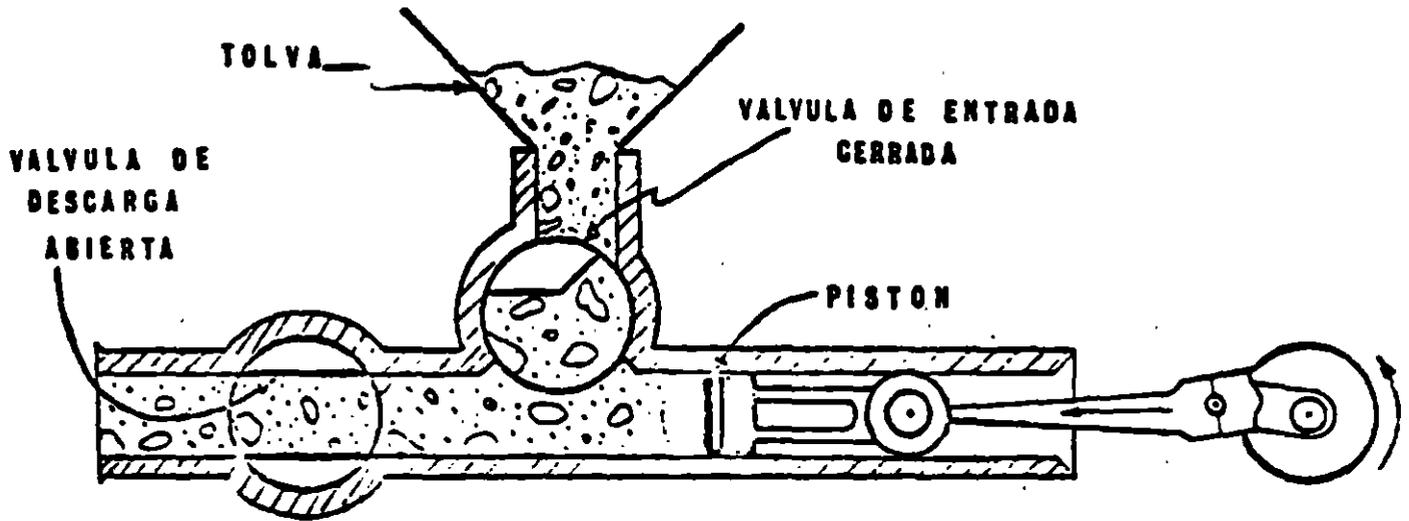


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA BOMBA DE CONCRETO, TIPO NEUMATICO.

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA BOMBA  
DE CONCRETO, TIPO DE PISTON



La válvula de entrada se abre cuando la válvula de descarga está cerrada y el concreto se introduce en el cilindro por gravedad y por la succión del pistón. Cuando el pistón se cierra la válvula de entrada, la válvula de descarga se abre, y el concreto es empujado por la tubería hacia la cimbra.

Los tubos tremie, son elementos necesarios para realizar muros colados "in situ", dentro de lodo bentonítico o agua.

### C) EQUIPO DE TERMINACION FINAL

Con alguna frecuencia es necesario dar a las superficies de concreto un acabado especial, como por ejemplo en pavimentos de concreto hidráulico o también en los recubrimientos de canales, por solo mencionar dos casos.

Como un equipo de terminación final es conveniente utilizar, alguno que permita dar un acabado de la superficie sin alternarla, tendiente a dar las características señaladas por las especificaciones, no solo en cuanto al aspecto formal sino también por lo que respecta a color y textura.

### D) EQUIPO AUXILIAR

#### a) Alumbrado

Deberá tenerse en obra un equipo de alumbrado que garantice el trabajo nocturno, con suficientes lámparas para cubrir toda el área de trabajo.

#### b) Humedecido

Con muchísima frecuencia se hace necesario humedecer la superficie en donde se depositará el concreto, por lo que es recomendable dotar de tanques con agua, en los lugares estratégicos.

#### c) Protección Contra Lluvia y Viento

Para poder proteger al concreto fresco ya colocado, contra los efectos de lluvias inesperadas que puedan dañarlo, se recomienda tener en obra techos con estructuras ligeras en cantidad suficiente, y por lo que respecta a la protección contra los efectos del viento se debe disponer de mamparas lastrables que sirvan de pantallas protectoras.

### E) SELECCION DEL EQUIPO

Para la selección del equipo adecuado deberán analizarse los diferentes factores que intervienen en la realización de la obra, como pueden ser:

- a) Volúmen de obra por ejecutar.
- b) Programa de obra.
- c) Disponibilidad de todos los materiales necesarios.
- d) Factores climatológicos.
- e) Turnos de trabajo.

Una forma de proceder podría ser la siguiente: conocido el volúmen de obra a ejecutarse y el tiempo de entrega, se revisan las disponibilidades de materiales; modificándose el plazo de entrega en caso de que alguno de dichos materiales no esté disponible en la medida requerida. Suponiendo que se tienen los materiales para cumplir con el programa de obra, se analizan las condiciones climatológicas para evaluar el tiempo posible de trabajo que pueda tenerse dentro del programa de obra. Por último, se determinan los turnos de trabajo, permitiéndonos esto conocer el volúmen de obra que tenemos que ejecutar por hora, lo cual nos permite decidir el equipo que se ajuste a las necesidades. Se seleccionará el equipo, con base primeramente, al trabajo específico de que se trate, para en seguida de un determinado grupo, escoger el que más se ajuste al programa estudiado.

vigilando que esté balanceado entre sus diferentes elementos.

### 3. PROBLEMA DE TRANSPORTE

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos, tales como mezcladoras de camión, cajas de camión fijos con o sin agitadores, por góndolas de ferrocarriles, por conductos o mangueras o por bandas transportadoras, etc.

El tema a tratar en esta parte del curso, es sin embargo, el de colocación de concreto; pero vale la pena aclarar hasta que punto un sistema es de transporte o de colocación; por ejemplo, nosotros podemos transportar el concreto por medio de bandas transportadoras y colocarlos directamente de las bandas a la cimbra bien, en este caso el sistema es de transporte y a la vez de colocación. Lo mismo podemos decir cuando se transporta concreto por métodos de bombeo y quizás también si se transporta por medio de bogues equipados con motor.

Por las razones antes expuestas trataremos de enfocar el problema de transporte dentro de la obra sin desligarlo de la colocación, es decir, distinguiendo únicamente que en la obra tenemos transporte vertical y transporte horizontal y su correspondiente colocación.

El problema de transporte del concreto de la planta al sitio de colocación, se trató en anterior sesión.

### 4. METODOS DE COLOCACION DE CONCRETO

#### A. ESPECIFICACIONES GENERALES

Una especificación es fundamentalmente un documento del contrato que relaciona los materiales y la obra de mano con un cierto grado y calidad. Esto puede hacerse citando normas, citando marcas específicas o indicando métodos o procedimientos. Las especificaciones deben estar acordes al "Estado del Arte en Ingeniería" y deben corresponder al tipo de equipo que se usa en la actualidad. Si la especificación como dijimos al principio está ligada a la calidad, debe hacerse un estudio cuidadoso del conjunto de especificaciones para definir en detalle el control de calidad necesaria.

En general las especificaciones están organizadas por tipos de trabajo. Este se indica como título, posteriormente se describe en detalle el trabajo a ejecutar y más adelante en una serie de párrafos se dan las características del trabajo, relacionado con su calidad, dimensiones, grado de exactitud en medidas y colocación tipo de material a usar y, algunas veces indicaciones sobre el procedimiento constructivo que debe elegirse.

Por último se termina con el procedimiento para la medición y el pago del trabajo ejecutado.

Aunque al redactar las especificaciones se procuran que éstas sean claras y equilibradas, es bastante frecuente que el contratista se encuentre con casos en los que hay que interpretar una parte o el total de la especificación. Cuando en las especificaciones se encuentran casos como: "De acuerdo con las mejores prácticas de la Ingeniería", "Obra de mano de primera calidad", "deshonesto", se pueden prever dificultades en la interpretación de dichas especificaciones. En estos casos es conveniente traducir las frases en tolerancias definidas o datos específicos que permitan proyectar el subsistema de control de calidad de una manera racional, evitando discusiones, pérdidas de tiempo y serios daños económicos.

También es recomendable que la especificación omita el procedimiento de construcción, aunque no siempre esto es posible, pero en este último caso pueden dársele al constructor, más que un procedimiento de construcción detallado, ciertas restricciones que deberá tomar en cuenta, por ejemplo, en un colado de concreto se le podrá indicar que debe tomar precauciones contra tempe-

raturas abajo de cero.

Al final de este capítulo se anexa un ejemplo de especificación de concreto lanzado para su análisis.

## B. COLADO CONTINUO

Anteriormente ya se ha hablado en forma muy somera del equipo de colocación, tanto para colado continuo como para colado discontinuo. En esta parte enlistaremos los diferentes métodos de colocación describiendo en forma general algunos de ellos.

### a) Colocación en cimbras deslizantes.

Casi siempre que se habla de cimbras deslizantes, se piensa en la construcción de estructuras verticales de concreto reforzado y más específicamente de silos de almacenamiento y en menor escala de tanques elevados y pilas de puentes.

Sin embargo, no son estos los únicos ejemplos de grandes obras en los que se puede utilizar la cimbra deslizante, según podemos observar en la siguiente lista, en la cual incluimos los casos tradicionales y apuntados:

- Colado de silos de almacenamiento.
- Colado de muros en edificios.
- Colado de pilas de puentes.
- Puentes en doble voladizo.
- Colocación de concreto en túneles inclinados.
- Erección de la estructura de concreto de los núcleos centrales para elevadores, servicios sanitarios, escaleras y ductos de instalaciones en edificios.
- Revestimiento de las paredes inclinadas en vertedores.
- Erección de estructuras en obras de toma.

Un aspecto verdaderamente delicado en la operación de un sistema deslizante tradicional, es el control de su movimiento ascendente durante todo el tiempo de la operación, que debe ser continua durante 24 horas al día y todos los días que dure este movimiento, sin que esto quiera decir que el sistema no pueda detenerse en un nivel determinado y arrancar de nuevo, procediendo en forma ordenada y planeada, antes de iniciar el deslizamiento.

La condición principal a satisfacer, después de garantizar la constante sección transversal de la estructura mediante el correcto diseño de la cimbra, es la de verticalidad de la propia estructura o en su caso la de conservar el ángulo correcto con respecto a la horizontal.

La colocación del concreto en las formas, debe hacerse en capas sucesivas de espesores no mayores de 15 a 20 cm y en forma perimetral, es decir, manteniendo la cimbra siempre prácticamente llena y al mismo nivel en todo el perímetro.

Esta situación de uniformidad del llenado de la cimbra nos ayuda, junto con otra serie de condiciones de diseño y de operación que deben reunirse, a mantener la correcta posición de la

cimbra ya que se mantienen uniformes las fuerzas de fricción del concreto contra la cimbra.

El vibrado del concreto dentro de la cimbra es necesario para lograr su perfecta colocación y además porque contribuye en gran parte al buen aspecto del acabado de las paredes, por lo que se recomienda que el vibrado se efectúe en lo posible únicamente sobre la faja de concreto que se va colocando y no afecte, revibrando, la capa inmediatamente anterior, pues aunque esto no afecta las características de resistencia del concreto, sí se manifiesta en la apariencia exterior.

Mantener una uniformidad completa por lo que se refiere a la calidad y condiciones de la mezcla de concreto, en cuanto a su manejabilidad, tiempos de fraguado, proporcionamiento, calidad y tamaño de los agregados, etc., es un aspecto primordial, el cual implica contar con una perfecta organización en todos los aspectos de la obra: suministro adecuado del material y del equipo, personal de producción capacitado y perfecta sincronización en el transporte, elevación, y colocación del concreto en la cimbra.

#### b) Colocación en cimbras continuas

Para tener el ideal abastecimiento de concreto en forma continua, no solamente contamos con las cimbras deslizantes mencionadas anteriormente, sino que también se pueden realizar colados en forma ininterrumpida en los casos que a continuación se indican:

- Recubrimiento de concreto en túneles.
- Pavimentos de concreto hidráulico.
- Colocación de concreto en taludes y plantilla de canales.
- Colados de concreto en grandes losas.

La colocación de concreto hidráulico en pavimentos, tanto en carreteras como en aeropuertos, así como también en el revestimiento de canales, utilizando pavimentadoras, lo podemos considerar como un colado en cimbras continuas ya que lo que propiamente constituye la cimbra continua es la superficie que va a quedar en contacto con el concreto, aunque el equipo de colocación es deslizante.

La operación de este equipo es más económica que aquel de cimbra fija removible, se ahorra obra de mano y en equipos adicionales, se trabaja en zonas más compactas facilitando la supervisión y calidad del trabajo, y se tiene la gran ventaja de que se puede ajustar a todas las dimensiones. Se han realizado construcciones de losas de concreto en pavimentos de espesores variables desde 15 cm hasta 30 cm y anchos desde 3 m hasta 15 m; losa con refuerzo o sin él.

Una ventaja no menos importante que representa el uso de este tipo de equipo es el factor inversión. En producciones masivas es más económico este equipo, en comparación al de cimbra fija incluyendo en cada caso todo lo necesario. Al utilizar menos personal para operar este tipo de máquinas, se obtienen ventajas en costos y se reducen problemas de personal, en cuanto a su control y atención se refiere.

En la utilización de este equipo se pueden señalar los siguientes problemas: es necesario tener personal y técnicos de operación altamente entrenados; deberán usarse métodos de tendido automáticos, es decir, máquinas que por medio de sensores electrónicos pueden ir guiándose apoyados en alambres previamente alineados y nivelados; por último, la atención y mantenimiento del equipo de pavimentación requiere de mecánicos y personal altamente calificado, inclusive asistencia del fabricante, ante todo para darle atención a los componentes y equipos eléctricos.

En cuanto a la cimbra para túneles su funcionamiento es diferente; es básicamente una cimbra continua compuesta de módulos en la cual se va colando de atrás hacia adelante se cuele primero el módulo posterior y una vez que el concreto que se encuentra en contacto con este módulo tiene la resistencia adecuada, este se cierra y se desliza sobre unos rieles por el interior de la cimbra (parte interior de los demás módulos) hasta llegar a la parte de enfrente en donde se vuelve a armar. La operación se repite cuantas veces sea necesario. Este tipo de trabajos son muy especializados y en nuestro medio se realizaron en el Sistema de Drenaje Profundo con bastante éxito.

Por lo que toca a los colados continuos de grandes losas con sistemas tradicionales, consideramos que no es necesario hacer mayor explicación.

### C. COLADO DISCONTINUO

Este tipo de trabajo se hace en un altísimo porcentaje de grandes obras y la diferencia básica entre una y otra obra, en cuanto a la colocación de concreto se refiere, consiste en el equipo de colocación que se utilice. Así por ejemplo, podemos distinguir los siguientes métodos:

#### a) Cubos y tolvas

El empleo de cubos con descarga por la parte interior, diseñados apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el más bajo revenimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Las puertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a no menos de una tercera parte del área máxima horizontal interior o cinco veces de el tamaño máximo del agregado que se está empleando. Las paredes laterales deben ser inclinadas por lo menos 60 grados respecto a la horizontal. Los controles en las puertas deben permitir que el personal que trabaja en la colocación las abra o las cierre durante cualquier etapa del ciclo de descarga.

#### b) Carros manuales y motorizados.

Es importante que las vías por donde transiten estos carros sean lo suficientemente lisas y rígidas para impedir la separación de los materiales del concreto durante el trayecto y también es necesario ser cuidadoso de la forma de depositar el material sobre la cimbra, aspecto que se trata en la parte correspondiente a la supervisión durante el colado.

#### c) Canalones y trompas de colado

Se emplean con frecuencia para trasladar concreto de un nivel superior a la cimbra directamente, a tolvas o a bandas transportadoras, que se encuentran en un nivel inferior. Deben ser de fondo curvo y construidas o forradas de metal y tener suficiente capacidad para evitar derrames. Los canalones demasiado largos y descubiertos deben cubrirse para evitar la evaporación y la pérdida de revenimiento.

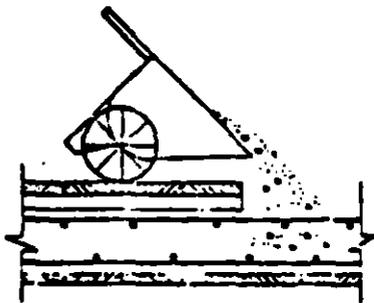
#### d) Tubo tremie (tubo embudo)

Este elemento es imprescindible en los trabajos de muros colados "in situs", o sea en los trabajos de muros subterráneos colados en el lugar. El procedimiento es como sigue:

1o. Se construye un brocal de gúfa

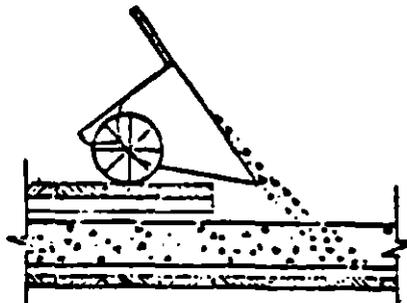
2o. Excavación mediante equipo especial.

Se excava mediante equipo especial (puede ser cucharón de almeja): se efectúa la excava-



① CORRECTO

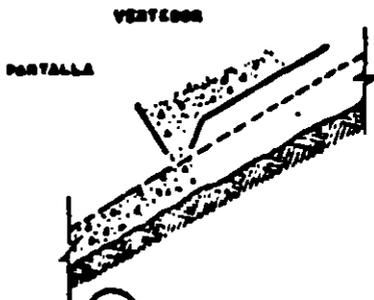
VERTER EL CONCRETO EN LA CARA DEL CONCRETO COLADO



② INCORRECTO

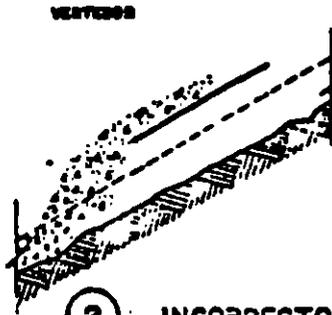
VERTER EL CONCRETO ALEJÁNDOSE DE LA CARA DEL CONCRETO COLADO

**COLADO DE LOSAS DE CONCRETO DESDE BUGGIES**



① CORRECTO

COLGAR UNA PARTALLA Y COLAR EN EL EXTREMO DEL VERTEDOR, DE TAL MANERA SE PREVIENE LA SEPARACION Y EL CONCRETO PERMANECE EN LA PENDIENTE.



② INCORRECTO

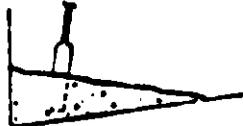
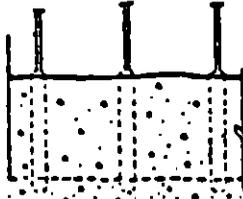
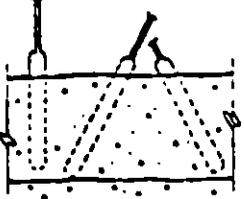
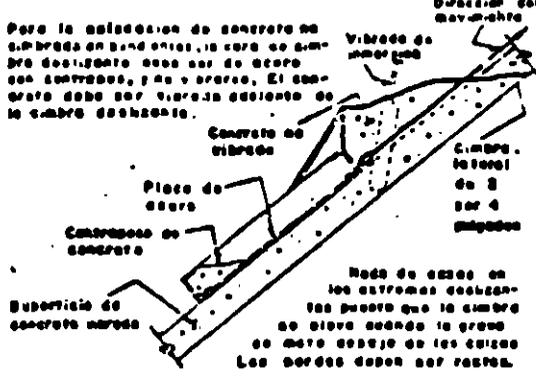
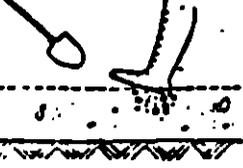
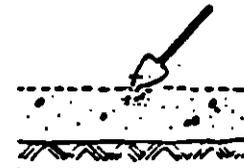
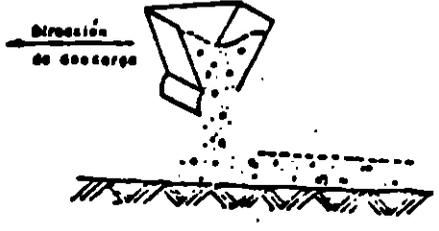
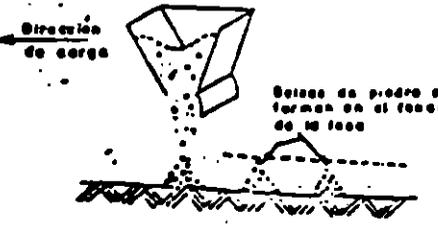
COLAR EL CONCRETO DESDE UN EXTREMO LIBRE DEL VERTEDOR SOBRE UNA PENDIENTE QUE VA A SER PAVIMENTADA, LA GRAVA SE SEPARA Y VA A LA PARTE INFERIOR DE LA PENDIENTE. LA VELOCIDAD TIENE A ESCOLIZAR EL CONCRETO HACIA ABAJO.

COLADO DE CONCRETO EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

COLADOS DE CONCRETO

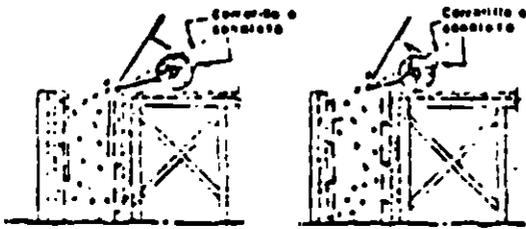
N O R M A S

MOJA DE

<p style="text-align: center;"><b>CORRECTO</b></p> <p>Se emplea la colocación en el fondo de la pendiente de tal manera que se aumente la compactación por el peso del concreto puesto que se agrava. La vibración com- pleta.</p>  <p style="text-align: center;"><b>INCORRECTO</b></p> <p>Se emplea la colocación en la parte superior de la pendiente. El concreto se agrava cuando se desgrava, sobre todo cuando se obra en la parte inferior, puesto que la vibración invade el flujo, y causa el escape del concreto de arriba.</p>  <p style="text-align: center;"><b>CUANDO SE TIENE QUE COLOCAR CONCRETO EN PENDIENTES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>CORRECTO</b></p> <p>Penetración vertical del vibrador algunas centímetros dentro de la capa colocada anteriormente (lo cual reduce el escape de agregado). A intervalos regulares (sistemáticos) se ha comprobado que se evita la consolidación.</p>  <p style="text-align: center;"><b>INCORRECTO</b></p> <p>Penetración al costar del vibrador en todas las capas y en una suficiente profundidad para asegurar la compactación monolítica de las dos capas.</p>  <p style="text-align: center;"><b>LA VIBRACION SISTEMATICA DE CADA CAPA</b></p>
<p>Para la colocación de concreto en superficies inclinadas, la cara de apoyo debe estar sobre un soporte sólido y no sobre un concreto con contrapeso, y no y arroyo. El concreto debe ser vibrado durante de la cámara dechante.</p>  <p style="text-align: center;"><b>COLOCACION DEL CONCRETO EN UNA SUPERFICIE INCLINADA</b></p> <p style="text-align: center;">Nota de precaución en los extremos dechante: las juntas que la cámara de concreto debe de las juntas. Los bordes deben ser rasados.</p>	<p style="text-align: center;"><b>CORRECTO</b></p> <p>Con una pala se pasa la grava a las baldes de piedra o otra clase con suficiente cantidad de arena y se compacta o vibra.</p>  <p style="text-align: center;"><b>INCORRECTO</b></p> <p>Tratar de corregir la base de piedra trozos de mortero y concreto trozos en la boca.</p>  <p style="text-align: center;"><b>EL TRATAMIENTO DE SOLAS DE PIEDRA AL COLOCAR CONCRETO</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>CORRECTO</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>INCORRECTO</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>SI LA SEGREGACION NO HA SIDO ELIMINADA AL LLENAR LOS CUBOS UN remedio temporal es que se haga la corrección</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>CORRECTO</b></p> <p>Dirigir el cubo para que la grava segregada caiga en el concreto de tal manera que pueda combinarse dentro de la masa.</p> <p style="text-align: center;"><b>INCORRECTO</b></p> <p>Dejar caer de manera que la masa libre se resque y acumule sobre cubos o sub-cubos.</p>
<p><b>COLOCACION DEL CONCRETO</b></p>	

N O N M A H E V  
6303  
MOJA DL

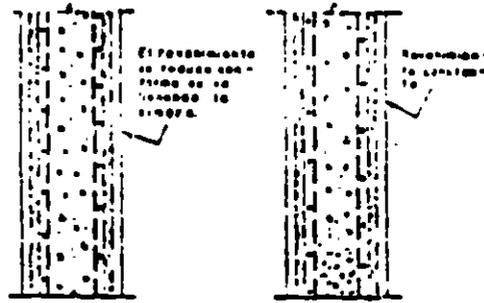
**EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE**



**CORRECTO**  
 Descargarse el concreto en un receptor sea una manguera ligera y flexible. Esto evita la segregación. La cimbra y el acero estarán limpios antes que los sobre el concreto.

**INCORRECTO**  
 Permita que el concreto del canchales a la zapallita se gasee sobre la cimbra y resaca en los varillas y la cimbra cuando se segregara y haca en el fondo.

**COLOCACION CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS**



**CORRECTO**  
 Descargarse el concreto en una bandeja en el fondo de cimbras estrechas profundas y se hace una capa superior en el centro de cada banda o cuando la altura del concreto la construyan por abastamiento de mismo.

**INCORRECTO**  
 Dar al mismo pavimento en la parte superior como se reduce en el fondo. Esto en un día raro, cuando se la parte superior produce un exceso de agua y se reduce, produce de concreto y durabilidad en la capa superior.

**CONSISTENCIA DEL CONCRETO EN CIMBRAS ESTRECHAS Y PROFUNDAS**



**CORRECTO**  
 Manguera ligera y flexible que descargue en una abertura de la cimbra.

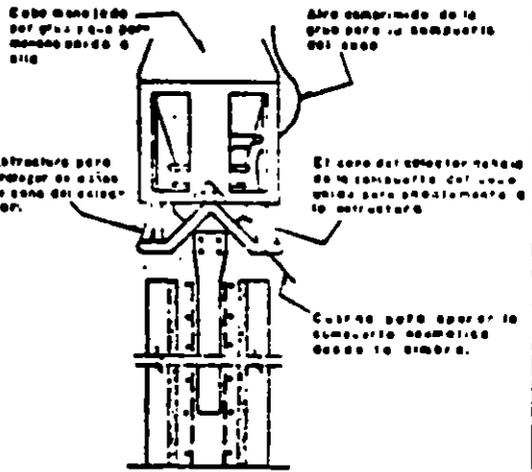
**INCORRECTO**  
 Mortero.



**CORRECTO**  
 Cada vertical del concreto en varias secciones desde de cada abertura de la cimbra, permitiendo que el concreto se estece y fluya facilmente a la cimbra sin segregacion.

**INCORRECTO**  
 Permita que el concreto fluya a gran velocidad sobre de las cimbras, a que forme un ángulo con la vertical. Esto necesariamente va a ser a segregacion.

**COLOCACION EN PAREDES PROFUNDAS O CURVAS A TRAVES DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA**

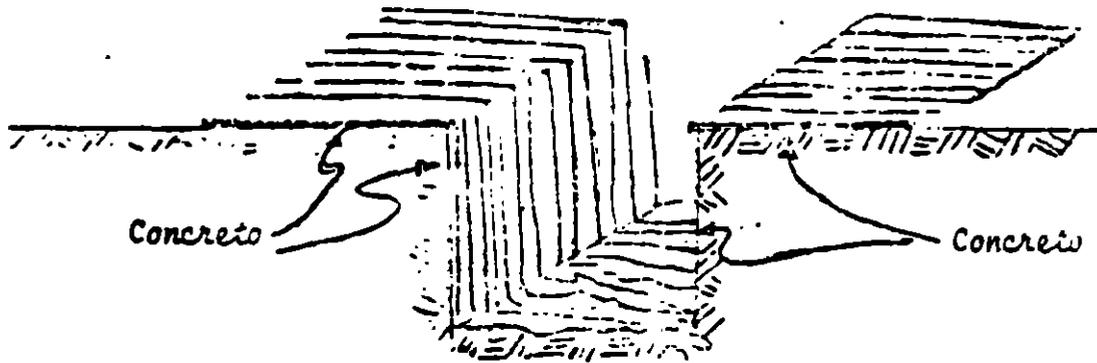


Conducta de salida flexible conectada al acero exterior. El concreto en esta se puede de esta manera más de concreto permitiendo que se le empuje para el menor tamaño de el grúa como de ser lo más convenientemente grande para el mejor.

**COLOCACION DE CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS**

**COLOCACION DEL CONCRETO**

N	O	R	M	A	N	I	V
2-04							
HOJA				DE			



ción en zanja de ancho y largo determinado y a medida que se va haciendo la excavación se va introduciendo lodo bentonítico. La bentonita, en virtud de su elevado peso específico, ejerce una fuerte presión sobre las paredes de las excavaciones y penetra en el terreno alrededor de él haciéndolo impermeable; mientras que por lo que se refiere a su acción contra los derrumbes, puede considerarse que dicha bentonita encerrada en la excavación debe resistir a la presión del suelo y, si hay presencia de una faja de agua, resistir también a su empuje; o sea que dicho lodo sustituye perfectamente bien cualquier forma de ademe.

### 3o. Limpieza del fondo

Terminada la excavación hasta la cota determinada y con el ancho y largo establecido, se debe proceder a la limpieza del fondo, la misma que se ejecuta mediante bombas especiales sumergidas que hacen circular el lodo a través de un ciclón y un separador, volviendo a recircular la bentonita limpia.

### 4o. Colocación del acero de refuerzo

Sucesivamente y si es necesario según el cálculo, se puede proceder a introducir en la zanja, siempre en presencia del mismo lodo, una parrilla de acero de refuerzo.

### 5o. Colado del concreto

El paso a seguir es el colado del concreto que se efectúa de abajo hacia arriba mediante un tubo de colado (tubo "tremie"). Un factor muy importante es que la parte inferior de dicho tubo tiene que quedar siempre sumergido en el concreto, por lo menos un metro o más.

En la hoja siguiente se puede observar en forma gráfica este proceso.

### e) Bombeo

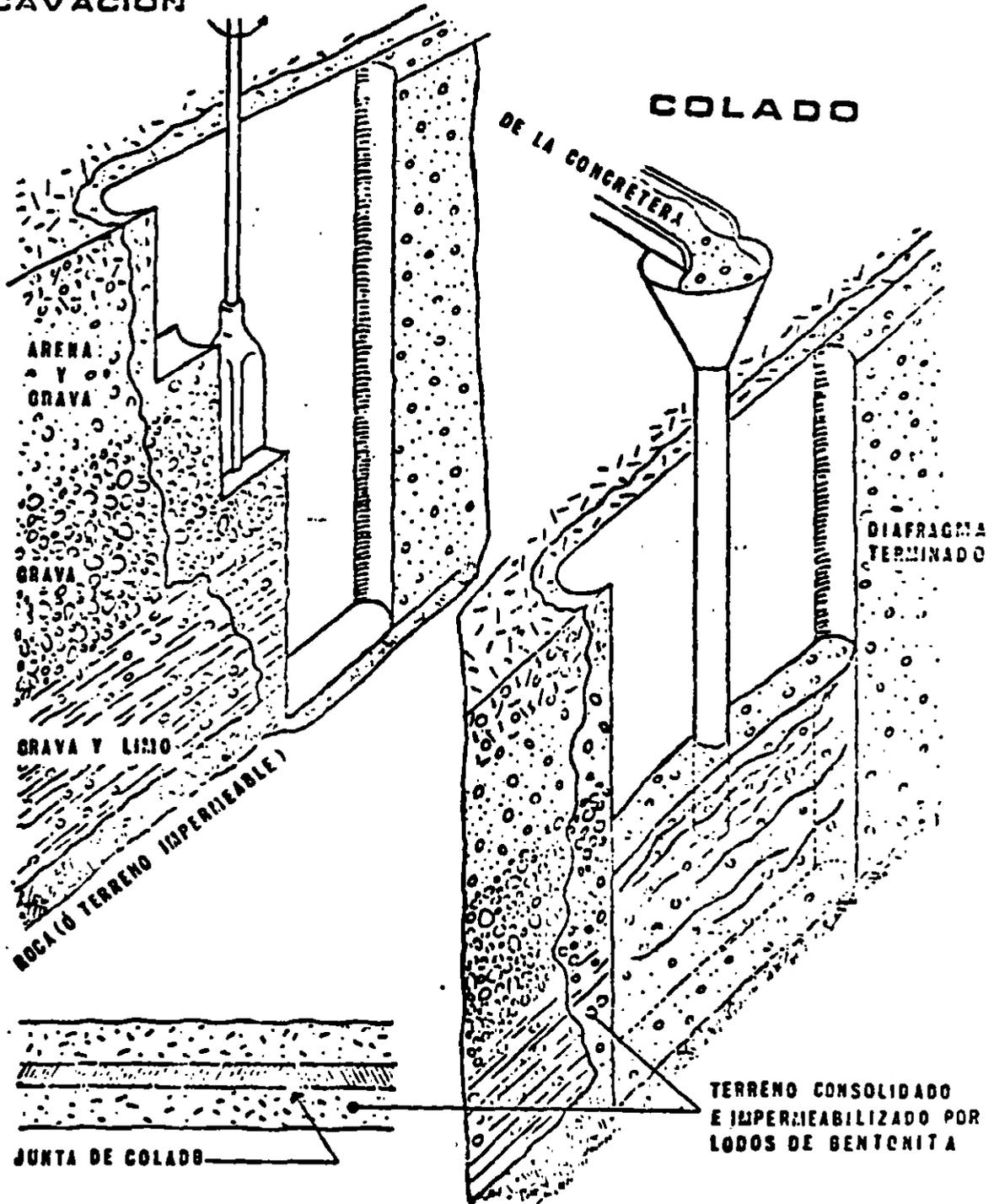
Podemos definir al concreto bombeado como un concreto conducido por presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y vaciado directamente en el área de trabajo. En general, su uso ha tenido buen éxito, especialmente en el revestimiento de túneles y para vaciados en áreas inaccesibles a las grúas, camiones, etc. Últimamente ha tomado bastante auge en trabajos de edificación.

El sistema de bombeo, puede ser útil en la mayor parte de las construcciones de concreto; pero más especialmente en las áreas donde el espacio para el equipo de construcción es muy reducido.

Para obtener un bombeo satisfactorio se requiere una dotación constante de concreto bombeable, el cual, como las mezclas convencionales, requiere un buen control de calidad. De acuerdo

### EJECUCION DE MURO COLADO "IN SITU"

EXCAVACION



COLADO

DE LA CONCRETERA

ARENA Y GRAVA

GRAVA

GRAVA Y LIMO

ROCA (O TERRENO IMPERMEABLE)

DIAFRAGMA TERMINADO

TERRENO CONSOLIDADO E IMPERMEABILIZADO POR LODOS DE BENTONITA

JUNTA DE COLADO

con el equipo que se use, la capacidad de entrega de concreto variará de 8 a 70 m<sup>3</sup> por hora. El alcance efectivo variará de 90 a 300 m horizontalmente y de 30 a 90 m verticalmente. Ha habido casos en los que se ha logrado bombear concreto en distancias horizontales hasta de 600 m y en verticales hasta 500 m.

#### f) Bandas transportadoras

Este es también un método de colocación utilizado con cierta frecuencia en las grandes obras.

Las principales ventajas de las bandas transportadoras son el flujo uniforme y el volumen que desplazan. Su desventaja mayor es la tendencia a la segregación del concreto en el extremo de descarga, por lo que se hace conveniente instalar algún dispositivo en el extremo de descarga que asegure la caída vertical del concreto.

Por lo general es necesario instalar un limpiador de banda en el extremo de descarga para evitar que una porción del concreto se adhiera a la banda.

#### g) Cablevías

En algunas grandes obras, como es el caso de presas de concreto, se ha utilizado este sistema de colocación con magníficos resultados. Su funcionamiento es aparentemente simple y consiste en lo siguiente. Se tiende un cable a manera de un puente colgante y sobre él se desliza un mecanismo por medio de poleas y del cual pende un bote que en su interior contiene concreto y que se depositará en el lugar del coiado. El accionamiento del sistema se realiza desde una caseta que se encuentra en alguno de los extremos en donde se encuentran sujetos el cablevía. Su utilización como método de colocación de concreto es relativamente escaso ya que requiere de condiciones especiales.

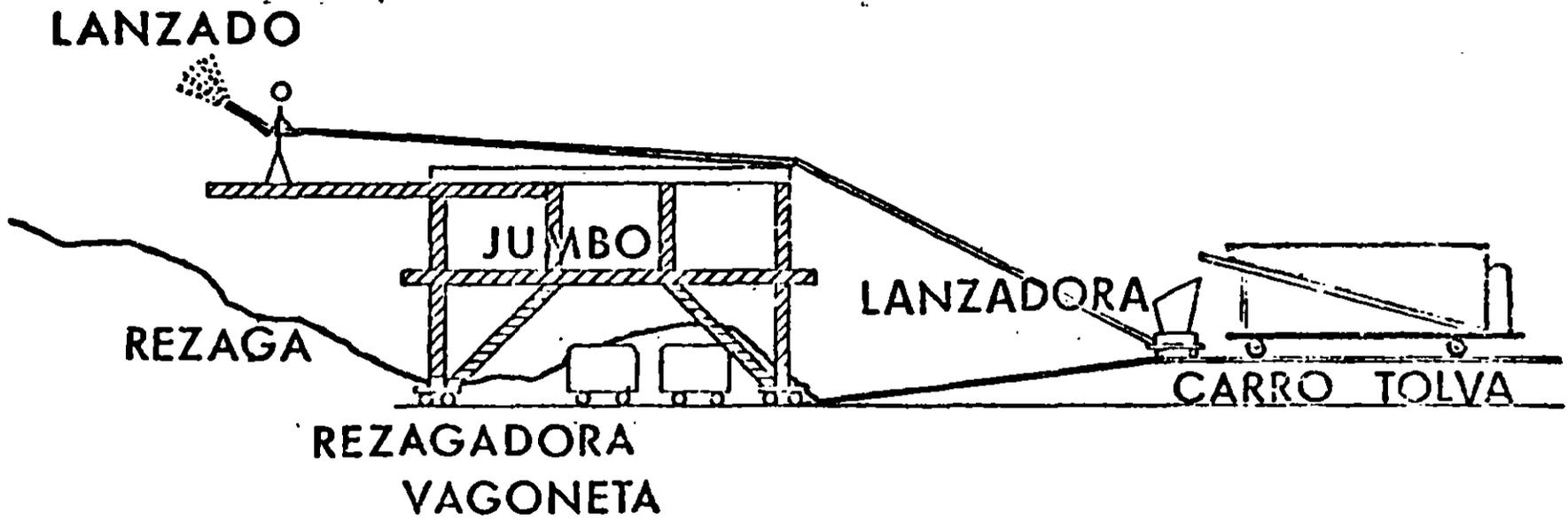
#### h) Concreto lanzado

Este es el nombre que se da a un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad, sobre una determinada superficie.

Las propiedades del concreto lanzado no difieren de las propiedades de un concreto colocado convencionalmente, de proporciones similares; es el método de colocación el que confiere al concreto lanzado sus significativas ventajas en numerosos usos. Al mismo tiempo, se requiere considerable habilidad y experiencia en la aplicación del concreto lanzado, así que su calidad depende en gran parte del trabajo de los operadores, especialmente en la colocación con la boquilla de expulsión.

El contenido de cemento en el concreto lanzado es alto. Además, el equipo necesario y la forma de colocación son más caros que en el caso de concreto convencional. Por estas razones, el concreto lanzado se usa principalmente en ciertos tipos de construcciones: secciones delgadas y ligeramente reforzadas (en algunos casos), como techos, cascarones, recubrimiento de túneles y tanques presforzados. Se usa también para reparar concreto deteriorado, estabilizar taludes, recubrir acero para protección contra incendios, y como sobrecapa ligera de concreto, mampustería o acero. Si el concreto lanzado se aplica en una superficie cubierta por agua corriente, es necesario usar un acelerante que produzca fraguado instantáneo; pero con la consiguiente reducción en la resistencia, aunque hace posible el trabajo de reparación. Generalmente, se aplica el concreto lanzado en un espesor hasta de 10 cm.

En la hoja que sigue se ilustra gráficamente el sistema.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**RESIDENCIA LOS AZUFRES  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**RESIDENTES DE CONSTRUCCION**  
del 3 al 7 de julio de 1995

**TEMA III REHABILITACION DE POZOS**

**LOS AZUFRES, MICH.**  
1995

## **CAPÍTULO 1.- EFICIENCIA DE POZOS.**

En el medio de la explotación de aguas subterráneas es conocida la gran frecuencia con que los pozos funcionan ineficientemente; pero incluso pozos que se suponen eficientes, no lo son, ya que en su construcción o en la rehabilitación no se aplicó toda la tecnología disponible hoy en día.

En cualquier sistema donde tenga lugar una transformación o transmisión de energía, la eficiencia es la capacidad que tiene el sistema para realizar estos procesos. Considerando que estas nunca son totales al existir pérdidas por fricción, calor, ruido, etc. Comúnmente se define a la eficiencia, como la relación entre la energía proporcionada al sistema y la que se recupera del mismo, expresado generalmente como un porcentaje.

Dentro del sistema "pozo de agua", se tienen dos áreas principales de eficiencia: la eficiencia del sistema de bombeo y la eficiencia del pozo. La eficiencia en el bombeo es el producto de la eficiencia de la bomba (eb) por la eficiencia del motor (em).

$$\text{Eficiencia total en el bombeo} = (eb) (em) \quad (1.1)$$

En la práctica, a estas dos eficiencias suele llamársele "eficiencia del sistema de bombeo".

La eficiencia de un pozo es su efectividad para captar agua del acuífero; como un pozo no necesita una potencia de entrada para que fluya el agua dentro de él, esta eficiencia no se puede medir con la división de potencia de salida entre la potencia de entrada, por lo que es necesario desarrollar otros métodos para medirla. Para comprender fácilmente estos métodos, se deben conocer las causas que pueden producir ineficiencia en el pozo.

### **1.1.- PÉRDIDAS DE EFICIENCIA DEBIDAS A LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO.**

Las características del acuífero rigen la capacidad de entrada del agua al pozo. Las principales características del acuífero son: el tamaño y grado de consolidación del acuífero, sus límites, uniformidad, arreglo granulométrico, permeabilidad, transmisibilidad, composición química de los materiales y del agua que determinan el grado de corrosión e incrustación. Estas características son aplicables básicamente a acuíferos constituidos por materiales granulares, que se comportan de acuerdo a la ley de Darcy, cuando se trata de un acuífero en rocas kársticas o de rocas compactadas y fracturadas, la determinación de algunos

parámetros es imposible y en otros tendrá un valor sólo relativo, para efectos de comparación en la misma región. Estas características son incontrolables, pues reflejan condiciones naturales, a las que se tiene que adaptar el proyecto del pozo en la mejor forma posible.

La pérdida de carga originada en el acuífero se refleja en el descenso del nivel dinámico necesario para que el agua fluya al pozo en régimen laminar y depende, además, de las características antes mencionadas, del caudal bombeado y, en menor medida, del diámetro del pozo.

## **1.2.- PÉRDIDAS DE EFICIENCIA DEBIDAS A LAS CARACTERÍSTICAS DEL POZO.**

Las características del pozo afectan su eficiencia en forma determinante y la detección práctica de posibles deficiencias se explica en el Capítulo 2, pero en términos generales se manifiestan como un descenso en el nivel dinámico para un caudal dado, originado por las siguientes causas:

- Al pasar el agua por las ranuras del cedazo al interior del pozo, se tiene una pérdida de carga. Si la velocidad es grande, la pérdida es proporcional al cuadrado del caudal, lo que resulta más crítico si el diseño del pozo no es adecuado, pudiendo llegar a ocasionar grandes descensos en el nivel dinámico.

- En los alrededores del pozo aumenta la velocidad de entrada del agua, con el consiguiente aumento del número de Reynolds, superando el valor matemático admisible para la validez de la ley de Darcy. Este descenso es proporcional a cierta potencia del caudal (1 a 3.5).

- La pérdida de carga por la entrada del agua en la bomba, sólo tiene importancia en algunas bombas sumergibles en que la succión de la bomba está por encima del cuerpo de ella y éste deja muy poco espacio entre él y las paredes del pozo.

- El movimiento del agua desde la zona filtrante hasta la bomba, produce una pérdida de carga, aunque esta pérdida normalmente no reviste mayor importancia.

### **1.2.1.- Método de Rorabaugh**

Una forma de medir la eficiencia de un pozo es por medio de la fórmula de Rorabaugh, que analiza el descenso del nivel dinámico del pozo:

$$S_p = B Q + C Q^n \quad (1.2)$$

Donde :

$S_p$  = descenso en el pozo (nivel dinámico - nivel estático).

$Q$  = caudal de bombeo.

$B$  = coeficiente de las pérdidas de circulación en la formación.

$C$  = coeficiente de las pérdidas de circulación en el pozo.

$n$  = exponente dependiente de la severidad de la turbulencia.

La fórmula indica que el descenso de nivel en el pozo es debido a la suma de dos causas: la primera se debe a las condiciones del acuífero, y es proporcional al caudal, la segunda, a las condiciones particulares del pozo, la cual es proporcional a una potencia del caudal que varía según sea la característica del régimen laminar, de transición o turbulento.

Como las características del acuífero no se pueden cambiar, éstas no influyen en la medición de la eficiencia y solo se toma como un punto de comparación, por lo tanto,  $(B Q)$  indica una característica de la zona acuífera, éste descenso es el valor que se tendría en el caso hipotético de un "pozo perfecto".

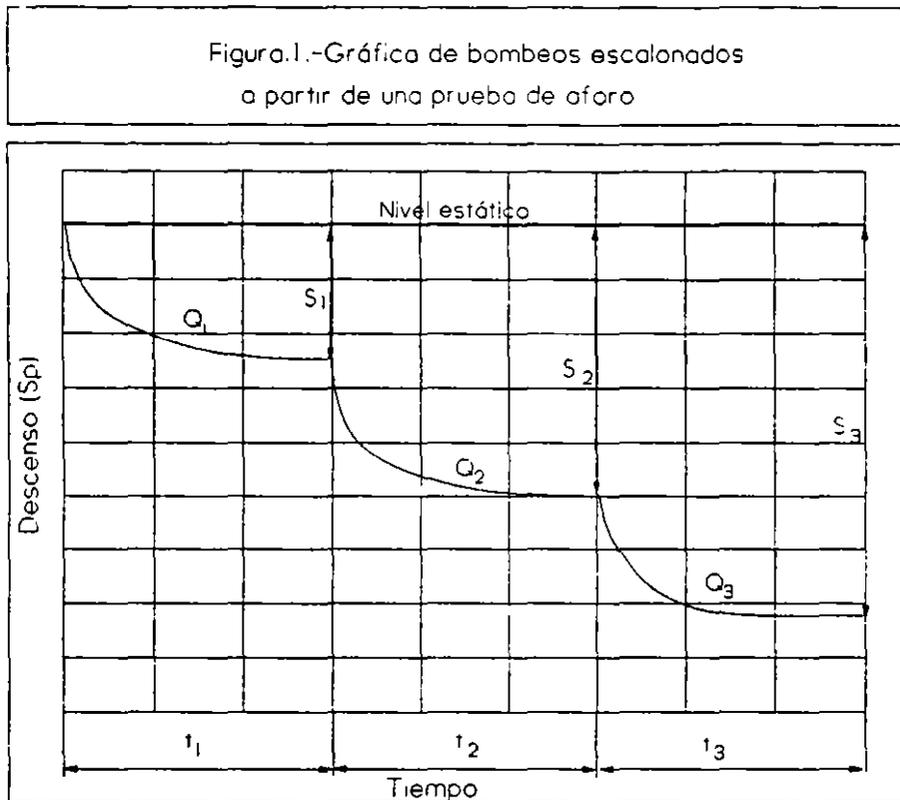
Las condiciones del pozo pueden afectarse dependiendo de las causas que las produjeron. El interés de un correcto diseño y construcción del pozo radica en que el producto  $(C Q^n)$  sea pequeño, lo que es igual a que la eficiencia del pozo sea mejor.

Para lograr conocer los valores de  $B$ ,  $C$  y  $n$ , es necesario medir los descensos del nivel correspondientes a tres caudales diferentes. Estos datos se pueden obtener de la prueba de aforo, a condición de que los tiempos de duración de los escalones de bombeo sean de una misma duración y casi alcancen la estabilidad, como se muestra en la Figura 1, donde se observan los descensos máximos  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  para los distintos caudales correspondientes  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , se deben excluir los valores extremos y de preferencia el valor del caudal al que opera el pozo se debe encontrar en medio de los otros.

Se toman tres pares de datos y se sustituyen en la formula (1.2):

$$\begin{aligned} S_1 &= B Q_1 + C Q_1^n \\ S_2 &= B Q_2 + C Q_2^n \\ S_3 &= B Q_3 + C Q_3^n \end{aligned} \quad (1.3)$$

La resolución analítica de este sistema de ecuaciones resulta compleja, aunque un adecuado programa matemático de computadora lo resuelve con facilidad. Si



no se dispone de estos elementos auxiliares pueden utilizarse los métodos en base a tanteos que se explican en el apéndice F.

Para interpretar correctamente la fórmula de Rorabaugh, o alguna de sus variantes, hay que tomar en cuenta la siguiente condición:

Si los caudales son pequeños, la velocidad de entrada del agua al pozo también lo es, y el régimen de flujo resulta laminar, con  $n$  igual a 1, siendo proporcional al caudal; por lo tanto en ese rango la fórmula (1.2) no se puede utilizar, ya que ciertos efectos no se manifiestan. Si se observa que  $S_p/Q$  es constante se puede concluir que  $n=1$ , lo que no quiere decir que no existan pérdidas de carga en el pozo, sino que no se pueden separar los valores de  $B$  y  $C$ .

### 1.3.- MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA.

Una vez definidos los valores de  $B$ ,  $C$  y  $n$ , se calcula la eficiencia del pozo, dividiendo el descenso teórico ( $S_t$ ) entre el descenso en el pozo ( $S_p$ ); el descenso

teórico es el cambio de nivel dinámico debido a las condiciones específicas del acuífero y el descenso en el pozo es el cambio total del nivel observado en el pozo. Representada con la fórmula de Rorabaugh la eficiencia es igual a:

$$S_t = (B Q) \quad (1.4)$$

$$S_p = (B Q + C Q^n) \quad (1.2)$$

$$ef = S_t / S_p \quad (1.5)$$

$$ef = 1 - (C Q^n / S_p) \quad (1.6)$$

Esta eficiencia es constante si el régimen es laminar (velocidades pequeñas de entrada del agua al pozo), y empieza a disminuir rápidamente cuando el régimen se convierte en turbulento. La eficiencia sirve como un valor indicativo de como está construido el pozo y permite comparar pozos en la misma formación, si se toman iguales tiempos e iguales caudales.

El valor de  $n$  puede variar de 1 hasta 3.5. En régimen laminar,  $n$  es cercano a 1; a mayores velocidades pasa a turbulento, cambiando cuando  $n$  es del orden de 2. Estos valores pueden aumentar debido a otras causas como la disminución del espesor saturado y el aumento de la zona perimetral afectada por turbulencia al incrementar el caudal. Los valores más frecuentes de este exponente varían entre 2.5 y 2.9.

Con frecuencia  $B$  incluye también pérdidas en el pozo proporcionales a  $Q$ , y no sólo pérdidas debidas al acuífero, pero es difícil separarlas, por lo que se considera como una sola, aunque en ciertas ocasiones se debe tomar en cuenta sobre todo cuando  $n$  se acerca a 1.

El coeficiente ( $C$ ) de las pérdidas de circulación en el pozo, puede indicar, en forma comparativa, el estado del mismo (Tabla 1):

Tabla No. 1 Relación entre el coeficiente  $C$  y el estado del pozo.

Para $C \times 10^{-7}$ igual a:	Estado del pozo
< 2.5	El pozo está bien construido y desarrollado.
2.5-50	Principio de obturación.
50-200	La obturación es importante.
> 200	La obturación es fuerte y la rehabilitación del pozo puede ser difícil o imposible.

La C de la Tabla N° 1 tiene como unidades  $t^2 / m^5$  (t en días) y está calculada para  $n = 2$ , para utilizar estos valores cuando n es mayor de 2, se puede transformar esta C en una C' con la siguiente formula:

$$C' = C Q^n / Q^2 \quad (1.7)$$

Por ejemplo; a partir de los siguientes datos del aforo de un pozo:

Descenso (S) metros	Caudal (Q) $m^3/día$
4.1	1,728
10.1	3,456
19.1	5,184

se obtuvieron por el método de tanteos de n (ver apéndice F ) los valores:

$$\begin{aligned} B &= 0.0021 \\ C &= 1.33 \times 10^{-7} \\ n &= 2.634 \end{aligned}$$

para poder comparar esta C con los valores de la Tabla No. 1 se efectúa la siguiente operación:

$$C' = 1.33 \times 10^{-7} \times 5,184^{2.634} / 5,184^2 = 3.01 \times 10^{-7}$$

Lo que indica una mínima obturación del cedazo, apenas de importancia.

En pozos en operación, donde el caudal de operación es similar a alguno de los escalones empleados durante el aforo y si no ha habido una variación notable en el nivel estático regional, se puede considerar que la B y n de operación sean las mismas del aforo; de modo que la variación a la alta de C indicaría un deterioro en las condiciones del pozo.

La eficiencia de los pozos suele ser alta en acuíferos confinados poco permeables, puesto que la mayoría de las pérdidas son debidas al acuífero y puede ser baja en acuíferos muy permeables, si el pozo no ha sido bien construido, desarrollado o si requiere ser rehabilitado. No deben compararse eficiencias de pozos en acuíferos diferentes.

## **1.4.- MEDICIONES PRELIMINARES.**

Muchos pozos en proceso de rehabilitación cuentan con equipo de bombeo en operación. En estos casos, antes de iniciar las labores de rehabilitación propiamente dichas, se deben efectuar una serie de pruebas con el propio equipo del pozo que se denominan "Mediciones Preliminares", cuya principal ventaja radica en su corta duración y bajo costo.

Hoy en día, la mayoría de los pozos están equipados con motor eléctrico, que trabaja a velocidad constante y dado que para estas mediciones se requiere variar las condiciones de trabajo de pozo y bomba, se debe contar con una válvula que permita realizar esta variación. La instalación necesaria para realizar este tipo de pruebas se ilustra en la Fig. 2, aunque esta instalación puede sustituirse por un pitómetro u otro medidor de flujo.

La validez de las Mediciones previas radica en la observación de que al ser bombeado un pozo, la mayor proporción del descenso del nivel dinámico ocurre durante los primeros minutos de bombeo. Como una aseveración de carácter práctico, a la que no se le debe dar una credibilidad excesiva, podemos decir que del 70 al 90 % del descenso del nivel dinámico para un caudal dado, ocurre durante los primeros 30 min de bombeo. Por consiguiente, cuando a continuación se haga referencia a diversos escalones de prueba, su duración puede variar de pozo a pozo, según el tiempo en que cada uno de ellos alcance su estabilidad. Cuando sea posible, se debe intentar que los diversos escalones de una prueba sean de igual duración.

### **1.4.1.- Equipo necesario y secuencia de las pruebas.**

Para realizar las Mediciones Previas se requiere, además del equipo de bombeo, el siguiente equipo complementario (Fig. 2):

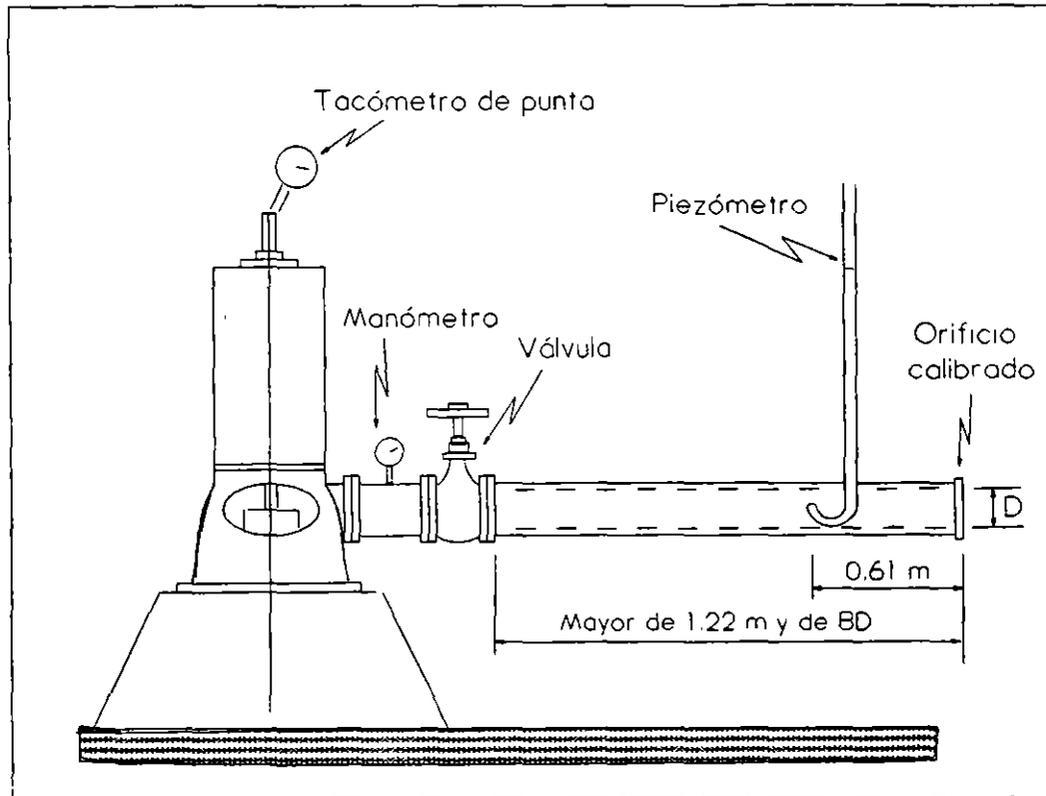
Tubo de descarga con orificio calibrado y piezómetro u otro medidor de caudal, válvula, manómetro, amperímetro, voltímetro, potenciómetro, tacómetro de punta y flexómetro.

La secuencia de operaciones a realizar es la siguiente:

1. Medición de nivel estático.

2. Arranque de la bomba con la válvula abierta. Una vez "estabilizado" el nivel dinámico, medición de éste, del tiempo transcurrido hasta la estabilización, de la presión en la descarga, del amperaje en las fases 1, 2 y 3, de la tensión (volts) entre

Figura 2.- Dispositivo para pruebas de mediciones previas.



las fases 1-2, 1-3 y 2-3, de la potencia consumida y de las revoluciones por minuto cuando el equipo sea de flecha. Estas medidas representan las condiciones normales de operación del pozo.

3. Cerrar totalmente la válvula de la línea de descarga, si existe, y efectuar la misma serie de medidas enumeradas en el inciso 2. En estas condiciones se están tomando lecturas a caudal 0 y carga máxima.

4. Cuando no existe ningún dispositivo de medición de caudal instalado en el pozo, se suspende el bombeo y se desconecta la bomba de la línea, se levanta y gira la bomba lo que fuera necesario y se instalan los aditamentos de medición (manómetro, tacómetro y piezómetro) y los de descarga (válvula y tubo con orificio calibrado) ilustrados en la figura 2. Si se cuenta con dispositivo de medición de caudales, no se requiere de grúa para girar el equipo, ni de toda la instalación de orificio calibrado. En pozos de riego, que por lo general descargan en una pileta, la única instalación adicional que se requiere es la de la válvula y el caudal se mide con escuadra.

5. Se repiten la serie de mediciones con válvula abierta, con válvula cerrada y se cuentan las vueltas que da el volante entre estas dos posiciones.

6. Accionando la válvula se regula el caudal y se cuentan las vueltas, hasta estabilizar el pozo en el mismo nivel dinámico establecido en el inciso 2 (Condiciones de operación) y se repiten las lecturas.

7. Por último se miden otros dos escalones regulando la válvula, mediante el número de vueltas, hasta obtener un punto intermedio entre el de operación y válvula abierta y el otro entre operación y válvula cerrada.

8. Las lecturas obtenidas durante la prueba se procesan de manera similar a la empleada en la Tabla 2.

#### 1.4.2.- Interpretación de la prueba.

El parámetro mas indicativo de las condiciones de operación de un pozo es la capacidad específica, la cual indica la eficiencia del conjunto acuífero-pozo. Las mediciones previas ofrecen información cercana a la realidad, según el tiempo de duración de la prueba, respecto a esta característica en varias condiciones de operación. La capacidad específica depende de unas condiciones impuestas por el acuífero y salvo casos excepcionales, se consideran constantes en lapsos cortos de tiempo y de otras originadas por el pozo, que ocasionalmente si se pueden modificar. Cuando se conservan los datos de aforos anteriores, la comparación con las nuevas mediciones indica si las condiciones hidráulicas se han deteriorado en el tiempo transcurrido entre las dos pruebas y por tanto si el pozo requiere rehabilitación.

Además, indica la eficiencia con que trabaja el conjunto motor-bomba comparándola con las curvas del impulsor que proporciona el fabricante, se establece si la bomba requiere reparación o cambio. En caso de que no se disponga de las curvas de operación, la eficiencia teórica se puede suponer con base en la fórmula de potencia:

$$kw_t = \frac{9.81 Q h}{1,000 (eb) (em)} \quad (1.8)$$

Donde:

$kw_t$  = Potencia teórica (Kw/h).

$Q$  = Caudal en l/s.

Tabla No 2.- MEDICIONES PREVIAS								
POZO:		FECHA:		DIÁMETROS DE: DESCARGA: 8"		ORIFICIO: 6"		
NIVEL ESTÁTICO: 22.23				OBSERVACIONES: Agua limpia desde el arranque.				
EFICIENCIA TEÓRICA MOTOR-BOMBA(eb x cm): 72.00%				PRECIO kW/hr.: 195.55				
CONCEPTOS	CONDICIONES ACTUALES DE TRABAJO	VALVULA CERRADA			CONDICIÓN SIMILAR A OPERACIÓN			VALVULA TOTALMENTE ABIERTA
	1	2	3	4	5	6	7	8
ALTURA PIEZOMÉTRICA (cm)	31.00	0.00	6.00	15.00	30.00	36.00	46.00	55.00
CAUDAL (l/seg)	28.63	0.00	12.60	19.91	28.16	30.85	34.87	38.13
PRESIÓN MANOMÉTRICA (Kg/cm2)	4.50	9.48	8.49	6.96	4.52	3.34	1.55	0.00
NIVEL DINÁMICO (m)	71.24	22.23	31.43	46.63	70.89	82.54	100.36	115.48
CARGA DINÁMICA TOTAL (m)	116.24	117.03	116.33	116.23	116.09	115.94	115.86	115.50
VOLTAJE 1-2 (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
VOLTAJE 1-3 (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
VOLTAJE 2-3 (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
VOLTAJE PROMEDIO (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
CORRIENTE 1(A)	104.00	122.00	115.00	108.00	105.00	102.00	100.00	99.00
CORRIENTE 2(A)	105.00	120.00	115.00	108.00	105.00	102.00	100.00	98.00
CORRIENTE 3(A)	105.00	122.00	116.00	108.00	105.00	102.00	99.00	97.00
CORRIENTE PROMEDIO (A)	104.67	121.33	115.33	108.00	105.00	102.00	99.67	98.00
POTENCIA SUMINISTRADA(kW/Hr)	62.94	75.73	63.21	61.66	63.14	65.22	70.56	72.36
REVOLUCIONES POR MINUTO (rpm)	1800.00	1800.00	1780.00	1780.00	1780.00	1780.00	1780.00	1800.00
FACTOR DE POTENCIA	0.79	0.82	0.72	0.75	0.79	0.84	0.93	0.97
EFICIENCIA BOMBA-MOTOR REAL	51.82%	0.00%	22.72%	36.78%	50.74%	53.74%	56.12%	59.65%
POTENCIA TEÓRICA (kW/Hr)	45.34	0.00	19.97	31.53	44.54	48.73	55.05	60.00
FACTOR DE VARIACIÓN DE POTENCIA	0.00	0.00	0.32	0.51	0.71	0.75	0.78	0.83
DIFERENCIA DE POTENCIAS (kW)	17.60	0.00	43.24	30.13	18.60	15.49	15.51	12.35
COSTO DE LA INEFICIENCIA /hr	\$3,441	\$0	\$8,455	\$5,891	\$3,637	\$3,224	\$3,033	\$2,416
CAPACIDAD ESPECÍFICA	0.58		1.37	0.82	0.58	0.51	0.45	0.41

**DESCRIPCIÓN DE LA TABLA**

ALTURA PIEZOMÉTRICA: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

CAUDAL: OBTENIDO EN TABLAS (APÉNDICE DE AFOROS)

PRESIÓN MANOMÉTRICA: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

NIVEL DINÁMICO: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

CARGA DINÁMICA TOTAL = (PRESIÓN MANOMÉTRICA x 10) + NIVEL DINÁMICO

VOLTAJES: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

VOLTAJE PROMEDIO = (Volt1 + Volt2 + Volt3)/3

CORRIENTE: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

CORRIENTE PROMEDIO = (Amp1 + Amp2 + Amp3)/3

POTENCIA SUMINISTRADA: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

REVOLUCIONES POR MINUTO: MEDICIÓN DURANTE LA PRUEBA

FACTOR DE POTENCIA = POT. SUMINISTRADA X 1000 / (VOLTAJE PROMEDIO X CORRIENTE PROMEDIO X 1.73)

EFICIENCIA BOMBA-MOTOR REAL = CARGA DINAM. TOTAL x CAUDAL x 0.0098 / POT. SUMINISTRADA

POTENCIA TEÓRICA = CARGA DINÁMICA TOTAL x CAUDAL x 0.0098 / EFICIENCIA TEÓRICA MOTOR.-BOMBA.

FACTOR DE VARIACIÓN DE POTENCIA = POTENCIA TEÓRICA / POTENCIA SUMINISTRADA

DIFERENCIA DE POTENCIAS = POTENCIA SUMINISTRADA - POTENCIA TEÓRICA.

COSTO DE LA INEFICIENCIA/hr = DIFERENCIA DE POTENCIAS x PRECIO kW/hr.

CAPACIDAD ESPECÍFICA = CAUDAL / (NIVEL DINÁMICO - NIVEL ESTÁTICO)

- h** = Carga manométrica total en m.  
**eb** = Eficiencia de la bomba (Bomba sumergible: 65-70%, bomba con motor exterior: 75-80 %).  
**em** = Eficiencia del motor ( Motor eléctrico: 90 %, motor de combustión: 80%).

Dividiendo la potencia teórica entre los kw medidos con el potenciómetro (potencia real de entrada,  $kw_r$ ), se obtiene un "factor de variación de potencia" (f.v.p.).

$$f.v.p. = \frac{kw_t}{kw_r} \quad (1.9)$$

Un f.v.p. menor que la unidad indica sistemas motor-bomba de menor eficiencia a la que se considera adecuada al proyectar un sistema de bombeo, en contraste, valores superiores a la unidad señalan sistemas cuya eficiencia es óptima. Al restar la potencia teórica a la potencia real de entrada obtendremos los kw que se pueden ahorrar al sistema; cantidad que multiplicada por el costo del kw/h y las horas de operación permitirán evaluar la conveniencia de proceder a mejorar la eficiencia del sistema o no.

El Factor de Potencia se obtiene aplicando la fórmula:

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{1000 kw_r}{1.73 (\text{Amps}) (\text{Volts})} \quad (1.10)$$

Este factor debe ser del orden de 0.90 para que el sistema se pueda considerar dentro de las normas de la Comisión Federal de Electricidad y no hacerse acreedor a sanciones.

## **CAPÍTULO 2.- DIAGNÓSTICO DE POZOS INEFICIENTES; SUS CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES.**

Sin considerar la errónea localización del pozo, y asumiendo que ésta es adecuada; existen numerosas razones para que un pozo funcione en forma ineficiente, de las que se mencionarán las mas comunes, sin considerar ni su importancia relativa, ni la frecuencia con que se presentan, pues estas condiciones varían notablemente de región a región y aun de pozo a pozo en una misma zona.

El objetivo de este capítulo es proporcionar al técnico responsable del mantenimiento y operación de pozos una herramienta práctica para detectar el mal funcionamiento de ellos y las posibles soluciones a esta situación. Tanto la manifestación del problema, como su solución se presentan en forma resumida, pues una vez determinados se espera se consulten los capítulos siguientes donde se trata con mayor amplitud cada tema.

Para cada una de las causas de ineficiencia se pueden enumerar varios efectos del problema y soluciones, sin que esto quiera decir que se den todas ellas en un mismo pozo.

Desde hace algunos años se ha empleado el registro de video, con el que se obtiene un registro visual a lo largo de el pozo, herramienta que se ha vuelto de gran utilidad para la detección de muchos de los problemas que se presentan en los pozos y casi indispensable para planear sus soluciones; por consiguiente en la actualidad es habitual que una rehabilitación lleve implícita la corrida de al menos uno y a veces varios de estos registros.

En la tabla No. 3 se han dividido en cuatro grupos las causas de mal funcionamiento de los pozos; en el primero se agrupan los originados por un mal diseño y que se hubieran evitado con un correcto diseño de pozo. Existe otro grupo de problemas ocasionados por errores constructivos, pero ni el aspecto del diseño del pozo ni su construcción son tema de este manual, por lo que solamente serán comentados parcial y brevemente cuando se requiera por estar relacionado a la rehabilitación. Los otros dos grupos son las causas debidas a defectos en la operación y problemas regionales en el acuífero.

### **2.1.- DEFECTOS DE DISEÑO.**

Si un pozo ha sido mal diseñado, por no haberse considerado las condiciones geohidrológicas regionales, las encontradas durante la propia exploración o los requerimientos de la obra, es probable que nunca trabaje eficientemente; no obstante, en muchos casos existen soluciones o al menos paliativos al problema.

<b>Tabla No 3 .- Causas de ineficiencia de los pozos de agua.</b>	
<b>Defectos de diseño</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozos incompletos</li> <li>- Cedazo en exceso</li> <li>- Falta de cedazo</li> <li>- Información litológica inadecuada</li> <li>- Filtro granular o cedazo mal diseñado</li> <li>- Aforo mal realizado o interpretado</li> <li>- Selección inadecuada de bomba</li> <li>- Defectuosa protección sanitaria o química</li> </ul>
<b>Defectos constructivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fluidos de perforación inadecuados</li> <li>- Falta de desarrollo del pozo</li> <li>- Filtro granular mal colocado</li> <li>- Defectos en la colocación del ademe</li> <li>- Falta de verticalidad del pozo</li> <li>- Materiales defectuosos o inadecuados</li> </ul>
<b>Defectos operacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de mantenimiento del pozo</li> <li>- Falta de mantenimiento de la bomba</li> <li>- Falta de reposición del filtro granular</li> <li>- Arranques y paros frecuentes del equipo</li> </ul>
<b>Problemas regionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aguas corrosivas</li> <li>- Aguas incrustantes</li> <li>- Bacterias ferruginosas</li> <li>- Abatimientos regionales de los niveles freáticos</li> </ul>

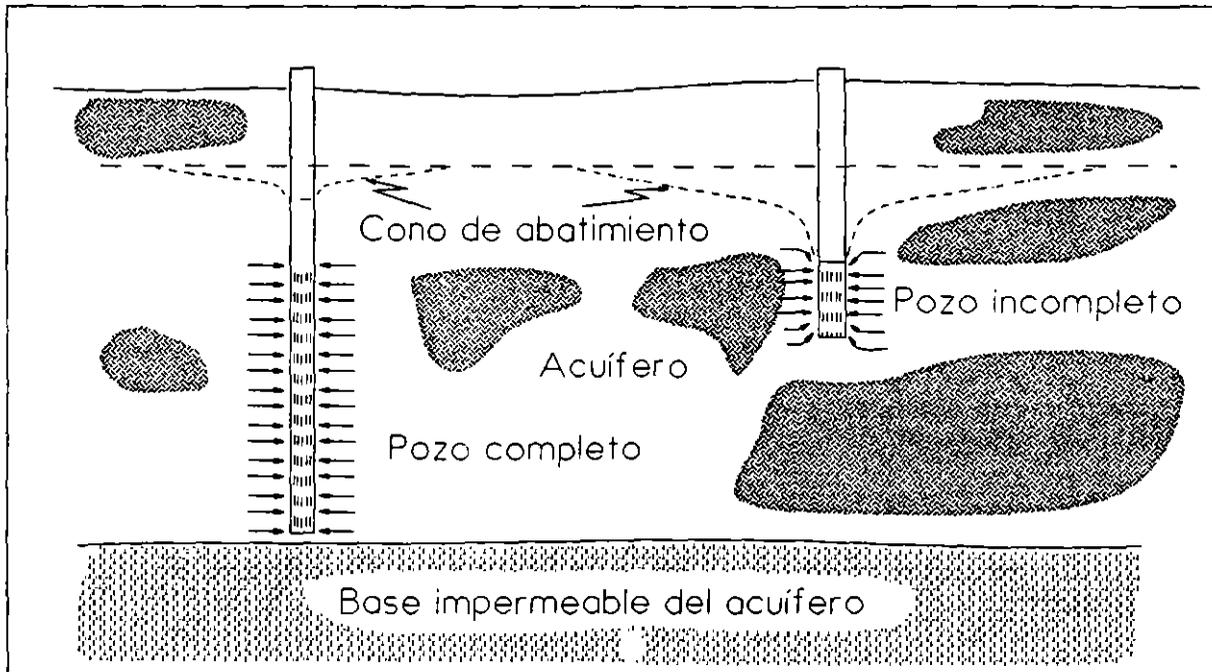
mismos que se presentan a continuación y que no se deben considerar como reglas generales, por lo que en cada caso particular es necesario llevar a cabo una recopilación y análisis de la información técnica de que se disponga, ponderándose, además, las consecuencias económicas que se deriven.

### **2.1.1.- Pozos incompletos.**

Se llama "pozo incompleto" a aquel que no atraviesa completamente el acuífero, a diferencia del "pozo completo" que si lo hace (Fig. 3). El pozo incompleto concentra el flujo del agua en menor área, lo que resulta en mayores velocidades de entrada para un caudal dado y la posibilidad de arrastre de finos hacia el pozo.

La condición de pozo incompleto se puede detectar por comparación de su columna estratigráfica con la de otros pozos de la región o por que presenta una menor capacidad específica que la de pozos vecinos completos.

Figura 3.- Pozos completos e incompletos



La comparación del funcionamiento de pozos completos e incompletos en regiones en que se presentan los fenómenos de incrustación o de corrosión, ha mostrado que los dos fenómenos actúan más energícamente sobre los segundos que sobre los primeros y que en consecuencia, la vida útil del pozo incompleto es más corta que la del completo.

La única solución factible a los problemas que pueda ocasionar un pozo incompleto, consiste en volverlo completo, lo que se puede conseguir si el pozo se hubiera terminado con un tapón de fondo de cemento (sin "punta de lápiz") y contara con ademe de suficiente diámetro (al menos 30.48 cm, 12"), que permitiera profundizarlo, colocándole un nuevo ademe y cedazo con el filtro correspondiente.

### 2.1.2.- Cedazo en exceso.

Es práctica frecuente, aunque errónea, el dejar toda la superficie de contacto pozo-acuífero a partir del nivel estático además con cedazo. Este diseño tiene, de principio el inconveniente del innecesario gasto en cedazo relativamente más caro que el tubo ciego. El exceso de cedazo ofrece la ventaja de favorecer una alta capacidad específica y por tanto el bajo consumo de energía por unidad de caudal; en

cambio el pozo producirá menos agua que la que sería factible si tuviera un cedazo mas reducido, situado en la porción inferior del acuífero.

Si el exceso de cedazo se encuentra en la porción superior del acuífero, y se quiere incrementar la producción, se puede encamisar la porción excedida con un ademe ciego del diámetro nominal inmediato inferior al empleado en el pozo, este encamisado debe apoyarse ligeramente en un anillo de cemento previamente colado y dejarse suspendido desde la superficie. Una vez colocada la camisa, el pequeño espacio anular entre las dos tuberías se rellena con lechada de cemento. Cuando fragüe esta lechada se rompe el tapón de cemento.

Otra manifestación del problema resulta en la producción de sólidos, cuando se adema con cedazo estratos de limos y arcillas, que son imposibles de detener, aun con un filtro granular muy fino. Cuando se conoce bien la estratigrafía del pozo y por tanto la posición de los acuíferos, la observación de un registro de video puede mostrar el exceso de cedazo.

Si el exceso de cedazo dejó abiertas formaciones de materiales finos que no pueden ser detenidos por el filtro granular, el problema se puede solucionar mediante cuidadosas cementaciones de las zonas problema, esperar el fraguado y posteriormente romper el tapón, quedando así un anillo de cemento en la zona del filtro granular y acuífero inmediato al pozo. Esta solución presenta el inconveniente de que el propio anillo impedirá la reposición de grava abajo de el.

### **2.1.3.- Falta de cedazo.**

El defecto de cedazo presenta, como es natural, manifestaciones contradictorias al exceso, pero que también resultan nocivas para el buen funcionamiento del pozo.

La concentración del flujo en un área reducida resulta en altas velocidades de entrada del agua al pozo y consecuentemente un mayor riesgo de arrastre de finos, así como mas probabilidades de corrosión e incrustación del ademe .

Un pozo con poco cedazo presenta una baja capacidad específica al compararlo con otros de características similares en profundidad en la misma región, lo que se traduce en pozos muy productores pero con altos consumos energéticos unitarios.

Cuando se conoce bien la estratigrafía del pozo y por tanto la posición de los acuíferos, la observación de un registro de video puede mostrar el defecto de cedazo.

Cuando la falta de cedazo se presenta en un pozo completo no existe solución a él problema. Si se trata de un pozo incompleto, existe la posibilidad de re-perforarlo hasta el fondo del acuífero, de acuerdo a lo descrito en el inciso 3.11, colocándose cedazo en los tramos adecuados, disminuyendo así el defecto original.

#### **2.1.4.- Información litológica inadecuada.**

El diseño de un pozo se basa esencialmente en las muestras colectadas durante la perforación exploratoria, apoyadas por la interpretación de los registros geofísicos; de manera que un muestreo o registros inadecuados, o una mala interpretación de los mismos, inevitablemente tiene como consecuencia un mal diseño, con todos los problemas a él asociados.

El problema se manifiesta en innumerables formas (pozo seco o de baja producción, producción de agua con sólidos, mala calidad del agua, etc), según cual haya sido la falla del diseño. Consecuentemente, los problemas originados por una inadecuada información exploratoria pueden o no tener solución, dependiendo de cual sea su manifestación.

#### **2.1.5.- Filtro granular o cedazo mal diseñado.**

Aun cuando la exploración y muestreo se realicen correctamente, el filtro granular o el cedazo pueden estar mal diseñados.

El problema se observa en un pozo productor de sólidos, con una disminución gradual de la capacidad específica, hasta un cierto tiempo en que la capacidad específica se estabiliza, lo que coincide con un desgaste excesivo del equipo de bombeo. Esto se debe a que el pozo se va llenando gradualmente de sólidos, hasta el punto en que la bomba los alcanza a succionar; a partir de entonces extrae los sólidos, lo que provoca un desgaste acelerado del equipo.

El defecto en la selección del filtro granular generalmente consiste en el grosor excesivo de sus gránulos y la consiguiente incapacidad de filtrado. La única solución permanente a este problema, siempre y cuando el diámetro del pozo lo permita, consiste en colocar un nuevo cedazo y un filtro granular correctamente diseñado en el interior del pozo.

Una solución temporal, que por lo general ofrece buenos resultados, consiste en desazolvar el pozo hasta alcanzar la profundidad de proyecto y a continuación desarrollarlo enérgicamente. Como no se ha solucionado el problema de origen, la acumulación de finos se reanuda al cabo de un cierto tiempo, pero el pozo puede funcionar correctamente durante un lapso lo suficientemente largo

como para justificar el gasto de la rehabilitación.

#### **2.1.6.- Aforo mal realizado o interpretado.**

La bomba con que se explota un pozo se debe seleccionar, en primer lugar, de acuerdo a las condiciones impuestas por el pozo y en segundo, a las características hidráulicas y constructivas de la obra de abastecimiento, como longitud de la conducción, carga manométrica a partir de la superficie, válvulas, codos, etc.

A este respecto, se pueden presentar dos condiciones opuestas e igualmente nocivas para la explotación: la bomba instalada no es capaz de provocar un abatimiento del nivel dinámico, suficiente para alcanzar el caudal óptimo de explotación del pozo. En esta condición no se está cumpliendo con el objetivo de la prueba, que es precisamente establecer dicho caudal y el pozo resulta subexplotado.

Si por el contrario el punto óptimo ha sido rebasado y por defecto en la interpretación se selecciona una bomba que exceda la capacidad del pozo, el costo unitario del agua extraída será excesivo y se llega al caso de que el nivel dinámico alcance la succión de la bomba, con el consecuente "boqueo" en la descarga, ocasionado por la extracción de agua mezclada con aire.

La selección de la bomba de aforo depende de la experiencia local en pozos anteriores, de los indicios durante la construcción del pozo y de la geometría de éste, condiciones todas ellas bastante subjetivas por lo que cabe una cierta posibilidad de error en dicha selección. Para minimizar el costo de esta posibilidad se debe establecer como un procedimiento de rutina el ensayo de aforo (Ver inciso 6.2).

Los datos del aforo se presentan en la gráfica correspondiente, cuyo correcto análisis e interpretación indica si la bomba de aforo fue la adecuada al pozo y permite la selección del equipo de explotación idóneo para el pozo probado (Inciso 6.3).

#### **2.1.7.- Selección inadecuada de la bomba.**

Como ocurre con cualquier mecanismo; para que una bomba trabaje eficientemente debe ser seleccionada de acuerdo a las condiciones específicas de trabajo que le impone el medio, en éste caso el sistema pozo-acuífero. Una mala selección de bomba podrá ocasionar la subexplotación del pozo con el consiguiente desperdicio de la fuente, o la sobreexplotación que puede llegar al bombeo aire y agua ("boqueo"). Los dos casos se manifiestan en una baja eficiencia del sistema.

### **2.1.8.- Mala protección sanitaria o química del pozo.**

El acuífero explotado por un pozo, es susceptible de ser contaminado química o bacteriológicamente, cuando el propio pozo comunica a dicho acuífero con una fuente de contaminación. Para evitarlo, el pozo debe contar con un contrademe bien cementado que aisle al acuífero.

El problema se detecta mediante un análisis químico y bacteriológico del agua extraída del pozo. Cuando el pozo se utiliza para extraer agua potable se presenta una alta incidencia de enfermedades relacionadas con bacterias patógenas presentes en aguas contaminadas, o con algún ion nocivo; si se trata de una explotación de aguas agrícolas o industriales, la mala calidad del agua se puede manifestar en defectos en el producto agrícola o industrial.

El proporcionar a un pozo ya terminado una adecuada protección contra la contaminación, resulta imposible en forma económicamente práctica, por lo que la única solución a este problema consiste en eliminar la contaminación en su fuente.

## **2.2.- DEFECTOS CONSTRUCTIVOS.**

Es frecuente que un pozo bien diseñado resulte malogrado por inadecuados procedimientos constructivos. Los problemas mas frecuentes son:

### **2.2.1.- Fluidos de perforación inadecuados.**

Cuando un pozo se construye con perforadora rotaria directa, es indispensable el uso de un fluido de perforación que mantenga estables sus paredes, enfrien la barrena y levanten hasta la superficie el recorte de la perforación. Este fluido de perforación puede ser aire, agua, lodos fabricados a base de sustancias degradables o el más usual, el lodo bentonítico.

La popularidad del lodo bentonítico se debe a su bajo costo de adquisición con respecto a los lodos autodegradables y la menor inversión en equipo necesario, respecto a la perforación neumática o a base de agua sola. El lodo forma un enjarre periférico a la perforación (el "cake"), que es capaz de mantener estables las paredes, sin que penetre mucho en la formación, pues en caso contrario el mismo lodo impedirá o dificultará la entrada de agua al pozo. Esta situación no es grave si se tiene un buen control de los lodos utilizados.

Si la penetración del lodo no es muy profunda, los restos de la bentonita se eliminan durante el desarrollo, que es una de las últimas etapas constructivas del pozo. Si esto no ocurriera en ese momento, se puede realizar aunque haya pasado

bastante tiempo.

Si durante la construcción de un pozo, se provoca una penetración del acuífero con bentonita a profundidad y si no se elimina mediante el desarrollo, resultará una captación de menor capacidad específica que pozos similares de la región, pudiendo llegar en casos extremos a ser totalmente improductivo.

### **2.2.2.- Falta de desarrollo del pozo.**

El desarrollo de un pozo se debe efectuar inmediatamente después de su terminación y antes de su aforo. Consiste esencialmente, en una agitación controlada del agua en el pozo, cuya finalidad es eliminar residuos de bentonita, limpiar el filtro granular, si lo hay, y remover los materiales finos del acuífero en su entorno. Existen varios métodos de desarrollo que se comentan en el Capítulo 5.

La falta de desarrollo provoca una menor capacidad específica que la de pozos similares de la región.

Si el desarrollo no se realizó al terminar el pozo, se puede realizar posteriormente, por lo general, con buenos resultados. En esta situación es común que al aforar el pozo nuevamente, resulte que la antigua bomba con que venía operando es de capacidad inferior a la conveniente, según las nuevas condiciones del pozo.

### **2.2.3.- Filtro granular mal colocado.**

Aún cuando el filtro esté bien diseñado, puede ser mal colocado en el pozo, sea por una mala práctica de las operaciones de engravado, o bien por las características físicas de algún estrato. El defecto de colocación puede ser un vertido en el pozo demasiado lento, que permite que el filtro se clasifique respecto a tamaños, de modo que el resultado son pequeños estratos alternados de material grueso, medio y fino, ninguno de los cuales cumple con las características del proyecto.

En cambio, si la colocación es demasiado rápida o si el espacio anular es muy reducido, el filtro se puede "puentear" al acuñarse los gránulos entre el ademe y el terreno. Un efecto semejante se tiene cuando formaciones inestables, generalmente arcillosas, se anillan alrededor del ademe, impidiendo la bajada del filtro.

El problema se manifiesta por la entrada de finos al pozo.

Si el problema se debe a la estratificación del filtro granular, o a una formación que se "anilla" alrededor del ademe ciego, no existe solución al problema excepto el encamisado y colocación de un nuevo filtro granular. Si el anillo se for-

marra frente al cedazo, se puede romper mediante un enérgico desarrollo que permita la gradual sustitución del material del anillo por el del filtro.

Si el defecto consiste en el "puenteo" del filtro, existe la posibilidad de romper dicho "puente" mediante un enérgico desarrollo del pozo.

#### **2.2.4.- Fallas en la colocación del ademe.**

Los problemas comunes de colocación de ademes derivan de defectos de soldadura durante el ademado, sean en la unión entre tubos, o lo que es más frecuente, al soldar las "orejas" laterales, donde se cruza la flecha para bajar la tubería soldada a tope.

Otra causa de mala entubación, debida a las condiciones de terrenos inestables, es provocada por derrumbes al interior del pozo durante su ademado, momento en que las condiciones de estabilidad son críticas debido a la falta de circulación de fluidos de perforación. El resultado es que el azolve acumulado en el fondo impide bajar el ademe hasta la profundidad proyectada, con el siguiente desfasamiento entre los tramos de cedazo y los estratos del acuíferos, resultando un pozo menos productor y en ocasiones productor de finos. Esta situación se puede evitar si se elimina la inadecuada, pero frecuente, práctica constructiva de colar el tapón en la superficie, en una porción de ademe que constituye la punta del mismo, puesto que si la tubería baja abierta en su parte inferior, se cuenta con la opción de desazolvar lo necesario para permitir bajar el ademe hasta la profundidad del proyecto.

Si se dejan tubos mal soldados o con "orejas" abiertas, es típica la entrada de filtro granular al interior del pozo y posteriormente el arrastre de finos al quedar la formación geológica en contacto con el cedazo.

Cuando el problema se origina por un desfasamiento en la posición del cedazo, se pueden tener diferentes manifestaciones del ademado incorrecto, las más frecuentes de las cuales son: pozos productores de sólidos o capacidades específicas menores que las normales en la zona.

Los defectos en el ademado del pozo se pueden detectar con facilidad mediante un registro de video.

En la situación del desfasamiento del cedazo, la producción de finos se puede evitar, en algunos casos, con soluciones similares a las expuestas en el inciso 2.1.5.

Si el problema resultante es la baja producción por haber quedado parcialmente tapado con ademe ciego algún acuífero importante, no existe ningún remedio práctico a este problema.

#### **2.2.5.- Falta de verticalidad del pozo.**

La falta de verticalidad de un pozo puede afectar la operación de la bomba, sobre todo si ésta es de motor en la superficie, pues el sistema de transmisión de flecha está diseñada para trabajar suspendida verticalmente. Si el pozo está inclinado, de modo que la columna de la bomba apoye en el ademe, éste carga el peso de la flecha en forma irregular sobre los centradores, lo que provoca frecuentes rupturas de flechas y acortándose la vida útil del equipo de bombeo, además, se tienen vibraciones indeseables en la bomba y en el ademe que afectan a los dos. Por todo lo anterior, el aspecto de la verticalidad es particularmente crítico en la cámara de bombeo.

Conviene considerar que aún cuando un pozo se encuentra dentro de tolerancia (ver inciso 3.7.4.), pueden presentarse los inconvenientes antes mencionados, pues no solo importa la magnitud de la desviación, sino la dirección de ésta, pues la situación más crítica se presenta cuando cambios bruscos de dirección del pozo flexionan el tubo de la bomba y por consiguiente la flecha.

Abajo de la cámara de bombeo, la desviación del pozo pierde importancia, salvo la posibilidad de que el ademe quede en contacto con el terreno, impidiendo el cubrimiento total del cedazo por el filtro granular.

La falta de verticalidad puede dificultar e incluso imposibilitar la instalación de la bomba en el pozo y cuando éste se trabaja con bomba de flecha se presentan frecuentes problemas en ésta y sus soportes internos.

La falta de verticalidad del pozo se detecta durante la perforación, sea mediante inclinómetros, o por la experiencia del perforista, el defecto puede ser corregido, pero una vez terminado el pozo y colocado el ademe, no existe solución a este problema, que solo puede atenuarse mediante el empleo de una bomba sumergible, que al carecer de flecha es menos susceptible a la inclinación, si bien lo es más al manejo de sólidos, puesto que trabaja a más altas revoluciones.

#### **2.2.6.- Materiales defectuosos o inadecuados.**

Evidentemente, la mala calidad de los materiales empleados afectan el funcionamiento del pozo, primordialmente ademe, cedazo, filtro granular y bomba.

## **2.3.- DEFECTOS OPERACIONALES**

La operación cotidiana de un pozo es tarea sencilla, pero requiere de una observación sistemática y diaria de las condiciones de operación del sistema pozo-bomba. Aun cuando esto se lleve a cabo, la costumbre repetida ocasiona, a veces, negligencia en la verificación, o en el análisis de la información, lo que provoca que los problemas se presenten en forma inesperada, aunque se manifestaran con anterioridad síntomas indicativos de la falla. Resulta de gran importancia la adecuada capacitación del personal de operación, para estar consciente que es parte importante de un complejo sistema, que a su vez es vital para el desarrollo de la comunidad.

Los defectos operacionales mas frecuentes son:

### **2.3.1.- Falta de mantenimiento del pozo.**

Como se menciona a lo largo de este capítulo, la calidad de un pozo depende de múltiples factores, mismos que establecen la magnitud y frecuencia del mantenimiento, preventivo o correctivo, que requiera. Aun cuando las causas y magnitud de los problemas puedan ser muy variadas, la falta de mantenimiento provoca los siguientes problemas:

- Pozos azolvados, con una disminución de la producción proporcional a los metros de cedazo azolvados.

- Disminución de la permeabilidad del acuífero en el entorno del pozo, por colmatación del filtro con materiales finos.

- Ademes rotos o colapsados, que pueden provocar la inutilización del pozo.

- Ademes corroídos.

- Ademes incrustados.

- Objetos caídos en el pozo.

Para mitigar estos inconvenientes existen las siguientes soluciones:

En general, el mejor medio de corroborar la sospecha que sugieren los indicios anteriores, consiste en la corrida de un registro de video, una vez extraída la bomba.

Si la ineficiencia es causada por pozos azolvados o acuíferos colmatados por materiales finos, la solución, al menos temporal, consiste en desarrollar energicamente el pozo.

Si el problema se originó por ademes colapsados, se debe eliminar el colapso mediante trompo y prensa electrohidráulica. Si estuviera roto, es necesario el encamisado en la parte afectada o la cementación del tramo.

En el caso de ademes corroídos, la rehabilitación suele ser difícil y depende en gran medida de la intensidad del fenómeno de corrosión, pero algunos casos de pozos corroídos se han continuado operando mediante el encamisado total o parcial, con la correspondiente colocación de filtro granular.

Si el ademe se encuentra incrustado, se pueden eliminar las incrustaciones del interior del ademe y de las ranuras del cedazo mediante un cepillado, aunque no alcanza la parte exterior de él, ni del filtro. Por lo tanto si el cepillado no muestra efectividad, al no mejorar la capacidad específica del pozo, será necesario proceder a un tratamiento químico que elimine la incrustación.

Los objetos caídos al pozo pueden ser extraídos mediante pescantes.

### **2.3.2.- Falta de mantenimiento en la bomba.**

La bomba, como cualquier equipo electromecánico, requiere de mantenimiento preventivo y correctivo, tema que no es tratado en este trabajo.

### **2.3.3.- Falta de reposición de filtro granular.**

La operación normal de un pozo suele provocar una cierta compactación del filtro granular, por efectos de carga del terreno circundante y su propio peso.

Un pozo productor de sólidos puede originar oquedades que lleguen a ocasionar asentamientos del terreno. En casos más discretos, estos vacíos dejados por el material extraído se van rellenando con el filtro granular del pozo.

Esto se puede observar durante la operación del pozo, cuando ocurre un descenso del filtro granular en el espacio anular; su solución es la reposición desde la superficie, de tal modo que el espacio anular se mantenga siempre lleno de filtro.

### **2.3.4.- Arranques y paros frecuentes del equipo.**

La operación de un pozo es más eficiente cuanto mayores sean los periodos de explotación continua, pues se obtienen las siguientes ventajas:

- Reducir el consumo de energía en los arranques.
- Reducir el desgaste del equipo.
  
- Eliminar agitaciones innecesarias en el pozo en cada arranque.

Evidentemente, los frecuentes paros y arranques del equipo provocan efectos contrarios.

### **2.4.- CAUSAS REGIONALES.**

En muchas ocasiones los problemas de funcionamiento de un pozo no son originados por ninguna de las causas anteriores, sino por condiciones regionales generalmente naturales, aunque algunos también pueden ser originados por el hombre, en forma independiente a las características de la obra, como por ejemplo: los abatimientos regionales de niveles estáticos, provocados por sobrebombeo; algunos de estos problemas son:

#### **2.4.1.- Aguas corrosivas.**

El proceso de la corrosión implica el deterioro de ademes metálicos y bombas, con su paulatina desintegración. En el caso del cedazo, se agrandan las ranuras, permitiendo la entrada del filtro granular y luego la del material del acuífero al pozo.

Este problema se manifiesta por una producción de sólidos mas o menos repentina, que se inicia cuando el filtro granular empieza a entrar al pozo. Esta situación va acompañada por un descenso brusco de la capacidad específica, debido al azolve acumulado en el pozo, y si éste alcanza el nivel de la bomba, puede atascarse, con los consiguientes problemas electromecánicos.

Un registro de video posterior al cepillado del pozo, muestra con claridad el efecto de la corrosión, que agranda las ranuras del cedazo.

Cuando un pozo es atacado por la corrosión no es susceptible de ser rehabilitado, quedando como única opción la colocación de un nuevo ademe interior, de ser posible de P.V.C., con el filtro granular correspondiente. Esta alternativa sólo es factible cuando el diámetro del pozo lo permite.

#### **2.4.2.- Aguas incrustantes.**

La incrustación consiste en la precipitación de iones disueltos por las aguas, sobre la parte metálica del pozo que está en contacto con ellas. Los más frecuentes son el carbonato de calcio y minerales de hierro y manganeso. Estos depósitos pueden obturar cedazo, filtro granular y el acuífero cercano al pozo.

Este problema se manifiesta por una disminución de la capacidad específica del pozo, provocada por la obturación de la rejilla.

La obturación de las ranuras del cedazo se puede observar con claridad en un registro de video. En la práctica se ha observado que las incrustaciones en la porción exterior del ademe, frecuentemente son más importantes a las observables en el interior.

En ocasiones, el problema se puede atenuar mediante el cepillado del ademe, con lo que se eliminan las incrustaciones de la parte interior del mismo, pero sin lograr afectar los depósitos de la parte exterior. Para atacar los depósitos más profundos, es efectivo el tratamiento con ácido, que disuelva el depósito, aunque ataca también el ademe metálico, si no se dosifica adecuadamente.

#### **2.4.3.- Bacterias ferruginosas.**

Existen bacterias, no perjudiciales a la salud, que requieren de la presencia del hierro y manganeso para su ciclo vital. Son conocidas como bacterias ferruginosas o bacterias del hierro y aparentemente oxidan y precipitan el hierro y manganeso disueltos en el agua. Los minerales, junto con los organismos, forman una masa gelatinosa que obstruye cedazo y poros del acuífero inmediato al pozo.

Parece evidente que las bacterias no existen en el acuífero antes de que se construya el pozo, ya que viven del hierro del ademe, por consiguiente, se supone que la bacteria llega al pozo durante su construcción o poco después, sea en el fluido de perforación o en herramientas contaminadas.

Este problema se manifiesta por una disminución de la capacidad específica del pozo, provocada por la obturación de la rejilla.

Las bacterias ferruginosas a veces son visibles en registros de video, donde las colonias bacterianas se observan como una masa filamentosa. También pueden manifestarse en el equipo de bombeo o en las tuberías surtidas por el pozo.

Como tantos otros inconvenientes, lo más aconsejable es evitar la presencia

de las bacterias en el pozo, mediante medidas preventivas, como el utilizar agua potable o clorinar la que se va a usar en el fluido de perforación y lavando con periodicidad la herramienta de perforación, con una solución de permanganato de potasio. Igualmente, toda herramienta o equipo que se introduzca al pozo en las distintas operaciones de mantenimiento, deberá ser desinfectada en una solución de permanganato de potasio o de cloro.

Para corregir el problema, una vez que se ha presentado, hay que aplicar un tratamiento al pozo a base de ácido clorhídrico o ácido sulfámico, o algún producto comercial que disuelva el Fe y Mn precipitados y posteriormente se aplica cloro para matar a los organismos o algún bactericida comercial de eficacia probada. Estos tratamientos proporcionan una solución, generalmente de carácter temporal, pues después de un lapso de tiempo variable, el fenómeno se repite y el pozo requerirá de un nuevo tratamiento.

#### **2.4.4.- Abatimientos regionales de los niveles freáticos.**

La sobreexplotación regional de un acuífero implica descensos paulatinos del nivel freático.

El problema se presenta en una disminución del espesor saturado del acuífero y en consecuencia del caudal explotable, hasta llegar a la situación extrema de que el pozo quede completamente seco ("pozo colgado").

La única solución a esta situación consiste en regular la explotación regional, hasta permitir la recuperación parcial o total de los niveles.

En el caso particular de un pozo incompleto, se puede profundizar, con lo que se prolonga su vida útil.

## **CAPÍTULO 3.- OPERACIONES Y MÉTODOS DE REHABILITACIÓN DE POZOS.**

Se le llama rehabilitación de pozos al conjunto de operaciones tendientes a mejorar la eficiencia de producción en un pozo que, por determinadas circunstancias, ha salido de esta condición.

Las operaciones y métodos de rehabilitación de pozos son tan variados como puedan ser las condiciones geohidrológicas, de proyecto, constructivas y de operación de la obra, por lo que no resulta práctico el pretender abarcarlas todas. Por tanto, pretender establecer especificaciones precisas de las actividades de rehabilitación resulta prácticamente imposible, pues en cada caso en particular se deberán programar las acciones a realizar, que son adecuadas a esa situación y en ocasiones, incluso ideadas para un caso en particular, por consiguiente, la relación que sigue se debe considerar como enunciativa, pero nunca limitativa.

### **3.1.- ADEMES ROTOS, COLAPSADOS O MAL SOLDADOS.**

Se entiende por ademe colapsado, aquel que presenta una deformación de su sección circular original, pero sin llegar a la rotura.

La presencia de ademes en mal estado es común en pozos viejos. Las causas más frecuentes del defecto son:

- Aguas corrosivas que adelgazan paulatinamente el ademe, o agrandan las ranuras del cedazo. Esta gradual debilitación puede culminar en el colapso o la rotura del ademe.

- Ademes de mala calidad.

- Soldaduras defectuosas en las uniones entre tubos, o lo que es más frecuente, en las "orejas" que se abren en los tubos para atravesar la flecha que sostiene la tubería al bajarla durante la operación del ademado del pozo. Esta indeseable situación se soluciona si se usa tubería con rosca y cople, en lugar de la usual soldada a tope.

- El terreno presiona el ademe en tal forma que puede llegar a colapsarlo. La presión puede ser gradual y creciente o súbita, como se ha manifestado en algunas zonas sísmicas, como el Valle de México, donde el sismo de 1985 seccionó o colapsó varios pozos.

Generalmente es posible restituir el diámetro original de un ademe de acero

mediante el empleo del "trompo". La operación de trompear un pozo implica disponer de una máquina de percusión, con una sarta de perforación pesada que le imprima energía a la pesada herramienta de acero sólido, que a base de golpes continuos restituya la geometría del ademe. El trompeo se inicia con una herramienta del diámetro inmediato superior al que queda libre en la zona colapsada y se irá cambiando a medida que va aumentando el diámetro abierto, conforme el colapso va cediendo, hasta llegar a su forma original.

Actualmente existe un equipo opcional, la "prensa electrohidráulica", con la que se obtiene un efecto similar al provocado por el trompo, consiste básicamente en un gato de gran capacidad, que se introduce hasta la zona de colapso, donde se expande para restituir la forma del ademe. La ventaja de este sistema estriba en la rapidez de operación con respecto al trompo, pero en cambio, su precio unitario horario es bastante mayor, por lo que no siempre es la mejor solución. El mismo equipo se emplea para colocar forros metálicos a presión que obturen la rotura. Estas camisas están formadas por lámina delgada; y es conveniente considerar que si el origen del problema son aguas corrosivas o derrumbes de la formación, pueden ser de vida bastante efímera. En el inciso 3.10 se presenta una descripción detallada de esta herramienta y su operación.

Muchos ademes colapsados llegan a romperse y cuando la rotura alcanza un cierto tamaño, se manifiesta por la presencia de filtro granular en el interior del pozo y gran abundancia de azolve. En estas condiciones, la etapa correctiva preliminar consiste, también, en restituir el diámetro original a todo el pozo.

### **3.1.1.- Reparación de ademes colapsados.**

- En el caso de ademes colapsados o desgarrados, la rehabilitación comienza por la corrida de calibradores de varios diámetros, para establecer cual es el mayor que deja pasar el colapso o rotura (Ver inciso 3.7.2).

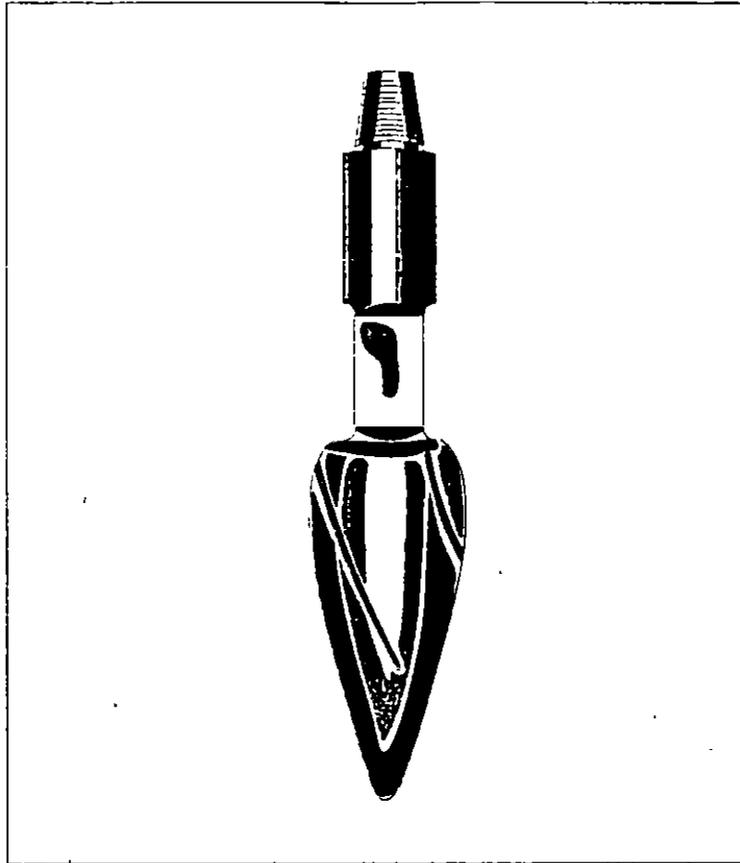
- Una vez establecida la magnitud del colapso, es necesario restituir el diámetro original al ademe del pozo mediante la corrida de trompos de diámetros crecientes (Fig. 4) o mediante la prensa electrohidráulica (Ver inciso 3.10).

- Si el defecto del pozo consiste sólo en colapso de la tubería, con la restitución del diámetro, el trabajo se habrá terminado .

### **3.1.2.- Reparación de ademes rotos.**

- En caso de que el ademe esté desgarrado, una unión de tubos mal soldada o una oreja destapada, es necesario tapan la rotura. Si la zona afectada no es muy

Figura 4.- Trompo para rectificación de ademes.



extensa, la solución más rápida consiste en la colocación de una camisa con la prensa electrohidráulica (Ver inciso 3.10), pero si no se cuenta con una, o la zona de rotura fuera grande, se puede cementar, para lo cual se procede a:

- Colocar un tapón perforable alrededor de un metro abajo de la zona de la rotura. Si la rotura es cerca del fondo del pozo, resulta práctico azolver el pozo hasta la rotura y sobre ese azolve colocar el cemento (Ver inciso 3.2).
- Cubicar el volumen de cemento necesario para llenar el pozo por lo menos un metro arriba de la parte superior de la rotura.
- Colocar el volumen de lechada que resulte de la cubicada, con un acelerante de fraguado.
- Esperar unas horas y sondear la cima del tapón, que por lo general se encuentra abajo de la cota teórica, debido a la penetración de la lechada en la forma-

ción. Incluso puede darse el caso de que el cemento se haya perdido totalmente, lo que obliga a repetir la operación de cementado con lechadas más espesas o incluso un concreto con agregados finos.

- De una u otra manera se obtura la zona problemática, se espera hasta el fraguado total y se procede a perforar el tapón con la mayor broca que quepa en el ademe reparado.

### **3.2.- CEMENTACIONES.**

La cementación es una operación rutinaria en la construcción y también es común en la rehabilitación de pozos.

#### **3.2.1- Tapones de fondo.**

El tapón de fondo evita el "flujo de fondo" en los pozos, con la entrada de las aguas de menor calidad, que frecuentemente existen en la parte inferior de los acuíferos, además de la posibilidad de subpresiones en el pozo. Por consiguiente, es parte de cualquier pozo correctamente construido, pero por negligencia o ignorancia del constructor y supervisión, es común encontrar pozos ya en operación que carecen de él, por lo que se puede considerar como una operación de rehabilitación. Por otra parte, puede suceder que exista una rotura en el ademe, lo suficientemente cercana al fondo del pozo como para indicar la conveniencia de extender el tapón de fondo hasta tapar dicha rotura.

Cuando se cuente con una perforadora rotaria, equipo poco usual en la rehabilitación de pozos, el medio de colocación de un tapón de fondo es la tubería de perforación, desprovista de barrena. Si se trabaja con máquina de percusión el tapón se coloca con una cuchara de dardo.

En cualquiera de los dos casos la tarea inicial consiste en la cubicación de la lechada necesaria para el tapón. Cuando se coloque con pulseta, se debe cubicar también la capacidad de la cuchara y establecer cuantas cucharadas se requieren para alcanzar el volumen deseado.

Si el tapón se desplaza por la tubería de perforación rotaria, se debe cubicar el interior de la misma y este volumen, como mínimo, se inyecta de agua, después del cemento, para poder desplazarlo hasta el lugar deseado, asegurando, al terminar, la limpieza de la tubería de perforación empleada para la maniobra.

### **3.2.2.- Cementaciones intermedias.**

Cuando se tienen roturas de tubería en zonas amplias o si se requiere clausurar alguna zona indebidamente abierta, por donde penetran al pozo materiales finos, puede resultar más conveniente, desde el punto de vista técnico o económico, una cementación que la colocación de una camisa interior.

La operación de colocación es similar a la que se acaba de describir, pero previamente a la cementación es necesario colocar un tapón perforable que contenga el cemento durante su fraguado. Existen tapones perforables de diversos tipos que se emplean cotidianamente en la industria petrolera, pero su elevado costo y requerimientos técnicos, que generalmente no están al alcance del rehabilitador de pozos de agua, los tornan inusuales, por lo que en general se utilizan tapones habilitados en campo. Un tipo de tapón que suele dar buen resultado es el de madera, ajustado al diámetro interior del ademe y lo suficientemente grueso para impedir que gire en él. Este tapón se baja suspendido con alambres o cable delgado, empujándolo con la herramienta de perforación.

Una vez colocado el tapón de cemento y después de esperar su fraguado, se verifica la posición del techo de la cementación. Aun cuando el volumen de cemento se cubique correctamente, es posible que éste se encuentre más abajo de lo esperado, sea por mala construcción del tapón de madera que dejó escapar parte del cemento, o por que el cemento, pasando a través de la rotura del ademe, rellenó huecos más o menos grandes en el exterior del pozo. Si esto ocurre puede ser necesario repetir la cementación una o más veces, después de cubicar nuevamente el volumen faltante. En estas nuevas cementaciones ya no se requiere tapón, pues la cementación anterior cumple su función.

Fraguado el cemento en la posición deseada, se reperfora junto con el tapón provisional, dejando solo un anillo alrededor del ademe que tapona y consolida la zona problemática.

Se debe considerar la posibilidad de que un tapón de cemento como el descrito forme un anillo alrededor del pozo, que en el futuro impida la reposición de filtro granular abajo de esa cota.

### **3.2.3.- Composición de la lechada.**

Se recomienda emplear lechadas de densidad de  $1.8 \text{ gr/cm}^3$ , lo cual se logra con 27 l de agua por saco de 50 Kg de cemento. Conservando esta misma densidad, la preparación de  $1 \text{ m}^3$  de lechada requiere de 637 l de agua y 1,169 Kg de cemento (aproximadamente 363 l).

La densidad mínima permisible es de 1.6, equivalente a 42.5 l de agua por saco de 50 Kg de cemento, o bien 730 l de agua y 869 Kg de cemento (aproximadamente 270 l) para preparar 1 m<sup>3</sup> de lechada.

En el apéndice B se presentan tablas de proporciones para obtener distintas mezclas de concretos.

Para evitar el agrietamiento de la lechada al endurecerse, se puede agregar a la mezcla un 5 % de bentonita, con respecto al cemento. Esto no es recomendable cuando la lechada se bombea, si no se cuenta con una bomba de buena potencia, pues la adición de la bentonita eleva la viscosidad del fluido.

Para abreviar la espera del fraguado se emplean acelerantes, de los que el cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) es el más usual.

Los taponés, tanto de fondo como intermedios, cuando se colocan con cuchara, pueden construirse con concreto de baja proporción de grava, en lugar de lechada de cemento, lo cual presenta la ventaja de su mayor solidez. Si se trata de un tapón intermedio, esta característica permite que no se fracture con facilidad a la hora de ser perforado. En cambio, tiene el inconveniente de una menor movilidad para rellenar posibles cavidades.

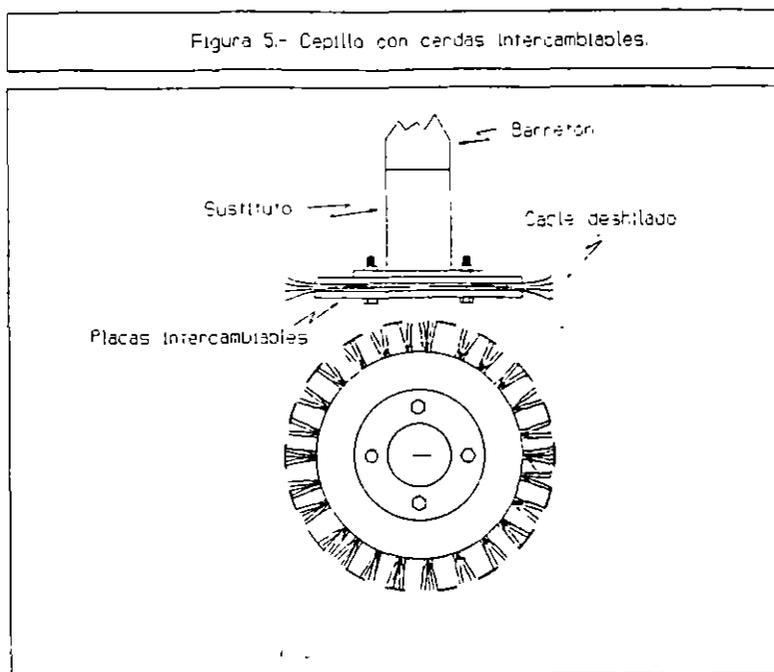
### **3.3.- CEPILLADO DE ADEMES.**

Ademes incrustados, con costras de oxidación o colonias de bacterias ferruginosas y que se van a desarrollar física o químicamente, requieren de cepillado para limpiarlos en su interior, pues al eliminar con facilidad las costras interiores, total o parcialmente, se aumenta la eficacia del desarrollo.

El cepillo se construye (Fig. 5) con dos placas de acero, que confinan trozos de cable también de acero, cuyas puntas floreadas sobresalen de las placas. Los cables cubren un diámetro igual al del ademe y las placas serán de diámetro menor unos 7.6 cm (3") al interior del ademe a cepillar. Además de estar oprimidos por las placas, los trozos de cable se sueldan a una de las placas, para evitar su caída al pozo durante la enérgica operación del cepillado. La rutina del cepillado es similar a la del pistoneo (ver inciso 5.3.3.3), pero el tiempo de operación es generalmente más breve.

### **3.4.- SONAR JET.**

Las microexplosiones (Sonar Jet), es un método que hace algunos años gozó de gran popularidad, pues se presentaba como una nueva modalidad para el desa-



rollo de pozos, aunque nunca se dijera claramente como lograba tal efecto. En numerosas ocasiones se han realizado registros de video antes y después de aplicar el Sonar Jet, encontrando que por lo general, elimina solo parcialmente las incrustaciones, en otro caso se realizó un video en el mismo pozo después de cepillarlo, se observó una notable mejoría respecto al Sonar Jet. Adicionalmente, se tiene un costo mucho mayor que para el cepillado, razones que han provocado una disminución rápida de la popularidad del método.

### 3.5.- COLOCACION DE FALSOS ADEMES.

Se llama falso ademe o "camisa", a aquel cuya función reside en soportar parcialmente al terreno solo en ciertos tramos problemáticos, o bien en impedir el paso de sólidos a un pozo que los produce por la razón que fuera.

#### 3.5.1.- Falsos ademes en pozos con ademes rotos.

Si el ademe original de un pozo presenta roturas, por lo general debidas a la corrosión, de tal magnitud que no resulta práctico el colocar camisas con la prensa electrohidráulica, la única posibilidad de rescatar el pozo afectado es la colocación de un falso ademe colocado en el interior del dañado. Si el único problema es la rotura y el pozo no es productor de arena, el nuevo ademe puede ser de diámetro inmediato inferior al original y la longitud, como mínimo, llegará desde el fondo del pozo, hasta unos 3 o 4 m arriba de la parte superior de la zona problemática,

pero en pozos poco profundos, puede resultar conveniente prolongarlo hasta la superficie. La proporción y posición de los tramos ciegos y de cedazo, se proyecta con base en la información completa que se recabó en el pozo desde su construcción y si ésta no existe, siempre es recomendable la observación de un registro de video.

### **3.5.2.- Falsos ademes en pozos productores de arena.**

La colocación de nuevos ademes en pozos productores de arena requiere, por una parte, de un diseño de filtro granular, cedazo y velocidades de entrada del agua al pozo, similares a los que se realizan para un pozo nuevo, con la diferencia de que la muestra en que se basa el análisis granulométrico proviene de arena producida por el pozo (Ver Apéndice E).

El diámetro exterior del nuevo ademe es de preferencia de 15.2 cm (6") y como mínimo 10.2 cm (4") menor que el diámetro interior del ademe defectuoso. El ademe a colocar debe estar provisto de centradores que aseguran que el filtro lo cubra perimetralmente. Esta condición es causa de que en muchas ocasiones sea imposible realizar esta rehabilitación, pues no se cuenta con el diámetro suficiente para dar cabida a la pareja ademe-filtro o bien el nuevo ademe es de un diámetro tal que impide la entrada de la bomba. Para eludir esta restricción de diámetro es frecuente que los nuevos ademes se coloquen solo en la porción filtrante del pozo abajo de la cámara de bombeo, lo que se conoce comunmente como un ademe telescópico.

Como ya se dijo, un falso ademe puede prolongarse hasta la superficie, en cuyo caso su colocación no difiere del ademado de un pozo nuevo o bien dejarse a partir de cierta profundidad, con lo que se abarata la operación y se respeta el diámetro de al menos la sección superior del pozo. En este caso la operación resulta algo mas complicada, pues se requiere un dispositivo soltador para dejar en el fondo el falso ademe al llegar a la profundidad deseada. Además, se debe contar con un tapón cónico que impida la entrada del filtro granular al interior del falso ademe, pero que permita su colocación en el espacio anular entre ambos.

Durante la colocación del filtro granular se debe sondear constantemente el pozo para verificar que no llegue a cubrir el tapón cónico provisional.

### **3.6.- COLOCACION DE CAMISAS.**

Dentro de las opciones que se tienen para reparar pozos colapsados o rotos se encuentra la de la prensa electrohidráulica, con la que es posible colocar camisas interiores que tapen las roturas del ademe. En el inciso 3.10 se describe y

explica la operación de esta herramienta.

### **3.7.- DETERMINACION DE LA GEOMETRIA DEL POZO.**

Como premisa de cualquier trabajo de rehabilitación, es necesario conocer las condiciones del pozo, para así poder planear las acciones a efectuar. La buena calidad de los registros que se describen a continuación establece el éxito o fracaso de la rehabilitación.

#### **3.7.1.- Bloques impresores.**

En numerosas tareas de rehabilitación, en especial las de pesca, es necesario conocer las condiciones reales en que se encuentra el objeto que causa el problema, para tal fin se emplean frecuentemente los bloques impresores que son herramientas, por lo general construidas en campo, que se unen firmemente a la sarta de perforación, o a una cuchara de dardo y que en la parte inferior constan de un receptáculo que contenga algún material plástico (asfalto, plastilina, jabón, etc.) que es el que recibe la impresión del objeto desconocido (Ver inciso 3.9.1).

#### **3.7.2.- Calibración del pozo.**

La sección transversal de un pozo debe ser perfectamente circular a lo largo de toda su profundidad y libre de bordes o cualquier otro tipo de obstáculos que impidan el descenso de la bomba, así mismo, no deben existir codos o cambios bruscos de dirección en el ademe. Con objeto de verificar las condiciones enunciadas se acostumbra correr en los pozos el llamado "registro de calibración", que consiste en pasar a todo lo largo del pozo un "calibrador" que debe bajar suave y libremente.

El Calibrador se construye con dos o tres tubos del diámetro comercial inmediato inferior al del ademe del pozo que se está probando, lo que resulta en una longitud de 12 m a 18 m. Evidentemente es recomendable un calibrador de 18 m respecto a uno de 12 m, pero cuando se está trabajando con máquinas pequeñas puede ser imposible el manejo de una tubería de esa longitud. La bajada de la herramienta debe ser suspendida con cable con el objeto de que cualquier obstáculo se pueda detectar con facilidad.

Con el registro de calibración se detectan ademes ovalados, soldaduras de tubos que no coinciden, orejas o roturas que doblen hacia el interior del pozo, así como cambios bruscos en la dirección del pozo (codos).

Si se calibra un pozo de más de un diámetro se requiere de varios cali-

bradores, de modo que si un tamaño determinado no alcanza a bajar a partir de una profundidad, se pueden correr otros de tamaños inferiores sucesivos, hasta que uno pase.

### 3.7.3.- Registro de Video.

El registro de video es una herramienta de la que se dispone desde hace algunos años y que resulta invaluable para conocer el estado real de un pozo, por lo que se debe considerar como un requisito de rutina, previo a cualquier rehabilitación.

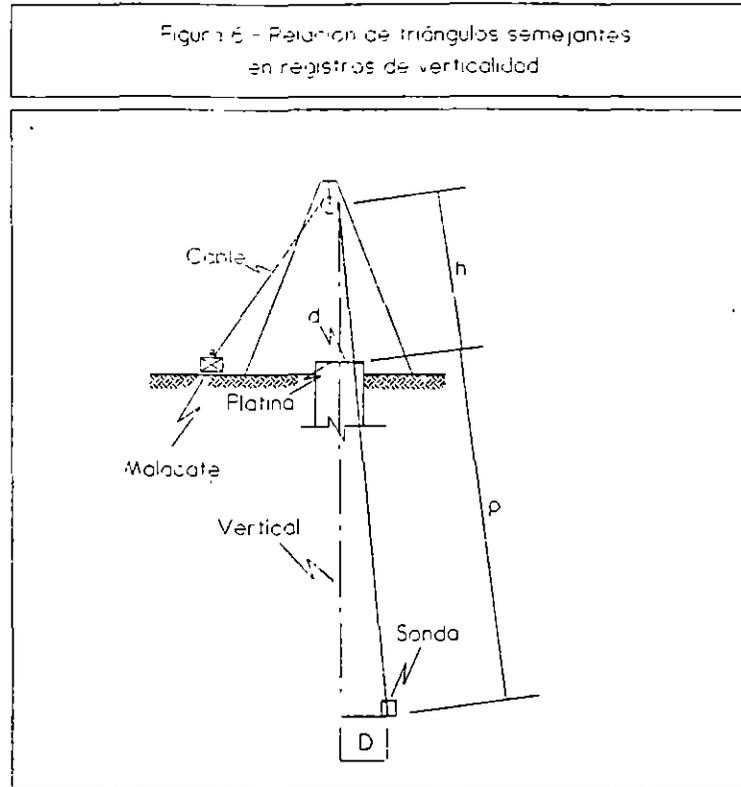
Antes de correr un registro de video, es recomendable dejar el pozo en reposo el tiempo necesario para que se depositen los sólidos en suspensión que pudiera haber. Esta clarificación del agua, que permite una imagen nítida, se favorece aplicando al pozo alumbre o hipoclorito de calcio, si bien el efecto de estos productos puede variar notablemente de pozo a pozo.

### 3.7.4.- Registros de verticalidad.

En la construcción de pozos profundos, perforados con maquina rotatoria, se pueden tomar lecturas de inclinaciones de la perforación, con inclinómetros que se corren por el interior de la tubería de perforación y reportan el ángulo que se tiene en el punto medido, pero esta técnica requiere de un equipo sofisticado y caro que no resulta práctico ni económico para el rehabilitador de pozos.

La falta de verticalidad de un pozo y lo que es más grave aún, el cambio en su dirección, se manifiesta con mayor intensidad en los pozos equipados con bomba de flecha, que en aquellos que tienen bomba sumergible, pero en cualquiera de los dos casos se tiene el problema del contacto entre la bomba y el ademe, que puede favorecer la corrosión de alguno de los dos o ambos, además de un cierto desgaste originado por la vibración que pudiera ocasionar la bomba.

El método más usado para medir la verticalidad de un pozo ya terminado se basa en el principio de los triángulos semejantes (Fig 6). Para su aplicación práctica se forma un triángulo rectángulo cuya hipotenusa es  $h$  y su cateto horizontal es  $d$ , siendo  $h$  la altura desde una platina giratoria o juego de regletas, hasta el eje de la polea, de donde pende la sonda. Al inicio de el registro, cuando la sonda se encuentra en la boca del pozo y el equipo bien centrado,  $h$  debe ser totalmente vertical y consecuentemente  $d$ , que es la desviación medida en la platina, es igual a 0. A medida que la sonda va descendiendo a lo largo de un pozo desviado se va generando el cateto  $d$ , cuya magnitud es proporcional a  $D$  en el triángulo cuya hipotenusa es  $(h+p)$  y su cateto horizontal  $D$ . Las lecturas generalmente se toman con intervalos de 3 m.



#### 3.7.4.1.- Cálculo de la desviación.

$$h/d = (h+p)/D \quad (3.1)$$

$$D = (h+p) d/h \quad (3.2)$$

donde:  $h$  = Altura del eje de la polea de donde cuelga la sonda respecto a la platina.  
 $d$  = Desviación leída en la platina.  
 $p$  = Profundidad de la sonda respecto a la platina.  
 $D$  = Desviación real

En la práctica resulta cómodo utilizar las siguientes unidades:  
 $h$  en m,  $d$  en mm,  $p$  en m,  $D$  en cm.

Para lo cual la fórmula quedará:

$$D = (h+p) d/10 h \quad (3.3)$$

### 3.7.4.2.- Límites permitidos en la desviación de pozos.

El establecer límites a la desviación de un pozo puede resultar peligroso, pues fácilmente se puede caer en descalificar prácticamente cualquier pozo al que se le realice la medición. Por otra parte, en la mayoría de los casos no importa tanto el ángulo de desviación del pozo en que hacen énfasis las normas, sino la forma que ésta adopte, pues lo que en verdad resulta funesto para una bomba de flecha son los cambios de dirección del pozo (los codos), que obligan a la columna a trabajar arqueada, con rápidos desgastes de las chumaceras y frecuentes roturas.

No obstante, presentamos las dos normas usuales en México (Fig. 7) y una norma utilizada en Europa (Fig. 8), más tolerante, especialmente bajo la cámara de bombeo.

- Norma de la Antigua Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, adoptada por la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del D.D.F.

En la cámara de bombeo se permiten desviaciones de hasta un diámetro del ademe (Da) cada 100 m.

$$\text{Desviación lineal permitida} = \frac{\text{Profundidad (m)} \times \text{Da (m)}}{100 \text{ (m)}} \quad (3.4)$$

- Norma de la Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas de la Ex-secretaría de Recursos Hidráulicos.

Se permiten desviaciones en la cámara de bombeo de hasta 2/3 del diámetro del ademe por cada 30 m de profundidad, pero siempre y cuando no rebase 0.5° cada 100 m de profundidad del pozo.

$$\text{Desviación permitida} = \frac{2/3 \text{ Da}}{30 \text{ m}} \quad (3.5)$$

$$\text{Desviación permitida} = \frac{\text{Profundidad (m)} \times 0.5^\circ}{100 \text{ (m)}} \quad (3.6)$$

- Norma Europea.

En cámara de bombeo: 0.5° cada 50 m.

En porción filtrante: 1° cada 50 m.

Figura 7.- Desviación Permitida En Pozos De Agua.

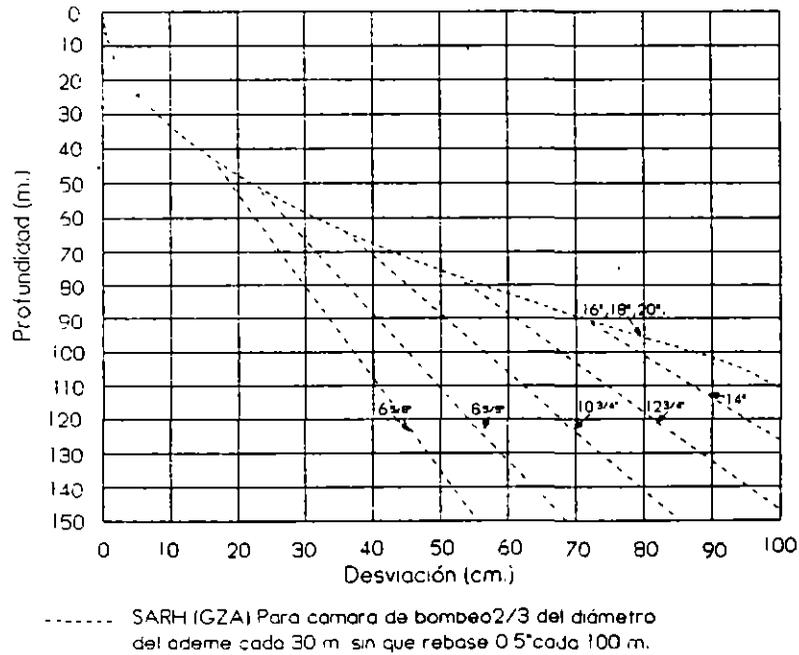
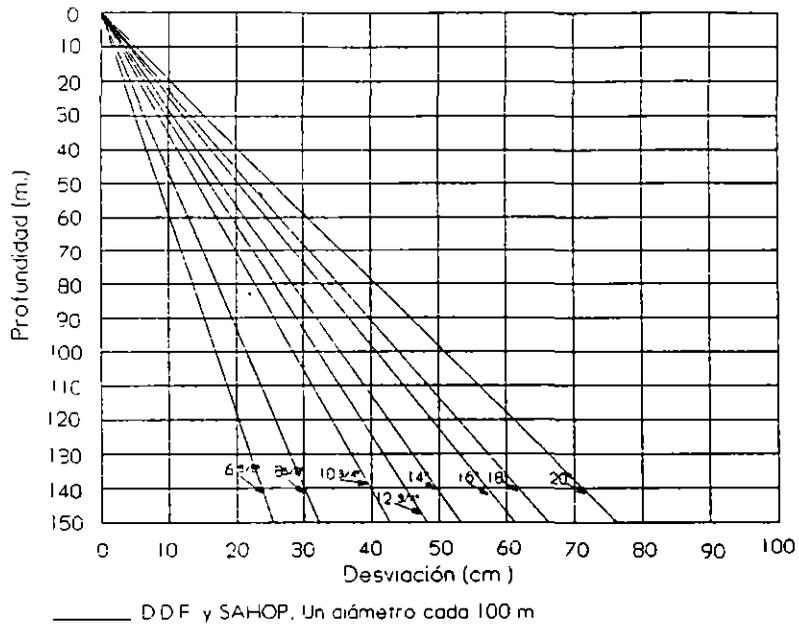
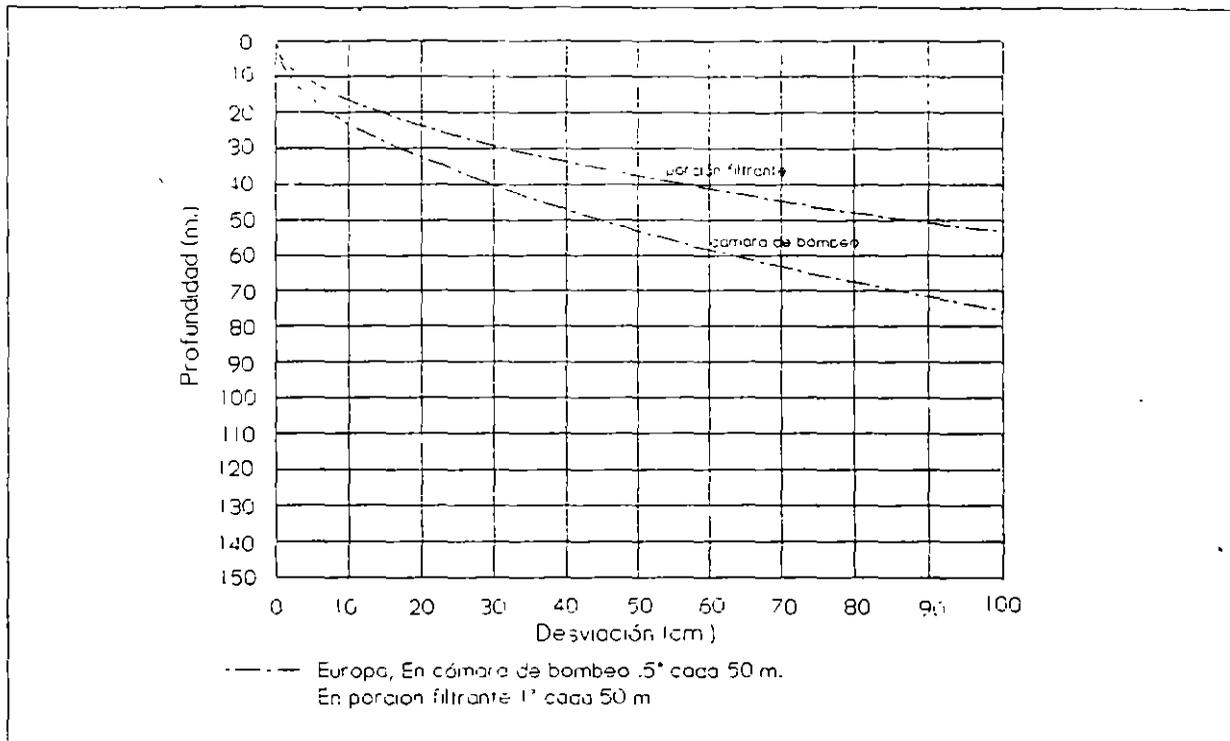


Figura 8 - Desviación Permitida En Pozos De Agua



$$\text{Desviación permitida en cámara de bombeo} = \frac{\text{Profundidad (m)} \times 0.5^\circ}{50 \text{ m}} \quad (3.7)$$

$$\text{Desviación permitida en porción filtrante} = \frac{\text{Profundidad (m)} \times 1^\circ}{50 \text{ m}} \quad (3.8)$$

### 3.8.- REPARACION DE LA BOMBA DEL POZO.

Aunque el tema de la reparación del equipo electromecánico está fuera de los alcances de este manual, enfocado específicamente al pozo, es frecuente que si existe una bomba en malas condiciones, el encargado de la rehabilitación deba extraerla del pozo y enviarla a donde el dueño de la obra le indique o bien encargarse él mismo de la reparación electromecánica.

### 3.9.- PESCAS.

La pesca de herramientas, cables, objetos caídos dentro del pozo e incluso

los objetos a pescar es una labor que requiere de mucho tiempo e ingenio, por ser muy diversos los objetos a pescar. En consecuencia, la mejor recomendación consiste en tratar de evitar las pescas en lo posible, revisando y tomando las debidas precauciones, como el estado del cable, revisión periódica de uniones roscadas, y no exigir a los equipos condiciones de trabajo fuera de especificaciones.

Las operaciones de pesca son comunmente sencillas, inmediatamente después de producirse el pescado, pero cualquier error puede complicarlas e incluso imposibilitarlas. Por lo que es preferible no hacer nada antes que proceder en forma inadecuada.

Para realizar la maniobra de pesca, se tienen que conocer las dimensiones y posición de lo que se tiene que pescar; si el objeto ha quedado pegado, centrado, inclinado hacia algún lado, dentro de una cavidad, cubierto de desprendimientos, etc, o si la herramienta u otro objeto tienen deformaciones. Para conocer esto se pueden aplicar varios métodos, como el introducir una cámara de video hasta la profundidad de pesca, o correr un bloque de impresión.

Además, en prevención de posibles pescas, el operador del sistema de pozos debe siempre anotar las dimensiones de las diferentes herramientas y objetos introducidos al pozo.

### **3.9.1.- Bloque de impresión.**

El bloque de impresión es una herramienta que tiene por objetivo obtener una impresión de algún objeto extraño al pozo que se detecte en su interior, sea para identificarlo o bien para establecer su posición.

El bloque impresor es de un diámetro cercano al interior del ademe del pozo y se fabrica a base de un material plástico, soportado por algún dispositivo. Los materiales plásticos más empleados son la plastilina, el jabón amasado, el plomo, o el chapopote y dependiendo del que se utilice se decide la construcción de la herramienta para que no se desprenda.

Antes de tomar la impresión se debe marcar la profundidad exacta a la que se encuentra el cuerpo problema, de modo que al tomar la impresión, el bloque apenas toque al objeto, de modo que su huella sea nítida y sin deformación. El bloque impresor tiene la ventaja de manifestar la posición del cuerpo dentro del pozo y su forma, aun cuando sólo se tenga una visión en "planta" de el.

Puede decirse con toda seguridad que la obtención de una buena impresión de un "pescado" significa un gran porcentaje del éxito de la pesca.

Cuando se cuenta con una perforadora de percusión, el bloque impresor puede manejarse con la sarta de perforación, o lo que es más recomendable, con la línea de la cuchara.

Si se maneja con una cuchara de dardo, el bloque de impresión se hace con un taco cilíndrico de madera de 1 metro de longitud aproximadamente (Fig. 9 a), y de diámetro de 1 a 2.5 cm inferior al interior de la tubería. Si el ademe está colapsado o con roturas, conviene reducir aun más el diámetro del cilindro. A un extremo del taco se le da forma cónica para igualarlo con el diámetro de la cuchara y, se le practica una ranura para que entre la lengüeta de la válvula de dardo. Es necesario pasar un tornillo que fije el taco a la cuchara.

El extremo inferior se rodea con una chapa fina de unos 20 cm de ancho y de longitud suficiente para que lo envuelva por completo. Esta chapa se fija procurando que sobresalga unos 10 cm de su extremo. En el interior de la cavidad se clavan, aproximadamente hasta la mitad, algunas puntas, alambre o rejillas sostenidas al taco para ayudar a mantener dentro de la cavidad la sustancia plástica con que se ha de rellenar y que sirve para sacar la impresión o molde de la herramienta.

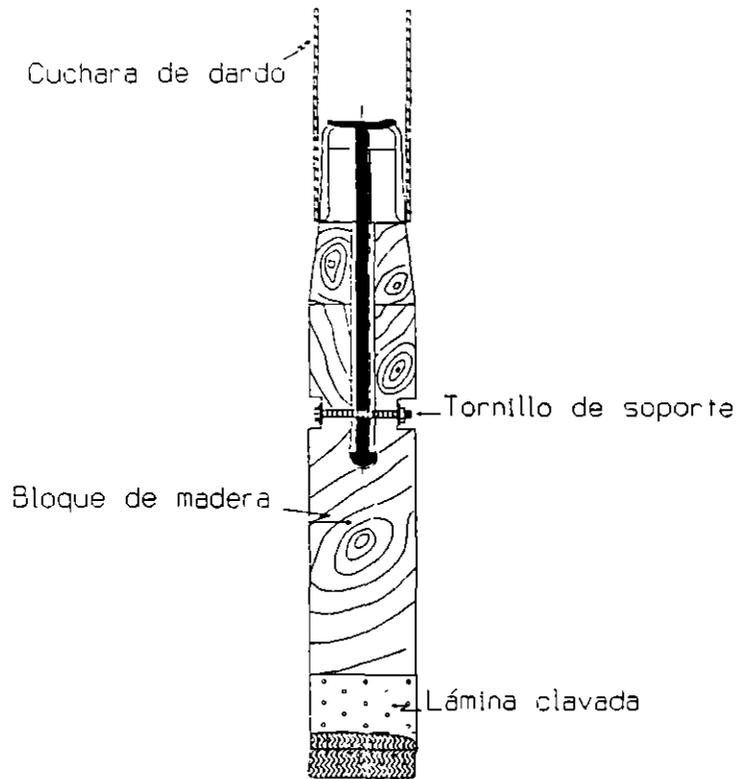
Para realizar la impresión se baja la cuchara sin el taco, para determinar la profundidad y se marca el cable exactamente. Se coloca el taco y se baja hasta tener contacto con la herramienta. La marca hecha en el cable indica cuando ocurre esto, desde luego restando la altura del taco. Conviene que la cuchara con el taco se asiente bien sobre el pescado, pero se tiene cuidado de no presionar demasiado. Después se sube el taco despacio y se retira el bloque con el molde deseado.

Si se desea tomar la impresión utilizando la línea de perforar, se debe contar con un sustituto de rosca cónica que se acople al barretón de la sarta. Esta pieza remata en la parte inferior en un disco de diámetro de unos 7.6 cm (3") mayor que el cuerpo del sustituto, con perforaciones para tornillos con que se fijan los bloques impresores de diferentes diámetros (Fig. 9 b). El modo de operación es similar al tomado con cuchara, pero las maniobras que requiere resultan mas lentas y complicadas.

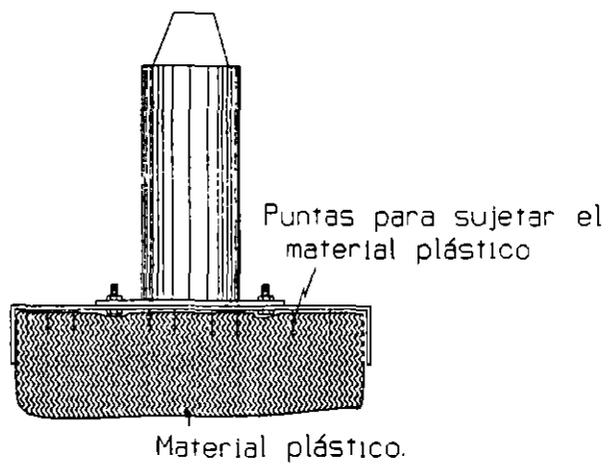
La gran diversidad de objetos a pescar originan a su vez una variedad similar de herramientas de pesca de fabricación de línea (Ver Capítulo 7), sin que esto excluya que muchas pescas se realicen con pescantes construidos en campo, y que varían notablemente según el ingenio y la experiencia del perforista.

Figura 3.- Bloques de impresión.

a) Bloque impresor de madera



b) Bloque impresor metálico



### **3.10.- PRENSA ELECTROHIDRÁULICA.**

Es una herramienta que consta de tres gajos que se pueden abrir y cerrar al ser accionados por un pistón al que se le aplica la presión con una bomba hidráulica. Este conjunto es el que se introduce al pozo y recibe la energía necesaria a través de un cable conductor eléctrico, que a su vez recibe la corriente de un generador con motor de combustión interna. Se ejerce una fuerza de hasta 150 toneladas lineales

La prensa se baja hasta la profundidad donde se presenta la falla, por medio de flechas de bomba o con cable y es capaz de ejercer presiones suficientes para que las deformaciones o las puntas del ademe roto vuelvan a su posición original, generalmente esto se logra después de repetir la maniobra varias veces. Con estas maniobras se logra un efecto similar al que se consigue con un trompo.

Una vez que se enderezó el ademe roto o colapsado, se procede a colocar una camisa de lámina (8 mm) cuyo diámetro exterior corresponde al interior del ademe que se pretende reparar. La camisa lleva unas estrias o canales con el fin de disminuir el diámetro durante el descenso de la herramienta y permitir que sea alcanzada la profundidad requerida. Cuando se aplica presión, los canales se planchan y la camisa alcanza su diámetro definitivo (ver Fig.10). Las camisas tienen una longitud aproximada de un metro y conviene soldar, en el perímetro superior e inferior de ellas, cuatro tuercas, que al ser incrustadas en el ademe original, por la presión de la prensa, incrementan la adherencia entre camisa y ademe.

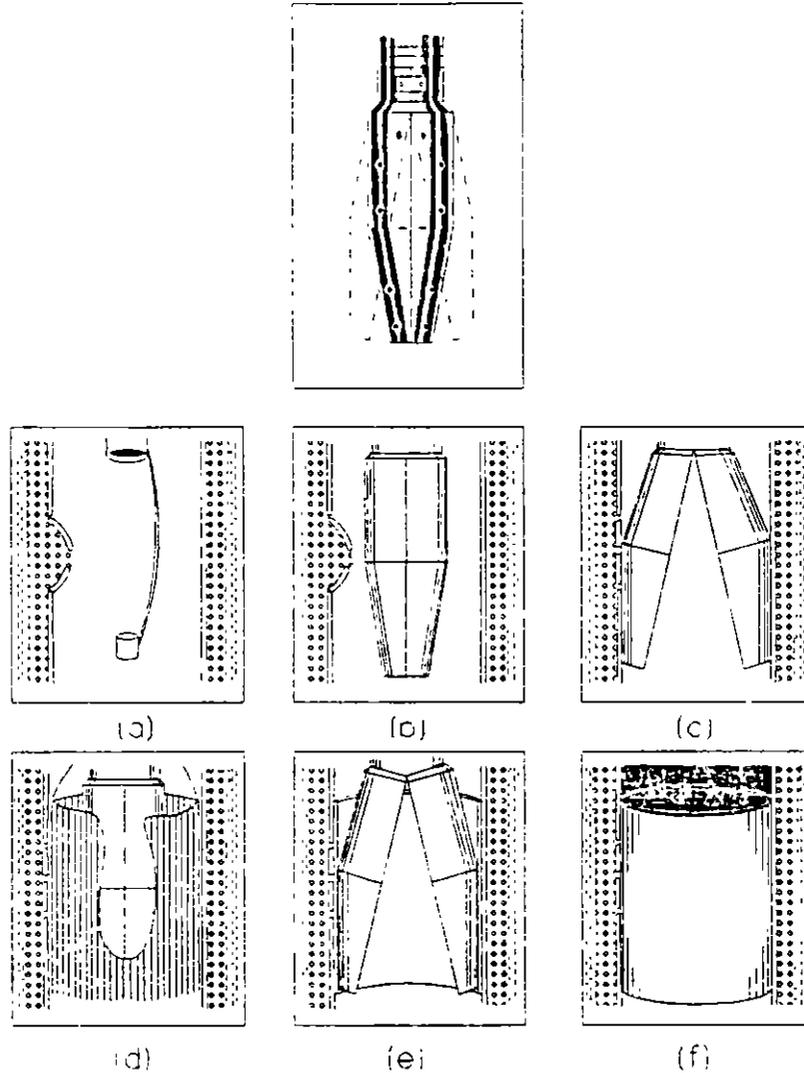
Para la instalación de una camisa, se monta ésta en la prensa hidráulica cerrada, empleando un cable, que en la primera vez que se accione la prensa se rompe, dejando adherida la camisa al ademe, por medio de las tuercas y la fricción; la prensa se vuelve a accionar hasta dejar completamente adherida la camisa.

### **3.11.- PROFUNDIZACIÓN DE POZOS.**

En ocasiones, debido a la sobreexplotación de un acuífero, los niveles de bombeo descienden y un pozo puede resultar corto e ineficiente para las nuevas condiciones. Si sus características geométricas lo permiten, el pozo puede ser perforado por su interior hasta alcanzar las condiciones de explotación actuales. Para que esta operación sea posible se requiere de tres condiciones preliminares:

- Que el pozo tenga un diámetro suficientemente amplio para permitir la reperforación por su interior y posteriormente el ademado y colocación del filtro cuando la reperforación se efectúa en materiales no coherentes. Por tanto, si se

Figura 10 - Prensa electrohidráulica



(a) Se detecta el problema, en este caso con un registro de T.V.

(b) y (c) La prensa se baja hasta la zona de la rotura y presiona el ademe hasta recuperar el diámetro original.

(d) y (e) Se baja una camisa corrugada que se presiona contra el ademe.

(f) La camisa queda colocada.

requiere de filtro granular, el diámetro mínimo necesario para efectuar esta operación será el de 32.39 cm (12 3/4") y si se deja el pozo descubierto en un acuífero en rocas coherentes, de 21.91 cm (8 5/8").

- El pozo a profundizar se debe terminar con tapón de cemento sin modificación del diámetro original del ademe. Nunca con terminación de "punta de lápiz".

- El ademe original del pozo debe ser de acero, con cedazo de ranura, de tipo canastilla o tipo concha, pues ademes menos resistentes, como el de P.V.C. o el cedazo de alambre helicoidal, difícilmente resisten el roce o incluso golpes de la pesada herramienta de perforación durante las operaciones de reperforación.

La profundización del pozo se puede realizar con una perforadora de cualquiera de los sistemas usuales, pero excluyendo, el sistema de perforación rotaria directa con lodo bentonítico, ya que contamina la parte superior del pozo ya desarrollada.

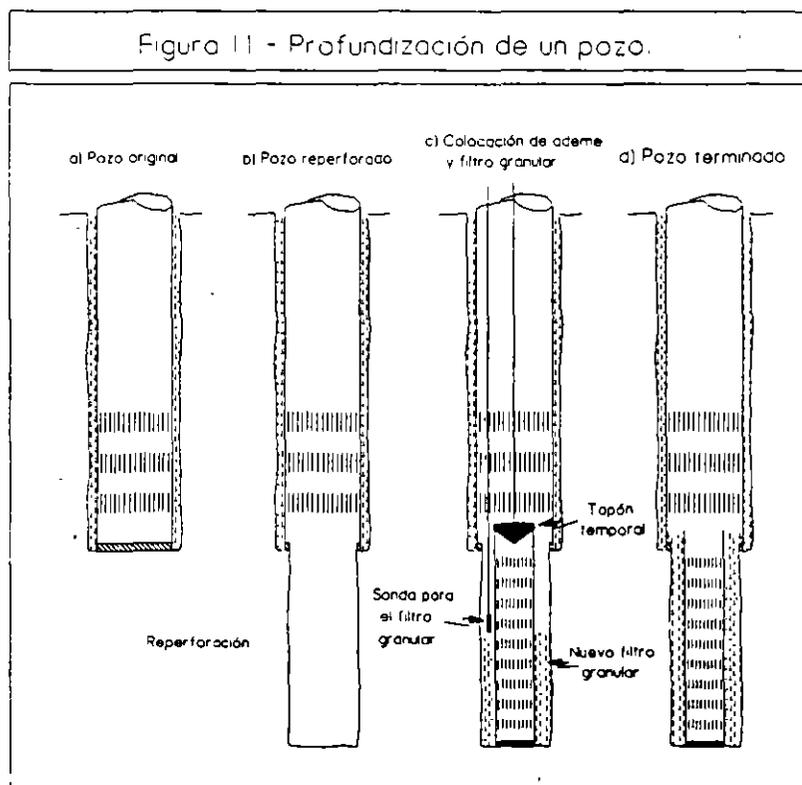
En la reperforación de un pozo se debe mantener el mismo control litológico y se corren los registros habituales de un pozo nuevo. Asimismo, el diseño del filtro granular y cedazo es similar (Ver Apéndice E).

El ademe que soporta la porción reperforada del pozo, por lo general, no continúa dentro del ademe original, para no limitar el diámetro de la cámara de bombeo, no efectuar un gasto innecesario, ni aumentar las pérdidas de carga al penetrar el agua al pozo; pero como medida de seguridad, la nueva tubería se traslapa al menos unos tres metros dentro de la antigua y se deja en el fondo mediante un dispositivo soltador, variable según el tipo de perforadora empleada en la manobra.

La operación de colocación del filtro granular dentro del tramo reperforado, una vez soltado el ademe (Fig. 11), se debe realizar de la siguiente forma:

- Colocación de un tapón cónico, bajado con cable o tubería, con el vértice hacia abajo, de modo que se introduzca dentro de la boca del nuevo ademe. La base del cono debe ser del mismo diámetro exterior que la tubería que tapona, o lo que es lo mismo, solo 1.25 cm (1/2") mayor que el interior de la tubería.

- El filtro granular, previamente cubicado, se vierte desde la superficie; su colocación se debe verificar continuamente mediante una sonda, pues nunca debe sobrepasar la cota de la boca donde se encuentra el tapón. En caso de que se reba-



se dicha cota, antes de haber tomado al menos el volumen teórico, es indicio de acuñamiento del filtro ("puenteo"), en cuyo caso se intentará romper el "puente", agitando el pozo lo más suavemente posible, con alguno de los métodos de desarrollo.

- Es frecuente que el pozo tome un volumen de filtro superior al teórico, al rellenar la posible sobreexcavación que se pudo tener durante la perforación, por lo que conviene adquirir un volumen de filtro que exceda en un 20 a 30%, el volumen teórico, según el material reperforado.

- Cuando el filtro alcance la cota de la boca del tubo nuevo se suspende el engravado y se extrae el tapón cónico, procediéndose a desarrollar el pozo, como si se tratara de uno nuevo.

- Por último, se procede a aforar o se prueba el pozo con su bomba de operación, comparando la nueva capacidad específica con la que se tenía antes de la rehabilitación. Si se encuentra una variación notable en este valor, conviene realizar un aforo formal, que quizás concluya en una nueva selección de bomba.

### **3.12.- REPOSICIÓN DEL FILTRO GRANULAR.**

A medida que un pozo permanece en operación y preferentemente si está mal desarrollado, el filtro granular va sufriendo un cierto reacomodo entre gránulos, que se traduce en un descenso del nivel que se manifiesta en la superficie, hasta que alcanza la mejor compactación. Este descenso es más notorio cuando el pozo es productor de arena, pues el material extraído va dejando huecos que el filtro rellena; consecuentemente en estos casos el descenso del filtro es más acelerado, y permanente. En cambio, cuando un pozo explota acuíferos kársticos o en fracturas, el asentamiento del filtro es leve y sólo ocurre durante el inicio de la operación.

Cuando un pozo se desarrolla mecánicamente, dentro de las maniobras de rehabilitación, la extracción de finos que se produce ocasiona un notable descenso del nivel del filtro, Este descenso es una de las señales determinantes de que el desarrollo se está efectuando eficientemente.

Sea cual sea el motivo del descenso del filtro granular, éste se debe reponer a la brevedad posible, a partir de un volumen de filtro que se debe tener cerca del pozo para estos fines, y por otra parte, el pozo debe contar, desde su construcción, de algún conducto para reponer el filtro, sin necesidad de efectuar maniobras complicadas.

### **3.13.- VERIFICACIÓN DE LA REHABILITACION.**

A lo largo del Capítulo 2 se ha visto que las causas que provocan una rehabilitación de pozo son muy variadas y por tanto también lo son las manifestaciones de las mejoras logradas al rehabilitarlo.

Si la rehabilitación está enfocada a reparar un defecto físico en el pozo, como ademas colapsados o rotos, pescas, etc, evidentemente el éxito de la manio-bra se manifiesta en la reparación del daño, y la supervisión a lo más requerirá de una inspección visual del pozo con un registro de video.

Si la rehabilitación se originó por una baja de eficiencia, provocada por incrustación, azolve, bloqueo de acuífero y filtro por finos, o problemas regionales, la verificación de los resultados de las maniobras de rehabilitación se mide por medio de un aforo. Este aforo normalmente es más corto que el realizado en un pozo nuevo (de 24 a 48 hr), pues ya se tienen antecedentes de las características del pozo. Los resultados se comparan con los datos de operación previos a la rehabilitación.

Se debe hacer énfasis que el éxito de la rehabilitación no se calibra en función al incremento en el caudal, sino en el de su eficiencia (Ver Capítulo 1), o como mínimo, cuando el pozo no se vuelve a aforar, en su capacidad específica para un caudal o un nivel determinado, lo que se manifiesta como distintas combinaciones de caudal-nivel dinámico en alguna de las condiciones siguientes:

- Mismo caudal que antes de la rehabilitación pero menor nivel dinámico.
- Mayor caudal para un mismo nivel dinámico.
- Mejoran las dos condiciones anteriores.
- Una condición mejora y la otra empeora pero de tal modo que la relación beneficio-costeoportunidad resulta positiva.

Cuando se corre el registro de video preliminar a la rehabilitación, suele resultar incompleto, pues no es posible bajar la cámara hasta el extremo del pozo, por impedirlo algún obstáculo ("pescado" o azolve), por lo que es conveniente correr un nuevo registro para completar la información y comprobar los resultados de la rehabilitación (cementaciones, cepillado, etc.).

## **CAPÍTULO 4.- INCRUSTACIÓN Y CORROSIÓN DE POZOS.**

La mayor parte de la pérdida de rendimiento dentro de un pozo bien construido, viene dado por dos efectos: la corrosión y la incrustación. La composición del agua en general es de naturaleza corrosiva o incrustante.

La variedad de las causas que los provoca ocasiona que la prevención sea muy difícil, algunas aleaciones son más resistentes a cierto tipo de corrosión o incrustación pero no a otras. Para seleccionar un material óptimo, se necesita realizar un estudio químico de las aguas y definir el material de la tubería de bombeo y del ademe, pero aunque se logre esto, no se tiene en el mercado la variedad de ademes para conseguir el necesario, por lo que en general, dado que la prevención no es factible, se debe realizar un seguimiento cuidadoso, observando los efectos del fenómeno en el pozo, y aplicando un método de desincrustación o anticorrosión a tiempo, sin dejar que éste llegue a alcanzar niveles que imposibiliten la rehabilitación del pozo.

La condición incrustante o corrosiva de un agua subterránea depende, en buena medida, de su composición química. Existen dos índices, el de Riznar ( $I_R$ ) y el de Langelier ( $I_L$ ), que proporcionan una medida cuantitativa de la tendencia del agua a depositar o disolver materiales. En el apéndice D se muestran los límites y característica de estas medidas, así como una tabla de concentraciones de varios iones que indican la presencia de estos fenómenos.

### **4.1.- INCRUSTACIÓN.**

La incrustación es una acumulación de materiales extraños en las partes metálicas del pozo y alrededor de él, en el filtro granular o en el acuífero. Su consistencia puede ser frágil, dura, como una masa cristalina, gelatinosa, suave o pastosa, según sea la causa de la incrustación.

La incrustación ocasiona una disminución del caudal específico, pues ataca principalmente a las zonas filtrantes, reduciendo la entrada del agua y en casos extremos llega a tapanla por completo. La reducción del área libre del cedazo incrementa la velocidad de entrada del agua al pozo, provocandò un arrastre de sólidos finos. También en el acuífero, alrededor del ademe, se puede presentar una incrustación que rellena los poros y disminuye la permeabilidad en una zona más o menos grande. Dentro del pozo, puede darse el caso de que la incrustación reduzca la sección interior del ademe e incremente la exterior de la bomba, lo que llega a provocar la imposibilidad de extraerla.

#### **4.1.1.-Tipos de incrustación de origen natural.**

Los tipos de incrustación, en su orden de frecuencia, son:

4.1.1.1.- Incrustación debida a la precipitación de carbonatos o sulfatos de calcio y de magnesio.

Es frecuente que el agua contenga carbonato de calcio o de magnesio disuelto, gracias a la presencia del anhídrido carbónico, que generalmente es abundante en los acuíferos. Al entrar el agua al pozo, experimenta una disminución en las condiciones de presión desde la que estaba sometida en el acuífero hasta la presión atmosférica que actúa en el pozo. El anhídrido carbónico se libera del agua en forma de gas, lo que produce que se sobresature de carbonatos que se precipitan en forma de incrustación en el pozo o su alrededor. Un cambio en la temperatura del agua produce un efecto similar.

Otras incrustaciones menos frecuentes, son las de sulfato de magnesio o las incrustaciones duras de yeso producidas por aguas sulfatadas.

4.1.1.2.- Incrustación debida a la precipitación de compuestos de hierro y manganeso, principalmente óxidos hidratados.

En la composición del agua es frecuente encontrar cantidades notables de hierro, generalmente asociado a aguas reductoras, este hierro, como los carbonatos, se precipita por la pérdida de anhídrido carbónico, al cambio de temperatura, contacto con el aire o con la variación de la velocidad de entrada del agua; también ocurre lo mismo con el manganeso. Estas precipitaciones pueden obstruir el cedazo o infiltrarse alrededor del pozo, obstruyendo los poros del acuífero.

4.1.1.3.- Oclusión debida a materiales gelatinosos, provocados por bacterias ferrosas y otros organismos.

Las bacterias de hierro aparecen en pozos abiertos a la atmósfera con suficiente hierro y manganeso, en conjunción con materia orgánica disuelta, bicarbonato o bióxido de carbono.

Los depósitos de bacterias de hierro, en algunas regiones, tapan los pozos por catalización enzimática y oxidación del hierro o manganeso, formando depósitos. La precipitación del hierro y el rápido cultivo de bacterias, crea un voluminoso material que rápidamente cierra las aberturas del filtro y de los sedimentos cercanos.

Otras formas de bacterias del hierro reducen el diámetro interior del ademe bajo condiciones anaeróbicas. Hasta el momento faltan por clasificar muchos tipos de bacterias del hierro que participan en el depósito de este mineral.

Una clasificación de bacterias del hierro, usada en la industria del agua subterránea, se basa en la forma física de los organismos. Este sistema de clasificación ayuda en la identificación del tipo de bacteria que se encuentra en una muestra en particular.

1. Formas capsulares cocoides. Incluye solo un género conocido, el *Siderocapsaceae*. Este organismo se presenta en forma de numerosos corpúsculos redondeados, envueltos en una cápsula mucoide. El depósito que forma la cápsula es óxido férrico hidratado, en forma de un precipitado café rojizo. Este organismo probablemente produce precipitados de hierro que pueden ser rotos mediante el uso de un agente "quelante".

2. Formas ramificadas. Compuestas por bandas móviles unidas a una rama o tallo. El género de esta forma física es *Gallionella*, también llamada *Spirophyllum*. Puede ser reconocida por su movimiento y por la celda bacteriana en forma de frijol al final de la rama móvil. Probablemente ésta sea la principal bacteria enzimática presente en los pozos.

3. Formas filamentosas. Agrupa a cuatro géneros: *Crenothrix*, *Sphaerotilus*, *Clonothrix* y *Leptothrix*.

Las especies del género *Crenothrix* tienen un extremo delgado que gradualmente engorda hacia el lado libre. Germinan sin este tejido y unen sus filamentos a través de las paredes, dando la apariencia de numerosas ramas extendidas desde la rama principal.

Los miembros del grupo *Sphaerotilus* presentan filamentos coloreados que aparentan falsas ramas. Otra bacteria ferruginosa que presenta falso rameado es el *Clonothrix*.

El cuarto género del grupo filamentosos es la *Leptothrix*, una forma simple de tejido, usualmente incrustado con hierro a todo lo largo de la superficie, la cual es generalmente uniforme, pero al final es ancha y con celdas cilíndricas coloreadas y acopladas extremo con extremo.

Si en un pozo se sospecha la presencia de bacterias del hierro, se debe obtener muestras con un dispositivo filtrante, acoplado a la descarga de la bomba del pozo durante una semana. El agua pasa a través del filtro durante este periodo, de-

jando un depósito café oscuro en la cubierta de porcelana, el cual puede ser analizado por un laboratorio calificado.

Otro método para obtener muestras con facilidad es recolectando el material atrapado en válvulas o líneas de descarga de la bomba, en pozos parados temporalmente o en pequeños objetos metálicos suspendidos en el pozo para este fin. Para lograr observar las bacterias es necesario contar con un microscopio de al menos 1,000 X de aumento.

4.1.1.4.- Obstrucción debido a la depositación en la rejilla de materiales limo-arcillosos.

Limos y arcillas, procedentes del lavado de los acuíferos, se aglutinan con el material incrustante y contribuyen a aumentar la cantidad de incrustación efectiva. Ocurre con frecuencia cuando las aberturas de la rejilla son muy pequeñas, si el pozo ha sido poco desarrollado o cuando el acuífero contiene grandes cantidades de finos.

**4.1.2.- Características y funcionamiento de los pozos que favorecen la incrustación.**

Algunas veces, las características constructivas del pozo dan origen a la incrustación del mismo. Comúnmente los pozos ineficientes, con notables pérdidas de carga en el paso del agua del acuífero al pozo por la zona filtrante, y los que están mal desarrollados, suelen incrustarse con mayor facilidad que pozos de la misma región bien terminados.

El incremento en la velocidad de entrada del agua, la turbulencia y el descenso excesivo del nivel dinámico, facilitan el desprendimiento del anhídrido carbónico, con la consecuente sobresaturación del agua con carbonatos. Un desarrollo adecuado del pozo limpia de finos las zonas aledañas, facilita el flujo del agua, disminuyendo la velocidad en el medio poroso contiguo al pozo y retarda la incrustación. Por las mismas causas, un pozo completo tiene menos propensión a incrustarse que uno incompleto.

La zona de aereación, en el intervalo entre los niveles estático y dinámico, donde se producen cambios físicos y químicos mas intensos, facilita la incrustación de hierro.

El régimen de explotación del pozo favorece la incrustación, si se explota de tal manera que el nivel dinámico descienda hasta las zonas filtrantes, dejándolas en seco. La condición alterna de seco y mojado ayuda a la evaporación del agua

que deposita cristales de calcio y precipita el hierro que puedan contener las aguas. Dependiendo de la frecuencia de los arranques y paros de la bomba, este proceso se acelera o retarda.

El caudal de explotación se debe seleccionar para que la velocidad de entrada no sea mayor a 2 o 3 cm/s, y el pozo pueda trabajar en un régimen de baja turbulencia, evitando el desprendimiento del anhídrido carbónico.

#### **4.1.3.- Prevención de la incrustación y desincrustación.**

La prevención de la incrustación es muy difícil cuando se dan condiciones naturales que la favorecen, por lo que el pozo afectado por ella se tiene que desincrustar periódicamente; pero el intervalo de tiempo en que esto se realice puede ampliarse si se siguen las recomendaciones anteriores y se mantiene una observación periódica del pozo, para evitar llegar a incrustaciones extremas.

El empleo de ademes de P.V.C. elimina por completo el problema de incrustación, aunque persista en bomba, filtro y acuífero. Hay que tomar en cuenta que su uso trae consigo otros tipos de problemas, como pueden ser los debidos a sus propiedades mecánicas, su instalación, estructura, etc. Por lo que no siempre es la solución idónea.

No hay evidencias que corroboren la existencia de las bacterias ferruginosas en el acuífero antes de la perforación de pozos, por lo que se presume que su establecimiento y multiplicación se relaciona con las maniobras realizadas en la perforación o rehabilitación; las bacterias contenidas en agua que se utilizó durante la construcción del pozo, suelen ser transportadas desde un pozo contaminado a uno que no lo estaba.

Consecuentemente, el contratista de perforación debe evitar introducir la bacteria del hierro al acuífero durante la construcción o reparación del pozo. Los fluidos que se utilicen durante la perforación deben clorarse con concentraciones de 50 mg/l de cloro activo, siempre y cuando se tenga duda del origen y calidad del agua. Como el cloro no es estable en el fluido de perforación, se debe adicionar periódicamente, manteniendo unos 10 mg/l de cloro residual. La herramienta de perforación se debe desinfectar con cloro o lavarse con permanganato de potasio para eliminar bacterias provenientes de otros pozos. Además, debe efectuarse rutinariamente una limpieza de los tanques o pipas de agua utilizados para suministrar agua al pozo.

La desincrustación de pozos debe efectuarse cuando se empieza a notar una disminución clara del caudal específico, pues si se deja avanzar mucho el fenómeno, el tratamiento puede ser poco eficaz o inútil por completo.

El tipo de tratamiento para desincrustar un pozo depende del tipo de incrustación, cuestión que no siempre es fácil determinar. Los tratamientos mas efectivos son los químicos y el agua del pozo debe mantenerse agitada con algún sistema mecánico. Los tratamientos de tipo mecánico no suelen ser efectivos para el tratamiento de incrustación, excepto en el interior del ademe, pero en cambio, después que un pozo ha sido tratado químicamente mejoran los resultados obtenidos.

Los métodos de desarrollo mecánico, químico y su manera de aplicarlos, se exponen en el capítulo 5.

#### **4.2.- CORROSIÓN.**

La corrosión es la destrucción de un metal por reacción química o electroquímica debido al medio ambiente. El material corroído es disgregado y puesto en solución.

Ataca preferentemente al cedazo del pozo y logra ampliar las ranuras, que es la porción del ademe que presenta mas caras libres al ataque de la corrosión. El resultado de dicho aumento es el paso de elementos indeseables de un tamaño mayor al esperado en el diseño del pozo. Además, debilita la tubería en general, logrando en un momento dado la posibilidad de que se presente un colapso, con la oclusión parcial o total del pozo.

Algunas aguas son muy corrosivas para la mayoría de los metales que pudieran sumergirse en ellas, otras corroen en forma selectiva solo algunos elementos. Además de este factor, relacionado con la composición química del agua, existen otras causas que propician la corrosión de los metales en el pozo, como son la velocidad de circulación del agua respecto al material agredido, la formación de películas protectoras, la temperatura y la presencia de fenómenos electrolíticos. Las características principales de las aguas con tendencia corrosiva se señalan en el apéndice D.

El oxígeno que se encuentra en la superficie del metal, ya sea en forma de aire o disuelto en el agua, se transforma en un óxido de características diferentes a las del metal original; éste se adhiere al metal y puede formar una superficie sin grietas, reduciendo sus propios efectos o integrarse y romper la estructura interna del metal, formando grietas que se van agrandando y degradando al metal.

#### **4.2.1.- Procesos electrolíticos.**

Siempre que se tienen dos metales unidos, o un metal y su óxido, en un medio electrolítico, que es el caso de los pozos cuya agua contiene sales, se genera un fenómeno llamado pila galvánica, la cual, por medio de un proceso químico, tiende a degradar a uno de los metales, al transportar parte de él, en forma de iones, y acumularlo en el otro metal. Al ocurrir este proceso, se desprende oxígeno e hidrógeno, el cual se puede adherir al metal degradado, formando una capa protectora, que retrasa el proceso.

En las zonas de aereación, donde esta capa de hidrógeno es más fácil de eliminar, se dan corrosiones más severas, dándose cerca del nivel del agua la corrosión máxima.

La corrosión de uno de los dos metales depende de sus características químicas, principalmente de la electronegatividad, de manera que de los dos metales, el que se degrada es el de menor electronegatividad.

A continuación se presenta la tabla de la serie galvánica (Tabla 4), donde el más próximo al extremo superior es el metal corroible o activo y el más próximo al extremo inferior es el metal noble o pasivo.

La corrosión se puede dividir, por su aspecto, en dos grandes ramas: la corrosión uniforme y la corrosión localizada.

#### **4.2.2.- Corrosión uniforme.**

Es el ataque del medio ambiente sobre grandes áreas de una superficie metálica, puede ser húmeda o seca, electroquímica o química. Es un fenómeno por el cual el espesor del material se va reduciendo paulatinamente, ya sea porque el óxido del metal no es adherente, o porque el medio disuelve a ese óxido. Como resultado, en las zonas de menor espesor se pueden producir perforaciones, la tubería pierde resistencia y las ranuras de la rejilla se agrandan, permitiendo la entrada de partículas mayores que las deseadas.

#### **4.2.3.- Corrosión localizada.**

La corrosión localizada se realiza en zonas específicas de la tubería, y sus causas pueden ser macroscópicas y microscópicas.

Tabla N° 4.- Serie Galvánica (Electronegatividad de metales).

<u>Mínima electronegatividad</u> <b>Máxima corrosión (Extremo Corroible o activo)</b>
Magnesio Aleaciones de magnesio Zinc Aluminio (25) Cadmio Aluminio resistente a la corrosión (17 ST) Acero, Hierro, Hierro Fundido Cromo-Hierro,(ferrocromo ) activo Acero inoxidable al cromo-níquel 18-8 (activo) Acero inoxidable al cromo-níquel-molibdeno 18-8-3 (activo) Soldadura de plomo, estaño o sus aleaciones Níquel, Inconel (activo) Cobre Latón Bronce Monel Soldadura de plata Níquel (pasivo) Inconel (pasivo) Ferrocromo (pasivo) Acero inoxidable cromo-níquel 18-8 (pasivo) Acero inoxidable Cromo-níquel-molibdeno 18-8-3 (pasivo) Plata Oro Platino
<u>Máxima electronegatividad</u> <b>Mínima corrosión (Extremo Noble o Pasivo)</b>

#### 4.2.3.1.- Corrosión macroscópica.

La corrosión macroscópica se divide en:

- Corrosión Galvánica.

Se presenta cuando están en contacto dos metales diferentes. Puede aparecer en pozos si se emplean metales distintos en la rejilla y el ademe liso, tubos de

diferentes calidades o cuando la bomba toca el tubo del ademe. Es una corrosión electroquímica.

- Corrosión alveolar o picado.

Se produce si en la superficie de un metal aparecen diferencias de potencial eléctrico, por pequeñas variaciones de composición, acabado, dureza, impurezas, etc. Ello origina pilas galvánicas, fenómeno que ataca a uno de los metales. Este proceso se favorece si el agua contiene cloruros.

- Corrosión selectiva.

Es la disolución preferente de uno de los componentes de la aleación, dejando al metal restante. Este fenómeno se puede ver en el latón, donde se disuelve el zinc, dejando el cobre poroso y poco resistente.

- Corrosión por erosión.

La corrosión por erosión se presenta cuando el medio corrosivo ataca preferentemente en las áreas donde se produce un desgaste mecánico originado por el movimiento de fluidos o sólidos, por ejemplo, en el lugar en que una bomba que vibra hace contacto con el ademe o en un pozo productor de arena en la zona del cedazo.

Corrosión por agrietamiento.

Las grietas o hendiduras aparecen generalmente en los traslapes, uniones y las aberturas del cedazo, también pueden formarse por depósitos sobre la superficie y raspaduras en la película de recubrimiento. Las causas por las que sucede son los cambios de acidez en la grieta y la escasez de oxígeno que forma iones en la hendidura.

- Corrosión por exfoliación.

La corrosión se da en capas completas de material, el ataque es generalmente identificado por su aspecto escamoso. Esta corrosión sub-superficial comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella.

4.2.3.2.- Corrosión intergranular. (Microscópica).

Es la que se produce en ciertas impurezas de un metal, lo que lleva a la formación de zonas de debilidad, que puedan ocasionar la disgregación del metal. El

ion cloruro es capaz de efectuar una acción de este tipo en los aceros inoxidable ordinarios, que no son adecuados para aguas salinas. Lógicamente el fenómeno tiene un efecto menor o nulo cuanto más puro sea el metal. Ataca preferentemente a los espacios intergranulares a nivel molecular, por lo que es muy difícil de observar, si no se tiene una muestra que analizar en microscopio.

#### **4.2.4.- Prevención de la corrosión.**

En forma general, existen 4 tipos de prevenciones contra la corrosión :

##### **4.2.4.1.- Protección catódica.**

Este método para proteger tuberías enterradas o sumergidas consiste en colocar a lo largo de ellas bloques de magnesio o zinc, unidos a la tubería mediante un cable conductor. La tubería se protege por tener electronegatividad alta y el magnesio o zinc cumplen la función de metal de sacrificio, el cual se repone antes de consumirse por completo. El mismo efecto se consigue si se conecta la tubería al polo positivo de un generador de corriente continua. Estas dos formas de protección se han utilizado poco en pozos, con buenos resultados.

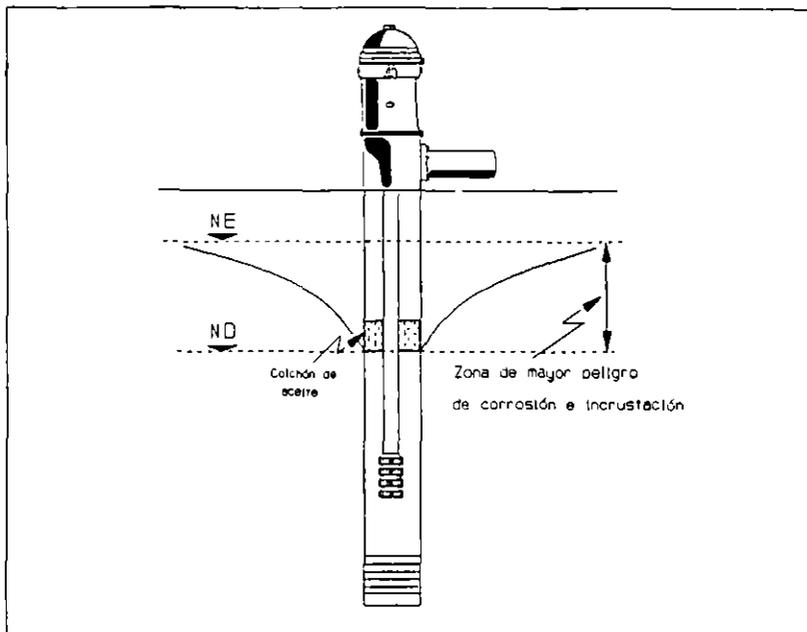
##### **4.2.4.2.- Uso de recubrimientos anticorrosivos.**

Los elementos expuestos a la corrosión en la superficie del terreno se pueden proteger utilizando recubrimientos anticorrosivos o mediante el galvanizado del hierro, en el que el hierro está recubierto por una película de zinc. Si se llega a romper el recubrimiento, éste actúa como metal de sacrificio, pues es menos electronegativo que el hierro, cuya corrosión no comienza mientras dure el zinc.

El hierro o acero galvanizado no es útil en aguas muy ácidas, o pozos a los que se les haga un tratamiento con ácido, pues el recubrimiento de protección se destruye rápidamente.

Estos métodos no son útiles en el caso de los pozos, pues cualquier recubrimiento o galvanizado exterior será erosionado durante el descenso de la tubería al pozo y en la colocación de la grava en el espacio anular; e internamente durante las maniobras de desarrollo y de instalación y extracción de bombas. Si la corrosión no es muy severa, da resultado el recubrir la rejilla o tubería con caucho o polietileno, o aplicando un doble galvanizado.

Fig 12.- Lubricación de la zona de aireación del ademe



#### 4.2.4.3.- Selección de materiales.

Si el cedazo y tubo son de P.V.C. (Cloruro de polivinilo) la corrosión es nula, esta práctica se puede realizar cuando el estudio químico del agua indique una zona de extrema corrosión, tomando en cuenta las propiedades mecánicas del P.V.C.

En el caso de requerirse que la tubería sea de acero, se buscará acero de buena calidad y pureza y de suficiente espesor, tanto para el tubo del pozo como para la rejilla, diseñando al pozo de manera que la velocidad de entrada sea la correcta.

#### 4.2.4.4.- Inhibidores de la corrosión.

La porción del pozo más susceptible de ser atacada por la corrosión, o la incrustación, es la sometida a secado y mojado, siendo ésta la comprendida entre el nivel estático y el nivel dinámico. En pozos en que el agua nunca descienda hasta la zona filtrante, o tazones de la bomba, se pueden evitar estos ataques añadiéndole al pozo un colchón de aceite, que funge como inhibidor, lubricando la porción afectada. (Fig. 12).

## **CAPÍTULO 5.- DESARROLLO DE POZOS.**

El desarrollo del pozo es una de las actividades primordiales en la construcción del pozo, que generalmente se repite varias veces a lo largo de su vida útil, como parte de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación que todo pozo requiere, pues una vez que está fuera de operación y habiendo movido hasta él un equipo de rehabilitación, es absurdo no desarrollar el pozo, dada la mejora que experimenta en la mayoría de los casos.

Se llama desarrollo a la serie de acciones de carácter físico o químico, tendientes a lograr una mejor eficiencia.

### **5.1.- OBJETIVOS DEL DESARROLLO.**

Por varias razones, el desarrollo es un procedimiento fundamental para la terminación de un pozo nuevo y mejora sustancialmente el funcionamiento de uno usado, sobre todo si la construcción del mismo no fue técnicamente aceptable. Generalmente, mediante el desarrollo se logran uno o varios de los siguientes objetivos:

- Mejorar la capacidad específica del pozo al limpiar las ranuras del cedazo y el filtro, además de mejorar la permeabilidad del acuífero en el entorno de la zona filtrante.

- Estabilizar la formación arenosa alrededor del pozo, retardando su entrada a él, aun cuando el diseño del filtro no fuera el adecuado.

- Se ha observado que pozos bien desarrollados, en zonas con aguas incrustantes o corrosivas, tienen una vida útil más prolongada que aquellos que no fueron desarrollados.

- En pozos perforados con máquina rotaria directa y lodos bentoníticos, el desarrollo es la única posibilidad de eliminar el enjarre de lodo (cake), que disminuye la permeabilidad en el entorno del pozo.

### **5.2 - MÉTODOS DE DESARROLLO QUÍMICO.**

#### **5.2.1- Tratamiento con polifosfatos.**

Los polifosfatos, comúnmente conocidos como dispersores o dispersantes de arcillas, son agentes tensoactivos, similares a los detergentes, pero menos es-

pumantes, que tienen la propiedad de separar los aglomerados de partículas, si se hace intervenir una fuerte agitación. El más usual es el hexametáfosfato de sodio, aunque también se utilizan otros polifosfatos, como el tetrapirofosfato sódico, el septafosfato sódico y el tripolifosfato sódico.

Este tratamiento no es estrictamente un método de desarrollo de pozo, pero puede incrementar notablemente su efectividad, cuando se explotan acuíferos granulares con una fracción arcillosa y cuando se emplea en pozos que han sido perforados con lodo bentonítico, por lo que este tratamiento debe formar parte del desarrollo propiamente dicho.

Las dosis recomendadas varían según el fabricante, entre 10 y 50 kg por cada  $m^3$  de agua en el pozo, añadiéndole 1 kg de hipoclorito cálcico, que le confiere acción oxidante. El rebasar los 50 kg por cada  $m^3$  no ofrece ningún efecto adicional. El tiempo de aplicación es mayor cuanto menor sea la dosis.

Los polifosfatos pueden aplicarse combinados con ácido, sobre todo en pozos incrustados o con hipoclorito de calcio en los tratamientos de bacterias ferruginosas.

Los tratamientos con polifosfatos deben durar al menos 24 hr, en las que se debe mantener el agua del pozo agitada y pueden requerirse dos o más tratamientos. El efecto cuando no se agita el agua, es prácticamente nulo.

### **5.2.2.- Acidificación.**

Los ácidos se aplican a los pozos principalmente para eliminar incrustaciones de carbonato cálcico y magnésico. Pueden emplearse diversos ácidos; hasta hace algunos años el más usual era el muriático (clorhídrico industrial), con un inhibidor de corrosión de metales como la gelatina Knos (de 5 a 10 kg de gelatina por cada 100 kg de ácido concentrado).

La concentración de ácido es del 25 al 30 % y el volumen de solución empleado en un tratamiento es de 1 a 2 veces el volumen de agua en la zona filtrante.

Si el pH del medio es menor de 3 también se disuelve parcialmente el hierro precipitado.

El ácido muriático, al contacto con el agua, despiden gases tóxicos que pueden resultar letales, por lo que su aplicación requiere de precauciones por parte de los operadores, como respiradores, guantes de hule y ropa bien cerrada para evitar quemaduras.

Actualmente, el uso del ácido sulfámico ( $\text{SO}_4\text{H}_2\text{NH}_2$ ) ha adquirido popularidad. Es más caro que el clorhídrico, pero ofrece grandes ventajas: es sólido en estado puro, lo que lo torna manejable e inofensivo en su manipulación, además, es muy soluble en agua, dando soluciones marcadamente ácidas y en cambio menos agresivas para el ademe. Puede añadirse previamente disuelto, o en estado sólido, disolviéndolo mediante agitación del pozo. La concentración que se debe utilizar es de un 15 a 20% del peso total de líquido dentro del ademe.

El ácido sulfúrico no es útil para desincrustar carbonatos, pues forma sulfato de calcio (yeso), que es poco soluble.

La acidificación es solo parcialmente efectiva al actuar contra incrustaciones de sílice y silicatos aluminicos.

La efectividad de la acidificación se incrementa en forma espectacular si se le da movilidad al ácido con un agente externo; en la industria petrolera se emplea rutinariamente el nitrógeno inyectado a altas presiones, pero lo caro del tratamiento lo hace prohibitivo para la rehabilitación de pozos de agua, salvo en casos verdaderamente excepcionales. Esta desventaja puede suplirse, con las limitaciones del caso, inyectándolo con aire comprimido y agitando el pozo durante la aplicación, con cualquier método de desarrollo físico.

El tiempo de contacto entre el ácido y el pozo varía según cual sea el utilizado (unas 4 hr para el muriático y de 15 a 20 para el sulfámico). Después de la aplicación del ácido, es extraído con bomba o sifón, hasta sacar del pozo una cantidad de agua de al menos el doble de la inyectada. El ciclo de acidificación-extracción se repite en tanto se observen resultados favorables, como puede ser el aumento de la capacidad específica.

### 5.2.3- Cloración.

Consiste en añadir cloro activo al agua del pozo, con objeto de que mate las bacterias y elimine el limo orgánico asociado. La acidificación también mata las bacterias, pero no elimina el limo orgánico.

El cloro se puede aplicar como gas disuelto previamente en el agua o directamente, pero el medio más fácil y seguro es su manejo como hipoclorito cálcico, en estado puro o disuelto en agua. Se precisan concentraciones de cloro activo, en el pozo, de 100 a 200 p.p.m., y como máximo 500 p.p.m. Para el cálculo de las concentraciones se cubica el agua en el pozo. El hipoclorito cálcico tiene un 70 % de cloro activo. Bajo estas premisas, para preparar soluciones para un metro cúbico de agua se requieren las siguientes cantidades de hipoclorito cálcico:

Concentración de 100 p.p.m.: 143 gr  
 Concentración de 200 p.p.m.: 286 gr  
 Concentración de 300 p.p.m.: 429 gr  
 Concentración de 400 p.p.m.: 571 gr  
 Concentración de 500 p.p.m.: 715 gr

Si se desea que la Cloración sea efectiva, conviene repetir el tratamiento 3 o 4 veces.

En caso de que no fuera posible la utilización del hipoclorito de calcio, puede emplearse el hipoclorito de sodio, el cual se obtiene fácilmente en forma de blanqueador de ropa (lejía). La mayor parte de las presentaciones comerciales de este producto contienen un 5 % de cloro activo, aunque la máxima concentración puede llegar a un 20 %.

En la Tabla N° 5 se presentan los litros de blanqueador necesarios para preparar 1 m<sup>3</sup> de solución a diferentes concentraciones, según distintas proporciones de cloro activo en el hipoclorito de sodio.

Tabla N° 5.- Cloración de pozos.

Concentración Cl en p.p.m.	litros de blanqueador por m <sup>3</sup> de agua en el pozo.		
	5 %	7 %	10 %
100	2.00	1.43	1.00
200	4.00	2.86	2.00
300	6.00	4.28	3.00
400	8.00	5.72	4.00
500	10.00	7.15	5.00

Al hacer un tratamiento de cloración se debe considerar el carácter altamente agresivo del cloro que actúa directamente sobre las partes activas del pozo, sobre todo si se rebasa la concentración máxima, por tanto, es aconsejable que antes del tratamiento se extraiga la bomba.

### 5.3.- MÉTODOS DE DESARROLLO FÍSICO.

Los procedimientos de desarrollo físico logran su objetivo mediante la agitación energética del agua y la acción del flujo y reflujo del agua desde y hacia el pozo. El efecto del desarrollo se percibe desde el momento de la ejecución, por la cantidad de azolve extraído y por el reacomodo del filtro granular, manifestándose en un descenso del mismo por el espacio anular del pozo. Es indispensable que conforme el filtro descienda, se reponga de inmediato. Si se obtiene mucho azolve,

sin el descenso correspondiente, se debe sospechar la existencia de acuñamientos del filtro ("puentes").

### **5.3.1- Desarrollos con bomba de pozo profundo.**

El equipo necesario es una bomba de aforo, capaz de generar fuertes abatimientos al pozo. Estos desarrollos provocan un fuerte desgaste en el equipo de bombeo, debido a los frecuentes cambios de esfuerzos a que se ve sometido y al manejo de agua turbia.

#### **5.3.1.1- Sobrebombeo.**

Consiste en bombear el pozo hasta alcanzar un fuerte descenso en el nivel dinámico, creándose un gradiente hidráulico mayor al que tendrá el pozo durante su operación normal. Solo actúa en el sentido del acuífero hacia el pozo y es propenso a formar "puentes".

#### **5.3.1.2- Arranque y parada de la bomba.**

Se efectúan sucesivos arranques y paradas de la bomba, elevándose el agua hasta la superficie para dejarla caer al pozo por la tubería de la bomba. Se invierte alternamente la dirección del flujo del agua, lo que dificulta la formación de "puentes".

Dentro de esta modalidad existen tres variantes:

- **Máximo descenso y recuperación.** Se hace funcionar la bomba hasta lograr el máximo abatimiento en el pozo y a continuación se para la bomba, esperando hasta que casi se recupere el nivel estático, momento en que se reanuda el ciclo, ésta operación se repite mientras se observe mejoría en el pozo.

- **Máximo descenso sin recuperación.** Como en el caso anterior, se bombea hasta lograr el máximo descenso, se interrumpe el bombeo unos minutos y se reanuda sin esperar a lograr la recuperación.

- **Bombeos cortos.** Se bombea hasta que el agua descargue en la superficie y se para la bomba, se repite esta operación las veces que sea necesario. Tiene la ventaja de que no se requiere de equipos de tan alta capacidad como en los métodos anteriores, aunque también es menos enérgico y provoca fuertes desgastes en el equipo.

Los desarrollos con bomba de pozo profundo son de utilización muy difun-

dida, aunque es difícil contar con bombas del gran tamaño requerido para realizar un trabajo eficiente, sobre todo si el pozo es buen productor. Además, cuanto mejor se realice el trabajo de desarrollo, más intenso es el desgaste del equipo, lo que plantea el conflicto de hacer bien el trabajo a costa de perjudicar el equipo de bombeo.

### **5.3.2.- Desarrollos con bomba de inyección.**

El equipo necesario es una bomba de inyección, de preferencia de pistón dúplex, similar a las usuales en la perforación rotaria, tubería de inyección y accesorios, según el método empleado. Esto adecúa el método de desarrollo a pozos perforados con máquinas rotarias directas, ya que cuentan con la bomba y tubería requeridas. El alto costo horario de los equipos y los consumos de agua, que pueden ser altos, origina que estos métodos de desarrollo resulten caros, en términos relativos a los otros desarrollos físicos.

Son métodos de lavado a contracorriente más vigorosos que los efectuados con bomba de pozo profundo y consisten en bombear agua desde el interior de la rejilla, por medio de una tubería (usualmente la de perforación). Generalmente da muy buenos resultados iniciar la inyección bombeando dispersante de arcillas en la proporción y cantidad establecidas en el inciso 5.2.1. Presenta tres variables:

#### **5.3.2.1.- Chorro vertical y pozo abierto.**

Se manda una línea hasta el fondo del pozo por la que se envía agua a presión, con el caudal máximo que permita la bomba. El azolve se extrae con una bomba de arena, que debe caber en el pozo sin necesidad de extraer la tubería.

#### **5.3.2.2.- Chorro horizontal y pozo abierto.**

Esta variante es similar a la anterior en lo básico, pero con una herramienta adicional que la hace más efectiva. Consiste en una serie de toberas colocadas horizontalmente, por las que sale el agua a alta velocidad para estrellarse directamente contra el cedazo (Fig. 13).

- Se baja la tubería, con las toberas en el extremo inferior, hasta el inicio del tramo filtrante superior. Se bombea el agua mientras se hace girar lentamente la sarta a no más de 1 r.p.m., para que los chorros recorran el perímetro del cedazo. Se mantiene la sarta en ese nivel durante 2 o 3 minutos y se baja 15 cm, repitiéndose la secuencia hasta alcanzar el azolve que se ha venido depositando en el fondo del pozo.

Figura 13- Dispositivo para desarrollo con chorro horizontal y pozo abierto

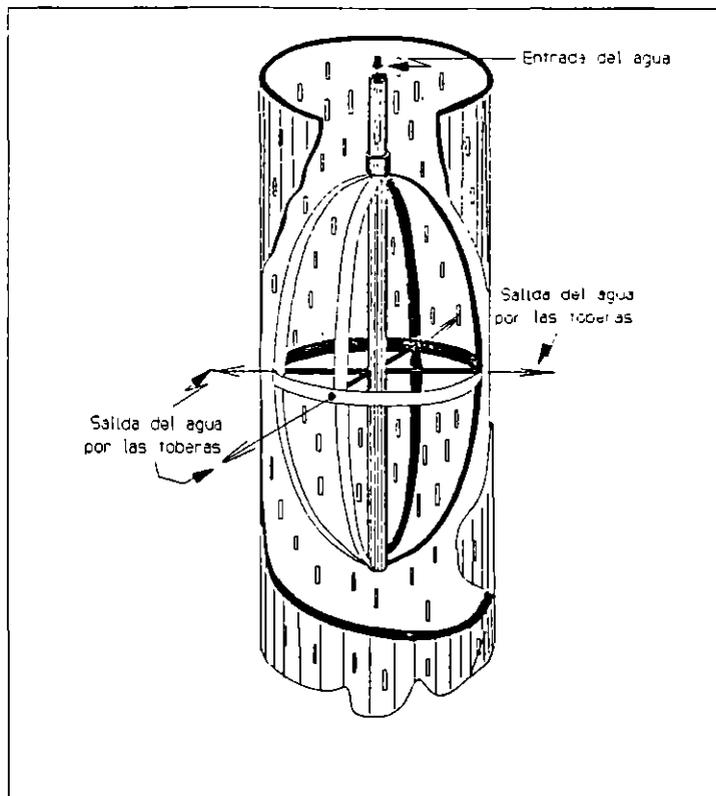
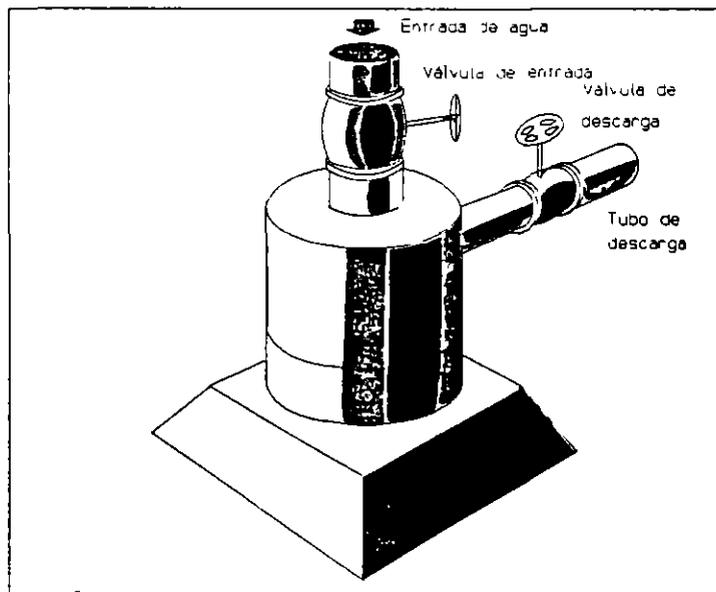


Figura 14.- Desarrollo de pozo con chorro vertical y pozo cerrado



- Se extrae la sarta y después el azolve con una bomba de arena o cuchara común.

- Se repite la operación hasta que el azolve producido sea tan poco que indique la conveniencia de suspender el tratamiento. Un buen desarrollo puede requerir recorrer el pozo varias veces.

Las toberas pueden ser de 2, 3 o 4, con orificios de 0.6 a 1.3 cm de diámetro (1/4" a 1/2"), según la bomba y cantidad de agua disponible, pero tratando siempre que la velocidad de salida del agua en las toberas no sea menor de 46 m/s (150 pies/s). El espacio anular entre cedazo y toberas será de 2.5 cm (1").

#### 5.3.2.3.- Chorro vertical y pozo cerrado.

La instalación es similar a la descrita en el inciso 5.3.2.1. pero sellando herméticamente la boca del pozo con una tapa que deja pasar la tubería de inyección y va provista de una descarga lateral cerrada con una válvula (preferentemente de paso rápido) y un manómetro (Ver Fig. 14).

Con la tubería en el fondo del pozo y la válvula de descarga cerrada, se le aplica presión al pozo mediante la bomba, registrándose la presión alcanzada. Se abre rápidamente la válvula de descarga hasta recuperar la presión 0.00. Se repite este ciclo tantas veces como sea necesario.

La efectividad del tratamiento se calibra por la cantidad de azolve extraído al descargar el pozo y la dificultad creciente en levantar presión al inyectar, debido al incremento de la permeabilidad del acuífero en el entorno del pozo.

#### 5.3.3.- Desarrollos con oleada mecánica o pistoneo.

El equipo necesario es una perforadora de percusión provista de pistón, cuchara y una sarta de perforación adecuada. Por consiguiente, resulta el método más adecuado para el desarrollo de pozos perforados con equipo de percusión. Dado que aun perforadoras pequeñas pueden realizar el trabajo, con ciertas limitaciones y por la abundancia de estos equipos, resulta un sistema muy popular para la rehabilitación de pozos.

La efectividad de un tratamiento con pistón depende de condiciones naturales o constructivas, sobre las que el desarrollo no puede influir y de otras que le son propias como:

### 5.3.3.1- Ciclo del pistón y longitud de la carrera.

La mayoría de las perforadoras a percusión tienen varios agujeros en la conexión de la biela, cada una de las cuales corresponde a una longitud de carrera determinada para cada modelo de perforadora. La longitud de la carrera y el diámetro del ademe se combinan y determinan el volumen que el pistón inyecta y extrae del pozo en cada pistonazo. La Tabla No. 6 muestra las longitudes de carreras de las perforadoras a percusión de la marca Bucyrus-Erie, que son las más usuales en México, y los litros movidos por el pistón.

La frecuencia de las emboladas depende de las r.p.m. a que el operador trabaje su equipo y de las características de éste.

El trabajo de desarrollo se programa de tal modo que se inicie con la menor carrera y se incrementa cuando se observe que el aporte de azolve al pozo va disminuyendo.

Es importante considerar cual es la importancia del caudal pistoneado: es el volumen de agua que en la unidad de tiempo es inyectado y succionado desde el pozo hacia el acuífero y viceversa. Si se conocen las características geométricas del pozo a pistonear, como diámetro del ademe, tramos con cedazo y características del mismo, es fácil obtener el área libre (Al), por la que se inyecta el caudal antes calculado y consecuentemente la velocidad de inyección y succión:

$$v = Q / Al \quad (5.1)$$

En la práctica, el caudal así obtenido, es siempre menor que el real, pues siempre está presente el efecto de flotación a que está sometido el pistón, que es más notorio cuanto mayor sea el diámetro del ademe a tratar y más ligero sea el pistón.

Evidentemente el pistoneo es más efectivo cuanto mayor sea la velocidad, pues el flujo turbulento es el que es capaz de aflojar, levantar y arrastrar partículas, lo cual es precisamente la finalidad del desarrollo. Si se pistonea al máximo caudal y no se observan los efectos del pistoneo, es el momento de dar por finalizado el trabajo.

### 5.3.3.2.- Peso de la sarta del pistón.

El pistón debe tener un peso mínimo para contrarrestar el efecto de flotación provocado por el agua desplazada en el pistonazo, el volumen que desplaza la propia herramienta sumergida y lograr, además, la caída rápida de la herra-

Tabla N° 6.- Desarrollos de pozo con pistón.

Tipos de perforadoras de percusión y diferentes carreras del pistón en pulgadas y dm										Litros inyectados y extraídos por el pistón en 10 emboladas								
Se han considerado como más representativas las de la marca Bucyrus-Erie										Diámetros nominales del pistón en pulgadas y áreas en dm <sup>2</sup>								
20 W		22 W		28 L		60 L		36 L		6 5/8	8 5/8	10 3/4	12 3/4	14	16	18	20	24
(")	(dm)	(")	(dm)	(")	(dm)	(")	(dm)	(")	(dm)	2.22	3.77	5.86	8.24	9.93	12.97	16.42	20.27	29.19
18	4.57	16	4.06	24	6.10	21	5.33	20	5.08	9.0	15.3	23.8	33.5	40.4	52.7	66.7	82.4	118.6
										10.1	17.2	26.8	37.7	45.4	59.3	75.1	92.7	133.5
24	6.10	26	6.60	24	6.10	29	7.37	28	7.11	11.3	19.2	29.8	41.9	50.4	65.9	83.4	103.0	148.3
										11.8	20.1	31.3	44.0	53.0	69.2	87.6	108.1	155.7
30	7.62	35	8.89	35	8.89	35	8.89	36	9.14	13.5	23.0	35.7	50.2	60.5	79.1	100.1	123.6	177.9
										14.7	24.9	38.7	54.4	65.6	85.7	108.4	133.9	192.8
30	7.62	35	8.89	35	8.89	35	8.89	36	9.14	15.8	26.8	41.7	58.6	70.6	92.2	116.8	144.2	207.6
										16.4	27.8	43.2	60.7	73.1	95.5	120.9	149.3	215.0
30	7.62	35	8.89	35	8.89	35	8.89	36	9.14	16.9	28.7	44.7	62.8	75.7	98.8	125.1	154.5	222.4
										18.0	30.6	47.6	67.0	80.7	105.4	133.5	164.8	237.3
30	7.62	35	8.89	35	8.89	35	8.89	36	9.14	19.7	33.5	52.1	73.3	88.3	115.3	146.0	180.2	259.5
										20.3	34.5	53.6	75.3	90.8	118.6	150.1	185.3	266.9
30	7.62	35	8.89	35	8.89	35	8.89	36	9.14	22.0	37.3	58.0	81.6	98.4	128.5	162.7	200.8	289.2
										22.6	38.3	59.5	83.7	100.9	131.8	166.8	205.9	296.6
30	7.62	35	8.89	35	8.89	35	8.89	36	9.14	23.7	40.2	62.5	87.9	105.9	138.4	175.2	216.2	311.4
										25.9	44.0	68.5	96.3	116.0	151.5	191.9	236.8	341.1

Para obtener el caudal inyectado y extraído:

$Q = Vc$

Donde: Q = Caudal en l/min  
V = Volumen pistonado en l (en la tabla)  
c = ciclo del pistón en r.p.m (dato de campo)

Tabla N° 7 - Pesos mínimos del barretón en pistoneo								
Diám nomr tub		8 5/8	10 5/8	12 3/4	14	16	18	20
carrera m	ciclos / min.	Peso Mínimo del Barretón Kg.						
0.50	45.00	26.54	41.26	58.01	69.91	91.31	115.60	142.70
0.80	30.00	40.18	62.45	87.82	105.83	138.22	174.99	216.02
0.95	20.00	44.55	69.25	97.38	117.35	153.27	194.04	239.54

Tabla N° 8.- Peso aprox. de barretones, en kg, en función de su diámetro y longitud (en pies y metros)														
Diámetro		Junta	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	28	32
Pulg.	cm	API	1.829	2.438	3.048	3.658	4.267	4.877	5.486	6.096	6.706	7.315	8.534	9.754
2 1/4	5.715	1 3/4	36.8	49	61.6	74	86	98.3	111	123				
2 1/4	5.715	2 1/4	48.5	60.7	73.5	85.5	97.9	110	123	135				
3	7.620	2 1/4	65.3	87	109	131	153	174	196	218	240	262		
3	7.620	2 5/8	81.1	103	125	147	168	190	212	234	256	278		
3 1/4	8.255	2 1/4	76.1	102	128	154	180	206	231	257	283	309		
3 1/4	8.255	2 5/8	92	108	144	170	196	222	248	273	299	325		
3 1/2	8.890	2 5/8	89.2	109	149	178	208	237	267	296	326	355	414	473
3 1/2	8.890	3	107	134	163	193	222	252	282	311	340	370	429	487
3 3/4	9.525	3	109	143	177	211	245	279	313	347	381	415	478	546
4	10.160	3	117	155	194	233	272	310	348	378	426	464	541	618
4	10.160	3 1/4	129	167	205	244	283	312	360	398	437	474	552	628
4 1/4	10.795	3	131	175	219	262	306	350	394	437	478	523	610	696
4 1/4	10.795	3 1/4	143	187	230	274	318	361	405	448	491	534	622	708
4 1/4	10.795	3 3/4	162	206	250	294	337	385	429	471	515	558	645	732
4 1/2	11.430	3 1/4	147	196	245	294	343	392	441	489	538	586	682	778
4 1/2	11.430	3 3/4	168	216	266	314	364	413	460	510	559	608	705	804
4 3/4	12.065	3 3/4	179	234	288	343	397	452	505	559	614	780	777	886
5	12.700	3 3/4			309	369	429	489	550	609	669		850	971
5 1/2	Pin	3 3/4												
	Caja	4 1/4			386	458	532	605	677	750	822	895	1041	1088
6	15.240	5			475	563	650	737	824	910	998	1086	1259	1437

mienta a lo largo de la carrera de la máquina en tiempos iguales o menores al ciclo de pistoneo.

En la Tabla No. 7 se señalan los pesos mínimos requeridos en la sarta para que se cumplan estas condiciones, con tres diferentes ciclos y longitudes de carrera, que se consideran representativas y en la Tabla No. 8 se muestran los pesos de barretones comerciales en distintos diámetros y longitudes.

#### 5.3.3.3.- El pistón.

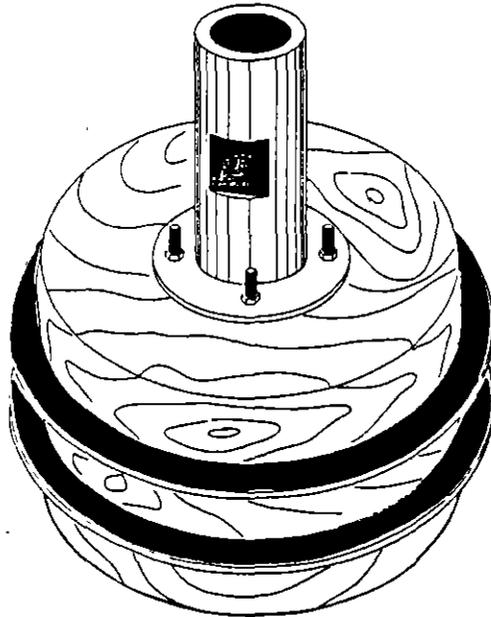
Consta de tres discos de madera impregnada de aceite quemado o chapopote, de diámetro 5 cm (2") menor que el interior del pozo, entre los cuales se intercalan dos discos de hule de 1 cm de espesor y diámetro igual al interior del ademe. Este paquete de discos se sujeta con otros dos exteriores de pequeño diámetro, cuya única función es mantener fuertemente unido el pistón (Ver Fig. 15).

Una variedad de pistón es el de válvula, que es similar al anterior, con la particularidad de que está atravesado verticalmente por cuatro o más perforaciones del mayor diámetro que sea posible y que deben ser coincidentes de lado a lado del pistón, en la parte superior del cual se coloca un disco adicional de hule fuerte, sin perforaciones y sujeto sólo en la parte central del pistón. Cuando el pistón cae, el hule superior se levanta, permitiendo el paso del agua por las perforaciones y cuando sube, el hule se pega al cuerpo del pistón, cerrando la "válvula". Este pistón, por consiguiente, inyecta en forma menos eficiente que el sólido y succiona como él. Esta desventaja, en cambio, permite operaciones de pistoneo eficientes, durante la succión, aun cuando el peso de la sarta no alcance los requerimientos del inciso 5.3.3.2.

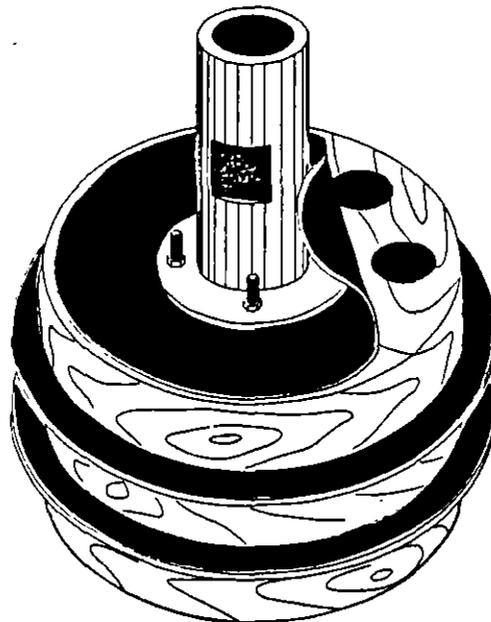
#### 5.3.3.4.- Operación del pistón.

La maniobra inicial del desarrollo es verificar el fondo, anotando su profundidad, para en lo sucesivo medir la efectividad del método en función de la cantidad de azolve arrastrado por el pistoneo. Al operar, el pistón debe desplazarse suavemente, sin golpes fuertes en el cable. Cada 5 o 10 minutos de pistoneo se retira la herramienta y se saca el azolve con una cuchara o bomba de arena, llevándose un control de la cantidad de cucharadas necesarias para desazolvar el pozo, o del volumen de azolve extraído en el ciclo, con objeto de ampliar o reducir el tiempo de pistoneo. Al avanzar el desarrollo se observa que su efecto se reduce y por tanto los intervalos de los ciclos de pistoneo son más largos, considerándose finalizado el tratamiento cuando no haya aporte de azolve después de un ciclo de una hora continua en la carrera más efectiva.

Figura 15.- Pistones para desarrollar pozos.



Pistón Sólido



Pistón de válvula

Si el cedazo del pozo es de alambre helicoidal, P.V.C. u otro material cualquiera que se considere poco resistente a la fricción del pistón, éste se coloca en zonas de tubo liso, lo más cercanas posible a la zona a desarrollar, cuidando siempre que el pistón trabaje con una sumergencia de al menos 3 m. Si fuera tubo de acero ranurado, canastilla o cualquier otro material resistente, el pistoneo se efectúa a lo largo de todo el pozo y preferentemente frente a la zona de rejilla. En las dos modalidades, el efecto de la inyección y la succión se trasmite a todo el cedazo a través de la columna de agua, pero al pistonear frente a éste, se adiciona la turbulencia que se provoca en la cercanía del pistón.

#### **5.3.4.- Desarrollo neumático.**

El equipo requerido para un desarrollo con aire comprimido es: compresor de aire (preferentemente de alta presión; 17.5 kg/cm<sup>2</sup>, 250 lb/plg<sup>2</sup>), sifón (tuberías de inyección y descarga), equipo auxiliar (válvulas, cabezales, trampas, etc.), y tanques de almacenamiento de aire comprimido de al menos 1 m<sup>3</sup> (Ver Fig. 16).

En cualquier desarrollo con aire se debe tener presente que el sifoneo del pozo es una operación cuya finalidad única es extraer el azolve que ha llegado al pozo, debido a las descargas de aire o a la presurización del pozo.

Existen tres variantes del método:

##### **5.3.4.1.- Desarrollo neumático a pozo abierto.**

Se basa en el principio de provocar la agitación del pozo mediante descargas de aire comprimido a presión, el cual previamente fue almacenado en los tanques de alta presión (Ver Fig. 17).

- El desarrollo se inicia desazolviendo el pozo con el sifón hasta verificar el fondo.

- Se levantan las tuberías unos tres metros y se acumula aire en el tanque hasta una presión ligeramente superior (1/2 kg/cm<sup>2</sup>) a la necesaria para romper la columna de agua (Ver apéndice C, tabla de conversión de presiones). Se descarga el aire a esa presión unas 5 veces y se sifonea hasta obtener agua limpia en la descarga.

- Se repite la operación hasta que después de 10 descargas el agua salga clara, momento en que se inicia un nuevo ciclo, aumentando en 1 kg/cm<sup>2</sup> la presión en los tanques.

Figura 16.- Compresor de alta presión para desarrollo neumático.

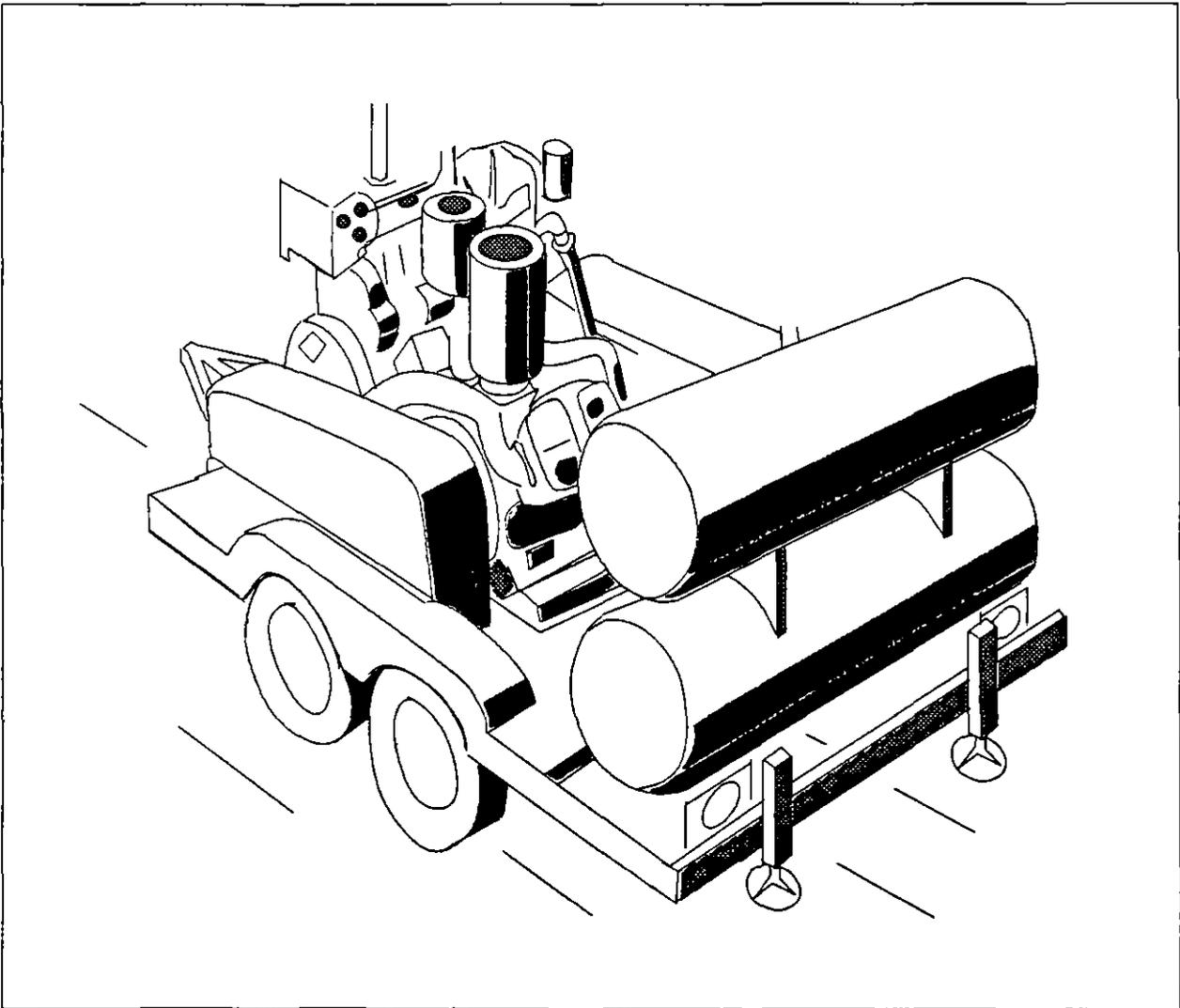
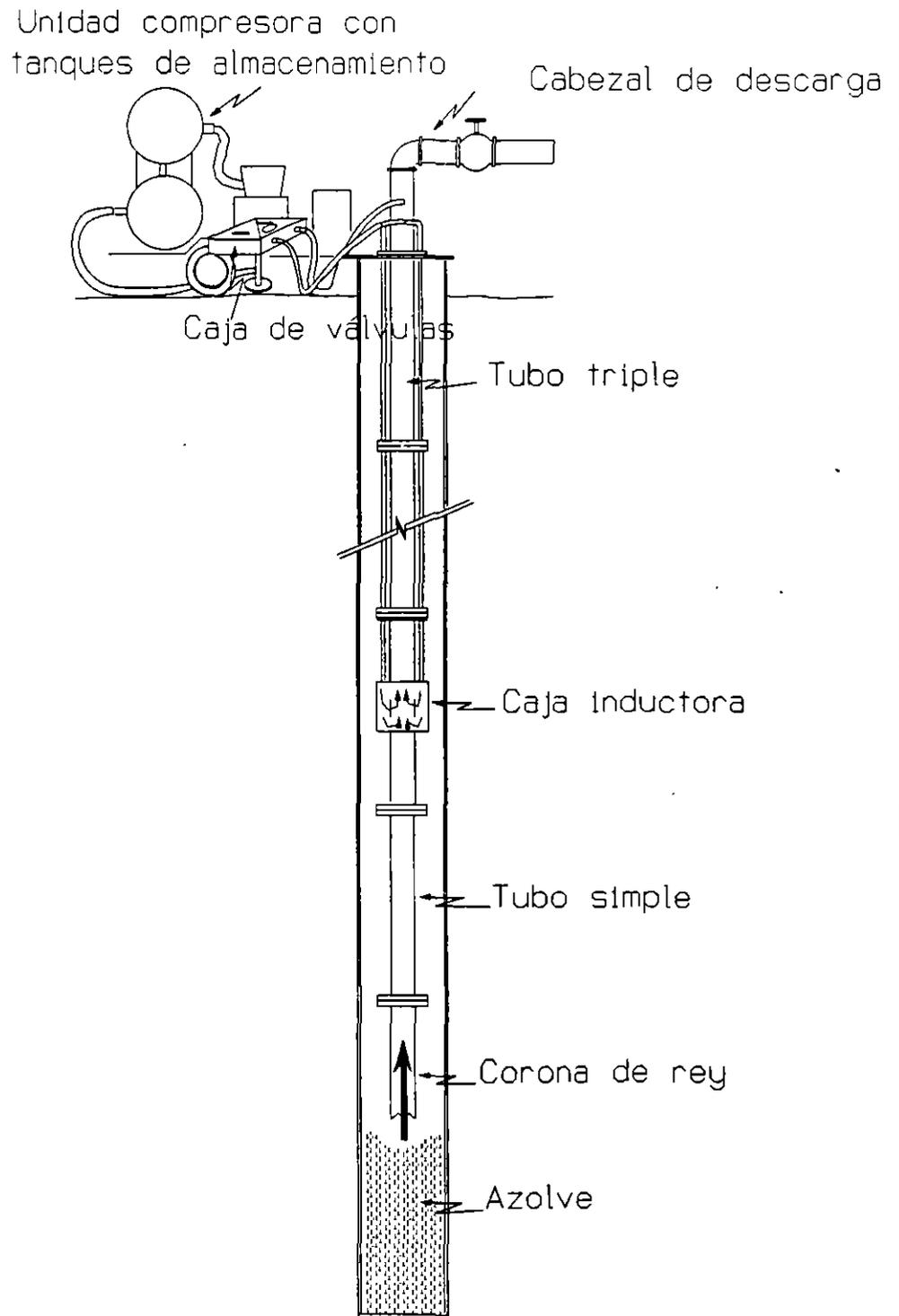


Figura 17.- Dispositivo para desarrollo neumático a pozo abierto.



El desarrollo termina cuando con la máxima presión del compresor no se logra enturbiar el agua, ni bajar el filtro de grava.

Este método de desarrollo resulta efectivo y rápido, pero tiene como principal limitación la presión de trabajo del compresor; por consiguiente, con compresores estándar de  $8.8 \text{ kg/cm}^2$  ( $125 \text{ lb/plg}^2$ ) sólo se pueden desarrollar pozos con 88m de sumergencia, mientras que con el recomendado, de  $17.6 \text{ kg/cm}^2$  ( $250 \text{ lb/plg}^2$ ), se pueden tratar pozos con sumergencias de hasta 176 m., lo que cubre el intervalo de la mayoría de los pozos de agua. Además de la posibilidad de atacar pozos más profundos, el compresor de alta presión permite un desarrollo más intenso, dado que se puede ir levantando la presión hasta los 17.6 en lugar de los  $8.8 \text{ kg/cm}^2$  del estándar.

#### 5.3.4.2. - Desarrollo neumático a pozo cerrado.

Este sistema de desarrollo debe su efectividad a la capacidad del aire comprimido para desplazar el agua por el interior del pozo, inyectándola hacia la formación a través de las ranuras, e invirtiendo la dirección del flujo desde el acuífero hacia el pozo cuando se libera la presión en el pozo. En esta modalidad no se requiere de tanques de almacenamiento, pero sí de un cabezal con el cual sellar el brocal del pozo y a través del que penetran las tuberías de inyección y descarga del sifón. Otra entrada con conexión rápida sirve para la entrada del aire (Fig. 18).

- La operación inicial del desarrollo consiste en desazolvar totalmente el pozo por medio del sifón, verificando el fondo. A continuación se levanta el sifón unos 3 m y se coloca el cabezal, bien soldado al brocal.

- Se empieza a inyectar aire a través de la entrada del cabezal, hasta alcanzar una presión de  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

- Se abre la válvula de paso rápido, para liberar la presión acumulada en el pozo y se repite la operación unas cinco veces.

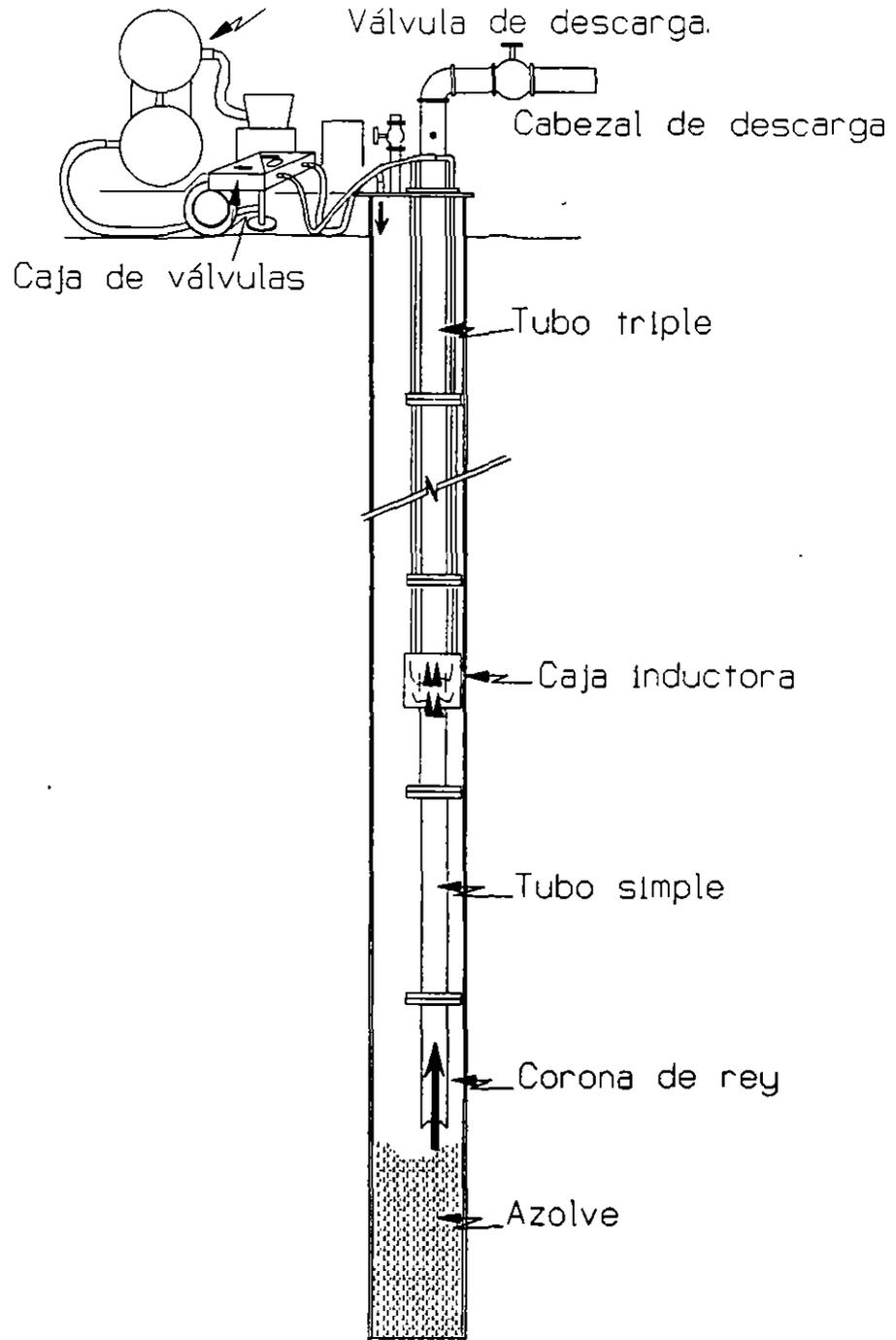
- Se sifonea hasta obtener agua limpia.

- Si se observa que el aporte de azolve es escaso, es recomendable aumentar el ciclo de presurizaciones a unas diez veces.

- Se repite todo el ciclo de presurización y sifoneo, manteniendo la misma presión, hasta que se observe un efecto escaso durante dos ciclos consecutivos, en cuyo caso se aumenta la presión en  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ , repitiéndose todo el proceso.

Figura 18.- Dispositivo para desarrollo neumático a pozo cerrado.

Unidad compresora con  
tanques de almacenamiento



La limitación en el progreso de este tipo de desarrollo se establece por la capacidad de presurizar del compresor y por la posición relativa del nivel estático del pozo, respecto a las primeras aberturas del cedazo, por donde escapa la presión a través del filtro granular.

#### **5.3.4.3.- Desarrollo neumático combinado.**

El equipo e instalaciones empleados son similares a las empleadas en el pozo cerrado, pero además se cuenta con tanques de almacenamiento de aire a alta presión.

Así es posible descargar en el fondo, si la presión hidrostática lo permite, como en la modalidad de pozo abierto, inyectar presión por el cabezal, como en la de pozo cerrado y además aplicar descargas por el cabezal, formando en el pozo una cámara de pleno, con una inyección hacia el acuífero más acelerada que en el caso del pozo cerrado.

Por lo anterior, resulta el método de desarrollo neumático más enérgico y versátil, pues permite escoger en cada caso particular la variante o combinación de ellas donde se obtengan los mejores resultados.

#### **5.3.5.- Desarrollo de formaciones rocosas.**

Los métodos de desarrollo físico que se han comentado son aplicables también a las formaciones rocosas, puesto que remueven los materiales finos que se encuentren obstruyendo, en mayor o menor grado, las fracturas o las cavidades de disolución. Esta es la única posibilidad de desarrollo efectivo de estos métodos, a diferencia del desarrollo con explosivos, que fractura la roca aumentando el número de vías de acceso del agua.

##### **5.3.5.1.- Desarrollo con explosivos.**

Su empleo se limita a pozos perforados en roca lo suficientemente estable como para no requerir de ademe o sólo parcialmente, en cuyo caso la explosión se provoca lejos del tubo. Las cargas de explosivo que se emplean pueden variar entre 15 y 50 kg, dependiendo de la roca a fracturar, el diámetro del pozo y la profundidad.

El efecto fisurador de un explosivo en un pozo es en realidad muy limitado y por tanto, salvo casos excepcionales, no se debe considerar como un verdadero método de desarrollo, sino como un modo de producir una fracturación inicial, en rocas calcáreas, que facilite la penetración de un tratamiento con ácido.

Existen varias fórmulas para tratar de cuantificar en forma aproximada los efectos de una explosión subterránea, pero todas ofrecen cierto grado de incertidumbre, pues hacen intervenir variables que generalmente son desconocidas, como la densidad media de la roca a fracturar o alguna otra constante dependiente de las características de la roca. Por consiguiente, no se abundará más en este tema y en caso de necesidad se debe recurrir a la literatura especializada.

### **5.3.6.- Desarrollo con hielo seco.**

La nieve carbónica, más comúnmente conocida como hielo seco, es anhídrido carbónico sólido. Al entrar en contacto con el agua, el hielo seco burbujea intensamente. Esto se produce por un cambio del hielo seco sólido a líquido y otro subsecuente de líquido a gas. Estos cambios de estado liberan gran cantidad de calor y un notable aumento de volumen (unas 150 veces), lo que puede resultar en una brusca expulsión del agua del pozo hacia el exterior, acarreado un volumen grande de sólidos, lo cual lo convierte en un método de desarrollo espectacular, aunque poco efectivo, que en el pasado gozó de popularidad, pues requiere de poca técnica y equipo.

La cantidad aproximada de hielo seco a colocar en cada aplicación es de 1 kg por cada  $m^3$  de agua en el pozo.

A pesar de que la explosión puede ser muy violenta y espectacular, el efecto del desarrollo puede ser pobre, pues sólo se pueden efectuar unas cuantas aplicaciones debido a la dificultad de la aplicación. Por otra parte, cuando el cedazo del pozo está muy tapado y en malas condiciones, la violenta explosión puede provocar un vacío en el interior del pozo, capaz de colapsar el ademe. Por todo lo anterior, esta modalidad se puede calificar como el menos recomendable de los métodos de desarrollo, sólo aplicable cuando no se pueda utilizar ningún otro.

## **CAPÍTULO 6.- AFORO DE POZOS**

La prueba de aforo tiene por objeto establecer cual es el caudal óptimo al que se debe explotar un pozo. Es la operación que culmina la construcción del mismo, pero es también una operación de rutina en la rehabilitación de pozos, ya que, por lo general, los pozos rehabilitados cambian sus condiciones de operación y por consecuencia es necesario conocerlo.

En un aforo se pueden diferenciar dos tipos de actividades: las de instalación, operación y desmantelamiento de la bomba, que no se tratan en este manual y los de análisis e interpretación de los resultados de la prueba, que se describen con detalle.

### **6.1.- EQUIPO DE BOMBEO.**

En los aforos se emplean bombas tipo turbina, accionadas por un motor de combustión capaz de variar revoluciones, por lo general entre 900 r.p.m. y 2000 r.p.m. La columna debe tener la longitud necesaria para que la bomba no succione aire al abatirse el nivel dinámico. Además de la bomba, se debe contar con un tacómetro de contacto, una sonda, preferentemente eléctrica, con cable suficiente, y un dispositivo de medición de caudal, que consiste, por lo general, en un tubo con orificio calibrado y piezómetro.

Para realizar el aforo, se debe seleccionar una bomba capaz de entregar un caudal del orden del 30 % superior al esperado para operar el pozo.

### **6.2.- PROGRAMA DE AFORO.**

Al hablar de la selección de un equipo de aforo (2.1.6) se comentó que la bomba debe exceder el caudal esperado y tener columna suficiente; el problema radica en que la prueba de aforo tiene como finalidad establecer dos parámetros básicos: el caudal y el nivel dinámico, que son los mismos con que se escoge la bomba de aforo; por tanto, en primera instancia, el equipo se solicita con base sólo a experiencias anteriores, sean en la región o en el propio pozo. Esta situación se resuelve una vez instalada la bomba, realizando un ensayo de aforo, que se basa en la propiedad de los pozos de alcanzar la mayor parte del abatimiento correspondiente a un caudal dado, durante un tiempo relativamente corto (generalmente una hora puede ser suficiente). Consecuentemente, una vez medido el nivel estático del pozo, se realiza el ensayo, seleccionando cuatro escalones de bombeo, incluyendo el mínimo y máximo caudal que la bomba pueda proporcionar. Como un ejemplo práctico podrían ser 900 r.p.m., 1250 r.p.m., 1600 r.p.m. y 1900 r.p.m. y bombeando del orden de una hora en cada escalón.

Como resultado del ensayo de aforo se pueden obtener tres conclusiones:

- Con el máximo de revoluciones el nivel dinámico apenas se desplaza, lo que indica que la bomba es insuficiente para el pozo en cuestión y la prueba definitiva no debe realizarse, hasta que se cambie la bomba por otra de mayor capacidad.

- Se logra abatir el pozo varios metros; significa que la bomba es adecuada.

- El nivel dinámico alcanza la succión de la bomba, lo que se manifiesta en un flujo de agua interrumpido por la expulsión de bocanadas de aire mezclado con agua; significa que el pozo no es capaz de abastecer a la bomba, al menos en ese nivel, o que a ésta le falta más longitud de columna.

Una vez terminado el ensayo de bombeo se mide la recuperación del nivel dinámico.

Generalmente, se considera que un aforo confiable debe durar unas 72 hr, aunque en zonas o pozos bien conocidos puede reducirse a unas 48 hr.

Como ejemplo para un aforo de 49 hr se pueden programar escalones a: 900, 1150, 1300, 1450, 1600, 1750, y 1900 r.p.m., con 7 hr de duración cada una. Para uno de 70 hr los mismos escalones de bombeo, pero con duración de 10 hr cada uno.

En cada escalón de bombeo se deben tomar lecturas de nivel dinámico, del piezómetro y verificar si se mantienen las r.p.m., en los siguientes intervalos de tiempo:

1 min	10 min	1 hr 30 min	5 hr	
2 min	15 min	2 hr	6 hr	
4 min	20 min	2 hr 30 min	7 hr	fin en aforo 49 hr
6 min	45 min	3 hr	8 hr	
8 min	1 hr	4 hr	9 hr	
			10 hr	fin en aforo 70 hr

Como el proceso de aforo resulta ininterrumpido, largo y tedioso para el personal de campo, no es raro, sobre todo durante la noche, que se olviden de tomar alguna lectura. Enfatizando que esta situación no debe ocurrir, el personal de campo debe estar consciente de que existe comprensión para alguna omisión, pero no para la invención de datos que no se tomaron, situación que por lo general es fácil de detectar al analizar los registros.

Al terminar el último escalón, a 1900-2000 r.p.m., se suspende el bombeo y se repite el ciclo de lecturas, pero ahora en forma ascendente, hasta alcanzar la recuperación del nivel estático, momento en que se da por finalizado el trabajo de campo.

### **6.3.- INTERPRETACIÓN DEL AFORO.**

Con los datos de las lecturas piezométricas recabadas en campo, el diámetro de la tubería de descarga y el del orificio calibrado, se calcula el caudal para cada escalón de bombeo, utilizando las tablas o fórmulas que se presentan en el Apéndice A y se elabora la gráfica de aforo, donde se representa el caudal en el eje de abscisas y los descensos en el de las ordenadas, preferentemente con escala creciente hacia abajo a partir del nivel estático. Además, se pueden graficar los descensos contra el tiempo para establecer la eficiencia del pozo, según se vio en el Capítulo 1. La gráfica de aforo puede presentar tres formas básicas y una cuarta que es la superposición de dos de las básicas:

- La gráfica tiene forma curva con la concavidad hacia abajo (Fig. 19 a). En principio, la bomba es adecuada a las características del pozo, a reserva de que se haya llegado al caudal óptimo de explotación.

- La gráfica tiene forma recta (Fig. 19 b). En principio, la bomba es de poco caudal con respecto a las características del pozo e incapaz de realizar el aforo. El único dato útil que se deduce de la prueba, es que el pozo en cuestión es capaz de proporcionar mayor caudal que el máximo obtenido en el bombeo.

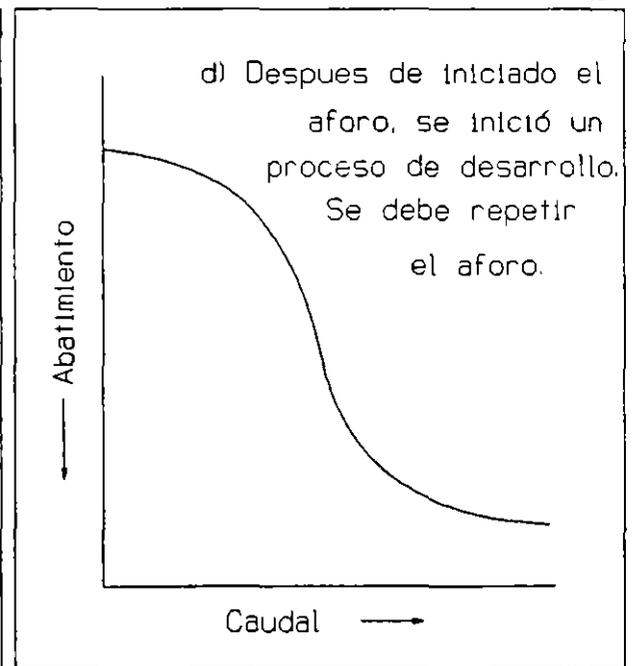
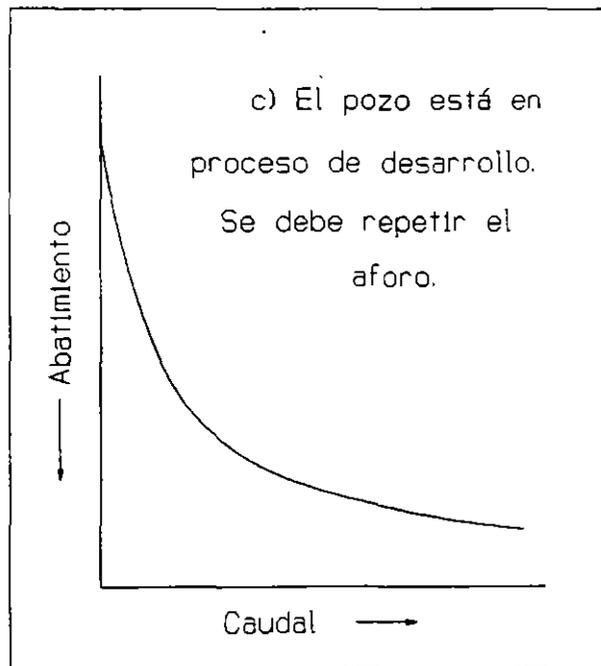
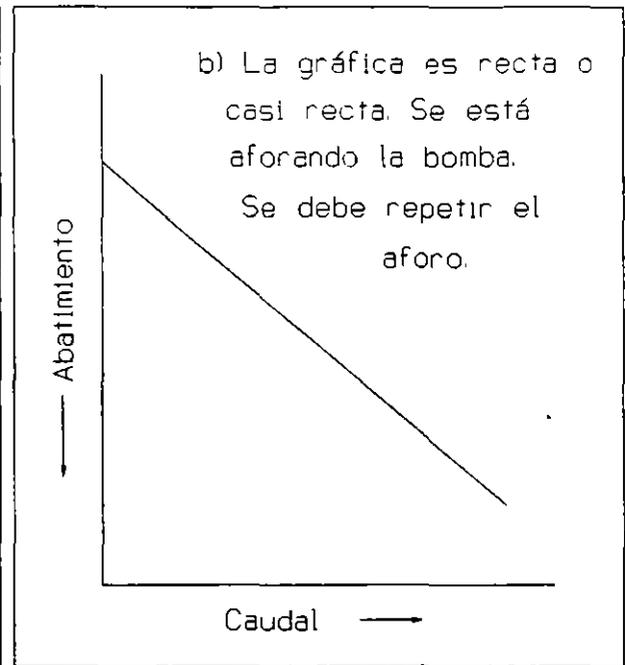
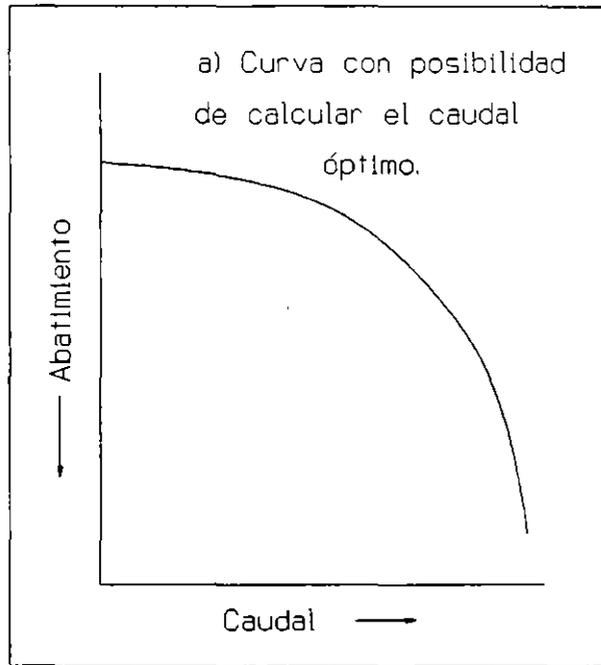
- La gráfica tiene forma curva con la concavidad hacia arriba (Fig. 19 c). Durante el bombeo el pozo continúa con el proceso de desarrollo y están mejorando sus características hidráulicas. Se debe suspender el aforo y reanudar el proceso de desarrollo, reiniciándolo cuando se tenga la certeza de que esta operación se ha realizado correctamente.

- Durante un tiempo, la gráfica presenta la concavidad hacia abajo y a partir de cierto momento se invierte hacia arriba (Fig. 19 d). Esta condición implica que el aforo se había llevado normalmente hasta un momento en que se tornó en un proceso de desarrollo del pozo. Como en el caso anterior, se debe suspender el aforo y completar el desarrollo.

#### **6.3.1.- El caudal óptimo de explotación.**

Es aquel caudal que resulta el más conveniente para explotar un pozo. El establecer esta conveniencia depende de condiciones a veces subjetivas; por

Figura 19.- Formas básicas de la curva de aforo.



ejemplo, para una persona que sólo requiere de 5 l/s, aun cuando su pozo fuese capaz de proporcionarle un caudal mayor, su óptimo será de 5 l/s. En cambio, para un agricultor que cuente con una extensión ilimitada de tierras susceptibles de riego, el caudal óptimo es el máximo que le pueda extraer al pozo, aunque quizás tenga la limitante de la profundidad, si su cultivo no resulta económico con bombeos que excedan determinado nivel. O bien, un sistema de agua potable con escasez de abastecimiento y el consiguiente problema social, para el que el costo del bombeo puede resultar secundario ante las protestas de la ciudadanía. Ante estas alternativas, cada una con matices variados, el establecimiento del caudal óptimo de explotación del pozo considera sólo el punto de vista hidráulico y su derivado económico.

#### 6.3.1.1.- El caudal óptimo de explotación desde el punto de vista hidráulico.

El caudal óptimo de explotación de un pozo, desde el punto de vista hidráulico, se alcanza en aquel punto de la curva de aforo donde el producto del caudal por la capacidad específica es máximo (Ver Fig. 20).

Es común escuchar el término "capacidad específica del pozo", como si ésta fuera una característica única para un pozo dado, pero la realidad es que esta variable disminuye al aumentar el caudal del pozo. Esto se interpreta como que el pozo aporta poco caudal durante un cierto intervalo de caudales, pero con bajos descensos del nivel de bombeo, por consiguiente, esta agua resulta "barata", pues consume poca energía para bombear un caudal dado. A partir de un punto específico de la curva (el que cumple la definición de caudal óptimo), pequeños incrementos de caudal significan grandes aumentos en el nivel de bombeo; de manera que esta agua, más abundante, es también más "cara". El caudal óptimo de explotación es aquel en que estas dos situaciones contrapuestas se equilibran de manera racional.

#### 6.3.1.2.- El caudal óptimo de explotación desde el punto de vista económico.

El caudal óptimo hidráulico toma en cuenta únicamente el aspecto de su operación en función del consumo energético, que evidentemente es importante en el rubro de gastos de operación, pero existen otros aspectos íntimamente ligados a condiciones económicas, variables de país a país y aun de región a región, que se exponen en forma simplificada a modo de ejemplo, pero que cada especialista puede afinar, dependiendo de la información de que disponga y su propia organización administrativa.

Para comprender la aplicación del sistema, a continuación se da un ejemplo

donde los costos fijos se obtienen en las Tablas 9 y 10 y los variables del aforo que se presenta en la Fig. 20.

- Costos fijos. Se propone bajo esta denominación aquellos costos que se tienen, aun cuando el pozo se encuentre fuera de operación; básicamente los aspectos de depreciación, inversión, seguros y mantenimiento, de pozo, bomba, y obra civil, además de los sueldos del personal y todos los demás costos fijos que se puedan determinar. Estos costos se convierten a costos horarios, por el sistema usual en cualquier análisis de precios unitarios, aplicando a cada uno de los elementos una vida económica y horas anuales de operación razonables (Tablas 9 y 10).

Estos costos horarios se agrupan en un "Costo Fijo" horario (Ver Tabla 11).

- Costos variables. Son aquellos que se generan durante la explotación del pozo y que por tanto están afectados por la operación del mismo.

En una misma curva de aforo, a cada caudal corresponde un cierto nivel dinámico y por consiguiente unos kW consumidos, con su costo correspondiente. De esta manera, a cada caudal de explotación corresponde un Costo Total que agrupa al fijo más el variable (Tabla 11). Se llama "Eficiencia Económica" a la relación entre el costo horario total sobre el caudal bombeado y "Caudal óptimo económico de explotación" al punto en el que el valor de la Eficiencia económica sea mínimo. Los datos calculados se presentan en dos gráficas (Ver Figs. 21 y 22), en la primera aparece el caudal en las abscisas, contra el costo total por hora de operación en las ordenadas. Si se traza desde el origen, una serie de rectas que corten la curva, se encuentra que la de mínima pendiente es la única tangente a la curva y el punto de tangencia corresponde al caudal óptimo económico.

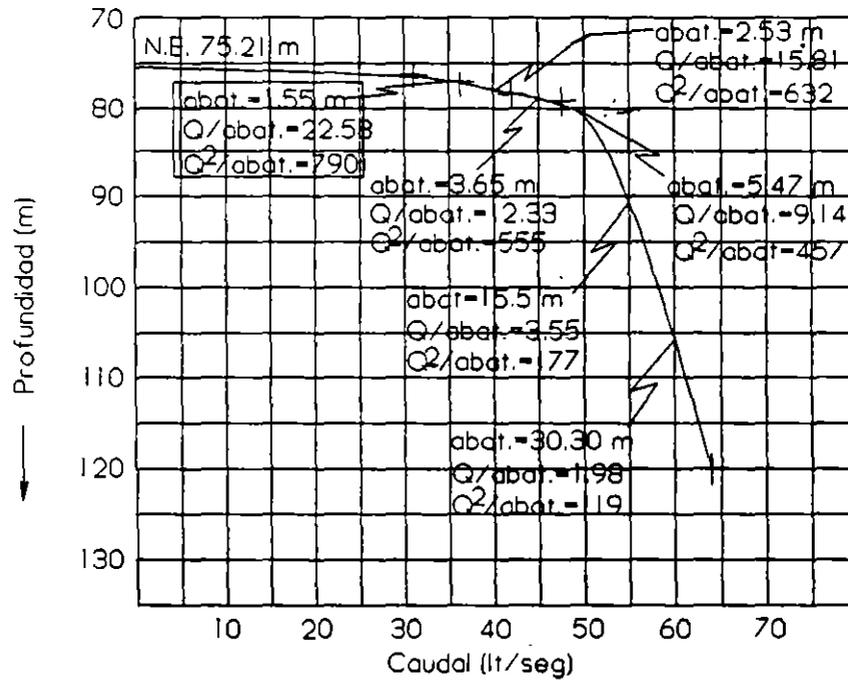
En la Fig. 22 se representa el caudal en el eje de las abscisas contra el costo horario total, dividido entre el caudal correspondiente en las ordenadas, en este caso la curva debe presentar forma de cuna y el punto de menor ordenada señala el óptimo económico del pozo, que coincide en las dos gráficas.

#### **6.4.- CÁLCULO DE LA TRANSMISIVIDAD DEL ACUÍFERO A PARTIR DE LA RECUPERACIÓN DEL POZO.**

Para conocer el funcionamiento de un acuífero y planear su explotación racional, es indispensable conocer dos parámetros esenciales: el Coeficiente de Almacenamiento y la Transmisividad. Estos dos parámetros se establecen a partir de pruebas de bombeo, preferentemente aplicando alguno de los métodos de variación. Estas pruebas requieren, además de un pozo de bombeo, de al menos un

Figura 20.- Curva de aforo y caudal óptimo de explotación.

Pozo: Muralla No 5 Propietario: SAPAL  
 Localización: La Muralla, Gto.  
 Fecha de inicio: 8/8/90 de terminación: 10/8/90  
 Profundidad del pozo: 165m Nivel estático: 75.21 m  
 Cámara de bombeo de: 8" Perforó: \_\_\_\_\_  
 Aforó: PERMEX Motor de: H.P.  
 Columna de: 100 m y: 8" de diámetro  
 No de impulsores: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ Diámetro: \_\_\_\_\_



Conclusiones: Desde el punto de vista hidráulico el caudal óptimo de este pozo es de 35 l/seg, punto donde se obtiene la mejor relación  $Q^2/abat.$ . Pero hasta llegar a 45 l/seg esta relación desciende muy suavemente y es a partir de los 50 l/seg donde el descenso se vuelve mas brusco. Por consiguiente se recomienda explotar este pozo a 45 l/seg.

Tabla 9.

**ANALISIS DEL COSTO HORA MAQUINA (C.H.M.)**

		Clave:			
MAQUINA: Pozo Muralla 5		MODELO:			
CAPACIDAD:		DATOS ADICIONALES:			
<b>DATOS GENERALES</b>					
1) Precio de adquisición (Va)	\$200,000,000	15) Motor electrico	0 Kw/h		
2) Equipo adicional	\$0	16) Factor de operación	80%		
3) Valor llantas (VII)	\$0	17) Pot. operac.diesel (POD)	0 H.P.		
4) Valor inicial (Va)	\$200,000,000	18) Pot. operac.gasol. (POG)	0 H.P.		
5) Valor rescate (Vr) \$	0%	19) Rot. operac.electr. (POE)	0 H.P.		
6) Vida económica (Ve)	15	20) Precio litro de diesel (Pc)	\$455		
7) Tasa de interes anual (i)	20%	21) Precio litro de gasol. (Pc)	\$500		
8) Horas anuales (Ha)	4,500 h/año	22) Precio del Kw/h	\$300		
9) Prima anual seguros (s)	0%	23) Capacidad del carter (C)	10 lt		
10) Fac.manten.mayor (Q)	50%	24) Tiemp. / camb. aceite (t)	100 h		
11) Fac.manten.menor (q)	10%	25) Precio del aceite (lt) (Pa)	\$3,000		
13) Motor diesel	0 H.P.	26) Vida económ. llantas (Hv)	3,000 h		
14) Motor gasolina	0 H.P.	27)			
<b>I.- CARGOS FIJOS</b>					
a) DEPRECIACION	$D = (Va - Vr) / (Ve * Ha) =$		\$2,963		
b) INVERSION	$I = (Va + Vr) i / 2 Ha =$		\$4,444		
c) SEGUROS	$S = (Va + Vr) s / 2 Ha =$		\$0		
e) MANTENIMIENTO	$T = Q * D =$		\$1,481		
<b>SUMA CARGOS FIJOS HORA</b>			<b>\$8,889</b>		
<b>II.- CARGOS POR CONSUMO</b>					
a) COMBUSTIBLE; $E = C * Pc$ ( donde C es el consumo de combustible por hora y Pc el precio del litro)					
DIESEL: $E = 0.1514 * POD * Pc =$			\$0		
GASOLINA: $E = 0.2271 * POG * Pc =$			\$0		
b) ENERGIA ELECTRICA: $E = 0.746 * POE * Pc =$					
c) LUBRICANTES					
DIESEL: $L = ( (C/t) + 0.0035 * POD * Pa ) =$					
GASOLINA: $L = ( (C/t) + 0.0030 * POG * Pa ) =$					
d) LLANTAS: $LI = VII / Hv =$			\$0		
e) MANTENIMIENTO MENOR: $Mm = q * D =$					
SUMA			\$0		
f) OTROS CONSUMOS (Desperdicios, herramienta, estopa, grasa, etc): $Oc = suma * 10 \% =$			\$0		
<b>SUMA CAR. CONSUM. HORA</b>			<b>\$0</b>		
<b>III.- CARGOS POR OPERACION</b>					
Pocero	tno.	\$15,000	Factor rendimiento salarios	1.572	
	tno.	\$0	Horas por turno	8	
	tno.	\$0	Cargo salarios = Salario/turno * Fac.Sal. / (h/turno)		
	tno.	\$0			
SUMA		tno.	\$15,000		
<b>SUMA CARGOS MANO OBRA :</b>			<b>\$2,948</b>		
<b>SUMA CARGOS HORARIOS :</b>			<b>\$11,836</b>		
MAQ. TRAB. INDIRECTOS	28%	\$3,314	UTILIDAD	10%	\$1,184
MAQ. PARADA. INDIRECT.	28%	\$3,314	UTILIDAD	10%	\$1,184
<b>h MAQ. TRABAJO; PRECIO</b>		<b>\$16,334</b>	<b>COSTO DIRECTO</b>		<b>\$11,836</b>
<b>h MAQ. PARADA; PRECIO</b>		<b>\$16,334</b>	<b>COSTO DIRECTO</b>		<b>\$11,836</b>

Tabla 10.

**ANALISIS DEL COSTO HORA MAQUINA (C.H.M.)**

89

		Clave:	
MAQUINA: Bomba Muralla 5		MODELO: H.P.	
CAPACIDAD:		DATOS ADICIONALES:	

DATOS GENERALES			
1) Precio de adquisición (Va)	\$95,000,000	15) Motor electrico	0 Kw/h
2) Equipo adicional	\$0	16) Factor de operación	0%
3) Valor llantas (VII)	\$0	17) Pot. operac diesel (POD)	0 H.P.
4) Valor inicial (Va)	\$95,000,000	18) Pot. operac.gasol. (POG)	0 H.P.
5) Valor rescate (Vr) \$ 0%	\$0	19) Pot. operac.electr. (POE)	0 H.P.
6) Vida económica (Ve)	7	20) Precio litro de diesel (Pc)	\$455
7) Tasa de interes anual (i)	20%	21) Precio litro de gasol. (Pc)	\$500
8) Horas anuales (Ha)	4,500 h/año	22) Precio del Kw/h	\$300
9) Prima anual seguros (s)	1%	23) Capacidad del carter (C)	1 lt
10) Fac.manten.mayor (Q)	70%	24) Tiemp. / camb. aceite (t)	1 h
11) Fac.manten.menor (q)	10%	25) Precio del aceite (lt) (Pa)	\$1
13) Motor diesel	0 H.P.	26) Vida económ. llantas (Hv)	1 h
14) Motor gasolina	0 H.P.	27)	

I.- CARGOS FIJOS			
a) DEPRECIACION	$D = (Va - Vr) / (Ve * Ha) =$		\$3,016
b) INVERSION	$I = (Va + Vr) i / 2 Ha =$		\$2,111
c) SEGUROS	$S = (Va + Vr) s / 2 Ha =$		\$106
e) MANTENIMIENTO	$T = Q * D =$		\$2,111
<b>SUMA CARGOS FIJOS HORA</b>			<b>\$7,344</b>

II.- CARGOS POR CONSUMO			
a) COMBUSTIBLE; $E = C * Pc$ ( donde C es el consumo de combustible por hora y Pc el precio del litro)			
DIESEL: $E = 0.1514 * POD * Pc =$			\$0
GASOLINA: $E = 0.2271 * POG * Pc =$			\$0
b) ENERGIA ELECTRICA: $E = 0.746 * POE * Pc =$			\$0
c) LUBRICANTES			
DIESEL: $L = ((C/t) + 0.0035 * POD * Pa) =$			
GASOLINA: $L = ((C/t) + 0.0030 * POG * Pa) =$			
d) LLANTAS: $LI = VII / Hv =$			\$0
e) MANTENIMIENTO MENOR: $Mm = q * D =$			
SUMA			\$0
d) OTROS CONSUMOS (Desperdicios, herramienta, estopa, grasa, etc): $Oc = suma * 10\%$		\$	\$0
<b>SUMA CAR. CONSUM. HORA</b>			<b>\$0</b>

III.- CARGOS POR OPERACION			
tno.	\$0	Factor rendimiento salarios	1.572
tno.	\$0	Horas por turno	8
tno.	\$0	Cargo salarios = Salario/turno * Fac.Sal. / (h/turno)	
tno.	\$0		
<b>SUMA</b> tno.	<b>\$0</b>		
<b>SUMA CARGOS MANO OBRA :</b>			<b>\$0</b>

<b>SUMA CARGOS HORARIOS :</b>		<b>\$7,344</b>	
MAQ. TRAB. INDIRECTOS 28%	\$2,056	UTILIDAD 10%	\$734
MAQ. PARADA. INDIRECT. 28%	\$2,056	UTILIDAD 10%	\$734

<b>h MAQ. TRABAJ.; PRECIO</b>	<b>\$10,134</b>	<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$7,344</b>
<b>h MAQ. PARADA.; PRECIO</b>	<b>\$10,134</b>	<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$7,344</b>

Tabla N° 11 Eficiencia económica.					COSTO FIJO : \$19.180		Pozo
CAUDAL EN l/seg	CAUDAL EN m <sup>3</sup> /hr	NIVEL DINAMI.. m	HP	Kw/hr	COSTO VARIABLE \$/hr	COSTO TOTAL \$/hr	EFICIENCIA \$/Q
0	-0	75.21	0	0	\$0	\$19.180	\$0
5	18	75.28	27	20	\$3.068	\$22.248	\$1.236
10	36	75.47	55	41	\$6.152	\$25.332	\$704
15	54	75.61	83	62	\$9.245	\$28.425	\$526
20	72	75.81	110	82	\$12.359	\$31.539	\$438
25	90	76.06	139	103	\$15.500	\$34.680	\$385
30	108	76.27	167	124	\$18.651	\$37.831	\$350
35	126	76.76	196	146	\$21.899	\$41.079	\$326
40	144	77.74	227	169	\$25.348	\$44.528	\$309
45	162	78.86	259	193	\$28.927	\$48.107	\$297
50	180	80.68	294	219	\$32.883	\$52.063	\$289
55	198	90.71	364	271	\$40.668	\$59.848	\$302
60	216	105.51	461	344	\$51.603	\$70.783	\$328
65	234	120.00	568	424	\$63.581	\$82.761	\$354

Figura 21.- COSTO TOTAL-CAUDAL

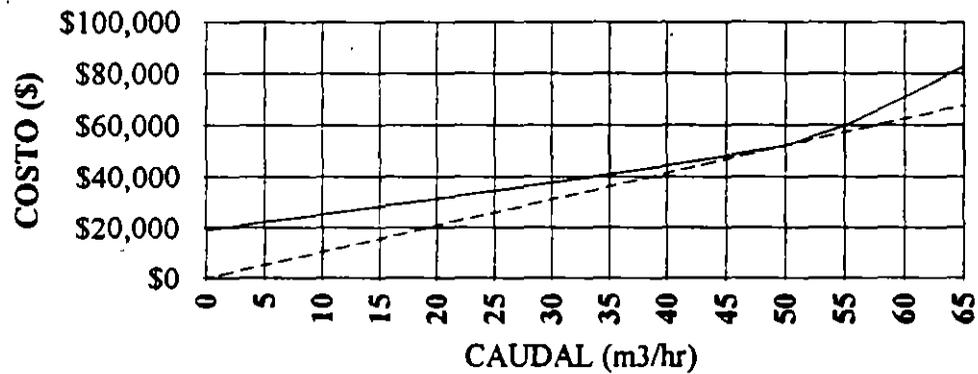
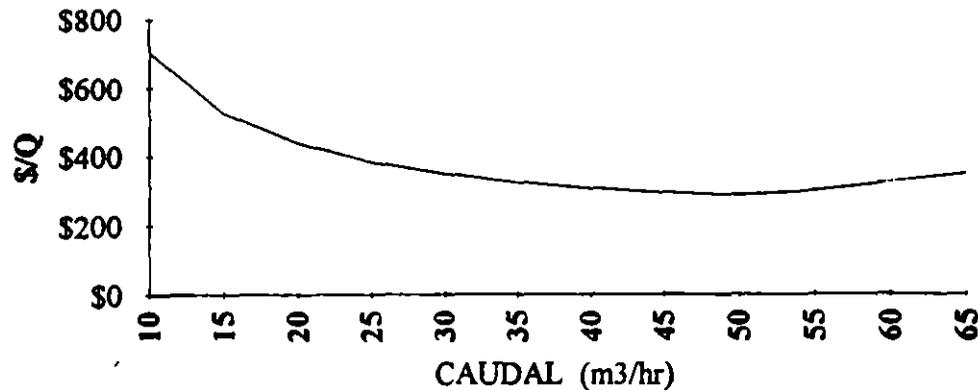


Figura 22.- EFICIENCIA ECONOMICA-CAUDAL



piezómetro, (aunque se recomiendan de dos a cuatro), donde se lean los descensos provocados por el bombeo. Esta condición se da raras veces, por lo que tampoco es frecuente conocer el funcionamiento de los acuíferos.

Se define la transmisividad como la cantidad de  $m^3$  de agua, que a una temperatura de  $20^\circ C$ , atraviesa durante un día, una faja de acuífero de altura  $m$  igual a la del acuífero y de un metro de ancho, bajo un gradiente unitario ( $1m/1m$ ). También se define como el producto de la permeabilidad media del acuífero por su espesor, bajo las mismas condiciones antes determinadas.

$$T = K m \quad (6.1)$$

Donde:

$T$  = Transmisividad en  $m^2/día$ .

$K$  = coeficiente de permeabilidad en  $m/día$ .

$m$  = espesor medio del acuífero en  $m$ .

La transmisividad se puede calcular en forma aproximada, aun cuando no exista pozo de observación, mediante la medición de la recuperación en el propio pozo de bombeo, aplicando la fórmula simplificada de Jacob:

$$T = 0.1832 (Q / (s_2 - s_1)) \quad (6.2)$$

donde:

$T$  = Transmisividad en  $m^2/día$ .

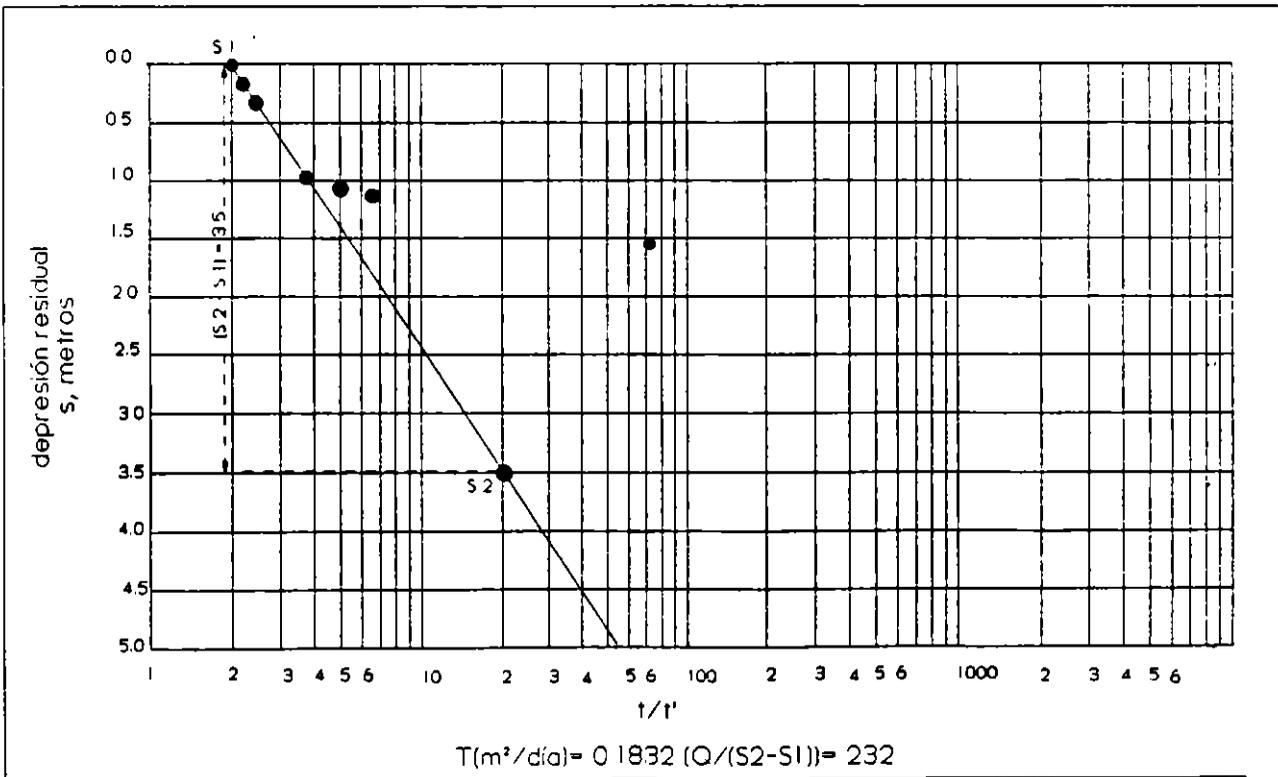
$Q$  = Caudal del último escalón de bombeo en  $m^3/día$ .

$s_2 - s_1$  = Diferencia de nivel durante un ciclo logarítmico, en la porción de la gráfica en que ésta se adapta a una recta.

La aplicación de la fórmula de Jacob requiere conocer la diferencia de nivel durante un ciclo logarítmico que se obtiene graficando en un papel semilogarítmico el tiempo en el eje logarítmico, contra el ascenso en el eje normal (Fig. 23).

CALCULO DE TRANSMISIBILIDAD A PARTIR DE LA RECUPERACION DEL POZO (METODO DE JACOB)					
FECHA:	POZO: Muralla 5		LOCALIZ.:		
PRUEBA N°:	ESTADO:		MUNICIPIO:		
PROPIETARIO:	RESPONS.		CUADR. N°:		
Q en (l/seg) y (m <sup>3</sup> /día): 51.3		4432.32		Nivel Estático (m): 99.33	
Tiempo desde que se inicio el bombeo (t minutos)	Tiempo desde que se detuvo el bombeo (t' minutos)	lt'	Nivel dinamico (m)	Depresion residual (s' metros)	
30.0					
30.5	0.50	61.00	100.87	1.54	
35.3	5.30	6.66	100.46	1.13	
37.5	7.50	5.00	100.39	1.06	
40.0	10.00	4.00	100.28	0.95	
50.0	20.00	2.50	99.66	0.33	
55.0	25.00	2.20	99.50	0.17	
60.0	30.00	2.00	99.33	0.00	

Figura 23.- Gráfica de transmisibilidad



## **CAPÍTULO 7.- HERRAMIENTAS DE PESCA**

En el vocabulario de la perforación de pozos, se llaman "operaciones de pesca" a aquellas tendientes a extraer desde el pozo hasta la superficie, cualquier material indeseable que se encuentre en su interior. Por extensión, en el mantenimiento y rehabilitación de pozos se emplea la misma terminología, si bien el tipo de objetos que se pescan en una y otra actividad difieren, pues mientras que en la perforación lo usual es extraer la propia herramienta de perforación, en la rehabilitación, por lo general, se pescan bombas y objetos que por descuido o accidente caen dentro del pozo.

### **7.1.- TIPOS DE HERRAMIENTAS**

El tipo de herramienta que se utiliza para una pesca es muy variado, pues depende de el tipo de objeto de que se trate, de la experiencia, preferencia y recursos propios de cada operador, por lo que resulta poco práctico el pretender dar reglas o "recetas" al respecto, con excepción de las que siguen, que resultan de aplicación general a cualquier maniobra de pesca:

1 - No iniciar ninguna maniobra de pesca antes de tener toda la información posible al respecto, como geometría del pescado, situación en el pozo, peso aproximado, está libre o aprisionado, etc.

2 - Organizar detenidamente las maniobras requeridas para la pesca en el orden correspondiente y verificar si cuenta con el equipo y materiales necesarios, en caso negativo obtenerlos antes de iniciar la operación.

3 - Repasar toda la estrategia de pesca varias veces y si no se encuentran fallas ni posibles mejoras, se puede iniciar la pesca.

Las herramientas a utilizar son también muy variadas y en muchos casos construidas en campo, por lo que sólo se citan las más usadas en máquinas de percusión y fabricadas por casi todas las firmas especializadas.

#### **7.1.1.- Porta-cable rígido.**

Para realizar las labores de pesca se emplea un porta-cable rígido, en lugar del giratorio, usado para perforar, ya que con él no existe variación en la longitud del cable, como sucede con el portacable giratorio. Como la precisión es muy importante en las maniobras de pesca, se deben cuidar todos los detalles, de ahí la necesidad de tener en cuenta que un error de unos pocos centímetros puede estropear una maniobra de pesca. Si no se cuenta con un portacable rígido, se puede utilizar

el giratorio, pero introduciendo un trozo de madera que acuñe la bala, con lo que se evita su juego.

#### **7.1.2.- Barretón de pesca.**

El barretón (Fig. 24 a) de pesca es más corto y ligero que el normal utilizado en la perforación. Se utiliza debajo del portacable y encima de las tijeras de pesca.

#### **7.1.3.- Tijeras de pesca.**

Son iguales que las tijeras de perforación, pero su carrera es más larga (Fig. 24 b), de manera que excede el desplazamiento de la biela (Tabla 6). La finalidad de esta característica es que al golpear hacia arriba no se aplique un golpe hacia abajo al mismo tiempo, pues si se pega en ambos sentidos existe una gran probabilidad de que la pesca se desenganche. Esta misma condición es aplicable al golpe hacia abajo. Las tijeras de perforar, en cambio, se utilizan para soltar la herramienta que quedó atrapada, condición en que es muy conveniente el golpear simultáneamente en los dos sentidos, razón por la que su carrera es menor o cuando mucho igual a la de la biela.

#### **7.1.4.- Corta-cable.**

Cuando las herramientas están tan atascadas en el pozo y no se pueden soltar con el golpeador, se tiene que cortar el cable lo más cerca posible del portacable, para intentar después una pesca con campana.

El cortador de cable completo (Fig. 24 c), comprende de portacable rígido, un barretón, tijera de pesca y corta-cable, manejado con el cable de cuchara.

Para operar, se quita la tapa del cortador, las cuchillas y los pasadores y se arma alrededor del cable, pero sin poner las cuchillas. Se tensa el cable que se ha de cortar.

Se baja el cortador comprobando que corra por el cable libremente hasta el portacable, se sube y se le agregan las cuchillas limpias y bien engrasadas, se baja otra vez hasta el portacable. La acción de corte se realiza golpeando hacia arriba sucesivamente

#### **7.1.5.- Golpeador.**

Se utiliza para soltar herramientas que se han acuñado (Fig. 25 a) Esto suele

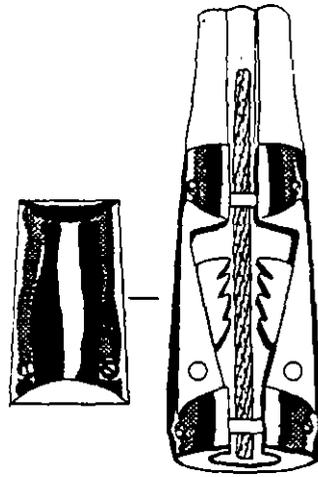
Figura.- 24. Herramienta de pesca



a) Barretón de pesca



b) Tijeras de pesca



c) Corta cable

Figura 25.- Herramientas de pesca.



a). Golpeador.



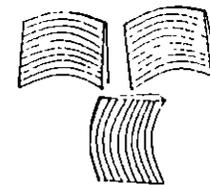
b). Campana de fricción.



c). Campana de mordazas.



d). Campana de círculo completo.



ocurrir cuando se perfora sin tijeras, pues es más fácil que se atore la herramienta, sin tener el impulso extra que otorgan las tijeras. El golpeador se suspende del cable de la cuchara y el cable de perforación sirve como guía. Para impedir que se enreden los cables de cuchareo y de perforación, se debe tensar este último antes de descender el golpeador, que de preferencia no se debe bajar de una sola vez sino en varios tramos. Una vez que ha tocado el cuello del portacable, se sube unos 3 a 5 metros, para luego dejarse caer libremente, por lo común unos cuantos golpes aflojan la herramienta, exceptuando en algunas ocasiones en que la herramienta está atrapada por algún caído.

Si por algún desprendimiento, se atascan las tijeras, pueden desatorarse utilizando un método análogo, pero aplicando menos tensión al cable de perforación y dejando el freno del malacate de perforación apretado ligeramente.

Si no se dispone de corta-cable, el golpeador puede cortar el cable del portacable, dejando a este cable un poco flojo, y golpeando sucesivamente unas 10 o 12 veces desde una altura de 3 metros, a continuación se le dan tirones sucesivos, hasta que el cable se rompe de la parte machacada por el golpeador.

#### **7.1.6.- Campana de fricción.**

La forma de pescar, cuando se desenrosca o rompe la rosca de una broca, es con una campana de fricción (Fig. 25 b). No se debe intentar pescarlo a la primera, si no golpear un poco hacia abajo y después golpear la campana para ver las señales que la broca deja en ella. Si se observa que la broca ha entrado en la campana, se golpea más fuerte hasta que se atore, y se comienza a subir. Hay que recordar que esta unión es debida solo a la fricción, por lo que no aguanta muchos golpes hacia arriba.

Si al golpear la broca se observa en la campana que no entra dentro de ella, quiere decir que se está golpeando de lado, ocasionando enterrarla más, por lo que hay que suspender esta operación y bajar una costilla para enderezarla, y después poder continuar con la campana de fricción.

#### **7.1.7.- Campana con mordazas.**

Sirve para pescar el cuello de un portacable después de que se ha cortado el cable. También se puede utilizar para pescar la rosca macho de cualquier herramienta, o cualquier objeto cilíndrico, como son el barretón de perforación o la tubería, que esté en posición vertical, con la condición que el diámetro sea 0.5 cm menor que el interior de la campana. Las cuñas son de dos tipos: cónicas que sir-

ven para pescar roscas, y cilíndricas para pescar cuellos de portacable y objetos cilíndricos. Teniendo distintos tamaños para cada pieza que se quiera pescar.

Esta herramienta (Fig. 25 c) es sumamente efectiva, y es muy difícil que ésta se desprenda, una vez realizada la pesca, por lo que antes de pescarla, es necesario asegurarse de que la herramienta a pescar no esté acuñada de tal forma que sea imposible sacarla.

Para las operaciones con la campana de mordaza se utilizan las tijeras de pesca, y el golpe más corto de la máquina. Se baja la campana lentamente hasta alcanzar la pesca, dándole unos cuantos golpes hacia abajo para hacer el enganche. Si no sale, hay que golpear hacia arriba, es conveniente golpear corto y rápido, esta acción puede durar algunas horas. Si no queda libre se puede dar un golpe más largo y fuerte. Si no se puede soltar la herramienta, lo único que queda por hacer es desenganchar la campana, golpeando en los dos sentidos simultáneamente. Si se suelta en pocos minutos no se dañará la campana, pero frecuentemente puede tardar más tiempo en soltar, con graves daños a ésta.

Después de terminar la pesca, se desengancha la campana, desarmándola y limpiándola para tenerla lista cuando sea necesario.

#### **7.1.8.- Campana de círculo completo.**

La campana de círculo completo (Fig. 25 d) sirve para realizar pescas de cuellos de barretón, tijeras, brocas u objetos cilíndricos en posición vertical. Su uso y procedimiento de pesca es igual al de la campana de mordazas, tomando las mismas precauciones.

#### **7.1.9.- Costilla.**

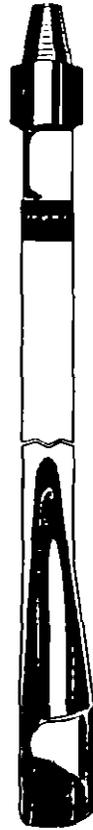
Esta herramienta (Fig. 26 a) sirve para enderezar brocas o herramientas recargadas sobre la pared, de manera que no puedan ser pescadas por una campana. También puede desacuñar una barra. La manera de utilizarla es bajándola hasta que esté al lado de la pesca, y entonces golpear con la máquina simultáneamente arriba y abajo. Después de 20 o 30 minutos, se quita la costilla y se hace un intento por pescar.

Si este método no da resultado, hay que colocar la costilla encima de ella, y se hace descender toda su longitud entre la pared y el pescado. Se pone en movimiento golpeando arriba y abajo, abriendo así un hueco entre la herramienta y la pared, para poder introducir más fácilmente la campana.

Figura 26.- Herramienta de pesca.



a). Costilla



b). Mano de diablo.



c). Pescante de cucharas.



d). Pescacables.



e). Pescante de cables y cucharas.

### **7.1.10.- Gancho centrador (Mano de diablo).**

Se utiliza para poner en pie herramientas que estén apoyadas en la pared y no se puedan enderezar con la costilla (Fig. 26 b). Se puede utilizar un portacable giratorio o tubería en lugar de cable.

Se baja el gancho hasta que se encuentre a un lado del objeto a pescar, y se sube muy despacio, hasta llegar a la parte superior de la herramienta perdida. A continuación se arroja al pozo escoria, carbón u otro material blando para evitar que la herramienta se vuelva a acostar en la pared.

### **7.1.11.- Pescante de cucharas.**

Esta herramienta (Fig. 26 c) se utiliza para pescar cucharas que han quedado en el pozo con poco o nada de cable sobre ellas. El pestillo abre hacia arriba para permitir la entrada del asa de la cuchara dentro de la horquilla del pescante, pero no lo hace hacia abajo, con lo que se logra la pesca de la cuchara.

### **7.1.12.- Pesca-cable.**

Se utiliza para pescar herramientas unidas a una cantidad más o menos grande de cable (Fig. 26 d), el cual se enreda en los ganchos de que va provisto el pescante.

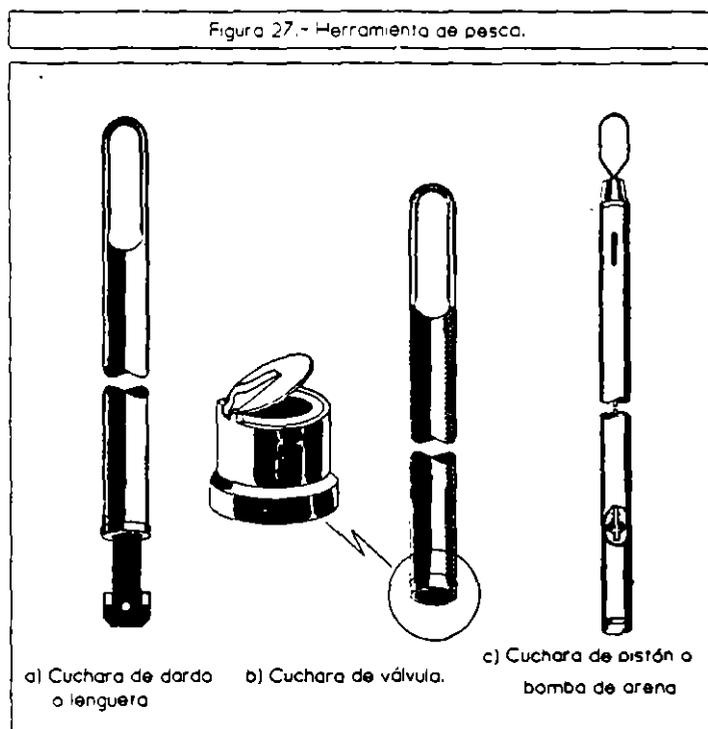
### **7.1.13.- Arpón pesca-cable con pestillo.**

Se trata de una herramienta híbrida de las dos que se acaban de describir (Fig. 26 e), que se utiliza cuando se rompe el cable de perforación y queda la herramienta con cable encima. También se utiliza si se rompe el cable de una cuchara.

Se mide el cable desde el punto que corresponde al nivel del suelo hasta el extremo y tomando en cuenta la longitud de la herramienta y la profundidad del sondeo, se determina la cantidad de cable que quedó en el interior.

Si la cuchara quedó con poco cable, puede ser pescada por el asa con el pestillo de la parte inferior de este pescador. Debe cuidarse que no baje tanto y pueda atorarse con las tijeras, complicando la pesca. Para evitar esto, es conveniente que el pescador lleve un disco de madera de diámetro aproximado al del sondeo.

Debe comprobarse que al enganchar con el arpón, quede bien fijo, esto se



hace subiendo la pesca unos 5 o 6 metros y aplicando ligeramente el freno de tambor, para que si la pesca no está bien enganchada, ésta se suelte desde poca altura, lo que es preferible a que ocurra de una altura mayor.

Si las herramientas están atascadas, habrá que ir sacando el cable a pequeños trozos.

#### 7.1.14.- Cucharas.

Aunque la cuchara no es en realidad una herramienta de pesca, se incluye en este capítulo en vista de que su uso es constante en trabajos de rehabilitación de pozos.

Las cucharas más usuales son la de dardo (Fig. 27a) y la de válvula (Fig. 27b), cuya diferencia estriba sólo en el tipo de cierre que permite la entrada e impide la salida del material "cuchareado", el cual previamente debe encontrarse en suspensión para poder penetrar al interior de la cuchara.

La cuchara de pistón (Fig. 27c), también conocida como bomba de arena, introduce el material a su interior por la succión que provoca un émbolo que se acciona desde la superficie mediante un cable. Resulta muy práctica para extraer materiales gruesos como la arena e incluso gravilla.

## **CAPÍTULO 8.- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL POZO.**

En la construcción de un pozo interviene un número reducido de materiales, número que se reduce aun más al tratar de la rehabilitación, en la que se llegan a utilizar solamente filtro granular, ademes y algunos productos químicos, como los dispersantes de arcillas, cloro, o ácidos. Estos productos se han tratado en el inciso 5.2 al comentar el desarrollo de pozos. En este capítulo se comenta lo referente al filtro y el ademe.

### **8.1.- EI FILTRO GRANULAR.**

La presencia de arena en los pozos es uno de los problemas más frecuentes que se presentan debido, en la mayoría de los casos, a un mal diseño, construcción deficiente o ambas causas.

Una solución temporal a la presencia de arena consiste en un desarrollo energético del pozo, que penetre lo más profundamente posible en el acuífero, dejándolo limpio de arena, pero dado que no se han modificado las condiciones defectuosas originales, el pozo volverá a producir finos, aunque si el tratamiento es lo suficientemente profundo, puede permitir varios años de operación normal, antes de requerir una nueva rehabilitación.

Para remediar en forma definitiva el problema, en la rehabilitación se debe realizar lo que debió hacerse al construirlo, o sea, colocar un cedazo y filtro granular adecuados a la granulometría del acuífero, lo que sólo puede lograrse instalando en el interior de la obra un nuevo cedazo y filtro granular diseñados en función de la granulometría del azolve extraído del pozo.

Lo anterior limita esta solución a pozos con ademes de grandes diámetros, pues el nuevo cedazo y filtro lo reducen en 15.24 cm (6") como mínimo, lo que implica cambiar a una bomba de menor diámetro y por tanto de menor caudal. En resumen, esta posibilidad depende de las características geométricas del pozo y de los requerimientos de explotación. Por otra parte, los nuevos elementos colocados implican pérdidas de carga adicionales y por tanto, una baja en la capacidad específica del pozo.

#### **8.1.1.- Gráfica granulométrica.**

Para calcular el filtro granular que requiere un pozo, es necesario, como primer paso, obtener una muestra del material que se pretende filtrar y a partir de ésta, elaborar la curva granulométrica acumulativa. En la rehabilitación de un pozo productor de sólidos se muestrea el material de azolve en el pozo, que no pudieron

detener el cedazo y el filtro original.

La muestra seleccionada se pesa y se hace pasar por un juego de cedazos de distintas aberturas, dispuestas de mayor a menor abertura (Ver Fig. 28), pesándose el material retenido por cada malla y calculando el porcentaje de retención parcial con respecto al peso total. Después se calcula el porcentaje acumulado que pasa, restando del 100 %, la sumatoria de la retención parcial de cada una de las mallas anteriores, y a continuación se grafica en un papel semilogarítmico el porcentaje acumulado que pasa en el eje de escala normal y la abertura de la malla en el eje logarítmico.

En la Fig. 29 se presenta una curva granulométrica obtenida a partir de una muestra heterogénea extraída del azolve de un pozo en rehabilitación, que tiene un peso de 1.350 gr. En la tabla de la parte superior aparecen los pesos retenidos por cada malla y a partir de ellos se calculan los porcentajes de retención parcial y el porcentaje acumulado que pasa.

En la parte central de la figura aparecen: la clasificación de materiales granulares de la División de Aguas Subterránea del Servicio Geológico de los Estados Unidos, la representación del tamaño de las mallas utilizadas en la prueba y la curva granulométrica obtenida de la muestra del ejemplo.

#### **8.1.2.- Métodos de diseño del filtro granular.**

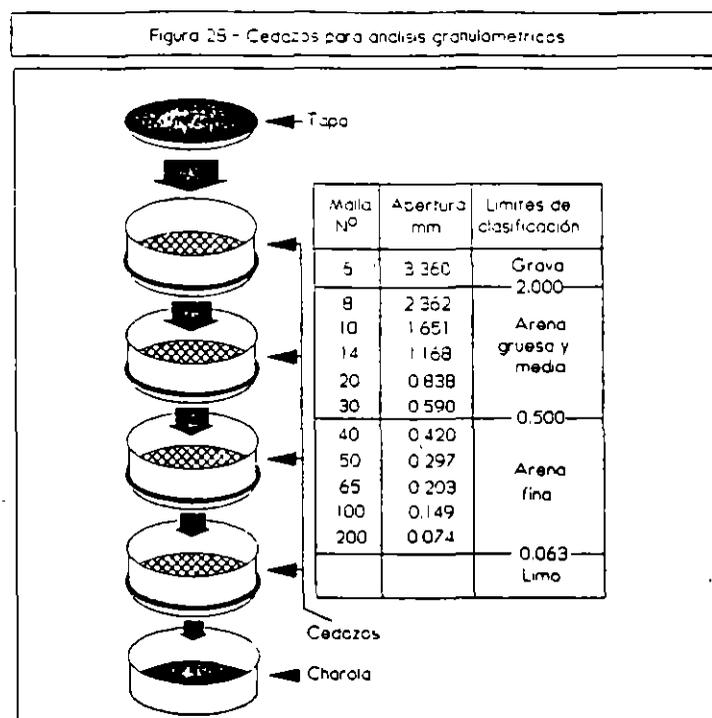
Existen varios métodos para diseñar un filtro granular, sean de tamaños uniforme o graduados. Los más usuales se presentan en el Apéndice E, ilustrados cada uno con ejemplos.

#### **8.1.3.- Espesor del filtro granular.**

Teóricamente, un filtro granular funciona eficientemente con un espesor igual a la suma de 4 diámetros de sus gránulos. En la práctica resulta imposible la colocación de filtros de tan escaso espesor, por lo que se acostumbra colocarlos de espesores entre 6 y 10 cm. Para garantizar que el filtro envuelva perimetralmente a todo el cedazo, éste debe estar provisto de centradores.

#### **8.1.4.- Origen del filtro granular.**

El filtro granular es siempre de origen natural y sus gránulos deben ser lo más redondeado que sea posible, característica que se obtiene en los sedimentos clásticos. En los materiales piroclásticos, los gránulos son de formas angulosas, que resultan más propensos al empacamiento y la correspondiente disminución de



la porosidad. Esta condición desfavorable es extensiva al material triturado, por lo que nunca se deben utilizar como filtro granular en un pozo.

### 8.1.5.- Selección del tamaño de la abertura del cedazo.

La selección del tamaño de la abertura del cedazo depende de la curva del filtro granular, correspondiendo a aquel que retenga el 90 % del material del filtro granular.

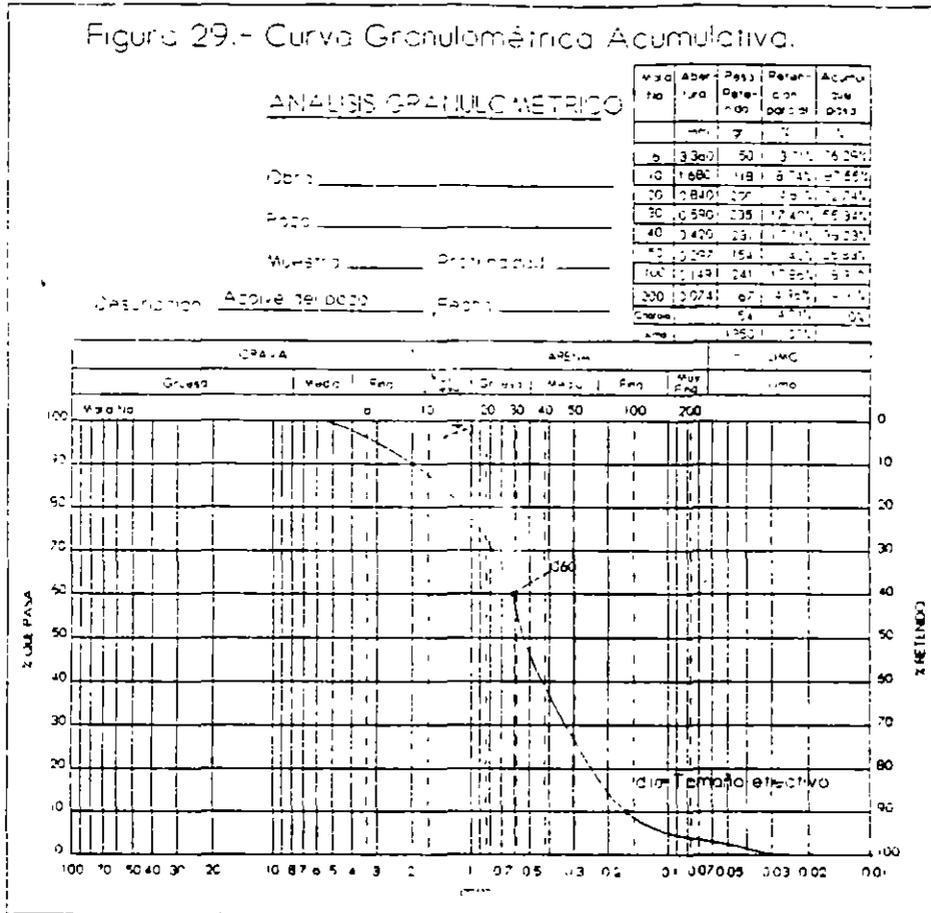
## 8.2.- ADEMES DE POZOS.

El ademe de un pozo se puede dividir en dos porciones principales: la de ademe ciego, que integra la cámara de bombeo y los tramos intermedios entre acuíferos y la de rejilla o cedazo, por donde el agua penetra al pozo. En la rehabilitación de pozos se utilizan preferentemente tramos de cedazo en encamisados interiores.

### 8.2.1.- Materiales constructivos.

Las rejillas de pozo pueden fabricarse con diferentes metales o aleaciones o

Figura 29.- Curva Granulométrica Acumulativa.



con P.V.C. En la Tabla N° 12 se presentan los materiales metálicos mas utilizados, aunque no todos están disponibles en México.

Las rejillas de P.V.C. de alta densidad presentan la ventaja, respecto a las metálicas, de su inalterabilidad por la corrosión y la incrustación, aunado a un precio similar o inferior al del acero. En cambio, su resistencia mecánica es menor, por lo que puede ser peligroso su uso como ademe en pozos de más de 250 m, pero en el caso de encamisados de pozos rehabilitados, en donde generalmente ya existe un ademe metálico exterior, esta limitante pierde importancia.

**8.2.2.- Unión de tubos del ademe.**

La forma de unión de los tubos del ademe durante la construcción del pozo es un tema al que se le ha dado poca importancia dentro de las fases constructivas y sin embargo, es una de las causas mas frecuentes de la falla de tuberías de ademe.

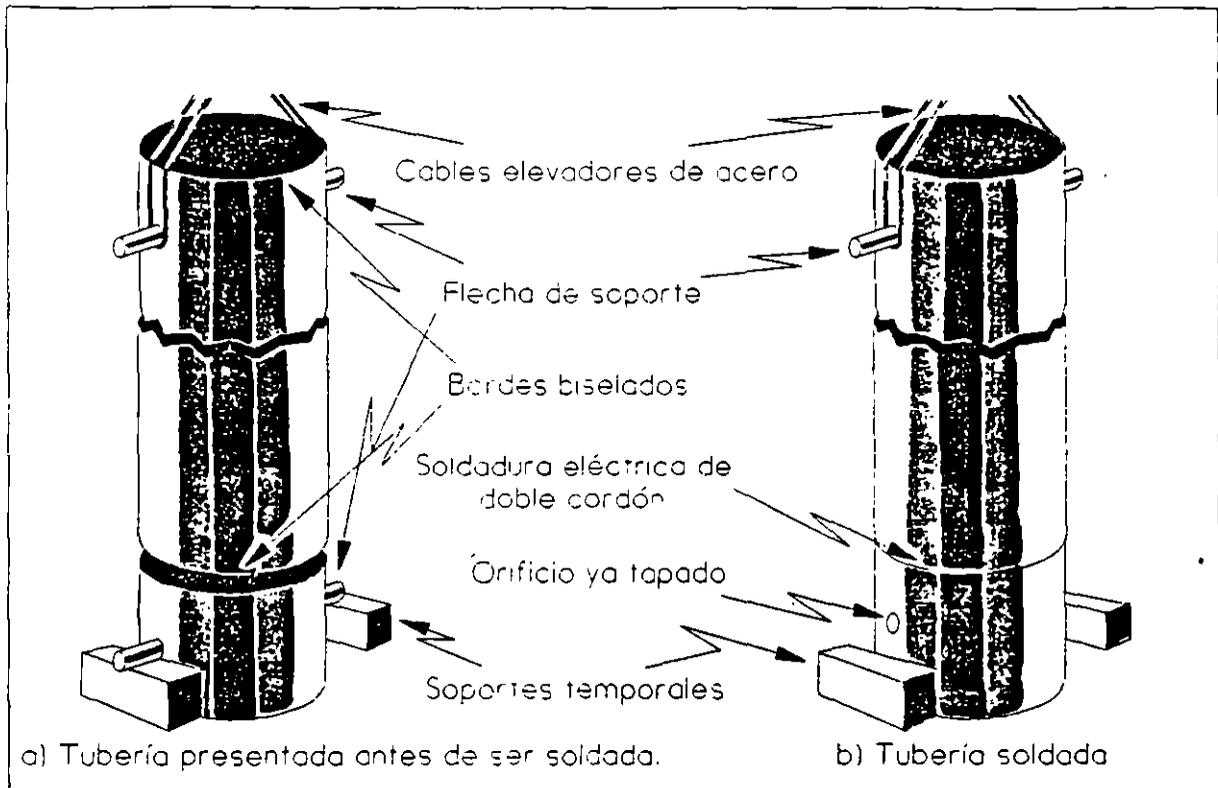
Tabla No. 12.- Metales de rejillas y sus aplicaciones.			
Metal o aleación	Composición nominal	Costo relativo	Aplicaciones
MONEL	70 % níquel 30 % cobre	1.5	Altos contenidos de cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto. No se utiliza generalmente en agua subterránea potable.
ACERO INOXIDABLE	74 % acero 18% cromo 8% níquel	1.0	Presencia de Sulfuro de Hidrógeno, Oxígeno disuelto, Bióxido de carbono. Bacterias ferruginosas. Alta resistencia mecánica.
EVERDUR	96% cobre 3% sílice 1% manganeso	1.0	Aguas de alta dureza total, alto cloruro de sodio, sin oxígeno disuelto, alto contenido de hierro. Muy resistente a los tratamientos con ácido.
BRONCE ROJO AL SILICIO	83% cobre 16% zinc 1% sílice	0.9	Condiciones similares a las del EVERDUR, pero inferior en calidad y resistencia.
HIERRO ARMCO	99.84% hierro puro con doble galvanizado	0.6	No es resistente a una corrosión intensa. Se utiliza para pozos agrícolas en zonas de aguas relativamente neutras.
ACERO	99.35-99.72 % hierro 0.09-0.15 % carbono 0.2-0.5% manganeso (doble galvanizado).	0.5	No es resistente a la corrosión, por lo que en países desarrollados se emplea básicamente en pozos de prueba o de drenaje. No obstante puede alcanzar una larga vida útil si las aguas no son corrosivas ni incrustantes.

De Johnson Division, UOP Inc, 1975 (Modificado)

#### 8.2.2.1.- Ademes metálicos.

Los ademes metálicos pueden ser unidos mediante rosca y cople, cople soldado o por medio de soldadura eléctrica a tope con doble cordón. El orden en que se han citado los métodos corresponde a la calidad técnica de los mismos y por desgracia también a su costo. La soldadura eléctrica a tope, con doble cordón, es el sistema más utilizado, a pesar del gran número de problemas que se pueden presentar por su uso. El problema más frecuente se deriva de la necesidad de suspender la tubería, durante la operación de ademado, de una flecha que atraviesa el ademe a través de unas perforaciones practicadas transversalmente al

Figura 30.- Colocación de ademe metálico soldado a tope.



tubo (Fig.30). Una vez soldados dos tubos consecutivos y por tanto ya unidos, se retira la flecha del inferior y se cierran las perforaciones con el mismo trozo de tubería que previamente se había cortado, posteriormente se baja este tramo de tubería al interior del pozo. Es común la falta de atención en la soldadura con que se cierran estas tapas, que se abren con facilidad al poco tiempo de instaladas, dejando abierto un orificio de tamaño suficiente como para que penetre el material del filtro, o el terreno, al interior del pozo, lo que puede significar la ruina de la obra a no ser que se proceda a su encamisado, con un costo que casi siempre sobrepasa la diferencia en precio con el ademe con cople.

Otro problema frecuente en este tipo de uniones de ademe, estriba en tubos con la boca deformada por golpes o rolado defectuoso, otros sin biselar o tubos previamente cortados con soplete, de bordes irregulares. Cualquiera de estas circunstancias impiden una correcta soldadura de dos tubos y a veces la necesidad de rellenar pequeños huecos en la unión con varillas de soldadura o pequeñas piezas de acero. Evidentemente esta condición implica una unión defectuosa, que puede provocar severos problemas durante el funcionamiento del pozo.

### 8.2.2.2.- Ademes de P. V. C.

Los ademes de P.V.C. se ensamblan generalmente mediante uniones de campana y espiga y por medio de limpiador y pegamento o con cople unido también con limpiador y pegamento. En los dos casos se obtiene una unión adecuada, tan resistente o más que el propio tubo.

## **CAPÍTULO 9.- LA SUPERVISIÓN EN LA REHABILITACIÓN DE POZOS**

### **9.1.- RECOPIACIÓN PRELIMINAR DE INFORMACIÓN.**

La supervisión de rehabilitación de pozos es una actividad cuyo desempeño resulta muy particular, pues rara vez es posible conocer de antemano el alcance que se tendrá en el trabajo. generalmente, durante la realización del trabajo, el problema se va develando y se requiere que el supervisor tenga capacidad técnica para tomar sobre la marcha las decisiones que se requieran. Las consecuencias de esta relativa improvisación, es que los resultados de la rehabilitación dependan en gran medida de la calidad de la supervisión, complementada, desde luego, por la de el ejecutor de los trabajos. El conocer sólo en forma aproximada los trabajos de rehabilitación, hace difícil establecer el presupuesto de obra.

Los imprevistos de todo tipo se atenúan en razón directa a la información de que se disponga, referente a las características constructivas, geohidrológicas, etc. del pozo, por lo que antes de iniciar cualquier programa de rehabilitación es conveniente recabar el máximo de información sobre los pozos que se pretenden reparar, con la finalidad de hacer fácil, rápida y acertada la toma de decisiones.

Además de una descripción de las razones que motivan la rehabilitación, conviene recopilar la siguiente información:

- Croquis de localización del pozo.
- Estratigrafía.
- Diseño del pozo.
- Modificaciones posteriores al diseño original.
- Información de los pozos vecinos.
- Datos del aforo original y subsecuentes.
- Registros de verticalidad.
- Registros eléctricos.
- Características del equipo electromecánico.

- Calidad del agua.

Estos datos deben manejarse en tablas o croquis (por pozo) similares a los que se presentan en el apéndice G, con el fin de que puedan utilizarse fácilmente.

Para seleccionar el método y equipo de rehabilitación deben tomarse en cuenta las siguientes características de la obra de captación:

- Geometría del pozo como: diámetro o diámetros del ademe y localización de los cambios cuando los hubiera, situación de los tramos ciegos y de cedazo y profundidad total del pozo.
- Datos hidráulicos como: nivel estático, dinámico, caudal de explotación y, si existieran, reportes de aforos previos.
- Características del área de trabajo como: acceso al pozo, dimensiones del área de trabajo, dirección en que se desplazará el agua que se extraiga del pozo o los productos químicos que se requieran para la rehabilitación, cercanía a zonas habitacionales cuyos moradores pudieran ser incomodados por los trabajos, etc.

Con la información antes enunciada, puede elegirse el sistema y equipo más adecuado para realizar la rehabilitación del pozo, el cual se tratará que tenga capacidad sobrada, con el fin de poder realizar maniobras imprevistas que rebasen las expectativas preliminares.

Cuando la bomba del pozo se encuentra en condiciones de operar, puede utilizarse para efectuar una serie de mediciones que pueden resultar muy significativas acerca del funcionamiento del sistema pozo-bomba. Este tema se trató con más amplitud en el Capítulo 1.

## **9.2.- DESINSTALACIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.**

Es recomendable que cuando se desinstala un equipo de bombeo que por mucho tiempo ha estado trabajando en un pozo, se relacionen los acontecimientos anómalos que ocurran en la maniobra, pues si durante la misma se presentaran atones o fricción de la bomba con el ademe se establecería la profundidad y magnitud del problema.

Una vez desinstalado el equipo de bombeo, se levanta un inventario del mismo. Además, es recomendable que la cuadrilla que realizó el trabajo haga comentarios sobre los problemas detectados durante la maniobra, así como el estado

de las cuerdas, chumaceras, portachumaceras, flechas, partes de fricción, etc. Es conveniente aprovechar el tiempo que se emplea en la rehabilitación del pozo para darle mantenimiento al equipo electromecánico.

En el Apéndice G se anexa una forma útil para registrar la desinstalación de un equipo de bombeo.

### **9.3.- TRABAJOS DE REHABILITACIÓN.**

#### **9.3.1.- La supervisión de campo.**

La mayor parte de las operaciones de rehabilitación se cotizan en horas-máquina trabajando, por lo que la supervisión de campo debe ser muy frecuente o, si es posible, continua, de modo que se estimen solo los tiempos que realmente se emplearon en cada operación. Por otra parte, sobre todo en las labores de pesca, se pueden requerir de pescantes fabricados en campo, sea por que la pesca lo requiere o por que no se cuenta en el sitio con un pescante de fábrica apropiado. La fabricación o modificación de pescantes puede consumir tiempos.

#### **9.3.2.- El reporte de trabajo.**

Los trabajos de rehabilitación deben quedar registrados en formas especiales que llamaremos "reportes de trabajo", y deberán contener las actividades realizadas en cada turno de trabajo y en los que se deberán registrar los siguientes datos:

- Fecha y turno de trabajo.
- Empresa que realiza la rehabilitación.
- Tipo de maquinaria empleada.
- Persona responsable del trabajo de campo.
- Tipo de herramienta con que se trabaja, sus dimensiones, peso y cualquier otra característica que pudiera ser de utilidad, sobre todo en el caso de una posible pesca. Estas características se pueden señalar en el anverso de la hoja del reporte y para no repetirlas en cada turno, nombrarse o numerarse cada herramienta de modo que en lo sucesivo se mencione en forma simplificada; por ejemplo como Barretón No. 1.

- Una descripción detallada de las principales maniobras realizadas durante el turno, así como el tiempo empleado en cada una.
- Una columna de observaciones donde el operador debe hacer los comentarios que considere pertinentes sobre el trabajo.
- Tramo del pozo en que se realiza cada actividad.
- Profundidad del nivel estático al principio y final de cada turno.

Es recomendable utilizar formatos impresos especiales para hacer el reporte diario de trabajo, ya que con esto se evita la pérdida de información y se facilita su análisis. Los reportes deben recogerse diariamente y después de revisar la información se puede definir la siguiente maniobra en la rehabilitación del pozo.

En el Apéndice G se presenta, a modo de ejemplo, un formato que resulta práctico para reportar actividades de rehabilitación de pozos.

### **9.3.3.- Informe final de los trabajos.**

La rehabilitación de un pozo proporciona una gama de datos de gran importancia, que posteriormente pueden ser empleados para la correcta operación del mismo, para darle un mantenimiento adecuado y para futuras rehabilitaciones.

Se recomienda formar un expediente con los siguientes documentos:

- La información recopilada, descrito en 9.1.
- Croquis del pozo antes de ser rehabilitado y después, si se efectuaron modificaciones en su geometría.
- Mediciones de nivel estático, caudal y nivel dinámico antes de rehabilitar el pozo y después, si se volvió a aforar.
- Informe del equipo de bombeo desinstalado y del instalado, sea el mismo reparado u otro diferente.
- Informe del registro de televisión, y del registro de verticalidad o calibración realizada en el pozo.
- Reportes diarios de trabajo.

- Registro de las lecturas, curvas de aforo y cálculo del caudal óptimo de explotación.
- Materiales usados para la rehabilitación.

Además de este expediente, es conveniente elaborar un reporte final en el cual se presente un extracto de las partes más significativas de las operaciones realizadas, con objeto de facilitar la comprensión de un futuro lector que puede no estar familiarizado con este tipo de actividades.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**RESIDENCIA LOS AZUFRES**

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**RESIDENTES DE CONSTRUCCION**

del 3 al 7 de julio de 1995

**TEMA V SEGURIDAD EN LAS OBRAS**

**LOS AZUFRES, MICH.  
1995**

ART. 473 DE LA LEY FEDERAL DEL TRABAJO

ART. 48 DE LA LEY DEL SEGURO SOCIAL

ACCIDENTES DE TRABAJO.- ES TODA LESION ORGANICA O PERTURBACION FUNCIONAL, INMEDIATA O POSTERIOR, O LA MUERTE PRODUCIDA REPENTINAMENTE EN EJERCICIO O CON MOTIVO DEL TRABAJO, CUALESQUIERA QUE SEA EL LUGAR Y EL TIEMPO EN QUE SE PRESTEN.

ENFERMEDAD DE TRABAJO.- ES TODO ESTADO PATOLOGICO DERIVADO DE LA ACCION CONTINUADA DE UNA CAUSA QUE TENGA SU ORIGEN O MOTIVO EN EL TRABAJO, O EN EL MEDIO EN QUE EL TRABAJADOR SE VEA OBLIGADO A PRESTAR SUS SERVICIOS.

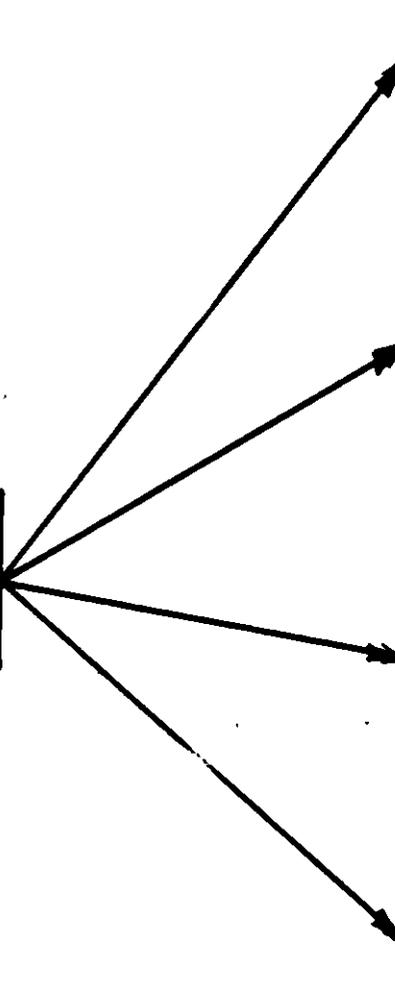
RIESGOS DE  
TRABAJO

I.- LA MUERTE

II.- INCAPACIDAD TOTAL  
PERMANENTE

III.- INCAPACIDAD PARCIAL  
PERMANENTE

IV.- INCAPACIDAD TEMPORAL



INCAPACIDAD TOTAL PERMANENTE.- ES LA PERDIDA ABSOLUTA DE FACULTADES O DE APTITUDES QUE IMPOSIBILITAN A UN INDIVIDUO PARA PODER DESEMPEÑAR CUALQUIER TRABAJO POR TODO EL RESTO DE SU VIDA.

INCAPACIDAD PARCIAL PERMANENTE.- ES LA DISMINUCION DE LAS FACULTADES DE UN INDIVIDUO POR HABER SUFRIDO LA PERDIDA O PARALIZACION DE ALGUN MIEMBRO, ORGANO O FUNCION DEL CUERPO.

INCAPACIDAD TEMPORAL.- ES LA PERDIDA DE FACULTADES O APTITUDES QUE IMPOSIBILITAN PARCIAL O TOTALMENTE A UN INDIVIDUO PARA DESEMPEÑAR SU TRABAJO POR ALGUN TIEMPO.

ESTAN FUERA DE LAS DEFINICIONES ANTERIORES LOS CASOS SIGUIENTES:

- a) SI EL ACCIDENTE OCURRE ENCONTRANDOSE EL TRABAJADOR EN ESTADO DE EMBRIAGUEZ.
  
- b) SI EL ACCIDENTE OCURRE ENCONTRANDOSE EL TRABAJADOR BAJO LA -- ACCION DE UN NARCOTICO O DROGA ENERVANTE, SALVO QUE EXISTA LA PRESCRIPCION MEDICA Y QUE EL TRABAJADOR HUBIESE PUESTO EL HE- CHO EN CONOCIMIENTO DEL PATRON Y LE HUBIESE PRESENTADO LA --- PRESCRIPCION SUSCRITA POR EL MEDICO.
  
- c) SI EL TRABAJADOR SE OCASIONA INTENCIONALMENTE UNA LESION POR SI SOLO, O DE ACUERDO CON OTRA PERSONA.
  
- d) SI LA INCAPACIDAD ES EL RESULTADO DE ALGUNA RIÑA O INTENTO - DE SUICIDIO.

ESTADISTICAS DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION PARA 1986

TRABAJADORES ASEGURADOS

EN EL I.M.S.S. - - - - - 702,913

ACCIDENTES DE TRABAJO - - - - - 64,106

ACCIDENTES EN TRAYECTO - - - - - 2,942

ENFERMEDADES DE TRABAJO - - - - - 53

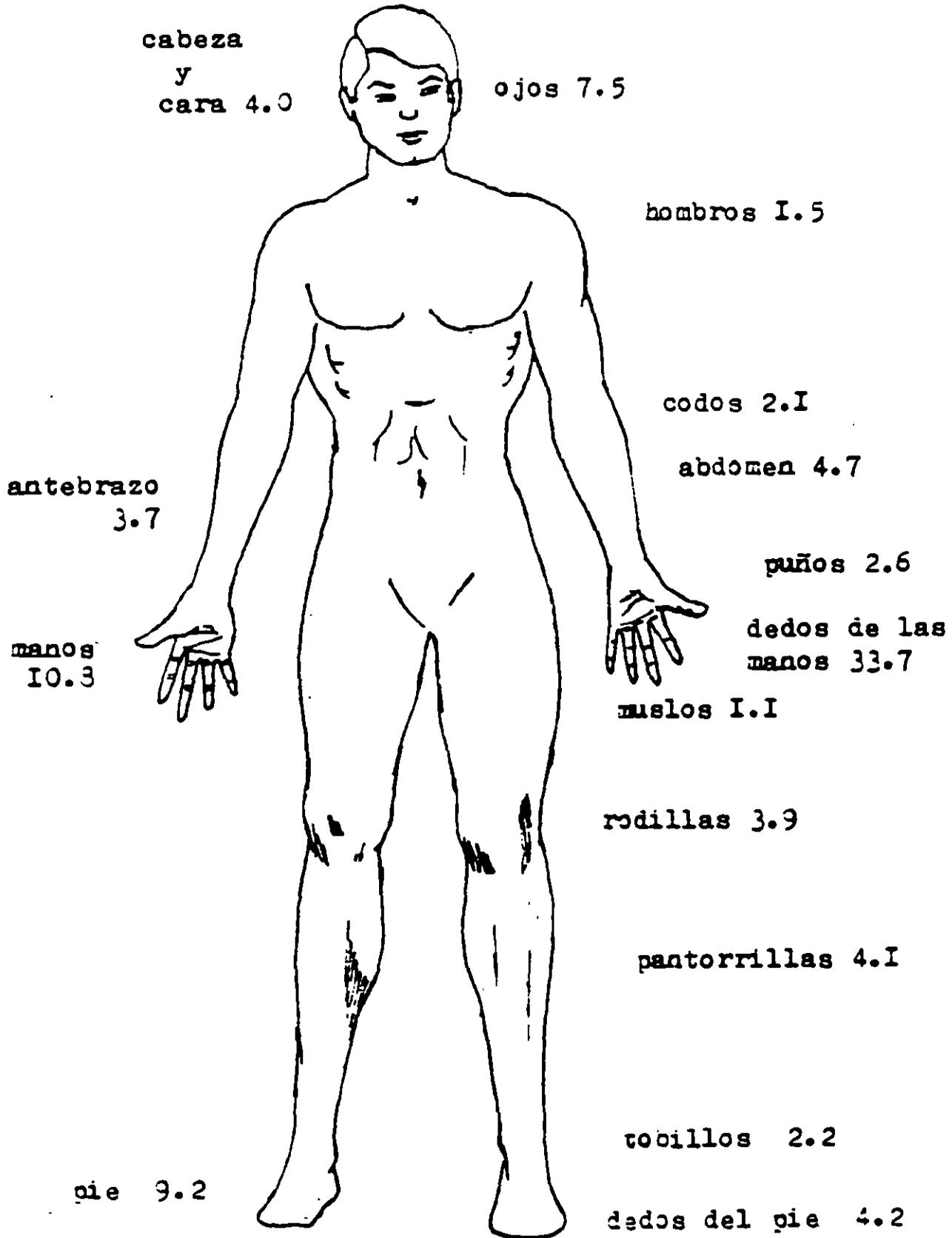
DEFUNCIONES - - - - - 274

LESIONES MAS COMUNES QUE PRODUCEN LOS

RIESGOS DE TRABAJO

- HERIDAS EN GENERAL
- CONTUSIONES
- MACHACAMIENTOS
- TRAUMATISMO
- ESCORIACION
- FRACTURAS
- AVULSION
- LUXACION

Fuente: Consejo Nacional de Prevención de Accidentes.  
Secretaría de Salud.



## AGENTES DE LESION MAS FRECUENTES

1. ARTICULOS METALICOS (CLAVOS, VARILLAS, ALAMBRES, REMACHES, ETC.)
2. SUPERFICIES O AREAS DE TRABAJO.
3. ARTICULOS DE MADERA (ASTILLAS, PALOS Y MADERAS).
4. ARTICULOS MINERALES NO METALICOS (GRAVA, ARENA, PRODUCTOS PETREOS, ETC.).
5. HERRAMIENTAS DE MANO (NO DE MOTOR: MARTILLOS, CIZALLAS, DOBLADORAS, ETC.)
6. CAJAS, BARRILES, RECIPIENTES, PAQUETES.
7. MAQUINARIA Y EQUIPO.
8. VEHICULOS.
9. MATERIALES DE DESPERDICIO Y ESCOMBROS (BASURAS).
10. ARTICULOS DE CERAMICA (LADRILLOS Y LOSA ESTRUCTURAL).
11. EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS.
12. HERRAMIENTAS DE MANO (DE MOTOR: TALADROS, VIBRADORES, CORTADORAS, ETC.).

13. MOVIMIENTOS CORPORALES.
14. ARTICULOS DE VIDRIO.
15. APARATOS DE TRANSMISION MECANICA DE FUERZA.
16. PRODUCTOS Y SUSTANCIAS QUIMICAS.
17. FLAMA, FUEGO Y HUMO.
18. APARATOS ELEVADORES.
19. ESCALERAS DE MANO O PORTATILES.
20. APARATOS ELECTRICOS O INSTALACIONES ELECTRICAS.
21. CALDERAS, DEPOSITOS A PRESION.
22. BOMBAS Y MOTORES PRIMARIOS.
23. SUSTANCIAS Y EQUIPOS RADIATIVOS.
24. RUIDO.
25. PRESION ATMOSFERICA AMBIENTAL.
26. TRANSPORTACIONES.
27. ROPA, INDUMENTARIA, ZAPATOS.

## TIPOS DE ACCIDENTES, POR ORDEN DE IMPORTANCIA

1. GOLPES POR OBJETOS QUE CAEN O VUELAN.
2. GOLPES CONTRA OBJETOS ESTACIONARIOS.
3. GOLPES SIN CLASIFICACION.
4. ATRAPADO POR, BAJO O ENTRE.
5. GOLPES POR OBJETOS EN MOVIMIENTO.
6. CAIDAS AL MISMO NIVEL (SUPERFICIES DE TRABAJO Y SOBRE O -  
CONTRA OBJETOS).
7. ESCORIADO O CON ABEISION.
8. CAIDAS A NIVEL INFERIOR: DE ANDAMIOS, PASILLOS, PLATAFOR-  
MAS O VEHICULOS, DE ESCALERAS MANUALES Y ESCALERAS FIJAS  
O POZOS, EXCAVACIONES, ETC.
9. REACCION CORPORAL Y SOBRESFUERZO.

- EL DIA DE LA SEMANA QUE MAYOR ACCIDENTABILIDAD PRESENTA ES EL LUNES, DISMINUYENDO GRADUALMENTE EN EL TRANCURSO DE -- ELLA.
  
- LA EDAD ENTRE LA QUE SE PRESENTA EL MAYOR NUMERO DE ACCI-- DENTES ES LA COMPRENDIDA ENTRE LOS 18 Y 32 AÑOS.
  
- SON LOS OBREROS EN GENERAL, NO CLASIFICADOS O ESPECIALIS-- TAS, LOS QUE SUFREN MAS ACCIDENTES EN LAS CONSTRUCCIONES.
  
- DEL PERSONAL ACCIDENTADO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, APROXIMADAMENTE EL 90% CORRESPONDE A TRABAJADORES QUE HAN - SIDO EMPLEADOS EN ESTA RAMA INDUSTRIAL.
  
- UNA TERCERA PARTE DE LOS ACCIDENTES QUE OCURREN EN LA EJE- CUCION DE LAS OBRAS SON PRODUCTO DE LA FALTA O CARENCIA -- DEL EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.
  
- EL 70% DE LOS ACCIDENTES SE LOCALIZAN EN MANOS Y PIES; SIEN- DO AFECTADAS ESTAS PARTES POR LESIONES COMO HERIDAS Y CONTU- SIONES EN GENERAL.
  
- DE LOS AGENTES, LOS CLAVOS, ASTILLAS, PEDACERIAS, TODOS LOS MATERIALES DE DESECHO, QUE NO SON ELIMINADOS POR FALTA DE - UN PROGRAMA DE LIMPIEZA ADECUADO, SON LOS QUE MAYOR INCIDEN EN LA OCURRENCIA DE LOS ACCIDENTES.

REPORTE DE CONDICIONES INSEGURAS.

I.- Localización del lugar exacto del accidente: \_\_\_\_\_

2.- Condiciones inseguras observadas:

- a).- Guardas y/o dispositivos de seguridad inadecuadas ( )
- b).- Atavíos personales peligrosos ( )
- c).- Sistema de advertencia inadecuado ( )
- d).- Falta de sistema de advertencia ( )
- e).- Riesgos de fuego o explosión ( )
- f).- Inseguridad contra movimientos ( )
- g).- Falta de limpieza ( )
- h).- Riesgos por objetos sobresalientes ( )
- i).- Areas congestionadas ( )
- j).- Herramientas y/o equipo defectuoso ( )
- k).- Riesgos en la distribución y/o almacenamiento ( )
- l).- Condiciones atmosféricas peligrosas ( )
- m).- Iluminación deficiente ( )
- n).- Ruido excesivo ( )
- o).- Pisos deteriorados ( )
- p).- Otros ( )

3.- Observaciones: \_\_\_\_\_

4.- Medidas provisionales tomadas: \_\_\_\_\_

Nombre y firma de los miembros de la comisión.

ACTOS INSEGUROS.

1.- Localización del lugar exacto del accidente \_\_\_\_\_

---

2.- Acciones inseguras observadas:

- a).- Operar sin autorización ( )
- b).- Falla al asegurarse ( )
- c).- Operar a velocidad insegura ( )
- d).- Falla en la señalización ( )
- e).- Nulificar dispositivos de seguridad ( )
- f).- Uso de equipo defectuoso ( )
- g).- Uso inseguro de equipo ( )
- h).- Uso de herramientas y/o equipo equivocado ( )
- i).- Falla al desenergizar el equipo ( )
- j).- Manejo de equipo peligroso ( )
- k).- Adoptar una posición insegura ( )
- l).- Distracción y/o bromas ( )
- m).- No usar equipo personal de protección ( )
- n).- Desviación en los procedimientos de operación ( )
- o).- Otros ( )

3.- Observaciones: \_\_\_\_\_

---

4.- Medidas provisionales tomadas: \_\_\_\_\_

---

CUANDO EL TRABAJADOR PRESENTE UNA INCAPACIDAD PARCIAL PERMANENTE, OCASIONADA POR UN RIESGO PROFESIONAL, SE LE OTORGARA UN PORCENTAJE DE INDEMNIZACION EQUIVALENTE AL PORCENTAJE -- QUE PRESENTE LA INCAPACIDAD, TOMANDO COMO BASE EL 100% A -- 1,095 DIAS DE SALARIO, QUE SERAN OTORGADOS INTEGROS EN CASO DE INCAPACIDAD TOTAL PERMANENTE.

PRINCIPALES RIESGOS EN LAS CONSTRUCCIONES, EN EL CONCEPTO DE CIMENTACIONES.

- a) CAIDA DE OBREROS AL VACIO.
- b) GOLPES POR CAIDAS DE OBJETOS, HERRAMIENTAS O MATERIALES - DE CONSTRUCCION.
- c) LESIONES POR MAL MANEJO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION, VA RILLA, ALAMBRE, TABLONES, ETC.
- d) LESIONES EN MANOS Y PIES POR CLAVOS EN MADERAS TIRADAS.
- e) GOLPES Y LESIONES POR FALLAS DE ESTRUCTURAS PROVISIONALES, ANDAMIOS Y RAMPAS.
- f) LESIONES CON MAQUINARIA EN MOVIMIENTO O EN MAL ESTADO.
- g) LESIONES POR INSTALACIONES PROVISIONALES DEFECTUOSAS.
- h) ENFERMEDADES EN LAS VIAS RESPIRATORIAS Y EN LOS OJOS POR - HUMEDAD Y POLVOS EN EL AMBIENTE.
- i) CAIDAS POR RESBALON O TROPEZON.
- j) LESIONES CON HERRAMIENTAS EN MAL ESTADO.

# REPORTE DE ACCIDENTE

## I.- INFORMACION PERSONAL DEL ACCIDENTADO

Nombre.----- Edad ----- Sexo --  
Ocupación.----- Area de trabajo-----  
Fecha del accidente----- Hora-----

## II.- TIPO DE LESION APARENTE

Cortada superficial ( )      Cortada profunda ( )  
Desgarradura                    ( )      Luxación                    ( )  
Quemadura por fuego ( )      Contusión                    ( )  
Amputación                    ( )      Fractura                    ( )  
Otra información (especificar) -----

## III.- PARTE ACCIDENTADA APARENTE

Cabeza      ( )	Ojos            ( )	Cuello            ( )
Pecho        ( )	Abdomen        ( )	Brazos            ( )
Manos        ( )	Dedos-mano    ( )	Muslos            ( )
Pierna        ( )	Pie             ( )	Dedos-pie        ( )
Espalda      ( )		

## IV.- ACTIVIDAD REALIZADA AL MOMENTO DEL ACCIDENTE ----- -----

## V.- TIPO DE ACCIDENTE

En contacto con      ( )	Golpeado por            ( )
Caída a diferente    ( )	Atrapado en            ( )
nivel	Caída a mismo nivel ( )
Enganchado a        ( )	Expuesto a            ( )

**VI.- CAUSAS Y CONDICIONES**

- Uso erróneo de herramienta ( )
- Falta de equipo protector ( )
- Acto señalado como peligroso ( )
- Distracción ( )
- Fallas físicas ambientales ( )
- Falta de protección en la maquinaria ( )
- Uso erróneo de la maquinaria ( )
- Mal método para operar ( )
- Trabajo que desconoce ( )
- Falla de herramienta ( )
- Falla de máquina ( )
- Defectos de la instalación ( )
- Otras causas o condiciones (especificar) \_\_\_\_\_

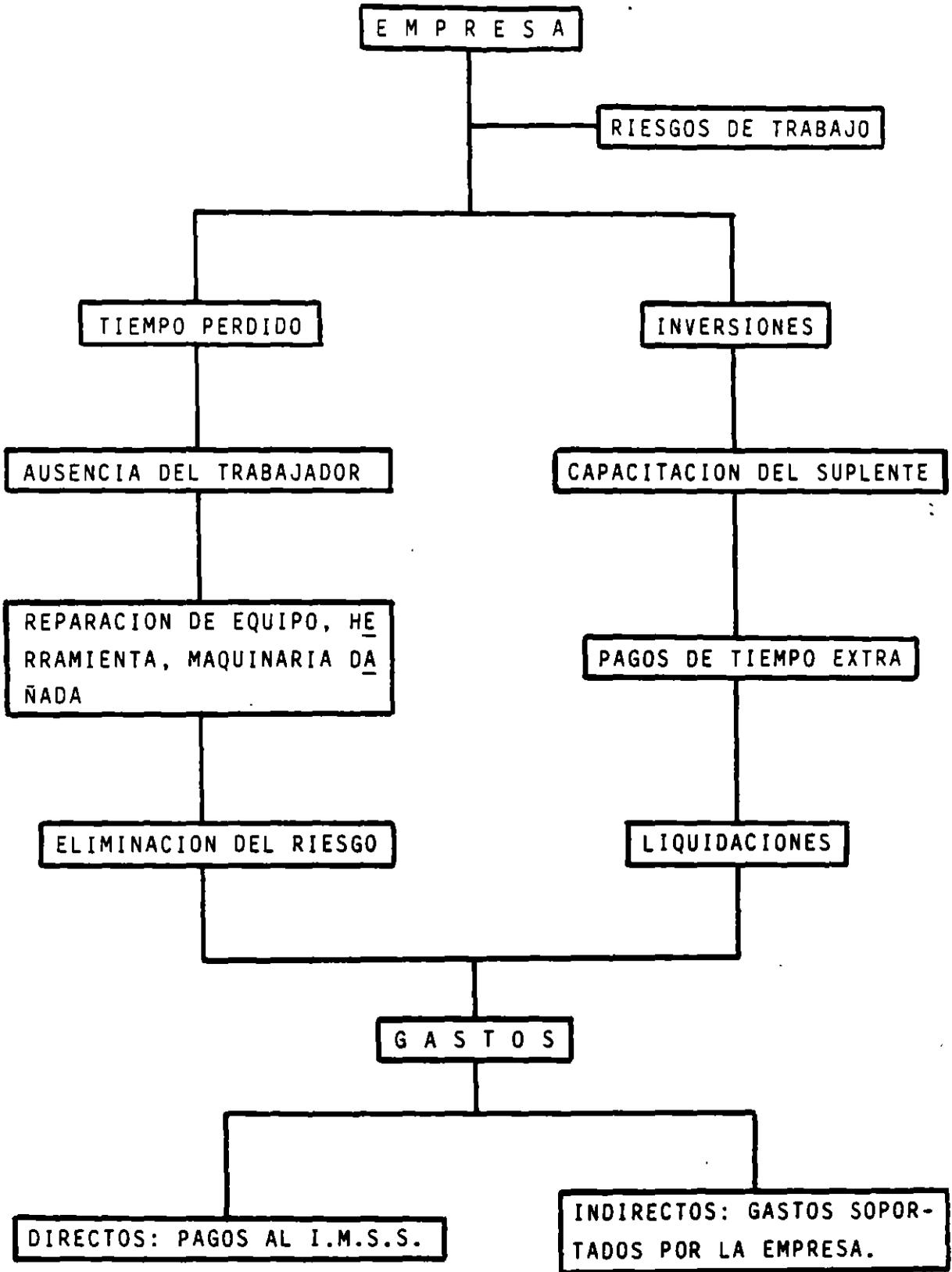
\_\_\_\_\_  
Descripción detallada del accidente \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**VII.- ACCIONES TOMADAS** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**VIII.- NOMBRES Y FIRMAS DE LOS INTEGRANTES DE LA COMISION**

## SITUACIONES QUE MOTIVAN LOS ACCIDENTES

- a) FALTA DE PRECAUCION.
- b) EXCESO DE OBREROS EN AREAS DE TRABAJO.
- c) DELIMITACION DEFECTUOSA EN ZONAS DE TRABAJO.
- d) FALTA DE RESISTENCIA Y FIRMEZA EN ANDAMIOS, TENDIDOS Y -  
RAMPAS CARENTES DE PROTECCION LATERAL.
- e) CIMBRAS MAL ASEGURADAS Y PUNTALES FABRICADOS EN OBRA CON  
PEDACERIA.
- f) PUNTALES APOYADOS EN TERRENO SUAVE.
- g) FALTA DE CONTROL SOBRE LIQUIDOS INFLAMABLES Y CARENCIA -  
DEL EQUIPO CONTRA INCENDIOS COLOCADO EN EL LUGAR ADECUA-  
DO.
- h) INSEGURO MANEJO Y ACARREO DE MATERIAL DE CONSTRUCCION, -  
PRINCIPALMENTE VARILLA Y ELEMENTOS QUE PUEDAN CAUSAR DA-  
ÑOS A TERCEROS.
- i) INUNDACIONES Y ENCHARCAMIENTOS.
- j) INVASION DE ZONAS DE TRABAJO POR PERSONAL NO AUTORIZADO.
- k) ACCESO A LAS OBRAS DE PERSONAS AJENAS A ESTAS.
- l) JUGAR Y BROMEAR DENTRO DE LA ZONA DE TRABAJO.
- m) HERRAMIENTAS EN MAL ESTADO Y BOTES O CARRETILLAS ABOLLA-  
DOS Y ROTOS.



## EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

- CASCO.
- PROTECTOR FACIAL CON PANTALLA.
- MONOGAFAS.
- GAFAS DE COPA.
- CARETA PARA SOLDADOR.
- ANTEOJOS DE SEGURIDAD.
- PROTECTORES AUDITIVOS.
- MASCARILLAS DE PROTECCION RESPIRATORIA.
- MASCARAS DE GAS.
- CINTURONES DE SEGURIDAD.
- MANDILES, PETOS, CHALECOS Y CHAQUETAS.
- GUANTES Y BOTAS.

## LEMAS PARA SEÑALIZACION EN AREAS PELIGROSAS

- PELIGRO, AQUI SE REQUIERE PROTECCION DE OJOS.
- PELIGRO, INFLAMABLE.
- PELIGRO, AQUI SE REQUIERE EL USO DE CASCOS.
- PELIGRO, ALTO VOLTAJE.
- PELIGRO, NO FUMAR.
- PELIGRO,

- La retirada de la maquinaria, del equipo y del personal-
- El desmontaje y retiro de instalaciones ( centrales de concreto )
- Las formalidades administrativas de trabajos terminados.
- Recepción provisional.
- Verificación de todos los conceptos, así como de trabajos anexos.

En este momento será necesario pensar en las obras futuras por lo que debemos:

- Revisar la maquinaria y el equipo.
- Llevar siempre el control de rendimientos y costos, generando los " parámetros de costo "

Hemos analizado la ejecución de la obra, pero queda como hecho que cualquiera que sea el tamaño o tipo de obra los principios serán los mismos.

### 2.3. La Dirección de la Obra.

Para tener una buena dirección, será necesario que el director ( superintendente ó jefe de obra ) y los residentes participen en los trabajos realizados, antes del inicio de la obra; es decir en:

- La elaboración del catálogo de conceptos.
- La elaboración del presupuesto.
- La elaboración de los programas de obra.
- El establecimiento de los procesos constructivos.
- La preparación de las formas de control de avance de obra.

Tanto el jefe de obra, como sus residentes, conocerán con anticipación su obra, y de esta manera, puedan solucionar de una forma rápida y segura cualquier problema que se presente en el transcurso de la ejecución de la obra.

De esta manera; El director de la obra debe de :

- Tener autoridad única
- Ser enérgico cuando lo amerite
- Ser competente
- Ser admitido por todos los participantes.

El superintendente contemplará y fomentará en su equipo de trabajo desde el inicio hasta la terminación de la obra :

Los siguientes aspectos :

- La Integración: Conocer los recursos humanos despertando un sentido de propiedad de la empresa:  
" Crear Camiseta " y estimulando el trabajo en equipo.
- La participación: Permitir la participación en las decisiones relativas a los resultados que se quieran lograr.
- La Comunicación: Mantener a las personas al tanto de cualquier asunto que influya sobre los resultados que se quierán lograr.

Y además, deberá de conducir la obra en condiciones que favorezcan tanto a la producción, como a las necesidades de la gente.

Pues cuando el individuo contribuye y realiza una labor importante, se satisfacen tanto sus necesidades individuales como los requerimientos de la organización.

La superintendencia planeará y dirigirá la obra, pero al hacerlo utilizará los recursos y conocimientos de sus subordinados. Creará condiciones de trabajo que faciliten el que la gente entienda los problemas, que se vea involucrado en los resultados, y que sus ideas impliquen verdaderas contribuciones.

Debido a que:

a).- La dirección y el control sobre el personal se logra permitiendo que los subordinados participen en el señalamiento de los objetivos de la organización y por consiguiente, los entiendan y los acepten. Si se fomenta la participación no habrá necesidad de dirección y control externo al individuo, generando un alto grado de auto dirección y auto control.

b).- Los errores y las faltas se tomarán como una oportunidad para aprender más. Se buscarán las causas y no solo los síntomas o a quién culpar.

c).- La comunicación, será extensa y en todas direcciones ascendente, descendente, horizontal.

No hay que olvidar, que el jefe de la obra es la clave en cuanto al flujo de información que viene de arriba, y que el subordinado es la clave en cuanto a la información que debe ser tramitada ascendentemente.

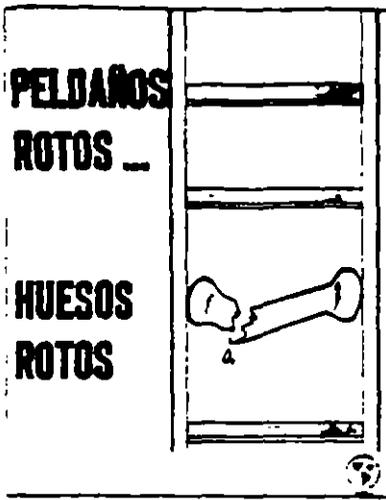
d).- La resolución de los conflictos se basa en clarificar y enfrentar con valor y decisión el problema, para solucionarlo, analizando sus causas más que sus síntomas.

e).- Conclusión

Si la dirección cumple con los aspectos antes mencionados, entonces se logrará integrar las necesidades de los individuos con los de la organización de manera efectiva.



OBTENGA PRIMEROS AUXILIOS INMEDIATAMENTE!





A UNA DISTANCIA DE

4 metros



de los  
Alambres Eléctricos



**PROTECCION**

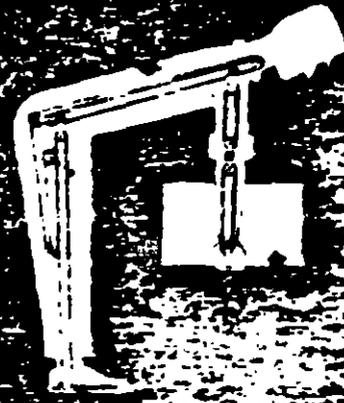
cuando es necesario

**CONOZCA SU  
EXTINTOR DE INCENDIOS**



**PUEDE SALVARLE  
SU TRABAJO  
O SU VIDA**

**SU ESPALDA NO  
PUEDE HACÉRLO**



**ALCE CON LAS  
PIERNAS**



cuando  
los ruidos  
son  
peligrosos

**PROTEJASE  
LOS OIDOS**

**¡NO CORRA RIESGOS!**



**USE SU EQUIPO PROTECTOR**





INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

DELEGACION 3 SUROESTE DEL DISTRITO FEDERAL  
SUBDELEGACION 7 "DEL VALLE"

ACTA

FOLIO 10167

NOMBRE: SALVADOR OCHOA BARRERA

DOMICILIO: Vallarta No. 7-C, Coyoacán, México 04100, D. F.

REGISTRO PATRONAL EVENTUAL: B20 18170 19

ACTIVIDAD: Construcción

CLASE DE RIESGO: V FRACCION: 4101 PRIMA: 115.125 %

ORDEN DE VISITA NUMERO: C-26 DE FECHA: 13 de abril de 1992

SUPERVISOR: Lic. Luis Alberto Villaseñor Méndez

AUDITOR: C.P. Pedro García Valverde

UBICACION DE LA OBRA: Rosal No. 61, Pueblo Nuevo, Magdalena Contreras, México, D. F.

.....En la Ciudad de México, D. F., siendo las 10:00 horas del día 4 de mayo de 1992, día y hora señalados para desahogar la Orden de Visita No. C-26, que fue notificada personalmente el día 28 del mes de abril de 1992, reunidos en Vallarta No. 7-C, Coyoacán, México 04100, D. F., el C. Pedro García Valverde Auditor adscrito a la Delegación 3 Suroeste del Distrito Federal del Instituto Mexicano del Seguro Social, así como el C. Arq. Salvador Ochoa Barrera, en su calidad de patrón responsable de la construcción, quien se identifica con credencial de Director Responsable de Obra con No. de registro DRO-0807 expedida por el Depto. del D. F.. El Auditor procedió a identificarse ante él con credencial vigente No. 040, cuyo texto es: "De conformidad a lo dispuesto por los Artículos 19 Fracción V, 258 C Fracción VII, 240 Fracción XVIII de la Ley del Seguro Social; 38, 42, 43 Fracción II y 44 Fracción III del Código Fiscal de la Federación, se autoriza al C. Pedro García Valverde, para practicar visitas domiciliarias a los patrones, previa Orden por escrito, que se encuentran dentro de la circunscripción territorial de esta Delegación, determinada en Acuerdo No. 304/88 del H. Consejo Técnico, de fecha 18 de mayo de 1988, publicado en el Diario Oficial correspondiente al 10 de junio de 1988, con fundamento en lo dispuesto por la Fracción III del Artículo 253 de la propia Ley del Seguro Social. Para efectos de identificación de la persona facultada, al margen de este documento aparecen su fotografía y firma. La presente autorización surtirá efectos del 2 de enero al 31 de diciembre de 1992, y se expide a los treinta y un días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y uno". Se hace constar que el documento de identificación lo tuvo a la vista el C. Arq. Salvador Ochoa Barrera y lo devolvió al identificado, procediendo de inmediato a requerir a la persona con quien se entiende esta diligencia para que en este acto designe dos testigos de asistencia y apercibiéndola que en caso de no hacerlo o de no aceptar servir como tales las personas designadas, el Auditor procederá a la designación de los mismos, en los términos del Artículo 44 Fracción III del Código Fiscal de la Federación. El C. Arq. Salvador Ochoa Barrera, en cumplimiento al requerimiento formulado, así como en acatamiento a lo dispuesto por los Artículos 16 Constitucional; 44 Fracciones II y III, 46 Fracciones I y IV del referido Código Tributario, designa como testigos de asistencia al C. Alejandro Ochoa Calderas, casado de 31 años de edad, con domicilio en Rosal No. 61 Casa 7, Col. Pueblo Nuevo, Magdalena Contreras, México 06120, D. F., de ocupación Arquitecto, quien se identifica con licencia para conducir No. 077616 expedida por la Sría. Gral. de Protección y Vialidad del D. F., y al C. Adampol Medina Ortíz, casado de 25 años de edad, con domicilio en

- - - - - PASA AL ANVERSO DEL FOLIO 10168 - - - - -



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**RESIDENTES DE CONSTRUCCION**

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**LOS AZUFRES, MICH.**

**3 AL 7 DE JULIO DE 1995**

**TEMA I : PLANEACION Y CONTROL DE OBRAS**

**ING. RAUL IBARRA RUIZ**

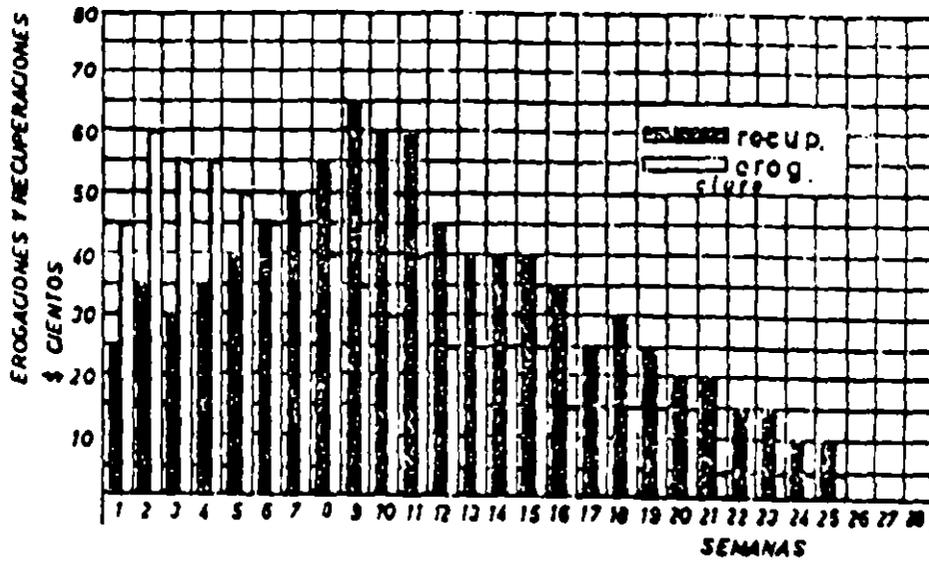


FIG.

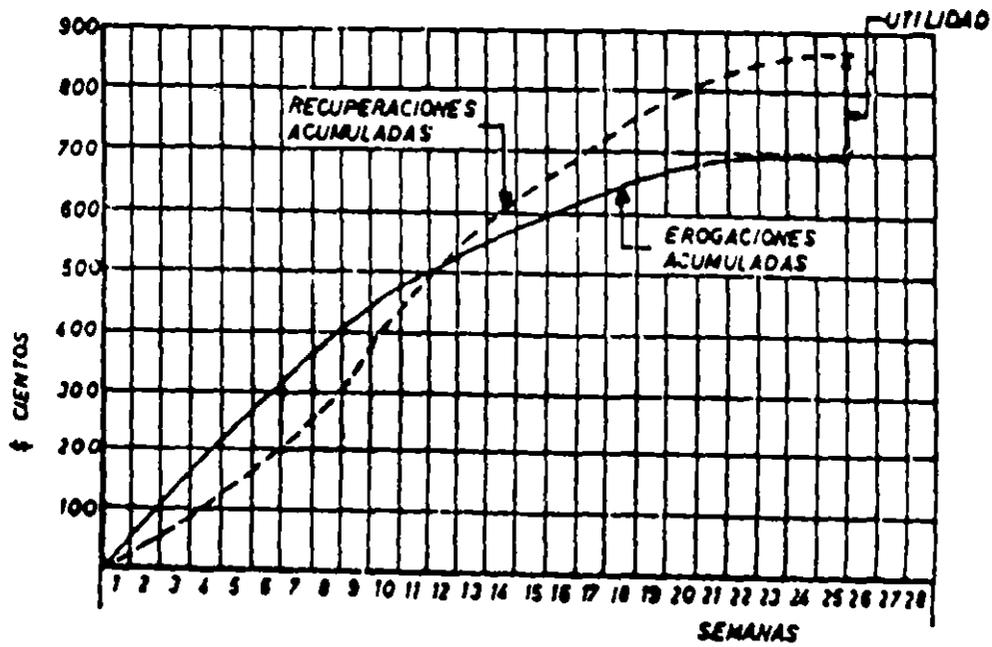
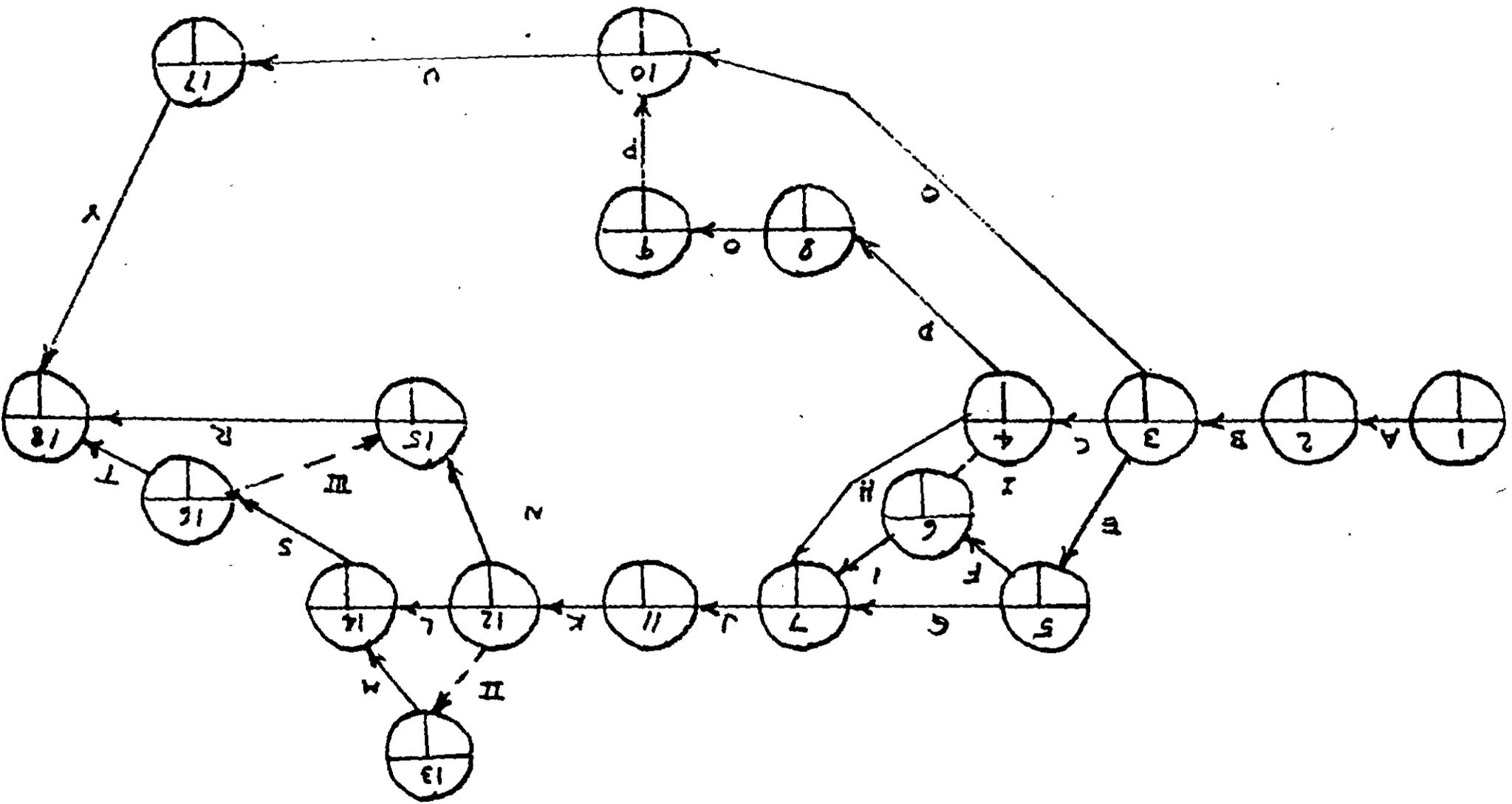


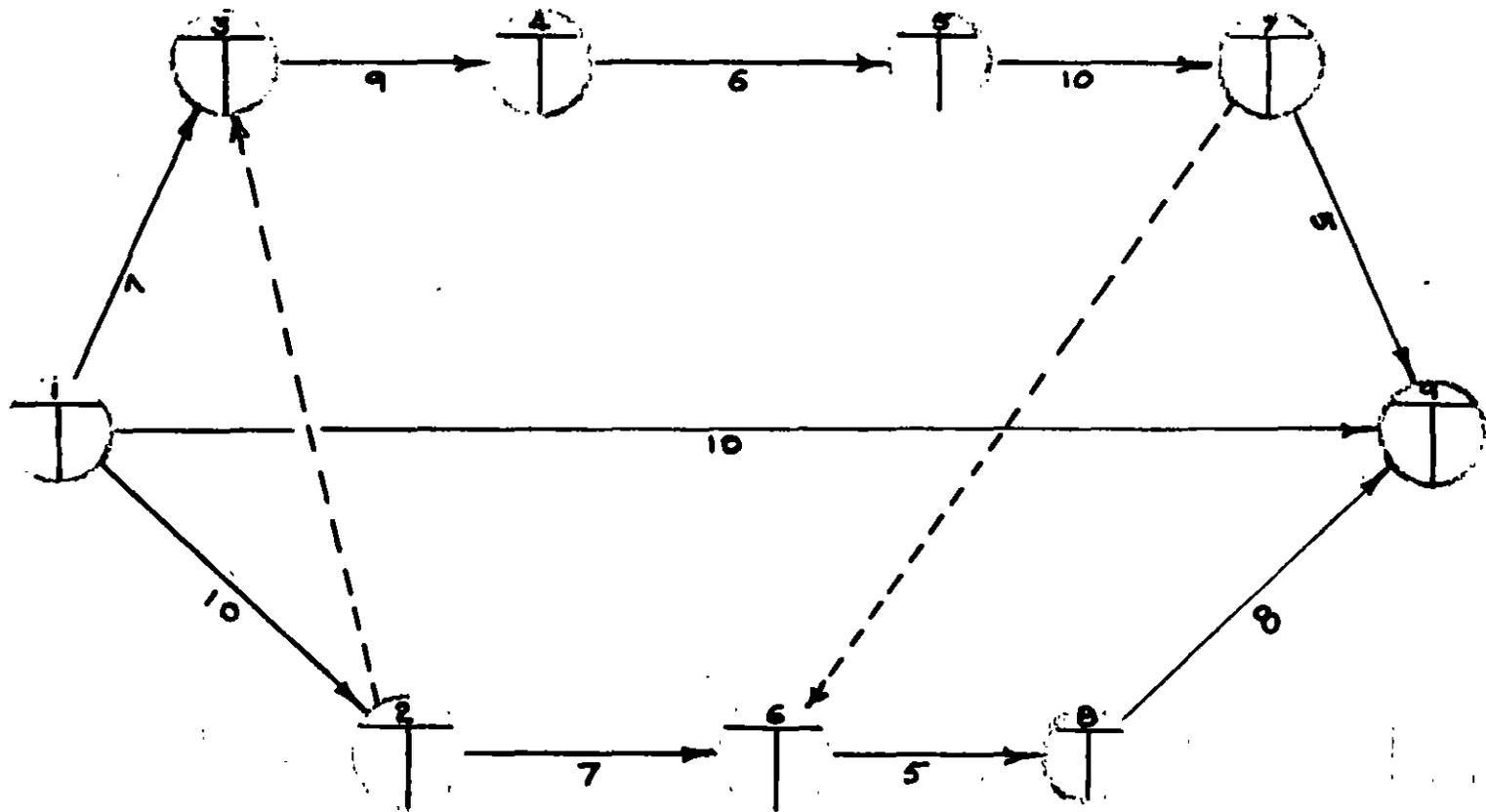
FIG.

	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	FEBRERO		MARZO				ABRIL			IMPORTE (MILES)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	EXCAVACION	M3	520.0	3.15	3.15								6.3
B	CIMENTACION	M3	825.0			4.8	4.8	2.4					12.0
C	COLUMNAS CONC	M3	120.0					0.87	0.88				1.75
D	MUROS TABIQUE	M2	316.0						1.27	2.55			3.82
E	LOSA CONC.	M2	270.0							5.47	10.93		16.4
	SUMA EGRESOS			3.15	3.15	4.8	4.8	3.27	2.15	8.02	10.93		40.27
	EGRESOS ACUMULADOS			3.15	6.30	11.1	15.9	19.17	21.32	29.34	40.27		
		INGRESOS			3.46	3.46	5.28	5.28	3.60	2.36	8.81	12.03	
		INGRESOS ACUMULADOS			3.46	6.92	12.2	17.48	21.08	23.44	32.25	44.28	

NO.	ACTIVIDAD	DURACION	ANTERIOR	POSTERIOR
A	EXCAVACION	4	-	B
B	COLADO DE ZAPATAS	2	A	E, C, Q
C	COLOCACION ESTRUCTURA	4	B	H, D
D	TIPOS TABIQUE	6	C	Q
E	INSTALACION DRENAJE	1	B	F, G
F	COLADO LOSA INFERIOR	2	E	I
G	INSTALACION FLOERIA	3	E	J
H	CABLEADO ELECTRICO	2	C	J
I	INSTALACION CALEFACCION	4	F, C	J
J	ACABADO YESO	10	G, I, H	K
K	COLOCACION LOSETA	3	J	L, M, N
L	INSTALACION COCINA	1	K	S
M	TERMINADO PISOS	2	K	S
N	CARPINTERIA	3	K	R
O	TECHO	2	D	P
P	REGISTROS Y CAJOS	1	U	U
Q	BALAJAS DE AGUA	1	B	U
R	PULIDO LOSETA	2	N, S	-
S	PINTURA	3	L, M	T, R
T	INSTALACION FINAL ELECTRICA	1	S	-
U	NIVELACION JARDIN	2	P, Q	V
V	ALICATOR DEL JARDIN	5	U	-







ACTIVIDAD	EQUIPO	PERSONAL	DURACION	HT	HL	PROXIMA		REMOTA	
						I <sub>p</sub>	T <sub>p</sub>	I <sub>r</sub>	T <sub>r</sub>
1-2		5	10						
1-3		4	7						
3-4	PALA	2	9						
4-5		7	6						
2-6	PALA	2	7						
5-7		4	10						
6-8		3	5						
7-9		4	5						
8-9		5	8						
1-9		7	10						

ACTI VIDAD	EQUIPO	PER SO NAL	DURA CION	H <sub>T</sub>	PROXIMA		REMOTA	
					I <sub>p</sub>	T <sub>p</sub>	I <sub>r</sub>	T <sub>r</sub>
3-4	PALA	2	9	0	10	19	10	19
2-6	PALA	2	7	4	19	26	23	30
6-8		3	5	4	26	29	30	35



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES  
RESIDENTES DE CONSTRUCCION

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

LOS AZUFRES, MICH.

3 AL 7 DE JULIO DE 1995

**TEMA II : FABRICACION, TRANSPORTE  
Y COLOCACION DEL CONCRETO**

ING. RAUL IBARRA RUIZ

## CAPITULO 6

### CONCRETO HIDRAULICO

#### 6-1 DESCRIPCION

6-1.1 El concreto hidráulico es una mezcla y combinación de cemento Portland, agregados pétreos seleccionados, agua y adicionantes en su caso, en dosificación adecuada, que al endurecer adquiere las características previamente fijadas.

#### 6-2 REFERENCIAS

6-2.1 Existen algunos conceptos que intervienen o pueden intervenir en Concreto Hidráulico y que son tratados en otros capítulos de estas Normas de Construcción, conceptos que deberán sujetarse, en lo que corresponda, a lo indicado en los apartados relativos a materiales, ejecución, medición y base para el pago, que se asientan en la siguiente tabla y de los cuales ya no se hará más referencia en el texto de este capítulo.

CONCEPTOS RELATIVOS A ESTE CAPITULO	TOMO	MATERIALES	EJECUCION	MEDICION	BASE PARA EL PAGO
Definición y calidad de la piedra empleada en el concreto ciclópeo.	VIII	7-2.			

NORMAS DE CONSTRUCCION

CONCEPTOS RELATIVOS A ESTE CAPITULO	TOMO	MATERIALES	EJECUCION	MEDICION	BASE PARA EL PAGO
Definición y calidad de los materiales empleados en el concreto hidráulico:					
Cemento Portland.	VIII	8-2.			
Cemento Portland puzolánico tipo IP.	VIII	8-3.			
Cemento Portland de escorias de altos hornos tipo IE.	VIII	8-4.			
Agregados fino y grueso.	VIII	8-5.			
Agregados ligeros.	VIII	8-6.			
Agua.	VIII	8-7.			
Aditivos	VIII	8-8.			
Agentes inclusores de aire.	VIII	8-9.			
Puzolanas.	VIII	8-10.			
Cloruro de calcio.	VIII	8-11.			
Líquido para curado del concreto.	VIII	8-12.			
Materiales laminares para curado de concreto.	VIII	8-13.			
Lugares de los cuales pueden obtenerse la piedra empleada en el concreto ciclópeo.	III	4-3.			
Desmante de bancos	II		2-4.		
Despalme de bancos.	II	3-3.	5-4.		
Reposición de volúmenes faltantes en los terraplenes	II	3-3.	6-4.	6-5.	6-6.

CONCEPTOS RELATIVOS A ESTE CAPITULO	TOMO	MATERIALES	EJECUCION	MEDICION	BASE PARA EL PAGO
Acarreos de los agregados pétreos y del agua empleados en el concreto.	III		29-4.	29-5.	29-6.

### 6-3 MATERIALES

**6-3.1** Los materiales que se emplean en la fabricación del concreto hidráulico son los siguientes:

Cemento Portland en sus tipos I, II, III, IV, V, puzolánico Tipo IP y de escorias de altos hornos tipo IE.

Agua.

Agregado fino.

Agregado grueso.

**6-3.2** Cuando se requiera, se usarán aditivos que pueden ser de los tipos:

Agentes inclusores de aire.

Puzolanas.

Cloruro de calcio.

Otros.

**6-3.3** El proyecto fijará y/o el Representante ordenará el tipo de cemento que ha de usarse. Para el muestreo y análisis, que se hará en la misma obra y antes de ser empleado, el Contratista indicará cuál es el lote de cemento que empleará; además, la Secretaría y el Representante podrán, en cualquier momento, tomar muestras y realizar ensayos en laboratorio. Del resultado así obtenido aceptarán o rechazarán el cemento, independientemente de los resultados de campo. En las obras sólo se podrán usar cementos de calidad y de marca reconocida. Cuando se trate de cementos de nuevas marcas o sin antecedentes de calidad, la Secretaría o el Representante autorizarán su empleo después de doce (12) ensayos

satisfactorios, realizados en un periodo de seis (6) meses mínimo. Como excepción podrá autorizarse un cemento de marca nueva o sin antecedentes de calidad, siempre y cuando se hagan pruebas de laboratorio del lote por usarse y que las pruebas satisfagan plenamente.

**6-3.4** Los agregados fino y grueso se obtendrán de los bancos o depósitos fijados por el Representante, o bien de los propuestos por el Contratista y aprobados por el Representante. Si las obras de concreto quedan incluidas dentro del contrato general de terracerías y se considera que el material de cortes, canales y excavaciones para estructuras debe destinarse a la construcción de terraplenes y el Contratista pretende utilizar el material pétreo de dichas excavaciones para fabricar el concreto, antes deberá recabar la autorización del Representante, y tendrá que obligarse a reponer los volúmenes sustraídos con materiales de buena calidad, que se someterán previamente a la aprobación del Representante. Si los materiales pétreos proceden de un desperdicio de la terracería y el Contratista pretende utilizarlos para fabricar el concreto, deberá también recabar la autorización del Representante.

**6-3.5** Periódicamente se harán muestreos en los bancos o depósitos de agregados fino y grueso aprobados, para comprobar su uniformidad o cambio en sus características que pudieran modificar o anular su uso.

**6-3.6** Cuando la obra lo permita, ya por su poco volumen, ya porque el elemento constructivo en el que ha de emplearse el concreto sea de importancia secundaria, podrán utilizarse los agregados fino y grueso sin análisis previo, siempre que el Representante lo autorice por considerar que dichos materiales están bien graduados y exentos de arcilla y de sustancias nocivas que afecten las características del concreto seleccionado.

**6-3.7** Para el empleo de aditivos en la masa del concreto (inclusores de aire, puzolana, cloruro de

calcio, etc.) deberá obtenerse la autorización del Representante.

#### **6-4 EJECUCION**

**6-4.1** El almacenamiento del cemento deberá llenar los siguientes requisitos:

- A) Cuando se utilice cemento envasado, deberá llegar a la obra en envases originales, cerrados de fábrica y permanecer así hasta su utilización en la obra.
- B) El local de almacenamiento deberá ser autorizado por el Representante y reunir las condiciones necesarias para evitar que se altere el cemento. El piso tiene que estar a suficiente altura sobre el suelo, a fin de prevenir que el cemento absorba humedad. El techo ha de tener la pendiente e impermeabilidad necesarias para evitar filtraciones. El terreno natural en el que se encuentren ubicados los lugares de almacenamiento debe estar bien drenado. Las bodegas han de tener la amplitud suficiente para que el cemento envasado pueda colocarse a una separación adecuada de los muros y del techo, y para que no haya necesidad de formar pilas de sacos de más de dos (2) metros de altura.
- C) El almacenamiento deberá hacerse en lotes por separado, a fin de facilitar su identificación y poder hacer el muestreo de cada lote. Todo lote de cemento que haya sido rechazado tendrá que marcarse, sacarse de la bodega y llevarse fuera del área de la obra, asegurándose de que en ninguna forma pueda ser usado.
- D) Cuando las necesidades del trabajo lo exijan, podrán depositarse al aire libre las cantidades necesarias de cemento envasado para el consumo de un (1) día. En este caso, los sacos de cemento deberán colocarse sobre un entarimado aislado del suelo, en terreno bien

drenado; cuando amenace lluvia, tendrán que cubrirse con lonas amplias u otras cubiertas impermeables.

- E) Cuando el Representante autorice el empleo de cemento a granel, las características de las tolvas de almacenamiento, así como el equipo de transporte serán previamente ordenados y/o aprobados por el propio Representante.
- F) Cuando el cemento permanezca almacenado en condiciones normales más de dos (2) meses en sacos o más de cuatro (4) meses a granel, o por un lapso menor en el que existan circunstancias que puedan modificar las características del cemento, deberá comprobarse, mediante un nuevo muestreo, que su calidad es aún satisfactoria.

**6-4.2** El almacenamiento y manejo de los agregados pétreos deberá hacerse de manera que no se altere, por segregación o clasificación de los distintos tamaños que los forman, su composición granulométrica, ni se contaminen con polvos u otras materias extrañas. Para evitar que se mezclen entre sí los agregados de diferente granulometría deberán almacenarse en plataformas o sitios adecuados y en lotes o depósitos distantes. No se utilizará la capa de agregados en contacto con el suelo y que por este motivo se haya contaminado.

**6-4.3** Los concretos se designarán de acuerdo con la resistencia a la compresión ( $f_c$ ) preestablecida en el proyecto. El Representante obtendrá las probetas de ensaye con la frecuencia que considere necesaria. Si al efectuar los ensayos se encuentra que el concreto elaborado no cumple con dicha ( $f_c$ ) deberá removerse o demolerse y substituirse por concreto nuevo, que cumpla con las características fijadas en el proyecto.

**6-4.4** La dosificación de los materiales requeridos en la elaboración del concreto, para la ( $f_c$ ) fijada en el proyecto y/o indicada por el Representante, se-

rá determinada por el Contratista, bajo su exclusiva responsabilidad; si el Contratista lo solicita, el Representante colaborará en el proyecto de la dosificación del concreto, pero no intervendrá obligatoriamente en la dosificación de los ingredientes durante la elaboración del concreto, por lo que será el propio Contratista el único responsable de los consumos reales de los materiales, así como de las resistencias que se obtengan.

6-4.5 Un concreto elaborado cumple con la ( $f'c$ ) de proyecto si a los veintiocho (28) días de edad satisface los siguientes requisitos:

- A) Cuando se trate de elementos que trabajen predominantemente a flexión, tales como zapatas, contratraveses, traviesas, muros, losas, etc., el promedio de las resistencias de cada grupo de cinco (5) muestras consecutivas, obtenidas del concreto colado en un (1) día, y curadas en el laboratorio, deberá ser por lo menos igual a la ( $f'c$ ). Se requieren como mínimo cinco (5) muestras, de cada clase de concreto colado en un (1) día y/o por cada cincuenta (50) metros cúbicos de concreto. Las muestras se obtendrán de bachadas escogidas al azar y cada una deberá constar de dos (2) especímenes obtenidos de la misma bachada. El número total de muestras de cada clase de concreto será como mínimo de diez (10).
- B) Cuando se trate de elementos tales como columnas, caballetes, pilas, pilotes, arcos o elementos preesforzados, en que predominen los esfuerzos por compresión a lo largo de todo el elemento, el promedio de las resistencias de cada grupo de tres (3) muestras consecutivas, obtenidas del concreto colado en un (1) día, y curadas en el laboratorio, deberá ser por lo menos igual a la ( $f'c$ ). Se requieren cuando menos cinco (5) muestras de cada clase de concreto colado en un (1) día y/o por cada cincuenta (50) metros cúbicos de

concreto. Las muestras se obtendrán de bachadas escogidas al azar y cada una deberá constar de dos (2) especímenes obtenidos de la misma bachada. El número total mínimo de muestras que sean de la misma clase de concreto será de diez (10).

- C) Para los elementos que se consideran en los dos (2) incisos anteriores, el coeficiente de variación de la totalidad de las muestras debe ser igual o menor que quince centésimos (0.15). Se entiende por coeficiente de variación (Cv) al cociente que resulta de dividir la desviación estándar (s) entre el promedio de las resistencias obtenidas (m), o sea:

$$Cv = \frac{s}{m}$$

La desviación estándar es igual a la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias individuales respecto a la resistencia promedio, o sea:

$$s = \sqrt{\frac{(X_1 - m)^2 + (X_2 - m)^2 + (X_3 - m)^2 + \dots + (X_n - m)^2}{n}}$$

En donde  $X_1, X_2, \dots, X_n$  = Resistencias individuales de los especímenes; y  $n$  = Número de pruebas de resistencia. La primera determinación del coeficiente de variación se hará con los resultados obtenidos de un mínimo de diez (10) muestras.

- D) Cuando se trate de elementos estructurales, tales como guarniciones, parapetos, diafragmas, dadas, castillos, muros de cabeza, recubrimiento de cunetas, lavaderos, banquetas y losas de alcantarillas hasta de dos (2) metros de luz cuyos volúmenes sean inferiores a cinco (5) metros cúbicos, se tomarán como mínimo cuatro (4) especímenes procedentes cada uno de diferentes bachadas, debiendo satisfacerse el requisito de que el promedio

de sus resistencias sean cuando menos igual a la ( $f_c$ ).

**6-4.6** Toda revoltura tendrá el revenimiento o la consistencia que especifique el proyecto y/o determine el Representante, y éste los comprobará con la frecuencia que considere necesaria.

**6-4.7** Cuando el proyecto establezca y/o el Representante ordene que se cambien las características del concreto que habrá de utilizarse, el consumo de cemento y agregados, por metro cúbico del nuevo concreto, se determinará a partir del muestreo y pruebas de los agregados que se pretendan utilizar en cada caso.

**6-4.8** Las cantidades de los materiales que intervengan en la dosificación del concreto serán medidas en peso y separadamente. Cuando el Representante lo acepte, se harán las mediciones en volumen; en este caso, se deberán usar recipientes cuya capacidad sea conocida y constante.

**6-4.9** Salvo orden en contrario del Representante, los concretos de resistencia ( $f_c$ ) igual o menor que ciento cincuenta (150) kilogramos sobre centímetro cuadrado, podrán dosificarse por volumen siempre y cuando la densidad de los agregados no sea menor que dos punto tres (2.3).

**6-4.10** La revoltura de los materiales deberá hacerse a máquina y se observarán los siguientes requisitos:

- A) El Contratista tendrá que recabar previamente la aprobación del Representante para el equipo que pretenda usar. Si durante la ejecución del trabajo el equipo presenta deficiencias, el Contratista estará obligado a corregirlas o a retirar las máquinas defectuosas y reemplazarlas por otras en buenas condiciones.
- B) La revoltura deberá hacerse con una máquina revoladora que trabaje a su capacidad

normal y que garantice la homogeneidad de la mezcla. La revolvedora deberá estar siempre dotada de un tanque dosificador de agua, debidamente calibrado y con un cierre especial. La revolvedora habrá de tener también un aditamento para cerrar automáticamente la tolva de descarga y evitar que se vacíe antes de que los materiales hayan sido mezclados durante el tiempo mínimo fijado. Los tiempos de revoltura en seco y con agua serán determinados en cada caso por el Representante, pero este último tiempo nunca deberá ser menor de uno punto cinco (1.5) minutos. El contenido de la revolvedora deberá salir por completo del tambor antes de que los materiales para la siguiente revoltura sean introducidos en él. La revolvedora deberá girar con una velocidad tangencial periférica aproximada de un (1) metro por segundo. Si la obra así lo amerita, deberá contarse por lo menos con dos (2) revolvedoras, para evitar cualquier suspensión en el colado; en caso contrario, bastará con tener una (1) revolvedora y, además, tarimas estancas para un eventual colado a mano, a fin de garantizar que no se interrumpa el trabajo por descompostura de la revolvedora.

- C) Antes de iniciar la producción de concreto, deberá contarse con la autorización escrita del Representante, quien comprobará que se encuentran en el lugar todos los materiales, equipo y personal necesarios para el colado completo de una unidad como mínimo, y que el equipo se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.
- D) Previamente a la elaboración de la primera revoltura de materiales, las paredes interiores de la revolvedora deberán cubrirse con mortero de cemento-arena de la misma dosificación relativa que la fijada para el concreto por elaborar, con el objeto de garantizar que no se altere la dosificación.

- E) Cuando por algún motivo, y después de haberse hecho la revoltura, tenga que dejarse ésta en reposo dentro de la revoladora, no deberá permanecer más de veinte (20) minutos en ella, pero antes de vaciarla deberá volverse a mezclar por lo menos durante un (1) minuto. Cuando la revoltura permanezca dentro de la revoladora más de veinte (20) minutos, deberá desperdiciarse.
- F) Siempre que se suspenda el trabajo de una revoladora por más de treinta (30) minutos, deberá lavarse la tolva, el tambor y los canales y quitarse las costras de concreto, antes de volver a utilizarla.

6-4.11 Cuando el Representante autorice que la mezcla de los materiales se haga a mano, se observarán los siguientes requisitos: se usarán siempre artesas o tarimas estancas; sobre ellas se extenderá primero la arena y encima, uniformemente, el cemento; ambos se mezclarán perfectamente en seco, traspaleándolos varias veces hasta que la mezcla presente un color uniforme; en seguida se volverá a extender; se añadirá el agregado grueso y se mezclará en la misma forma; una vez obtenido un color uniforme, se abrirá un cráter en la revoltura y se depositará el agua necesaria, sobre la cual se irán derrumbando las orillas del cráter; después se revolverá el conjunto traspaleando de uno a otro lado, en ambos sentidos, por lo menos seis (6) veces, hasta que la mezcla presente un aspecto uniforme. Desde el momento en que se adicione el agua hasta que se deposite la revoltura en los moldes, no deberán transcurrir más de treinta (30) minutos y por ningún motivo se agregará más agua después de este tiempo. Cada revoltura hecha a mano se limitará a una mezcla cuyo contenido de cemento no sea mayor de tres (3) sacos de cincuenta (50) kilogramos cada uno. Si una parte de la revoltura se seca o comienza a fraguar, no deberá emplearse en la obra.

6-4.12 Cuando el Representante lo autorice, podrá utilizarse concreto elaborado en camión revol-

dor, cuya revoltura se efectúa en el trayecto de la planta de dosificación al sitio en el cual va a ser colocado, siempre y cuando el producto elaborado, al llegar a su destino, reúna las características fijadas en el proyecto, observándose además las disposiciones indicadas en el inciso 6-4.10.

6-4.13 De acuerdo con el tipo y condiciones de la obra, y previa autorización del Representante, el transporte de la revoltura se hará por alguno de los medios siguientes:

- A) Con carretillas, vagones, cubetas o camiones. Cuando se emplee este tipo de equipo no se permitirá que éste se apoye directamente sobre el acero de refuerzo; para evitarlo, se construirán pasarelas apropiadas.
- B) Con canales o tubos que deberán disponerse de manera que prevengan cualquier segregación y/o clasificación de los materiales. El ángulo de caída tendrá que ser el adecuado para permitir el flujo de la revoltura, sin provocar velocidades excesivas que propicien la segregación y/o clasificación del material; si es necesario, pueden establecerse tramos intermedios de canales con cambios de dirección. Los canales pueden ser de metal, de madera forrada con lámina metálica o de otro material, previamente autorizado por el Representante.
- C) Por medio de bombeo. En este caso, el equipo habrá de instalarse fuera de la zona de colado, de tal manera que no produzca vibraciones que puedan dañar al concreto fresco. La operación de bombeo tendrá que hacerse con flujo continuo. Previamente a la operación de bombeo del concreto, las paredes interiores de la tubería deberán cubrirse con mortero, cemento-arena, de la misma dosificación relativa que la fijada para el concreto con objeto de facilitar así el flujo de este material; para ello, la primera carga de la bomba deberá ser de puro mortero, en volu-

men fijado por el Representante. Cuando se suspenda el bombeo durante diez (10) minutos o se termine cada colado, la revoltura que permanezca en la tubería deberá removerse y desecharse, y todo el equipo deberá lavarse.

**6-4.14** Si para el transporte de la revoltura se utilizan procedimientos diferentes a los descritos en el inciso 6-4.13, se requerirá aprobación previa del Representante.

**6-4.15** Antes de todo colado parcial o total de una estructura, el Contratista deberá dar aviso por escrito, con veinticuatro (24) horas de anticipación como mínimo, al Representante, para que éste pueda inspeccionar la elevación de los desplantes, la solidez, dimensiones y demás requisitos de los moldes y de la obra falsa, así como la correcta colocación y firmeza del acero de refuerzo, la instalación de la tubería del alumbrado, etc.

**6-4.16** En ninguno de los casos a que se hace referencia en los incisos 6-4.13 y 6-4.14 se usará revoltura que llegue a su destino final después de haber transcurrido treinta (30) minutos a partir de la incorporación del agua en el mezclado, salvo que el Representante autorice el empleo de aditivos y fije el lapso máximo. Tampoco se permitirá la falta de limpieza y condiciones inadecuadas de los medios de transporte que alteren las propiedades de la mezcla.

**6-4.17** El uso de iluminación artificial durante los colados deberá ser autorizado por el Representante, y las instalaciones tendrán que estar acondicionadas de manera que garanticen un alumbrado eficiente, adecuado y continuo en todos los sitios de la obra en que sea requerido. Cualquier revoltura que se coloque violando esta disposición, o en ausencia de un inspector autorizado por el Representante, será retirada y reemplazada si el Representante lo estima conveniente.

**6-4.18** Dentro de los treinta (30) minutos posteriores a la incorporación del agua en el mezclado, el acomodo y compactación de la revoltura se harán de

manera que llene totalmente los moldes, sin dejar huecos dentro de su masa. Esto se obtendrá con alguno de los procedimientos siguientes:

- A) Mediante el uso de vibradores de inmersión, según los elementos estructurales por colar, previa aprobación del Representante. De acuerdo con el volumen correspondiente a la etapa que deba colarse, deberán emplearse un número suficiente de vibradores para asegurar el correcto acomodo de la revoltura.
- B) Cuando la revoltura se deposite en pisos o en estructuras de espesor reducido, ésta se acomodará correctamente mediante pisonos de tipo vibratorio, máquinas de acabado u otros equipos o métodos autorizados por el Representante.
- C) Cuando se trate de elementos precolados en taller se usarán, además, vibradores de molde como lo fije el proyecto y/o lo indique el Representante.
- D) Cuando, con la aprobación del Representante, no se usen vibradores, la revoltura deberá acomodarse perfectamente picándola con varillas metálicas, del diámetro y en la cantidad requerida que el mismo Representante fije.

**6-4.19** Con el fin de obtener un concreto compacto, con textura uniforme y una superficie tersa en sus caras visibles, los vibradores mencionados en los párrafos (A), (B) y (C) del inciso anterior deben ser del tipo, frecuencia y potencia adecuados al elemento estructural por colar. Para impedir cualquier segregación o clasificación del material, se evitará un vibrado excesivo; asimismo se evitará el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo que pueda afectar a las partes ya coladas, o que pueda modificar la posición del propio acero de refuerzo.

**6-4.20** Si durante los trabajos de colado lloviera, éstos deberán suspenderse y se protegerán conve-

nientemente las superficies del concreto fresco, para evitar deslaves y/o defectos en el acabado.

**6-4.21** No deberán efectuarse colados cuando la temperatura del medio ambiente sea inferior a cinco grados Celsius (5°C), salvo en aquellos casos en que se apliquen procedimientos o aditivos que fije el proyecto y/o autorice el Representante.

**6-4.22** El colado para elementos estructurales de eje mayor vertical, tales como caballetes, pilas, estribos, columnas, muros, etc., se hará como sigue:

- A) La revoltura se vaciará colocándola en capas horizontales, continuas, de veinticinco (25) a treinta (30) centímetros de espesor. Cada capa se acomodará y compactará en toda su profundidad, para obtener un concreto que llene completamente los moldes y cubra en forma efectiva el acero de refuerzo.
- B) Cuando la revoltura deba vaciarse desde alturas mayores de tres (3) metros, se tomarán precauciones especiales, tales como el uso de deflectores y trompas de elefante. La revoltura no se deberá amontonar para ser extendida posteriormente en los moldes.
- C) Cuando por razón de emergencia sea preciso interrumpir la continuidad de una de las capas a que se refiere el párrafo (A) de este inciso, la capa deberá terminar con una cara vertical modelada contra un tabique o mamparo puesto de través en el molde.
- D) El colado de las capas se efectuará en forma continua y de manera que las subsecuentes se vayan colando una vez que la precedente haya sido acomodada y compactada convenientemente y antes de iniciarse su fraguado, para evitar discontinuidad o que se marquen juntas. El tiempo transcurrido entre el colado de una capa y la siguiente no debe ser mayor de treinta (30) minutos.
- E) La superficie libre de la última capa que se cuele, ya sea por suspensión temporal del

trabajo, autorizada por el Representante, o por término de las obras diarias, deberá limpiarse quitando la lechada u otros materiales perjudiciales, tan pronto como dicha superficie haya fraguado lo suficiente para conservar su forma.

- F) Por ningún motivo se paralizará el trabajo o se interrumpirá temporalmente cuando falten menos de cuarenta y cinco (45) centímetros para enrasar el coronamiento final de muros, estribos, pilas o columnas, salvo que éstos tengan que rematar en un cornisón de menos de cuarenta y cinco (45) centímetros de grueso, en cuyo caso se podrá dejar una junta de construcción en el lecho bajo de dicho cornisón.

**6-4.23** El colado para elementos estructurales de eje mayor horizontal, tales como vigas, losas, etc., se hará como sigue:

- A) Por frentes continuos, cubriendo toda la sección del elemento estructural.
- B) No se dejará caer la revoltura desde alturas mayores de uno punto cincuenta (1.50) metros, ni se amontonará para después extenderla en los moldes.
- C) El tiempo transcurrido entre un vaciado y el siguiente, para el mismo frente de colado, será como máximo de treinta (30) minutos.
- D) Deberá ser continuo hasta la terminación del elemento estructural o hasta la junta de construcción que fije el proyecto y/o que ordene el Representante.

**6-4.24** En arcos, el colado se hará en forma simultánea, desde ambos arranques hacia la clave, formando dovelas que se integrarán en una sola operación. Este proceso podrá modificarse cuando el proyecto y/o el Representante especifiquen otra cosa. En general, se aplicarán las mismas recomendacio-

nes que se especificaron para elementos estructurales de eje mayor horizontal (inciso 6-4.23).

**6-4.25** Durante el fraguado del concreto deberán proveerse los dispositivos adecuados, aprobados por el Representante, para evitar lo siguiente:

- A) Que durante las diez (10) primeras horas que sigan a la terminación del colado, el agua de lluvia o alguna corriente de agua, deslave el concreto.
- B) Que una vez iniciado el fraguado no se interrumpa su estado de reposo, por lo menos durante las primeras cuarenta y ocho (48) horas de efectuado el colado, evitando toda clase de sacudidas y trepidaciones, esfuerzos y movimiento en las varillas que sobresalgan, y se altere el acabado superficial con huellas u otras marcas.

**6-4.26** El colado del concreto, necesario para lograr un fraguado y endurecimiento correctos, se obtendrá conservando la humedad superficial mediante alguno de los procedimientos siguientes:

- A) Aplicando adecuados riegos de agua sobre las superficies expuestas y moldes, a partir del momento en que dichos riegos no marquen huellas en las superficies expuestas. Estos riegos se aplicarán durante siete (7) días cuando se empleen cementos Portland de los tipos I, II, IV y V; cemento Portland puzolánico Tipo IP o cemento Portland de escorias de altos hornos Tipo IE, y durante tres (3) días cuando se emplee cemento Portland tipo III.
- B) Aplicando a las superficies expuestas una membrana impermeable, que impida la evaporación del agua contenida en la masa de concreto. La cantidad, clase de producto que se emplee y su forma de aplicación cumplirán con los requisitos que establece el proyecto y/o que dicte el Representante. Los

moldes se mantendrán húmedos durante siete (7) días cuando se emplee cemento Portland de los tipos I, II, IV y V; cemento Portland puzolánico tipo IP o cemento Portland de escorias de altos hornos tipo IE, y durante tres (3) días cuando se emplee cemento Portland tipo III.

- C) Cubriendo las superficies expuestas con arena, costales o mantas, que se mantendrán húmedos, al igual que los moldes, durante siete (7) días cuando se emplee cemento Portland de los tipos I, II, IV y V; cemento Portland puzolánico tipo IP o cemento Portland de escorias de altos hornos tipo IE, y durante tres (3) días cuando se emplee cemento Portland tipo III.
- D) Mediante el empleo de vapor o cualquier otro procedimiento fijado en el proyecto y/o que ordene el Representante.

**6-4.27** El agua que se utilice en el curado deberá estar limpia y exenta de sustancias nocivas.

**6-4.28** Todas las superficies han de estar exentas de bordes, rugosidades, salientes u oquedades de cualquier clase, y presentar el acabado superficial que fije el proyecto y/o que ordene el Representante. Cualquier superficie cuyo acabado no reúna las condiciones exigidas, tendrá que corregirse en la forma como lo ordene el Representante. Los alambres de amarre deberán cortarse al ras.

**6-4.29** El concreto dañado por cualquier causa deberá removerse o demolerse y substituirse por concreto nuevo que reúna las características requeridas en el proyecto. Cuando los daños sean imputables al Contratista, éste hará la reposición de la parte dañada sin cargo alguno para la Secretaría.

**6-4.30** Las juntas de construcción se harán en los lugares y en la forma establecida en el proyecto y/o que ordene el Representante. Para ligar concreto

fresco con otro ya fraguado, se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) Cuando transcurran de diez (10) a setenta y dos (72) horas de terminado el colado, se procederá a cepillar enérgicamente la superficie expuesta, con un cepillo de alambre y agua a poca presión, para quitar una capa de medio (0.5) centímetro de espesor, aproximadamente, con objeto de obtener una superficie rugosa y resistente. Esta operación de preparar la junta podrá realizarse con cualquier otra herramienta adecuada, siempre y cuando el espesor alcanzado sea superior a medio (0.5) centímetro y se lave después con abundante agua y al mismo tiempo limpiando la superficie con un cepillo de alambre. En todos los casos, las juntas no deberán tener material suelto y habrán de permanecer húmedas hasta que continúe el colado. Los moldes deberán reajustarse cuidadosamente. Cuando el Representante lo ordene, inmediatamente antes de colar el nuevo concreto se aplicará a la junta una lechada de cemento, cuya relación agua-cemento sea igual a la empleada en el concreto.
- B) Cuando lo indique el proyecto y/o el Representante lo ordene, la superficie del concreto ya fraguado deberá limpiarse mediante un chiflón de arena y lavarse en seguida, tanto la superficie como los moldes. Las juntas deberán conservarse libres de material suelto y mantenerse húmedas hasta antes de que se continúe el colado. Los moldes deberán reajustarse cuidadosamente. Cuando lo ordene el Representante, inmediatamente antes de colar el nuevo concreto se aplicará a la junta una lechada de cemento, cuya relación agua-cemento sea igual a la empleada en el concreto. Este procedimiento puede utilizarse en lugar o en adición de lo indicado en el párrafo (A) de este inciso.

- C) Cuando transcurran de una (1) a diez (10) horas de terminado el primer colado, el Representante fijará en cada caso el procedimiento a seguir, de acuerdo con el tiempo transcurrido.
- D) Cuando el proyecto especifique y/o el Representante ordene el uso de adhesivos especiales, se determinarán los procedimientos de construcción a seguir en cada caso.

**6-4.31** Salvo indicación en contrario del Representante, en caso de suspender el colado fuera de una junta de construcción será necesario demoler todo el concreto, hasta llegar a la junta de construcción fijada y más próxima.

**6-4.32** Las juntas de dilatación podrán ser abiertas o rellenas, con placas de deslizamiento o sin ellas y se harán en la forma y lugares que señale el proyecto. En general se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) Las juntas de dilatación abiertas se construirán colocando un diafragma provisional, el cual puede ser una pieza de madera, hoja de metal u otro material adecuado, diafragma que se quitará después de que el concreto endurezca. La forma del diafragma provisional y el método que se emplee para insertarlo y removerlo serán tales que eviten la posibilidad de romper las aristas de las juntas o de causar algún daño al concreto.
- B) En las juntas de dilatación que se rellenen con material sólido se empleará el material indicado en el proyecto. En todas las juntas deberá recortarse el material al tamaño exacto y de tal modo que llene completamente el espacio que señale el proyecto. Cuando la junta esté constituida por varias piezas, tendrá que evitarse que éstas queden flojas, mal ajustadas entre sí o con las paredes de la junta.

- C) Cuando el proyecto indique juntas de dilatación con placas de deslizamiento, éstas deberán quedar bien ancladas en los elementos que deslicen y además lubricadas con grafito, grasa u otro material, según lo indique el proyecto, en todas las superficies de contacto o deslizamiento. Deberá cuidarse que durante el colado no se depositen materiales extraños en las juntas, que impidan o dificulten su funcionamiento.

6-4. 33 Las obras falsas de las cimbras se construirán de acuerdo con lo que establezca el proyecto y/o con lo que ordene el Representante; o bien, conforme al proyecto que elabore el Contratista y le apruebe el Representante. En general se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) Las obras falsas podrán ser de madera, metálicas o de cualquier otro material aprobado por el Representante.
- B) Previa autorización del Representante, y a fin de reducir la altura de una obra falsa, ésta podrá desplantarse sobre terraplenes construidos para tal objeto.
- C) Las obras falsas sólo podrán usarse más veces que lo establecido por el Representante, cuando éste lo autorice y se les hagan las reparaciones que el propio Representante ordene, sin que eso signifique modificar el programa de trabajo aprobado.
- D) En los apoyos de las obras falsas se usarán cuñas de materiales duros o cualquier otro dispositivo adecuado, a fin de corregir cualquier asentamiento pequeño que pudiera producirse antes, durante o inmediatamente después del colado.
- E) Las obras falsas que no puedan cimentarse satisfactoriamente por apoyo directo sobre el terreno deberán descansar en pilotes, cuya posición, hincado y remoción deberán hacer-

se según lo fije el proyecto y/o lo ordene el Representante. Las obras falsas podrán también apoyarse sobre algunos elementos de la subestructura y/o superestructura, previa autorización del Representante.

- F) Una vez terminada la construcción de la obra falsa, deberá revisarse cuidadosamente en todos sus aspectos, para cerciorarse de que está de acuerdo con los proyectos aprobados.
- G) El Representante verificará los desplantes, niveles, contraflechas y, en general, todos los elementos geométricos de la obra falsa.
- H) Cuando los proyectos de obras falsas sean elaborados por el Representante, el Contratista tendrá opción de proponer proyectos alternos, tanto por lo que respecta a la clase de materiales como al tipo de proyecto. Tanto los materiales como el proyecto deberán ser aprobados por el Representante, siempre y cuando no produzcan demoras en los programas de trabajo.

**6-4.34** Los moldes de las cimbras se construirán de acuerdo con lo establecido en el proyecto y/o con lo ordenado por el Representante; o bien conforme al proyecto que elabore el Contratista y le apruebe el Representante. En general se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) Los moldes podrán ser de madera, metálicos o de cualquier otro material aprobado por el Representante.
- B) Los moldes habrán de tener la rigidez suficiente para evitar las deformaciones debidas a la presión de la revoltura, al efecto de los vibradores y a las demás cargas y operaciones correlativas al colado o que puedan presentarse durante la construcción. Además, deberán ser estancos, para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos, durante el colado y la compactación de la revoltura.

- C) Los moldes sólo podrán usarse un mayor número de veces que el establecido por el Representante, cuando éste lo autorice y se hagan las reparaciones que el propio Representante ordene, sin que ello signifique modificar el programa de trabajo aprobado.
- D) Los moldes deberán limpiarse perfectamente antes de una nueva utilización. La parte interior de los moldes recibirá una capa de aceite mineral o de cualquier otro material aprobado por el Representante. Cuando, por las propiedades de estos materiales, convenga aplicarlos una vez construidos y colocados los moldes, se hará antes de introducir el refuerzo, pero si éste se ensucia, deberá limpiarse antes de efectuarse el colado.
- E) Todos los moldes se construirán de manera que puedan ser retirados sin dañar al concreto. Cuando se considere necesario, se dejarán aberturas temporales en la base y otros lugares de los moldes, para facilitar su limpieza e inspección, así como el colado.
- F) Cuando los proyectos de los moldes sean elaborados por el Representante, el Contratista tendrá opción a proponer proyectos alternos, tanto por lo que respecta a la clase de materiales como al tipo de proyecto. Tanto los materiales como el proyecto deberán ser aprobados por el Representante, siempre y cuando no produzcan demoras con respecto a los programas de trabajo.

**6-4.35** La remoción de cimbras se hará de acuerdo con lo que determine el proyecto y/o con lo que ordene el Representante. En general, se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) La determinación del tiempo a partir del cual puede iniciarse la remoción de los moldes y la obra falsa, depende del tipo de la estructura, de las condiciones climáticas y de otros factores que puedan influir en el endureci-

miento del concreto. Como mínimo, a menos que el proyecto especifique y/o el Representante ordene otra cosa, los lapsos entre la terminación del colado y el inicio de la remoción de los moldes y de la obra falsa serán los siguientes:

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO DE CEMENTO HIDRAULICO	
	Portland Tipos I, II, IV, V Portland puzolánico Tipo IP Portland de escorias de altos hornos Tipo IE	Portland Tipo III
Bóvedas.....	14 días	7 días
Trabes.....	14 días	7 días
Losas de piso.....	14 días	7 días
Columnas.....	2 días	1 día
Muros.....	2 días	1 día
Costados de trabes, losas, etc.....	2 días	1 día

Cuando el peso muerto sea de consideración, a juicio del Representante, éste fijará el plazo mínimo adecuado en cada caso.

- B) Cuando se usen aditivos, el Representante, con base en los resultados de las pruebas de los cilindros tomados del concreto empleado en la estructura, fijará la fecha para la remoción de los moldes y de la obra falsa.
- C) En elementos estructurales que no soportan cargas, tales como guarniciones y parapetos, los moldes de superficies verticales podrán removerse a partir de doce (12) a cuarenta y ocho (48) horas después de efectuado el colado.
- D) Si se emplean amarres para sujetar y reforzar los moldes, se colocarán y removerán de manera que ninguno de ellos, excepto los metálicos, queden dentro del concreto.
- E) Para remover los moldes y la obra falsa no deberán usarse procedimientos que dañen las

superficies del concreto o que incrementen los esfuerzos a que estará sujeta la estructura. Los apoyos de la obra falsa, tales como cuñas, cajones de arena, gatos y otros dispositivos, deberán retirarse de manera que la estructura tome su esfuerzo gradualmente.

- F) Cuando proceda la remoción de los moldes antes de concluir el curado, éste se continuará de la manera indicada en el inciso 6-4.26.

**6-4.36** No se aplicarán las cargas totales de proyecto hasta veintiocho (28) días después de terminado el colado de los concretos fabricados con cemento Portland de los Tipos I, II, IV o V, Portland puzolánico Tipo IP y de escorias de altos hornos Tipo IE. Podrá cargarse parcialmente a los veintiún (21) días después de terminado el colado en los casos en que así lo autorice el Representante. Si se usa cemento Portland Tipo III o aditivos serán modificados los lapsos anteriores, de acuerdo con las indicaciones del Representante para cada caso.

**6-4.37** Los colados bajo el agua se harán como lo determine el proyecto y/o lo ordene el Representante. En general, se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) Antes de iniciar el depósito de la revoltura y cuando así lo amerite la obra, se hará una inspección final de las condiciones de la superficie de desplante, mediante operaciones de buceo, para cerciorarse de que se ha cumplido con los requisitos fijados en el proyecto y/o con lo ordenado por el Representante.
- B) Salvo indicación en contrario, el concreto deberá ser como mínimo, de una ( $f'c$ ) igual a ciento cincuenta (150) kilogramos sobre centímetro cuadrado. La cantidad de cemento necesaria para obtener un concreto de la resistencia que establezca el proyecto y/o que ordene el Representante en cada caso, será aumentada en un diez por ciento (10%) como mínimo, en relación con la determinada para

un concreto de características similares que se diseñe para colarse en seco.

- C) La zona de colado deberá protegerse adecuadamente, con objeto de efectuar el colado en agua tranquila.
- D) La revoltura se vaciará de manera que vaya formando capas horizontales, aproximadamente.
- E) Cuando se haga uso de un tubo-embudo, éste consistirá en un embudo acoplado a un tubo cuyo diámetro interior mida no menos de veinticinco (25) centímetros, construido en tramos de longitud adecuada, unidos entre sí mediante coples interiores roscados u otros dispositivos estancos. El extremo inferior del tubo permanecerá siempre ahogado en el concreto previamente colado, a fin de conservarlo lleno de revoltura. La suspensión del tubo-embudo será tal, que permitirá los desplazamientos verticales necesarios para controlar el flujo de la revoltura, así como desalojamientos horizontales en la superficie del colado. Hasta donde sea posible, se procurará que el flujo sea continuo. El extremo ahogado del tubo-embudo deberá extraerse hasta la terminación del colado de una etapa completa.
- F) Cuando el colado se haga por medio de un bote de fondo móvil éste tendrá forma de embudo y la capacidad adecuada al colado que se pretende efectuar; dicha capacidad no deberá ser menor de doscientos cincuenta (250) litros. El bote se bajará gradual y cuidadosamente hasta que el embudo penetre en la revoltura antes depositada; a continuación se abrirá el fondo y se levantará poco a poco el bote, para no agitar el agua ni la revoltura.
- G) El concreto fresco no deberá quedar expuesto a la acción dinámica del agua, sino hasta que haya endurecido.

**6-4.38** Los colados bajo el agua salada, o expuestos a la acción de ésta, se harán como determine el proyecto y/o lo ordene el Representante. En general, se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) El concreto deberá ser como mínimo de una (f'c) igual a doscientos (200) kilogramos sobre centímetro cuadrado, elaborado con cemento Portland Tipo V, cemento Portland puzolánico Tipo IP o cemento Portland de escorias de altos hornos Tipo IE. La cantidad de cemento necesaria para obtener un concreto de la resistencia que fije el proyecto y/o que ordene el Representante, en cada caso será aumentada en un diez por ciento (10%), como mínimo, en relación con la determinada para un concreto de características similares que se diseñe para colarse en seco. No deberán usarse agregados pétreos ligeros, de baja resistencia.
- B) En ningún caso se dejarán juntas de construcción en la zona comprendida entre sesenta (60) centímetros abajo de la baja marea y sesenta (60) centímetros arriba de la alta marea. En esta zona la revoltura se colará en seco, construyendo moldes estancos entre dichos niveles.
- C) Además, se observará lo indicado en los párrafos (A), (C), (D), (E), (F) y (G) del inciso 6-4.37.

**6-4.39** El concreto ciclópeo será de la (f'c) que fije el proyecto. Las piedras deberán pesar, como mínimo, treinta (30) kilogramos y el volumen máximo correspondiente al total de la piedra agregada no será mayor de treinta por ciento (30%) respecto al volumen del concreto ciclópeo. Además, en general, se observarán las recomendaciones siguientes:

- A) Las piedras que se utilicen deberán estar limpias y exentas de costras. Si sus superficies tienen cualquier materia extraña que reduzca la adherencia, se limpiarán o lavarán y serán

rechazadas si tienen grasas, aceites y/o si las materias extrañas no son removidas.

- B) Todas las piedras se mojarán antes de colocarse. Las piedras se colocarán con cuidado, sin dejarlas caer para evitar que causen daños a los moldes y/o al concreto fresco adyacente. En caso de que las piedras presenten planos dominantes de estratificación, se colocarán de manera que los esfuerzos se desarrollen normalmente a dichos planos.
- C) El espacio libre entre piedras deberá ser de quince (15) centímetros, como mínimo; entre las piedras y los paramentos, no menor de diez (10) centímetros; y abajo del coronamiento de un elemento estructural, no menor de treinta (30) centímetros.

## 6-5 MEDICION

6-5.1 La medición del concreto se hará tomando como unidad el metro cúbico. Como base se tomará el volumen que fije el proyecto, pero se harán las modificaciones necesarias por los cambios autorizados por el Representante. Se medirá por separado cada tipo de concreto que fije el proyecto y/o que ordene el Representante.

6-5.2 No se medirá el concreto que no cumpla con lo estipulado en el inciso 6-4.5.

6-5.3 No se medirán los acarreos del cemento, puzolanas, cloruro de calcio, otros aditivos, ni de los materiales para curado.

6-5.4 Las juntas a que se refieren los párrafos (B) y (C) del inciso 6-4.32 se medirán de acuerdo con una (1) de las dos (2) modalidades que se indican a continuación:

- A) Cuando sean metálicas, tomando como unidad el kilogramo, de acuerdo con el peso fijado en el proyecto.
- B) Cuando no sean metálicas, tomando como unidad el metro cuadrado o el decímetro cua-

drado, de acuerdo con el área fijada en el proyecto.

**6-5.5** Las obras falsas se medirán como lo indique el proyecto y/o el Representante de acuerdo con una (1) de las tres (3) modalidades que se mencionan a continuación:

- A) Tomando como unidad el metro cúbico de concreto colado, de acuerdo con la cubicación que fije el proyecto, pero se podrán hacer las modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante, para cualquier altura.
- B) Tomando como unidad el kilogramo de estructura metálica, de acuerdo con las cantidades fijadas en el proyecto, pero se podrán hacer las modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante.
- C) Tomando como unidad el metro cúbico de madera, de acuerdo con la cubicación que fije el proyecto, pero se podrán hacer las modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante.

**6-5.6** Cuando la altura de la obra falsa sea mayor que cuatro (4) metros contados a partir del nivel de su desplante, el excedente se bonificará para cada metro o fracción adicional. Lo anterior no es aplicable a obras falsas para concreto hidráulico pagado por unidad de obra terminada.

**6-5.7** Los moldes se medirán como lo indique el proyecto y/o lo señale el Representante, de acuerdo con una (1) de las cuatro (4) modalidades que se indican a continuación:

- A) Tomando como unidad el metro cuadrado de área de contacto entre los moldes y el concreto, de acuerdo con el área fijada en el proyecto, pero se podrán hacer las modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante.

- B) Tomando como unidad el metro cúbico de concreto colado, de acuerdo con la cubicación que fije el proyecto, pero se podrán hacer las modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante.
- C) Tomando como unidad el kilogramo de molde metálico, de acuerdo con las cantidades fijadas en el proyecto, pero se podrán hacer modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante.
- D) Tomando como unidad el metro cúbico de madera, de acuerdo con la cubicación que fije el proyecto, pero se podrán hacer las modificaciones necesarias por cambios autorizados por el Representante.

**6-5.8** Los aditivos que se utilicen por orden del Representante se medirán tomando como base el kilogramo o el litro, según sea el caso.

**6-5.9** Los materiales laminares para curado de concreto se medirán tomando como base el metro cuadrado.

**6-5.10** Si por cambio de proyecto y/o a causa de lo ordenado por el Representante, es necesario modificar la ( $f'c$ ) del concreto, se harán bonificaciones o deducciones de acuerdo con la cantidad de cemento, en exceso o en defecto, empleado por metro cúbico de concreto y se medirá tomando como base el kilogramo.

**6-5.11** En caso de sobrevenir crecientes, sismos u otros fenómenos naturales no previsibles, que ocasionen daños a la obra, los daños se medirán, para los efectos de pago, únicamente cuando el Contratista esté trabajando dentro de los plazos del programa de obra estipulado en el contrato, o tenga retraso justificado.

## **6-6 BASE PARA EL PAGO**

**6-6 1** El concreto hidráulico se pagará al precio que en el contrato se haya convenido para el metro

cúbico de concreto, de acuerdo con la (f'c) de que se trate. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: desmonte y despalme de bancos; extracción o adquisición de los agregados fino y grueso, del agua y de la piedra en el caso de concreto ciclópeo; acarreo libre de los distintos materiales; adquisición y transporte del cemento al lugar de la obra; cargas, descargas, almacenamiento y manejo en la obra, para los distintos materiales; trituración y/o cribado y/o lavado de los agregados fino y grueso; mezclado; transporte; agua para el humedecimiento de los moldes; vaciado; colocación de la piedra en el caso del concreto ciclópeo; acomodo y compactación de la revoltura; mermas y desperdicios; preparación de las juntas de construcción; curado y acabado; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

**6-6.2** Las juntas de dilatación se pagarán a los precios convenidos en el contrato como se indica a continuación.

- A) De junta metálica, por kilogramo. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición y transporte de los materiales a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; fabricación, adaptación y colocación; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.
- B) De junta no metálica, por metro cuadrado o decímetro cuadrado, según sea el caso. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: valor de adquisición y transporte de los materiales a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; fabricación, preparación y colocación, y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

**6-6.3** La obra falsa se pagará a los precios convenidos en el contrato como se indica a continuación:

- A) Por metro cúbico de concreto colado. Estos

precios unitarios incluyen lo que corresponda por: la parte proporcional del valor de adquisición de los materiales, de acuerdo con el número de usos que indique el Representante; transporte de los materiales a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; preparación, la parte proporcional de la fabricación, y montaje de la obra falsa; desperdicios; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

- B) Por kilogramo de obra falsa metálica. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: la parte proporcional del valor de adquisición de los materiales y trabajo de taller, de acuerdo con el número de usos que señale el Representante; transporte a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; adaptación conforme al proyecto; montaje; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.
- C) Por metro cúbico de madera empleada. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: la parte proporcional del valor de adquisición de la madera y del herraje, de acuerdo con el número de usos que determine el Representante; transporte de la madera y del herraje a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; preparación, fabricación y colocación de la obra falsa; desperdicios; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

6-6.4 La bonificación en el pago de obras falsas por alturas mayores de cuatro (4) metros se hará para el volumen de concreto hidráulico colado por cada metro o fracción adicional de altura con la cantidad estipulada en el contrato. No se hará la bonificación anterior, cuando el pago del concreto hidráulico se pacte por unidad de obra terminada.

**6-6.5** Los moldes se pagarán al precio convenido en el contrato, como se indica a continuación:

- A) Por metro cuadrado de molde de madera, metálico o de cualquier otro material empleado. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: la parte proporcional del valor de adquisición del material y herrajes empleados, de acuerdo con el número de usos que señale el Representante; trabajos de taller y transporte de material y del herraje a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; preparación, fabricación, aceitado y colocación de los moldes; desperdicios; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.
- B) Por metro cúbico de concreto colado. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: la parte proporcional del valor de adquisición de los materiales y trabajos de taller, de acuerdo con el número de usos que determine el Representante; transportes de los materiales a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; preparación, fabricación, aceitado y colocación de los moldes; desperdicios; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.
- C) Por kilogramo de moldé metálico. Este precio unitario incluye lo que corresponde por: la parte proporcional del valor de adquisición, de acuerdo con el número de usos que indique el Representante; trabajo de taller y transporte de los materiales a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; adaptación conforme al proyecto; aceitado; montaje; desperdicios; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.
- D) Por metro cúbico de concreto vaciado. Este precio unitario incluye lo que corresponda

por: la parte proporcional del valor de adquisición de la madera y del herraje, de acuerdo con el número de usos que determine el Representante; transporte de la madera y del herraje a la obra; cargas, descargas y almacenamientos; preparación, fabricación, aceitado y colocación de los moldes; desperdicios; descimbrado y remoción; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

**6-6.6** Los aditivos se pagarán al precio fijado en el contrato por kilogramo o litro, según sea el caso. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: valor de adquisición, transporte a la obra, cargas y descargas, almacenamientos; mermas, operaciones de aplicación y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

**6-6.7** Los materiales laminares para curado de concreto se pagarán al precio convenido en el contrato para el metro cuadrado. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: valor de adquisición, transporte a la obra, cargas y descargas, almacenamiento, mermas, operaciones de colocación y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

**6-6.8** Las bonificaciones o las deducciones por cemento se pagarán o se descontarán al precio que en el contrato se haya convenido para el kilogramo de cemento. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición del cemento y su transporte a la obra, cargas y descargas, almacenamiento y desperdicios, y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

**6-6.9** El concreto colado bajo agua se pagará al precio que en el contrato se haya convenido para el metro cúbico de concreto. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: desmonte y despalle de bancos; extracción o adquisición de los agregados

6-6.11 Las juntas de dilatación, por unidad de obra terminada, se pagarán de acuerdo con lo indicado en el inciso 6-6.2.

fino y grueso y del agua; acarreo libre de los diversos materiales; adquisición y transporte del cemento al lugar de la obra; trituración y/o cribado y/o lavado de los agregados fino y grueso; cargas, descargas, almacenamientos y manejo en la obra, para los distintos materiales; mezclado, dispositivos para efectuar el colado, transporte y vaciado, mermas y desperdicios, y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.

6-6.10 El concreto hidráulico, por unidad de obra terminada, se pagará al precio que en el contrato se haya convenido para el metro cúbico de concreto, de acuerdo con la (f'c) de que se trate. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por: permisos de explotación de bancos; desmonte y despalle de bancos; extracción o adquisición de los agregados fino y grueso, agua, y piedra en el caso de concreto ciclópeo; los acarreos que sean necesarios; trituración y/o cribado y/o lavado de los agregados fino y grueso y de la piedra; adquisición y transporte del cemento, aditivos como son: puzolanas, cloruro de calcio, agentes inclusores de aire y otros, al lugar de la obra; cargas, descargas, almacenamientos y movimientos en la obra de todos los materiales; parte proporcional del costo de la madera, herraje y/o acero u otros materiales para obra falsa y moldes; transporte de estos materiales a la obra; fabricación, aceitado y colocación de la obra falsa y de los moldes, cualquiera que sea su altura; bombeo y obras auxiliares para efectuar el colado en seco, si lo fija el proyecto; dispositivos y obras auxiliares para efectuar el colado bajo agua; elaboración del concreto; transporte de la revoltura; agua para el humedecimiento de los moldes; colado a cualquier altura; colocación de la piedra en el caso de concreto ciclópeo; acomodo y compactación de la revoltura; mermas y desperdicios; preparación de las juntas de construcción; curado, incluyendo agua y/o los materiales; descimbrado y remoción de la cimbra; acabados, limpieza de la obra, y en general, todo lo necesario para la ejecución; y los tiempos empleados por los vehículos de transporte durante las cargas y las descargas.



# PROCEDIMIENTO DE SUPERVISION

## REVISION DE ARMADO Y COLOCADO DE ACERO

MARCA \_\_\_\_\_ F'y \_\_\_\_\_ MUESTREADO SI  NO

TRAZO: \_\_\_\_\_ NIVELES: \_\_\_\_\_ PLOMO: \_\_\_\_\_ RECUBRIMIENTO: \_\_\_\_\_

CANTIDAD Y LONGITUD DE TRASLAPE: \_\_\_\_\_ PROYECTO: \_\_\_\_\_ REAL \_\_\_\_\_

SE REVISARON AMARRES: SI  NO  ALAMBRE RECOCIDO CAL. No. \_\_\_\_\_

SEPARADORES SI  NO

SILLETAS SI  NO

ESTRIBOS SI  NO

MEDIDAS SI  NO  LONGITUD DE ANCHO SI  NO

TOLERANCIA ACEPTABLE SI  NO

SE AUTORIZA CIMBRADO SI  NO  COLUMNAS SI  NO

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

### CUANTIFICACIONES SEGUN PLANO GENERADOR

2.0	KG	8	KG
2.8	KG	8	KG
3.0	KG	10	KG
4.0	KG	12	KG
5.0	KG		

RESPONSABLE DE REVISION

SUPERVISION

ACUERDO CONTRATISTA

CUANTIFICO

# CONCRETO

OBRA \_\_\_\_\_

COMPANIA \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_  
 ELEMENTO \_\_\_\_\_  
 PLANOS No. \_\_\_\_\_

- 1 DIA Y HORA PARA EFECTUAR COLADO \_\_\_\_\_
2. REVENIMIENTO \_\_\_\_\_
3. RESISTENCIA 100  150  200  250  300  350
4. LABORATORIO \_\_\_\_\_
5. ADITIVOS A UTILIZARSE \_\_\_\_\_
6. INTERRUPCIONES DE COLADO \_\_\_\_\_
7. PROCEDIMIENTO DE COLADO \_\_\_\_\_
- BOMBA  BACHA  OTRO
8. ¿EN CONCRETO BOMBEADO SE REVISÓ CONDUCTOS? SI  NO
9. ¿SE CUENTA CON EQUIPO Y MATERIAL PARA FABRICACION DE CONCRETO EN OBRA? SI  NO
- OBSERVACIONES \_\_\_\_\_
10. ALCANCE EN METROS DEL VIBRADOR \_\_\_\_\_ TIPO DE VIBRADOR GASOL.  ELECTRICO
11. ¿EN EL COLADO NOCTURNO SE CUMPLE CON LAS NORMAS DE SEGURIDAD? \_\_\_\_\_
12. NIVEL DE CORTE DEL COLADO \_\_\_\_\_ N \_\_\_\_\_ EJES DE LOCALIZACION \_\_\_\_\_
13. ¿SE VERIFICO PASOS Y PREPARACIONES DE INSTALACIONES? \_\_\_\_\_
14. PROCEDIMIENTO PARA EL CURADO \_\_\_\_\_
15. DIA Y HORA DE TERMINACION DEL COLADO \_\_\_\_\_
16. HORA DE SALIDA DE LA PLANTA DE LA REVOLVEDORA \_\_\_\_\_ HORA DE VACIADO \_\_\_\_\_

## CUBICACION DE CONCRETO

PLANO GENERADOR No. \_\_\_\_\_

ELEMENTO	LOC.	No. PZAS.	VOLUMEN	TOTAL	OBSERVACIONES
<b>TOTAL</b>					

V. B. SUPERVISION \_\_\_\_\_

CONTRATISTA \_\_\_\_\_

AUTORIZO \_\_\_\_\_

