



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO

TEMA 7.5 EJEMPLO DE APLICACION

ING. RAUL LOPEZ CALVILLO

Marzo, 1976

**Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels.: 521-40-23 521-73-35 512-31-23**

7.5 EJEMPLO DE APLICACION

VI - 3 MANEJO DEL AGUA DE FILTRACION.

7.5.1 INTRODUCCION.

En el capítulo 1 - 7, Hidrogeología, se trata el estudio realizado para la estimación de filtraciones al interior del túnel. Si bien un estudio de esta naturaleza no tiene un grado de confiabilidad muy elevado, también hay que añadir que los resultados que arroja representan una buena base para iniciar la planeación del manejo del agua de filtraciones en el interior del túnel, hasta su extracción a superficie. Por otra parte, las observaciones realizadas en las zonas ya excavadas, permiten ajustar el análisis, mediante la introducción de parámetros empíricos, hasta lograr una precisión razonable.

La obtención de estos parámetros no representa un serio problema si se aceptan algunas hipótesis que, en realidad, están bien respaldadas, estadísticamente, por lo que ha ocurrido en todas las excavaciones subterráneas.

1.- Las filtraciones promedio, al iniciar la excavación, medidas en l/seg/m, son superiores a las filtraciones promedio, medidas en la misma unidad, cuando ya se tiene una longitud apreciable de túnel excavado. Es decir, la variación de filtraciones se parece más a la curva A que a la curva B de la figura VI - 3.1 - 1.

2.- El flujo de agua en un punto de la excavación, varía según la curva asintótica mostrada en la figura VI - 3.1 - 2. Es decir, se tenderá a -

equilibrio entre los nutrientes del acuífero y las pérdidas del mismo, por filtración.

Seguramente este equilibrio se presentará después de que haya transcurrido un tiempo muy grande y no compatible con la duración de la obra, sin embargo, se puede aceptar, conservadoramente, que después de un lapso, que se puede fijar en función de esta duración de la obra, el volumen de filtraciones se mantendrá constante.

Esta hipótesis es también aceptable para el caso de aportaciones puntuales debidas a fallas, aunque seguramente, debido a que el agua que contienen puede proceder de lugares más lejanos, la relación de gasto final a gasto inicial es mayor que en el caso de flujo uniforme.

En base a estas dos hipótesis se puede seguir el procedimiento que se describe.

a).- Estimar las filtraciones en l/seg/m. de acuerdo a lo expuesto en la Hidrogeología para túnel desarrollado y afectar el resultado, para condiciones iniciales de un coeficiente.

Como será necesario instalar una o varias galerías de bombeo, el ajuste de este coeficiente se podrá hacer inmediatamente con la localización de la galería. Supóngase por ejemplo que se ha estimado que el túnel desarrollado tendrá filtraciones de 0.5 l/seg/m y que se inicia a partir de una lumbrera que no tiene filtraciones debido a un tratamiento de impermeabilización. La solución adecuada será suponer que, al inicio de la excavación se tendrán filtraciones de 5 l/seg/m. proponer la situación y dimensiones de una galería de bombeo, por ejemplo a -

30 m de la lumbrera y de 10 m de profundidad, es decir, 40 m de más. Habrá que instalar bombas de pozo profundo y columna larga en la lumbrera para extraer 5 x 40 = 200 l/seg, mientras se construye la galería. Si durante la excavación se observa que el coeficiente es superior a 10 por ejemplo 12, entonces la galería se tendrá que construir a:

$$(10 + L) \times 6 = 200 \therefore$$

$$L = \frac{200}{6} - 10 = 23 \text{ m}$$

b. Hacer aforos inmediatos para obtener las reducciones en las aportaciones de acuerdo a la curva A (fig. VI-3.1-1) y a la curva B de la figura VI-3.1-2.

c. Contar con un programa de avance de excavación para relacionarlo con dichas curvas.

d. Proponer la localización y capacidad de nuevas galerías.

e. Continuar los aforos para ajustar, hasta donde se desee, las curvas en cuestión.

Finalmente cabe añadir que la relación de gasto uniforme final a gasto uniforme inicial suele variar entre 0.1 y 0.3 y la de gasto puntual final a gasto puntual inicial, entre 0.1 y 0.6.

7.5.2 MANEJO Y CONDUCCION EN LA ETAPA DE EXCAVACION

La acumulación de agua en los frentes de excavación es uno de los im-

...pedimentos mayores para el logro de ciclos óptimos. Es evidente que cuando la sección de excavación corresponde a la de proyecto y se abra un frente hacia aguas arriba, el agua, drenará por gravedad sin inundar la zona de trabajo, pudiéndose captar en un dren cuyo tipo y dimensiones dependerá del gasto a conducir. El problema se agudiza en los frentes que avanzan hacia aguas abajo, en los que la pendiente hace que el agua tienda a acumularse en la zona de trabajo.

7.5.2.1. FRENTES AGUAS ABAJO. Para este caso de excavación hacia aguas abajo, la solución adoptada en el Emisor Central, consistió en hacer cárcamos para bombeo horizontal hasta la galería más cercana entre los que se construyó un dren con pendiente contraria a la del túnel (figura VI-3.2-1). Esta contrapendiente se fijó en 0.1% siendo la del túnel de 0.2 por ciento.

Los drenes se eligieron y diseñaron de acuerdo a lo indicado en las tablas VI-3.2-1 y VI-3.2-2. Los drenes en contrapendiente se excavaron de acuerdo a la tabla VI-3.2-3 mediante la deducción que se indica a continuación:

En la base a la figura VI-3.2-2 y suponiendo como conocidos d_1 , d_2

$$\frac{2}{3} d$$

$S = 0.002$, $S = 0.001$ y b , se tiene:

$$d = d_2 + 1 (S + S) = \frac{2}{3} d + 1 (S_1 + S_2)$$

$$d_1 = \frac{2}{3} d + 0.003 l$$

$$l = (d_1 - d_2) / (S_1 + S_2)$$

$$l_1 = 1 - (d_1 - d_2) / (S_1 + S_2) = 1 - d / 0.009$$

$$l = 1 + 111 d$$

Como ejemplo se calculará un dren en contra-pendiente para conducir un gasto de 2 l/seg/m uniforme más un gasto en el frente de 50 l/seg.

$$S = 0.002 \quad S = 0.001$$

Si se adopta una distancia, entre cárcamos, de 100 m se tiene:

$$Q = 100 \times 2 + 50 = 250 \text{ l/seg.}$$

De la tabla VI-3.2 - 1 se obtiene un dren tipo C₁; de la tabla VI-3.2-2 se obtiene que $b = 60 \text{ cm}$ y $d = 50 \text{ cm}$.

Finalmente, de la tabla VI - 3.2 - 3 se tiene que:

$$d_1 = 65 \text{ cm, } l_1 = 40 \text{ m } \quad l_2 = 60 \text{ m}$$

Si hay una suficiente capacidad de bombeo instalada, los cárcamos, se pueden separar a 200 m con lo que se tiene:

$$Q = 200 \times 2 + 50 = 450 \text{ l/seg.}$$

dren tipo C₁, $b = 70 \text{ cm}$, $d = 70 \text{ cm}$ $l_1 = 91 \text{ cm}$ $l_2 = 120 \text{ m}$ $l_3 = 80 \text{ m}$

7.5.2.2 FRENTES AGUAS ARRIBA. - Independientemente de lo molesto que resulta trabajar en un frente con filtraciones importantes, si este frente se ataca hacia aguas arriba, el drenaje será natural y no se tendrán inundaciones en la zona de trabajo. El agua podrá ser colectada en un dren y conducido a la galería de bombeo más cercana para su extracción.

Así pues, en estas condiciones, los ciclos de excavación se pueden llevar a cabo con una precisión mayor y obtenerse, como sucedió, rendimientos mayores.

7.5.3 DESARENADORES.

El agua de filtración que conducen los drenes hasta las galerías de bombeo

los arrastran considerables cantidades de material producto de la excavación con una alta capacidad de erosión que ocasiona daños importantes en las bombas de pozo profundo. Por esta razón, es muy conveniente colocar desarenadores entre los drenes y ucuas galerías. Estos desarenadores no son más que tanques de sedimentación y para su diseño se usa la Teoría Simple de la Sedimentación:

$$Q = b h v \quad \text{Puesto que}$$

$$b = \frac{Q}{h v} \quad \text{se tiene}$$

b = ancho del tanque, en m.

Q = gasto en m^3/seg , con que se alimenta la planra.

v = velocidad de flujo, en m/seg, en el tanque.

h = tirante, en m, en el tanque.

Si w , en m/seg es la velocidad de sedimentación o de caída de una partícula y, la longitud del tanque es l , en m, la proposición es que el tiempo, t_h que tarda la partícula en recorrer, horizontalmente la longitud, l del tanque, sea igual al tiempo, t_v que tarda en recorrer la altura h , verticalmente, es decir:

$$t_h = \frac{l}{v} ; \quad t_v = \frac{h}{w}$$

$$t_h = t_v$$

$$l = \frac{v h}{w}$$

La velocidad de sedimentación, w , queda definida por los resultados.

de Rubey en la fig. VI-3.3-1 La velocidad v , máxima permisible, que evita que las partículas, una vez asentadas, sean nuevamente puestas en movimiento (velocidad crítica de arrastre de los granos) es, según Camp:

$$v = a \sqrt{d} \quad (\text{en cm/seg.})$$

d = diámetro de las partículas, en mm.

a = coeficiente que depende de:

$$a = 36 \text{ para } d > 1 \text{ mm}$$

$$a = 44 \text{ para } 0.1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$$

$$a = 51 \text{ para } d < 0.1 \text{ mm}$$

Si por ejemplo, se tiene un gasto $Q = 400$ l/seg. con un tirante $h = 75$ cm y se quiera eliminar partículas mayores de 0.5 mm, se tendrá: Según Camp la velocidad crítica es:

$$v = 44 \sqrt{0.5} = 31.2 \text{ cm/seg.}$$

Según Rubey, de la fig. VI-3.3-1

$$w = 6 \text{ cm/seg.}$$

$$b = \frac{0.4}{0.75 \times 0.0312} = 1.70$$

$$l = \frac{0.312 \times 0.75}{0.06} = 3.9 \text{ m}$$

Con el objeto de poder hacer limpieza en el desarenador es conveniente dividirlo en 2 canales con compuerta y rejilla que detenga los cuerpos flotante y reduzca la turbulencia.

7.5.4 CONDUCCION A PRESION.

Cualquier problema de diseño hidráulico de un conducto a presión, en escurrimiento permanente, se puede resolver con las ecuaciones de continuidad de Bernoulli y del impulso.

La primera establece la invariabilidad del gasto en cada sección del conducto.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \dots$$

La segunda establece la constancia de la energía entre las secciones transversales 1 y 2 del conducto.

$$Z_1 + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_f + \sum_1^2 h_m$$

La tercera ecuación es una aplicación de la segunda ley de Newton, en forma vectorial y se conoce como ley de impulso.

$$\sum_1^2 \vec{F} = \frac{\rho Q}{g} [(\beta V_2) - (\beta V_1)]$$

Los distintos símbolos representan:

A = Área de la sección transversal, en m².

Q = Gasto en el conducto, en m³/seg.

V = Velocidad, media en la misma sección, en m/seg.

g = aceleración de la gravedad (aproximadamente 9.8 m/seg.)

P = Presión, en Kg/m².

Z = Carga de posición, en m.

Coefficiente de Coriolis (adimensional) que corrige el error que se origina al considerar una distribución uniforme de velocidades en la sección, de magnitud igual a la velocidad media. Se suele considerar 1 y se demuestra que depende del coeficiente de

fricción.

γ = peso específico del líquido, en Kg/m^3

$\sum_{1-2} h_m$ = Suma de las pérdidas de energía, o de carga, por fricción, desde la sección 1 a la 2.

$\sum_{1-2} F$ = Suma de pérdidas menores de 1 a 2

Resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el elemento líquido comprendido entre las secciones 1 y 2 considerado como cuerpo libre.

β = Coeficiente de Bussinesq con explicación semejante a:

$$\beta = 1 + \frac{\alpha - 1}{3}$$

El total de pérdidas estará dado por:

$$\Delta h = h_f + h_r + h_e + h_v + h_q + h_R + h_e + h_s$$

h_a = pérdidas por ampliación.

h_c = pérdidas por cambio de dirección.

h_e = pérdidas por entrada.

h_f = pérdidas por fricción en todo el conducto.

h_R = pérdidas por rejilla.

h_r = pérdidas por reducción.

h_s = pérdidas por salida.

h_v = pérdidas por válvula.

7.5.4.1 PERDIDAS POR ENTRADA. - La expresión general es:

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g}$$

Los valores de K_e , están dados en las figuras VI - 3.4 - 1.1 y V - 3.4 - 1.2

La entrada elíptica es la que produce el mínimo de pérdidas.

7.5.4.2 PERDIDAS POR REJILLA. La fórmula de Kirschmer es:

$$h_L = K_e \left(\frac{s}{b}\right)^{2/3} \sin \alpha \frac{V_0^2}{2g}$$

En la fig. VI-3.4-2 se muestran las acotaciones respectivas y el valor de K_R en función de la forma de la rejilla. V_0 es la velocidad frente a las rejas como si éstas no existieran.

Si el flujo es esviado se puede utilizar la fórmula de Mosonyi.

$$h_L^* = \beta h_L$$

Los valores de β pueden obtenerse de la fig. VI-3.4-2.2 en términos del coeficiente s/b y del ángulo α de inclinación del flujo.

Para las rejillas completamente sumergidas, la fórmula de Creager es:

$$h_L = K_e \frac{V^2}{2g}$$

en donde: $K_R = 1.45 - 0.45R - R^2$

$$k = \frac{a_n}{a_g}$$

a_n = área neta de la rejilla.

a_g = área bruta de la rejilla

V = velocidad neta a través de rejillas.

7.5.4.3 PERDIDAS POR AMPLIACION. Se usa la fórmula:

$$h_a = K_a \left(\frac{\Delta z}{\Delta_1} - 1\right) \frac{V_2^2}{2g} = K_a \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

de donde K_a depende del ángulo θ del difusor como se muestra en la

figura VI 3.4-3.1 Para ampliaciones bruscas se usa la misma fórmula con $K_a = 1$.

Con objeto de evitar separaciones y cavitación, el ángulo Θ del difusor

debe ser:

$$\tan \frac{\Theta}{2} = \sqrt{\frac{v_1}{2v_2}} \quad \text{para } \Theta < 20^\circ$$

en que

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{y} \quad V = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

7.5.4.4 PERDIDAS POR REDUCCION Se calculan con la fórmula:

$$h_e = K_r \frac{v_2^2}{2g}$$

Si la reducción es gradual, el coeficiente K_r depende del ángulo con que ésta se produzca de acuerdo con Kisteliév (tabla VI-3.3-4.1).

Si la contracción es brusca, se usan los coeficientes de Weisbach graficados en la figura VI-3.4-4.1)

7.5.4.5 PERDIDAS POR CAMBIO DE DIRECCION. Si el cambio de dirección es gradual con una curva de radio medio R y rugosidad absoluta, se puede usar la gráfica de la figura VI-3.4-5.1, debida a Hoffmann para calcular la pérdida de carga de una curva a 90° :

$$h_c = K_c \frac{v^2}{2g}$$

Si la curva tiene un ángulo diferente de 90° se usa la gráfica de la figura VI-3.4-5.2 de Wasiliewski, aplicable sólo a tubos lisos.

Para $\Theta > 90^\circ$ se pueden multiplicar los coeficientes de Hoffmann por la relación:

$$\frac{\Theta}{90^\circ}$$

Estos resultados son válidos para curvas en conductos de gran diámetro. Si se trata de codos en tuberías de diámetro chico se pueden usar los resultados de la fig. VI-3.4-5.3, de acuerdo con el diámetro del tubo.

Si el cambio de dirección es brusco, el coeficiente depende del número de Reynolds, Re, como se muestra en la figura VI-3.4-5.4 de Kirchbach y Schubart, para diferentes ángulos.

Si el cambio de dirección es a base de varios tramos rectos, los coeficientes de pérdida son como se muestra en la figura VI-3.4-5.5.

7.5.4.6 PERDIDAS POR BIFURCACION. Pueden ser por unión o por separación (fig. VI-3.4-6.1)

Las pérdidas de carga al integrarse o separarse la corriente se valúan como sigue:

$$h_a = K_a \frac{v^2}{2g} \quad h_d = K_d \frac{v^2}{2g}$$

en que, para separación.

$$K_a = 0.95 \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right) + \left(1.3 \cot \frac{\phi}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1 \phi}{\phi^2}\right) \left(1 - 0.9 \sqrt{\frac{Q_a}{Q}}\right) \left(\frac{Q_a}{Q}\right) + 0.4 \left(1 + \frac{1}{\phi}\right) \cot \frac{\phi}{2} \frac{Q_a}{Q} \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right); \quad K_d = 0.03 - 0.26 \frac{Q_a}{Q} + 0.52 \left(\frac{Q_a}{Q}\right)^2$$

para unión.

$$K_a = \left[\left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)^2 + \left(1.3 \cot \frac{\phi}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1 \phi}{\phi^2}\right) \left(1 - 0.9 \sqrt{\frac{Q_a}{Q}}\right) \left(\frac{Q_a}{Q}\right) + 0.4 \left(1 + \frac{1}{\phi}\right) \cot \frac{\phi}{2} \frac{Q_a}{Q} \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right) \right] \frac{Q_a}{Q}$$

$$K_d = 0.52 \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)^2 - \left[1 + \left(1.62 \sqrt{F}\right) \left(\frac{0.02 \phi^2}{\phi} - 1\right) - 0.3 \phi \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right) \right] \left(\frac{Q_a}{Q}\right) + (2 - \phi) \left(\frac{Q_a}{Q}\right) \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)$$

Donde

$$\phi = \frac{A_a}{A} \quad p = \frac{r}{d}$$

r = radio de redondeamiento.

7.5.4.7. PERDIDAS POR VALVULAS Los coeficientes de pérdida por válvulas varían de acuerdo con el tipo de éstas y deben ser proporcionados por los fabricantes para distintas posiciones. A continuación se dan algunos valores del coeficiente K_v .

$$h_v = K_v \frac{v^2}{2g}$$

$K_v = 0.016$ para válvula esférica.

$K_v = 0.080$ para válvula de guillotina.

$K_v = 0.100$ para válvula de mariposa (europea)

$K_v = 0.200$ para válvula de mariposa (americana)

$K_v = 0.400$ para válvula de aguja.

7.5.4.8 FUERZAS PRODUCIDAS POR EL LIQUIDO EN MOVIMIENTO

Con este tema se pretende hacer referencia a los efectos producidos por el líquido en los cambios de dirección y en las contracciones del conducto. Para el primer caso, cambios de dirección, en base a la figura VI-3.4.8.1 y aplicando la ley de impulso se tiene:

$$p_1 A_1 - F_x - p_2 A_2 \cos \theta = \frac{\gamma}{g} Q (V_2 \cos \theta - V)$$

$$F_y - p_2 A_2 \sin \theta = \frac{\gamma}{g} Q V_2 \sin \theta$$

Las componentes F_x y F_y representan las fuerzas que deberá resistir la estructura de atraque del tubo. En el caso en que se mantenga la sección constante, $V_1 = V_2 = V$ y $p_1 = p_2 = p$. Si además $\theta = 90^\circ$ se tendrá:

$$F_x = pA + \frac{\gamma}{g} V^2$$

$$F_y = pA + \frac{\gamma}{g} V^2$$

para el segundo caso, figura VI-3.4-8.2 se tiene:

$$P_1 A_1 - F_R - P_2 A_2 = \rho Q (V_2 - V_1) \therefore$$

$$F_R = P_1 A_1 - P_2 A_2 - \rho Q (V_2 - V_1)$$

7.5.5 BOMBEO

El tipo de bomba a utilizar depende del gasto a manejar y del origen y destino de líquido. En términos generales, se puede decir que las bombas utilizadas fueron las siguientes:

- a) bombas neumáticas.
- b) bombas para manejo horizontal
- c) bombas de pozo profundo para manejo vertical.

7.5.5.1 BOMBAS NEUMATICAS Estas bombas son de bajo gasto y baja carga. Generalmente trabajan a base de membranas que aspiran o expulsan el líquido por la acción del aire comprimido. Son especialmente útiles en los frentes de aguas abajo donde las filtraciones son pequeñas y es necesario impedir su inundación o para vaciado de cárcamos. Generalmente operan con una presión del orden de 6 kg/cm^2 (85 lb/pulg^2). En la figura VI-3.5.1.1 se presenta la gráfica de capacidad de una bomba sumergida (sin altura de succión) DOP 10 Atlas Copco, como un ejemplo de máquina de este tipo, sin analizar sus ventajas o desventajas con respecto a otras marcas.

7.5.5.2 BOMBEO HORIZONTAL Cuando las filtraciones son impor-

tantes y se trabaja en frentes aguas abajo o, cuando se necesita hacer un desvío del agua de un dren por cualquier razón, por ejemplo, revertirlo, el bombeo horizontal cobra gran importancia. En la figura VI-3.5.2.1 se presenta una gráfica de capacidad de bomba para este uso, sin atender a su marca.

7.5.5.5 BOMBAS DE POZO PROFUNDO En términos generales, estas bombas, están formadas por un motor eléctrico, un cabezal especial con salida para el agua, una flecha y un cuerpo de impulsores que forman la bomba propiamente dicha. Un diagrama general del sistema de bombeo se presenta en la fig. VI-3.5.3.1 para el caso de carga negativa de succión y descarga ahogada y otro, correspondiente a carga de succión positiva y descarga libre, en la fig. VI-3.5.3.2 La carga total del primer sistema es:

$$H = H_{ES} + H_{ED} + H_{fs} + H_{fd} + H_v$$

y la del segundo:

$$H = H_{ED} + H_{fs} + H_{fd} + H_v$$

H = carga total del sistema.

H_{ES} altura estática de succión

H_{ED} altura estática de descarga

H_{fs} = pérdidas totales de fricción y menores; en la rama de succión.

H_{fd} = pérdidas totales de fricción y menores; en la rama de descarga.

H_v = pérdidas por salida, representadas por la carga de velocidad en la rama de descarga.

Las curvas características de bombas proporcionan la siguiente información:

- a) Curva de gastos: Establece el punto o los puntos de operación de la bomba para los pares de valores (H , Q) del sistema.
- b) Curva de Potencias: Da los consumos de energía en el rango de operación que fija la curva de gastos.
- c) Curva de eficiencias: Determina la adaptabilidad de la bomba, al sistema en el rango de operación que fija la curva de gastos.

Las fig. VI-3.5.3.3 y VI-3.5.3.4 representan curvas características de bombas de pozo profundo.

Las bombas pueden operarse en serie y en paralelo. Cuando varias bombas operan en serie la curva de gastos de operación del conjunto, se obtiene sumando las cargas de presión de todas las bombas para cada gasto de funcionamiento. Cuando varias bombas se operan en paralelo, la curva de gastos de operación del conjunto se obtiene sumando los gastos correspondientes de todas las bombas para cada carga de funcionamiento.

Con el objeto de aclarar el sistema de diseño de una estación de bombeo se presenta a continuación un ejemplo detallado del análisis.

Ejemplo: se desea instalar una estación de bombeo para extraer 700 l/seg desde una profundidad de 145 m. Se proponen bombas de 300 HP y tubo de descarga de 50.8 cm de diámetro interior (ver plano VI-3.5.3.1)

Hes = 0

$$Hed = \underline{145 \text{ m}}$$

$$Het = 145 \text{ m}$$

Se supondrá que cada bomba es capaz de extraer 70 l/seg trabajando a 1460 rpm por un tubo de 20.3 cm de diámetro (8 pulg)

Este tubo tiene una válvula DUO-check y otra de compuerta.

$$A = \frac{\pi \times 0.203^2}{4} = 0.032 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.070}{0.032} = 2.19 \text{ m/seg.}$$

$$Hv_1 = \frac{2.19^2}{19.6} = 0.245 \text{ m}$$

válvula check $K_{ch} = 2.0$

$$H_{ch} = 2 \times 0.245 = 0.49 \text{ m}$$

válvula de compuerta (despreciable)

ampliación brusca $K_a = 1$

$$H_a = 1 \times 0.245 = 0.245 \text{ m}$$

para el múltiple y tubería de descarga:

$$A = \frac{\pi \times 0.508^2}{4} = 0.203 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.700}{0.203} = 3.45 \text{ m/seg.}$$

$$Hv = \frac{3.45^2}{19.6} = 0.61 \text{ m}$$

4 codos de gran radio, de 90° , brindado $K_c = 0.1$

$$H_c = 0.1 \times 4 \times 0.61 = 0.244 \text{ m}$$

$$\text{longitud de tubo } 30 + 145 = 175 \text{ m}$$

pérdida por fricción para tubo de acero

2.9 m/100 m (figura VI-3.5.3.5)

$$H_f = 2.9 \times 1.75 = 5.07 \text{ m}$$

$$H = 5.07 + 145.00 + 0.24 + 0.61 + 0.24 + 0.49 + 0.24$$

$$H = 152.00 \text{ m}$$

$$IIP = \frac{70 \times 152}{76 E}$$

$$E = \text{eficiencia} = 0.75$$

$$IIP = 187 < 300$$

no obstante, para fines de ilustración, se aceptará el motor de 300 IIP.

Suponiendo una bomba 14 CC con impulsor de 28 cm (11"), de la fig. -

VI-3.5.3.3 se tiene que un tazón vence 19.5 m de carga, por lo tanto, se necesitan:

$$\frac{152}{19.5} = 7.8 = 8 \text{ pasos}$$

de los cuales, cada uno, consume 23 HP.

$$IIP = 8 \times 23 = 184 \text{ HP} = 187 \text{ HP}$$

Se necesitarán 10 bombas y se colocarán 12 con el objeto de tener 20 por ciento de reserva.

7.5.6 GALERIAS DE BOMBEO

El diseño de las galerías de bombeo se hizo en base a suponer que la excavación no necesitaría un soporte mayor que el que tuviera el túnel.

Así se propuso utilizar las claves del ademe metálico o revestirlas con concreto lanzado, según el ademe que llevara el túnel. La tubería de descarga se alojó en un pozo o se extrajo por la lumbrera según la dis-

tancia a la que se le llama de ella. La separación entre bombas y entre las bombas y los muros se hizo según los mínimos mostrados en la fig. VI-3.6.1.

El plano VI-3.6.1 muestra la distribución y geometría de una galería típica de bombeo usada en el Emisor Central.

7.5.7 AFORADORES

Se utilizaron dos tipos de aforadores: uno de ellos, muy elemental, se ilustra en la fig. VI-3.7.1. y fué para determinar el gasto que podían manejar las bombas después de su reparación. No obstante lo simple del sistema, se obtuvieron buenos resultados. El otro consistió en vertedores construídos en superficie que permitían hacer las mediciones del gasto extraído por las bombas de pozo profundo.

Los vertedores se distinguen de los orificios en que están dispuestos de modo que el agua sólo toque la base y los bordes laterales. La arista superior viene a ser el nivel del agua del derrame en el plano vertical que pasa por la base. Cualquier orificio se convierte en vertedor cuando el nivel del agua hacia atrás de él, queda abajo de su arista superior.

La teoría de los orificios puede extenderse a los vertedores con sólo suponer igual a cero la carga sobre la arista superior; así es que la fórmula $Q = 2.947 C_a (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$ deducida para orificios, se puede aplicar haciendo $h_1 = 0$; b , será la longitud o anchura de la cresta del vertedor y h_2 , la carga sobre esta última.

Los vertedores que se usan en la práctica pueden clasificarse de cuatro maneras:

según la forma del chorro, según el grueso de las paredes, según las condiciones en que sale el agua, y según su forma geométrica.

Según la forma del chorro, pueden dividirse en vertedores de contracción completa, de contracción incompleta y de ninguna contracción. -

Para que haya contracción completa se necesita que las distancias de la cresta al fondo, y de los bordes verticales a las paredes del canal, sean mayores que dos y media veces la carga; si son menores, sin ser nulas, la contracción es incompleta; y, por último, si las distancias de los bordes laterales a las paredes del canal son nulas, es decir, si el ancho del vertedor es el mismo que el del canal, hay supresión de contracción en los lados; pero sobre la cresta o base debe haber contracción completa como en el primer caso. La figura VI-3.7.2 muestra un vertedor de contracción completa; y la VI-3.7.3 uno de contracción suprimida lateralmente, el cual, para abreviar, designaremos simplemente como vertedor "sin contracción".

Atendiendo al grueso de las paredes, pueden dividirse en vertedores de pared delgada y de pared gruesa, siendo los primeros, aquellos en los cuales las aristas pueden considerarse como líneas sin espesor apreciable, lo que se consigue, prácticamente, usando láminas de fierro de menos de un milímetro de grueso, para limitar la abertura; o bien, si el vertedor es de madera, dejando cuafanes con la inclinación hacia afuera tanto en la cresta como en los bordes verticales. Cuando el vertedor es de contracción suprimida, esta condición sólo se exige en la cresta, pues no existen bordes verticales por ser aquel del mismo ap

cho que el canal.

Si el umbral y los bordes laterales tienen un espesor apreciable, se dice que el vertedor es de pared gruesa.

Según las condiciones en que sale el agua, pueden dividirse en vertedores de manto libre, de manto sumergido, de manto deprimido de resalto alejado y de manto deprimido de resalto cercano. Se dice que el manto es "libre" cuando el agua derrama libremente en el aire, siendo el nivel de ella, en el canal de salida, más bajo que el de la cresta; es "deprimido" cuando no puede haber aire debajo del manto; y es "sumergido" cuando el nivel del agua en el canal de salida es mayor que el de la cresta. El manto se deprime cuando se coloca un vertedor a través de un canal de sección constante, siendo la cresta del mismo ancho que éste, pues si no tiene la precaución de abrir en los bordes del canal, un poco adelante de la salida, ranuras o agujeros que comuniquen el aire exterior con la parte inferior del manto, al cabo de poco tiempo el aire existente debajo será expulsado parcial o totalmente. En los mantos deprimidos pueden presentarse tres casos: 1o Si la carga es menor que cierto límite, el aire sólo será expulsado en parte. 2o Si la carga es suficientemente grande para expulsar por completo el aire, y el resalto que se forma adelante está cerca de la salida, el agua cubrirá el pie del manto. 3o Si el resalto se forma algo lejos, a causa de fuertes pendientes en el canal, el pie del manto quedará libre. Todas estas indicaciones han sido tomadas de la obra de Bazin sobre los vertedores. En cuanto a la forma geométrica de los vertedores, éstos pueden divi-

ditas en rectangulares, trapezoidales y triangulares. Podría haber otras muchas formas, pero sólo las citadas han sido estudiadas experimentalmente hasta hoy.

En medidas de precisión sólo deberán emplearse los vertedores de pared delgada, de contracción completa o totalmente suprimida en los lados, de manto libre y de forma rectangular.

La cresta deberá estar siempre perfectamente horizontal; y los bordes verticales; el vertedor se colocará normalmente a la corriente, y la carga habrá de medirse con el mayor cuidado un poco atrás de la cresta, pues el agua al derramar, forma una curva que se extiende hasta cierta distancia, la cual varía según diversas circunstancias; pero en lo general se puede ya medir a unos 60 cm o 1 m atrás, para los pequeños vertedores; o a 2 ó 3 m, para los más grandes.

Para medir la carga con la mayor precisión posible, se puede llevar el agua del canal alimentador a un pequeño depósito cercano, por medio de una cañería con sus extremos tapados y en la cual entre el agua por varios agujeros abiertos en el tubo. Así se conseguirá que el agua no tenga oscilaciones en el depósito, en donde podrá medirse la carga por medio de un "gancho aforador" como el de Gurley, o por otro semejante. Este gancho consiste en una regla metálica graduada que desliza verticalmente entre guías fijas de madera y que está provista en su parte superior de un tornillo de aproximación, a fin de darle pequeños movimientos. Las guías fijas están provistas de un vernier que permite apreciar fracciones muy pequeñas de la menor división de la escala; y

en la parte inferior que adaptado un gancho.

La medida del gasto por medio de vertedores es la más generalmente usada cuando se desea cierta precisión, pero deberá procurarse que aquellos estén en condiciones adecuadas, evitándose que sean de pared ancha o de contracción incompleta, y que el manto se encuentre deprimido o sumergido.

Las condiciones que deben llenarse en la instalación de vertedores, a fin de conseguir con ellos la mayor precisión posible en la medida, son las siguientes:

- 1.- La contracción debe ser completa tanto en la cresta como en los bordes o aristas verticales; es decir, sus distancias al fondo y paredes del canal deben ser mayores que dos veces y media la carga.
- 2.- Si no se pudiera llenar esta condición se hará el vertedor del mismo ancho que el canal a fin de que haya completa supresión de contracción a los lados; pero la altura de la cresta sobre el fondo deberá ser mayor que dos veces y media la carga.
- 3.- En los vertedores de contracción completa es conveniente que la longitud de la cresta exceda del doble o triple de la carga a fin de que las contracciones laterales no hagan que se formen remolinos en los hilos de agua que se juntan en el centro, cuando la longitud es pequeña con relación a la carga.
- 4.- La cresta y aristas verticales deberán estar cortados a bisel en pared delgada; la primera tendrá que estar perfectamente horizontal;

las segundas tendrán que ser verticales.

5.- El vertedor deberá colocarse normal a la dirección de la corriente.

6.- En los de contracción suprimida, el aire debe tener acceso bajo el manto.

7.- Para instalar un vertedor en un río o canal de tierra deberá escogerse un tramo rectilíneo, lo más largo posible, y nunca elegir una parte sinuosa o muy irregular. El lugar en que se coloque debe ser tal, que el agua llegue a él con una velocidad casi uniforme.

8.- Deberán evitarse los lugares en que haya, a corta distancia hacia atrás, un salto que produzca movimientos irregulares.

9.- La altura de la cresta sobre el fondo tendrá que ser suficientemente grande, no sólo para que la contracción sobre aquella sea completa, sino también para disminuir la velocidad de llegada y para evitar que quede sumergido el vertedor.

10.- En los vertedores de contracción suprimida deberán prolongarse las paredes del canal un poco adelante de la cresta; pero sin que se impida la entrada del aire.

11.- En donde el agua entra al canal en una condición de turbulencia, deben ponerse pantallas o amortiguadores para aquietar el escurrimiento. Estos dispositivos deben colocarse bien aguas arriba del vertedor.

1942

1943

1944

1945

1946

1947

1948

La figura VI-3.7.4 muestra un vertedor utilizado en el Emisor Central y la tabla VI-3.7.1 los gastos que pasan.

Fig. 3.101. Diagrama de un sistema de drenaje en un terreno con una capa impermeable. Se muestra la línea de agua subterránea (línea superior) y la línea de drenaje (línea inferior). El sistema incluye una 'Lunbrera' (pozo) y un 'Freno' (pared de drenaje). El diagrama ilustra el flujo de agua desde el terreno hacia el drenaje.

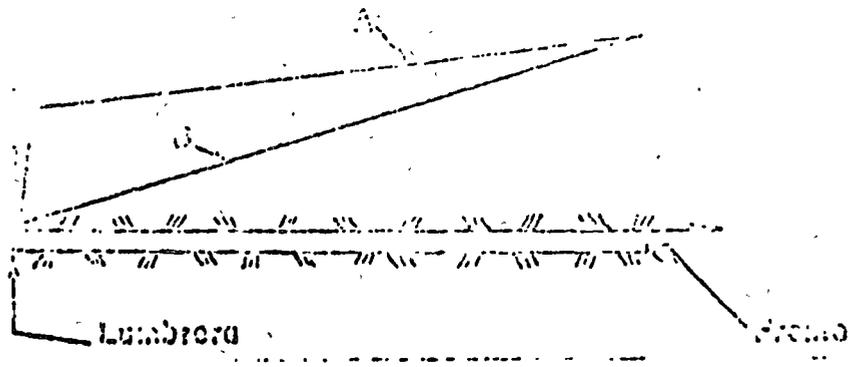


Fig. 3.101

c) (i / β en un punto)

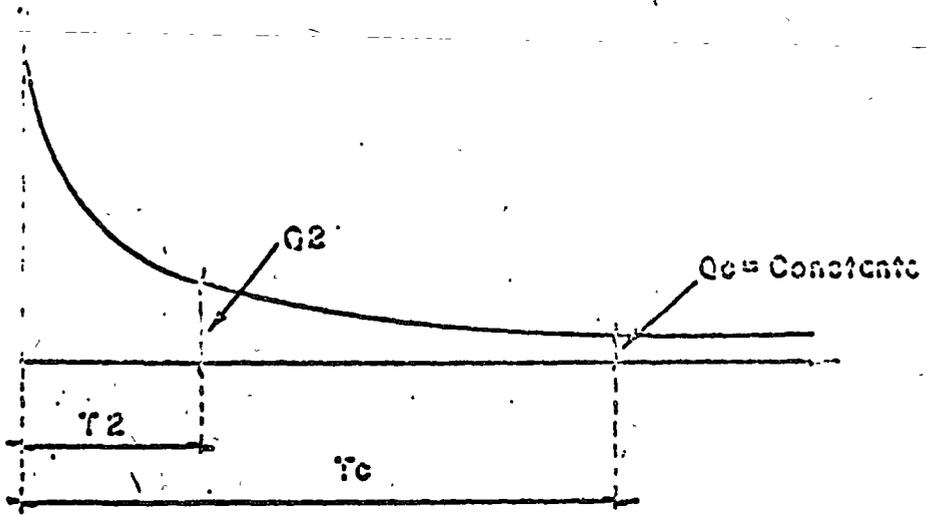


Fig. 3.102

TABLA PARA DETERMINAR EL TIPO DE REVESTIMIENTO

Profundidad (m)	TIPO DE REVESTIMIENTO		TIPO DE REVESTIMIENTO	
	(Caso 1: 100%)		(Caso 2)	
	TIPO DE REVESTIMIENTO	TIPO DE REVESTIMIENTO	TIPO DE REVESTIMIENTO	TIPO DE REVESTIMIENTO
300				
250				
200				
150	C ₁	B ₂	C ₁	C ₂
100				
50		B ₂		
25	A ₁			
12.5				
00		A ₂	A ₁	A ₂

(1) Fase de excavación.



(2) Fase de revestimiento.

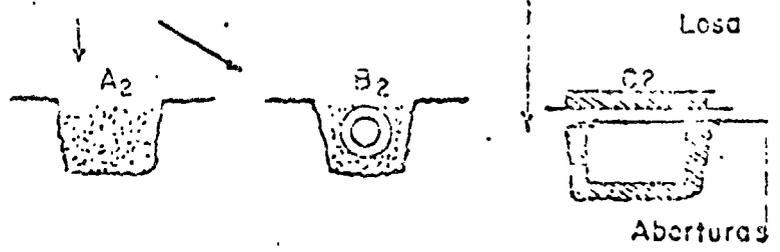


TABLA VI-3.2-1

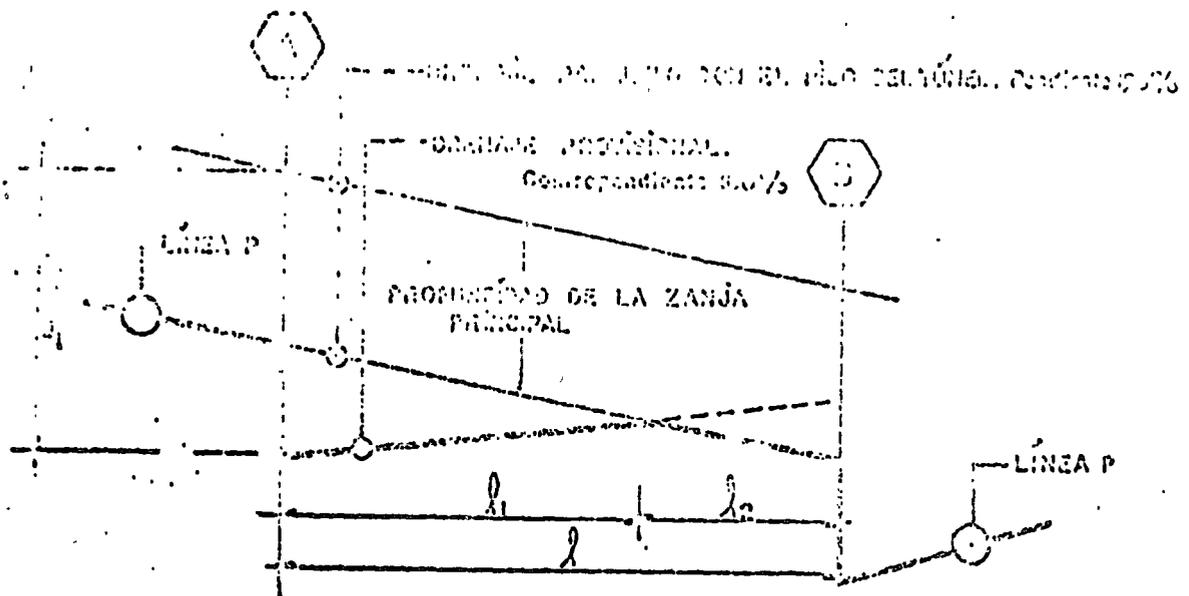


Fig. VI-3.2.1

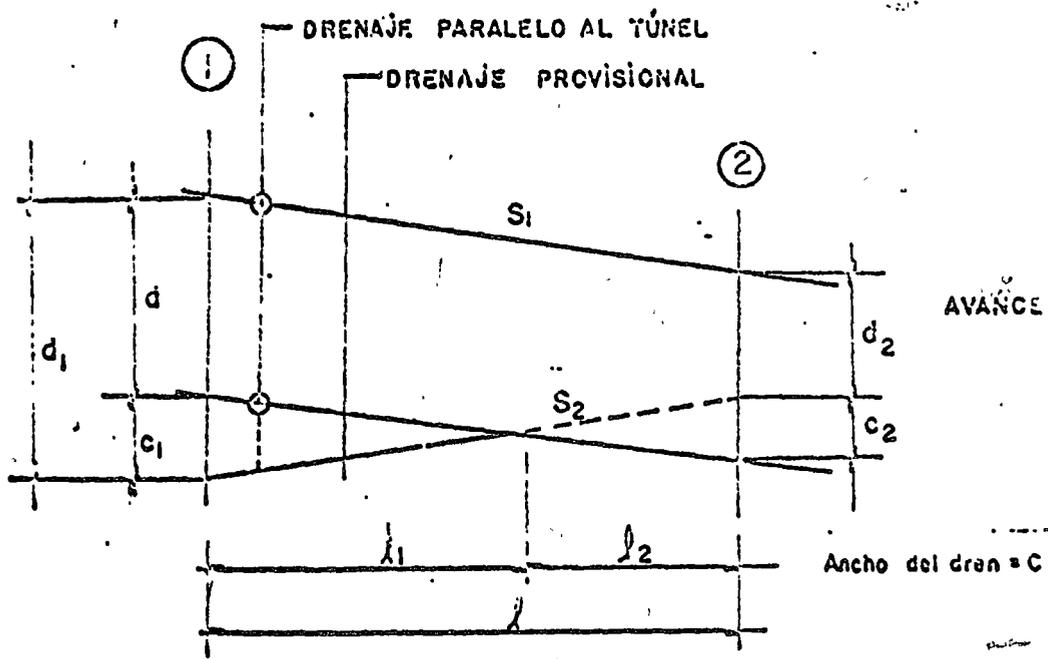


Fig. VI-3.2.2



ESTADO DE LA OBRA DE LA CONSTRUCCION DE LA REJILLA DE LA ZANJA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

TIPO DE ZANJA

CANTIDAD	A		B	C
	prof.	ancho	diámetro	ancho
25	---	---	---	75
50	---	---	---	75
100	---	---	---	75
150	---	---	---	75
200	---	---	---	75
250	---	---	---	75
300	---	---	---	75
350	---	---	---	75
400	---	---	---	75
450	---	---	---	75
500	50	60	16" (40 cm) *	60
550	40	50	13" (38 cm)	60
600	30	40	10" (25 cm)	60
650	25	40	---	---

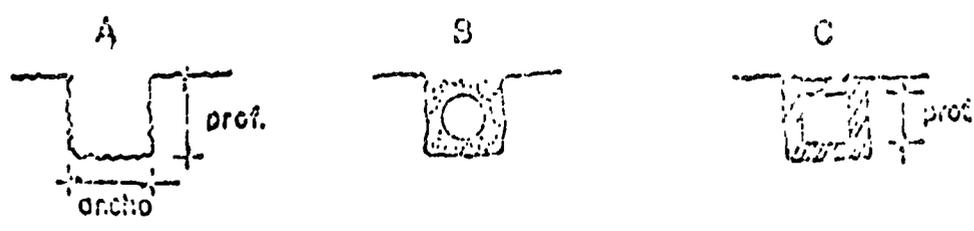
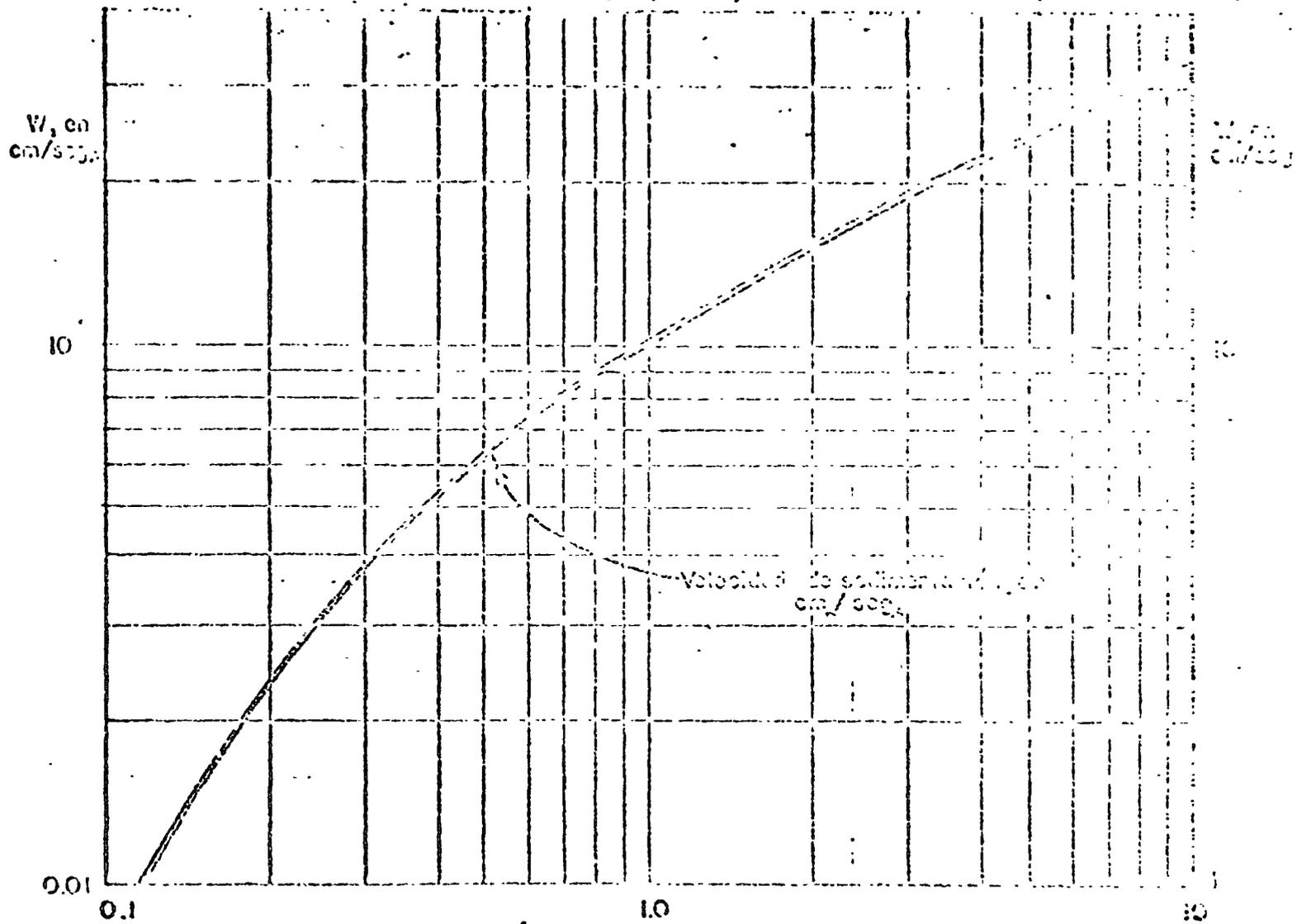


TABLA VI-3.2*2

Canto -/seg.	Profund. escogida de la zanja, m.	l = 100 m.		l = 200 m.		l = 300 m.	
		d ₁ m.	l m.	d ₁ m.	l m.	d ₁ m.	l m.
75	0.30	0.50	66	0.79	106	1.02	253
50	0.40	0.56	55	0.86	155	1.15	257
100	0.50	0.63	43	0.92	143	1.22	246
150	0.40	0.56	55	0.86	155	1.15	255
200	0.45	0.60	49	0.89	149	1.19	249
300	0.60	0.70	32	0.99	132	1.29	232
400	0.75	0.80	15	1.09	115	1.39	215
500	0.65	0.73	26	0.73	126	1.02	233
600	0.80	0.83	9	1.12	109	1.42	209

TABLA VI-3.2*3



Velocidad de caída o sedimentación, W , para diferentes tamaños de grano.

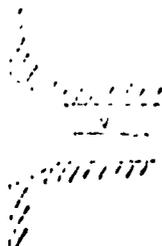
$W = 0.0001 D^2$



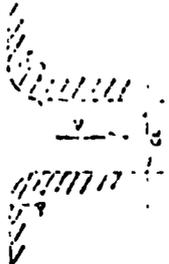
a) $K = 0.5$



b) $K = 0.5 + 0.3 \cos \theta$ $0.2 \cos \theta$



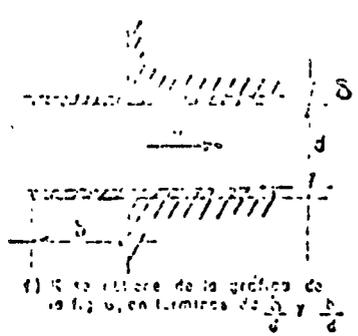
c) $K = 0.5 + 0.25$



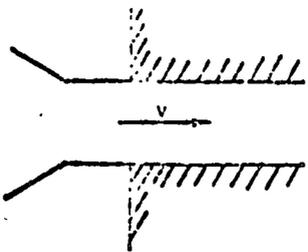
$K = 0.13 + 0.06 \sin \frac{\theta}{2} < 0.15$
 $K = 0.05 + 0.27 \sin \frac{\theta}{2} > 0.15$



e) $K = 0.05 + 0.10$



f) Se refiere de la gráfica de la fig. 1.1 en términos de $\frac{b}{R}$ y $\frac{U}{R}$



$K = 0.5$

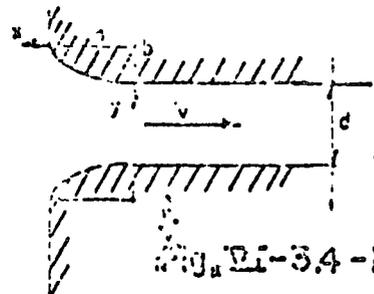


Fig. VI-3.4-1.1

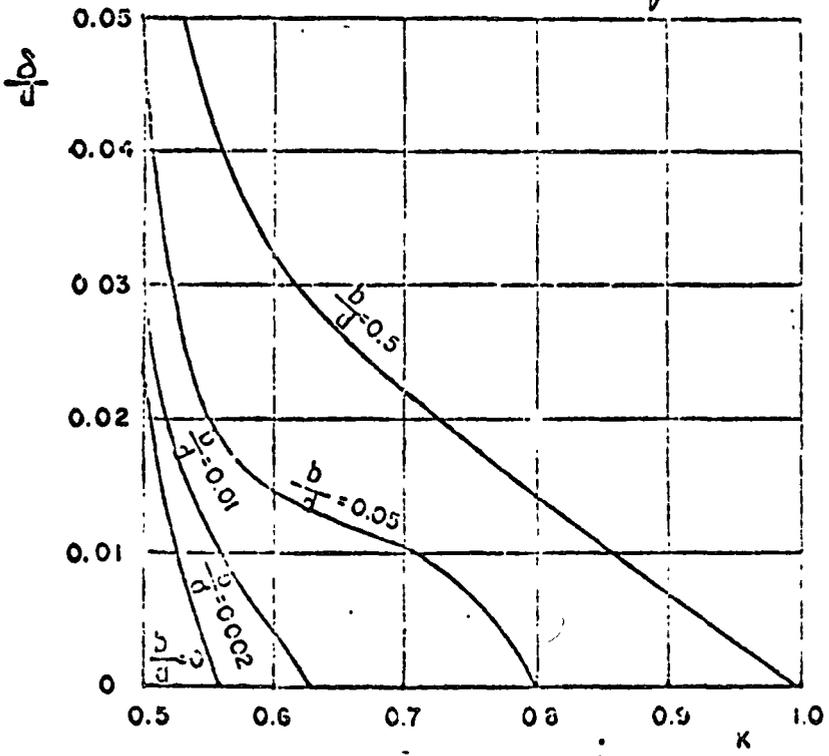
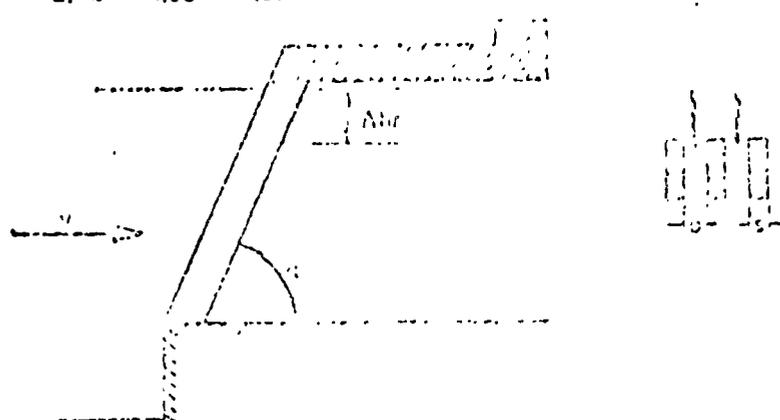


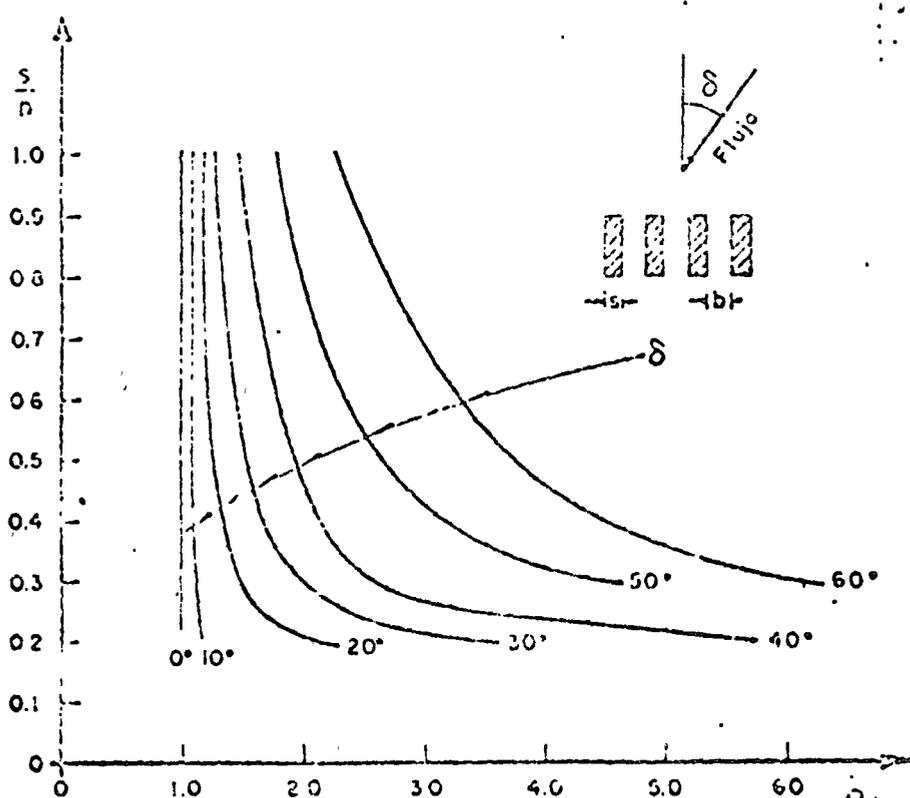
Fig. VI-3.4-1.2

K_R	2.92	0.83	0.67	0.5	0.3	0.2	0.179
-------	------	------	------	-----	-----	-----	-------



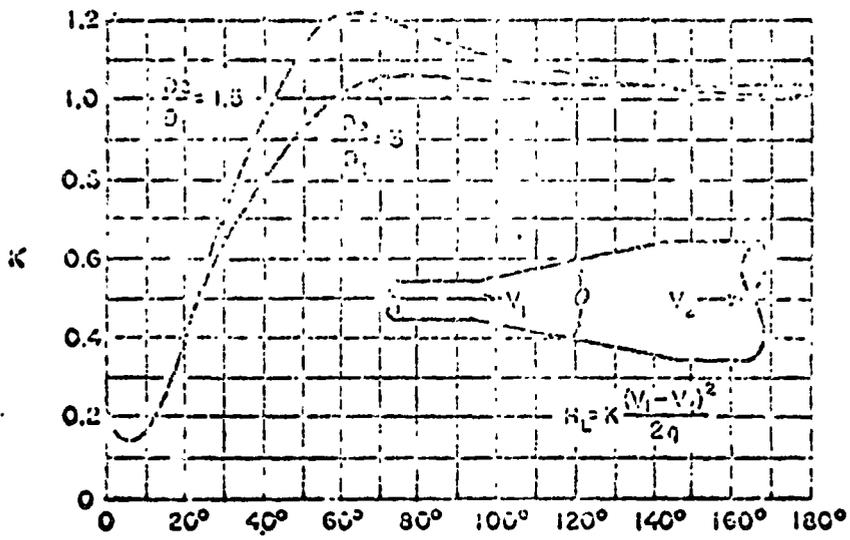
Coefficientes K_R aplicables a la fórmula de Kircanov de acuerdo con la forma de las curvas

Fig. VI-3.4-2.1



Valores de δ para flujo en zigzag, según Mosonyi

Fig. VI-3.4-2.2

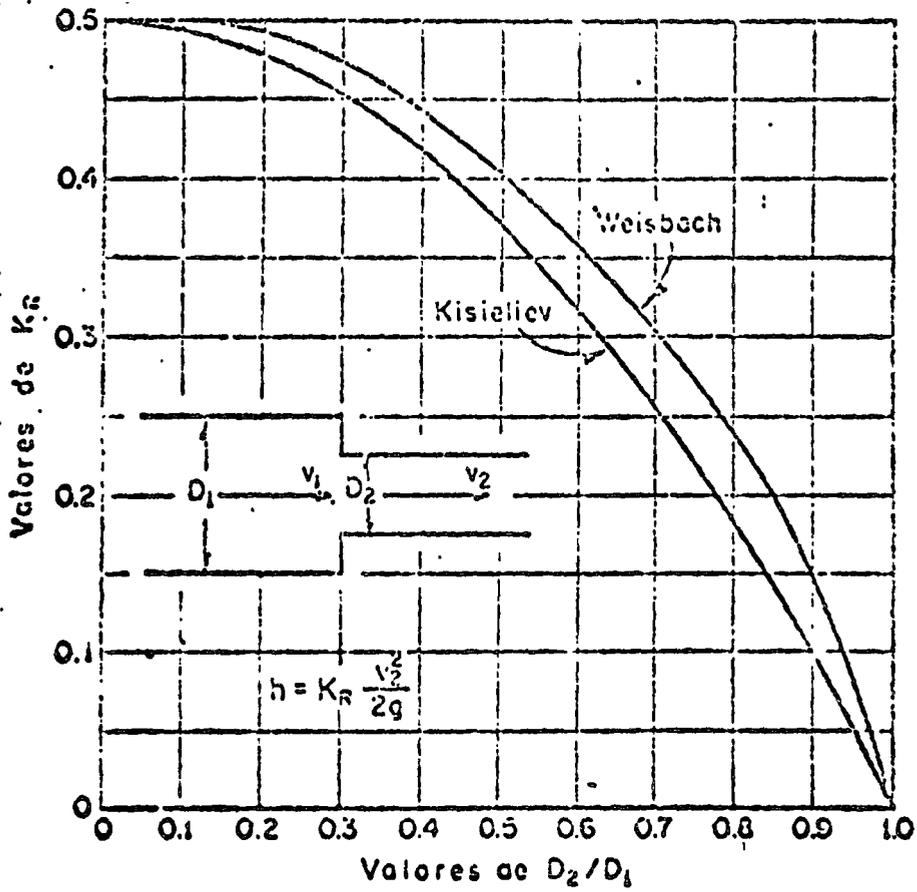


... Coeficiente de pérdida para ampliaciones graduales.

Fig. VI-3.4-3.1

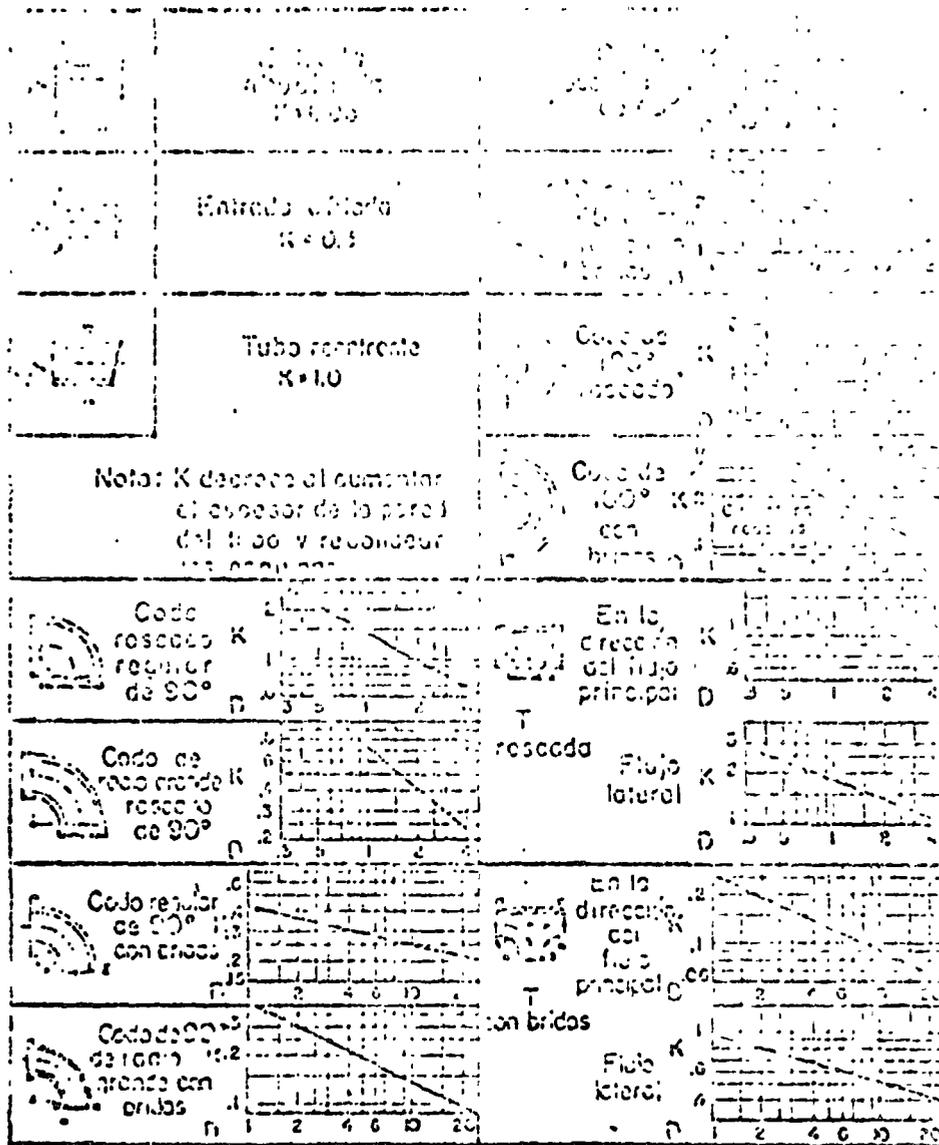
β	0.5	72	102	152	202	252	302	352	402	452	502	552	602
$\frac{D_2}{D_1}$	0.05	0.16	0.16	0.16	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.35

Tiaba [II-34]-6.1



Pérdida de carga en una contracción brusca

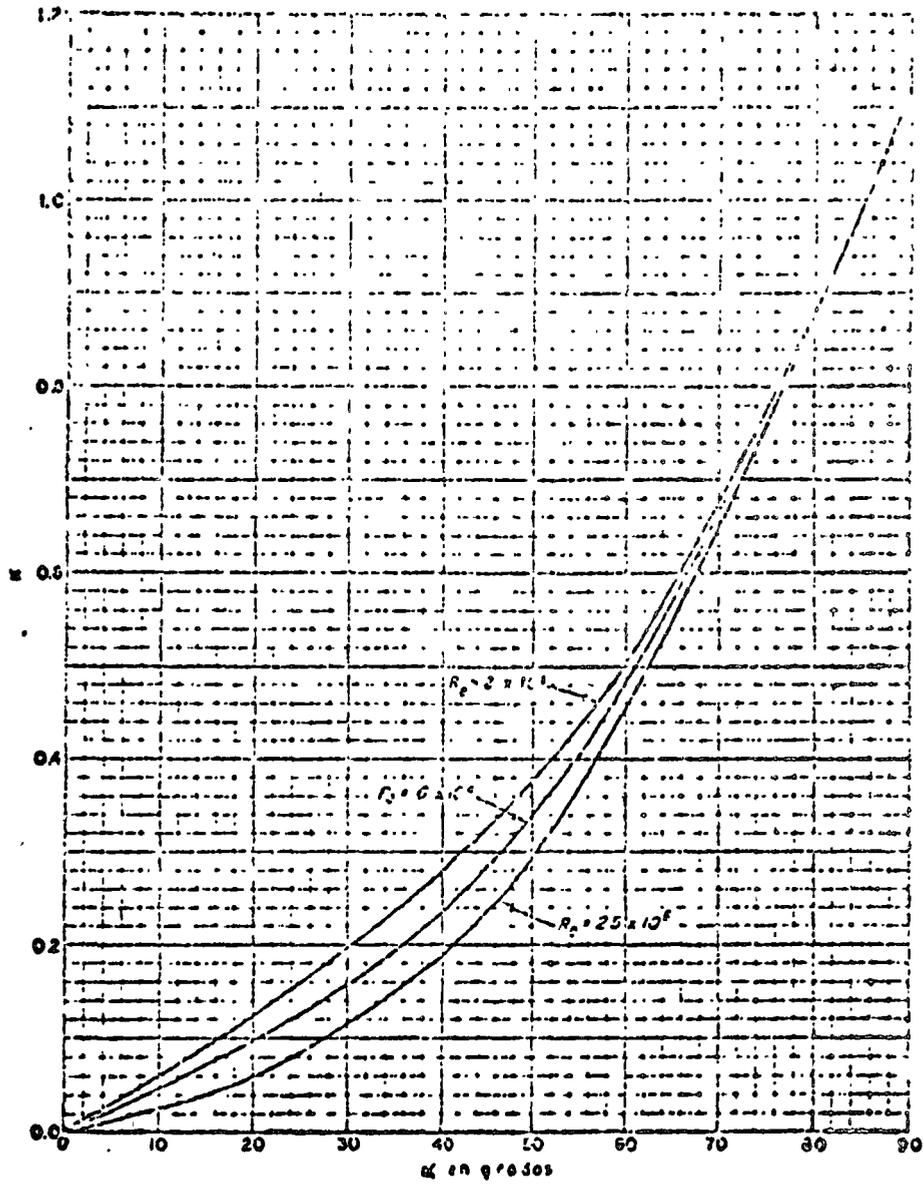
Fig. VI-3.4-6.1



Coefficientes de pérdida para válvulas y uniones.

$$h = k \frac{v^2}{2g} \text{ Pérdida de carga en } m_x$$

Fig. VI-3.4 3.3



ECUACIÓN BÁSICA

$$K = \frac{R_p}{\sqrt{2g}}$$
 donde K = Coeficiente de pérdidas por codo
 R_p = Carga pérdida en el codo



CODOS

Coeficiente de pérdidas por codos, K

10, VI-3.4-3.6

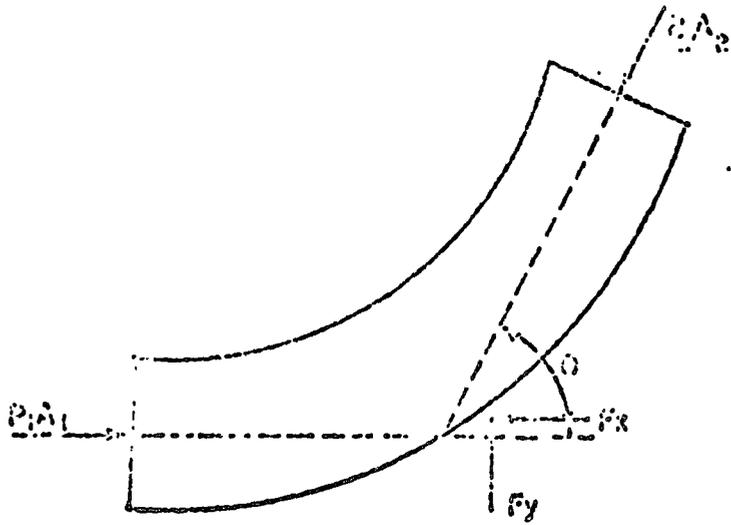


Fig. II-3.4-3.1

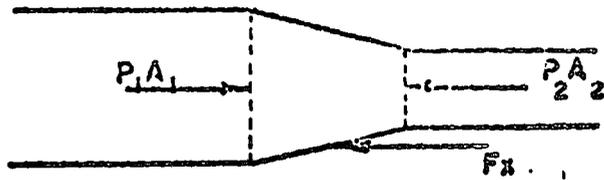


Fig. II-3.4-3.2

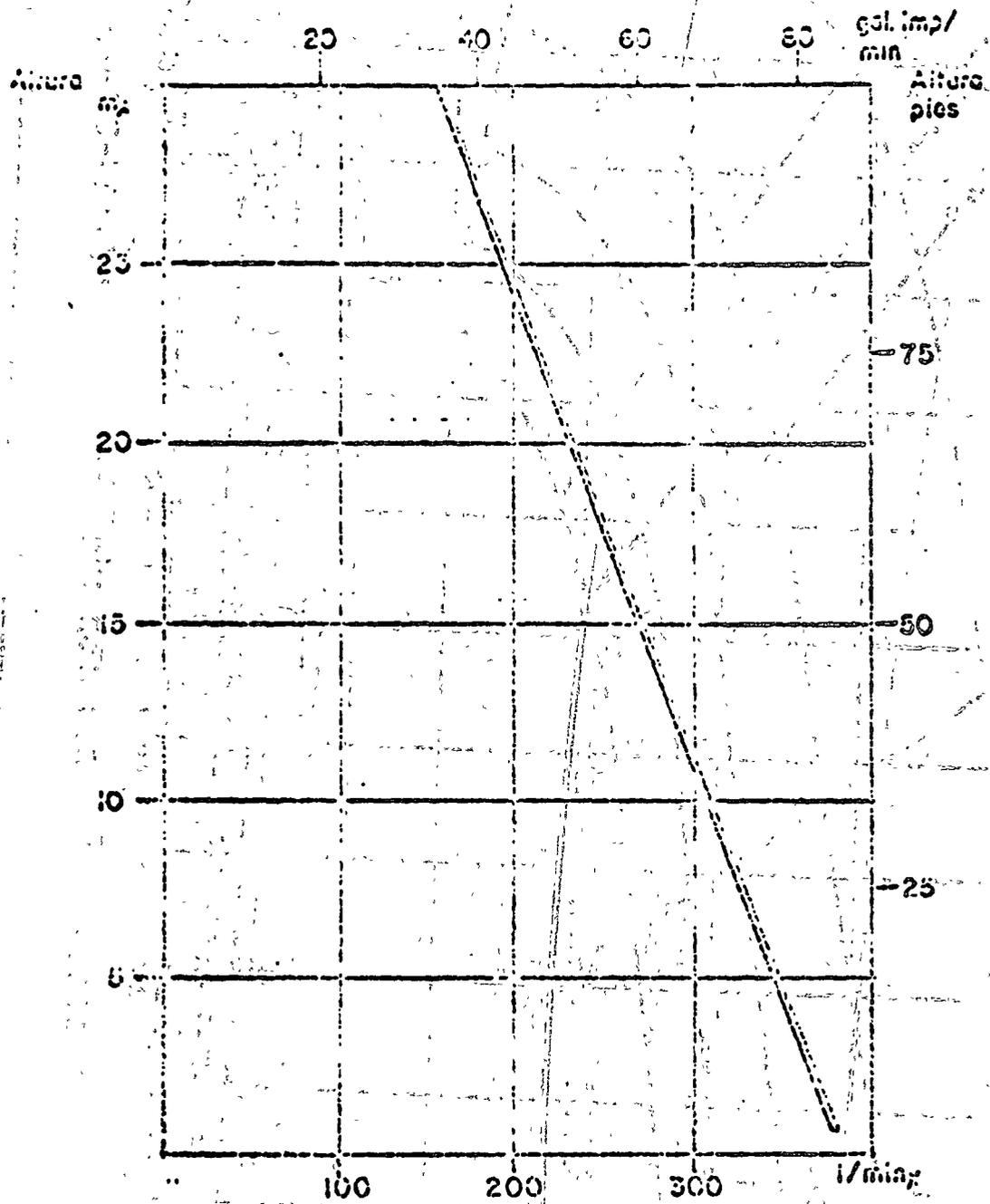
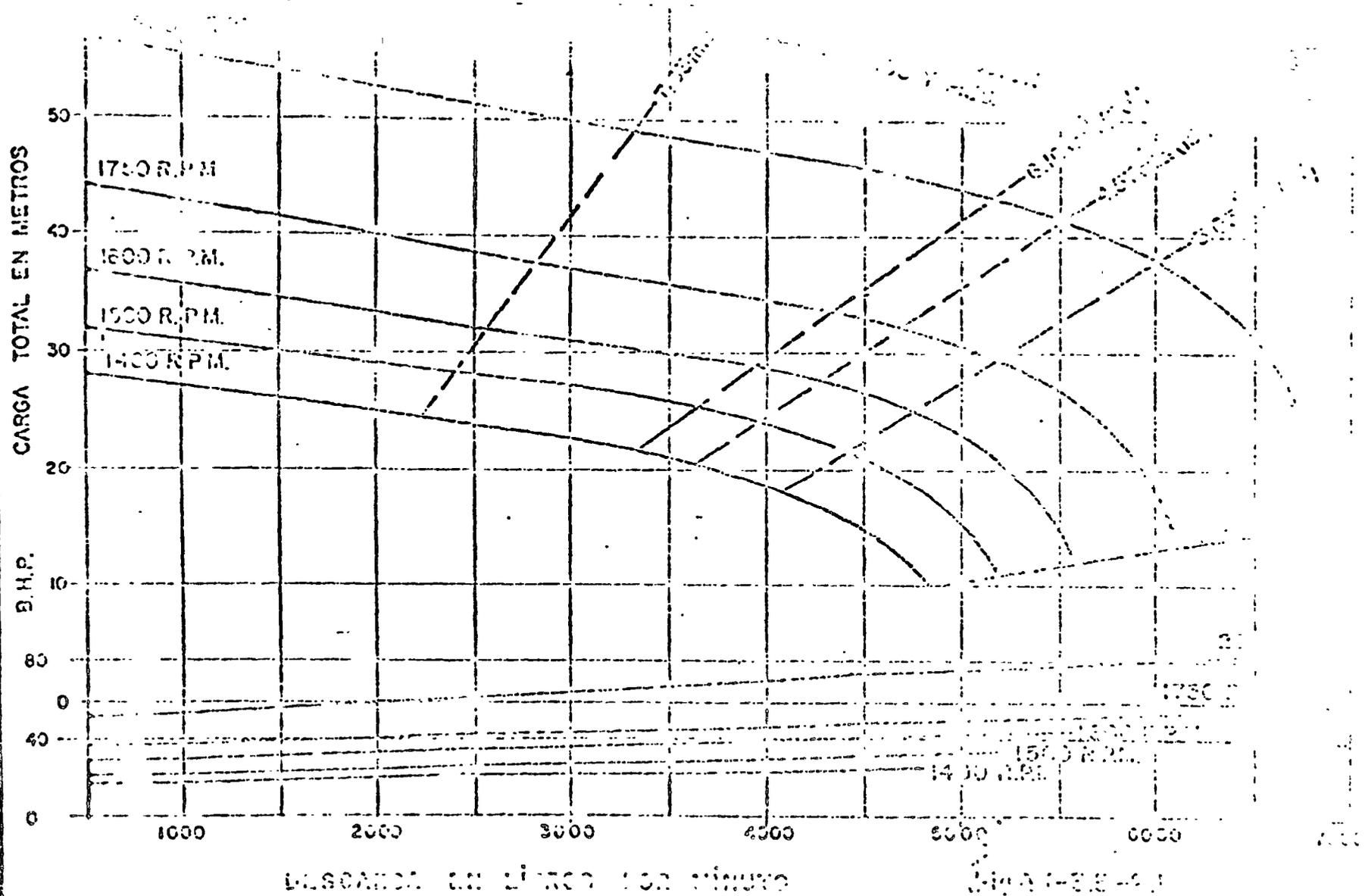
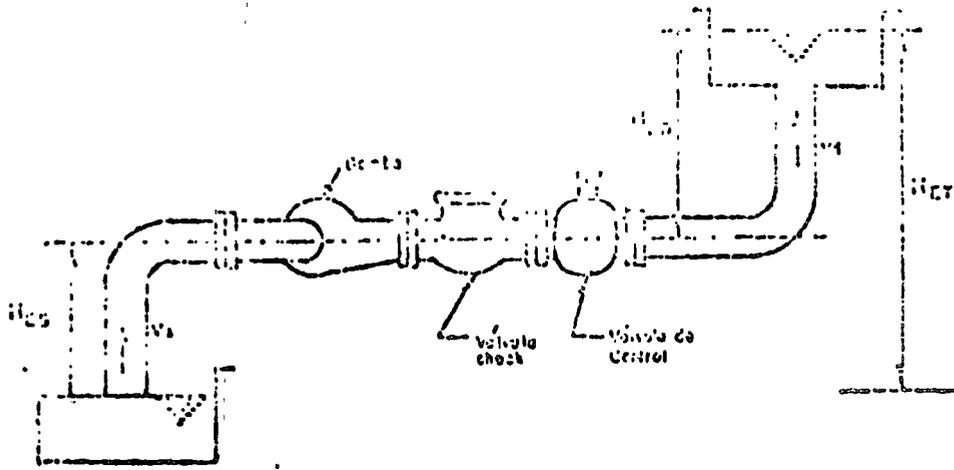


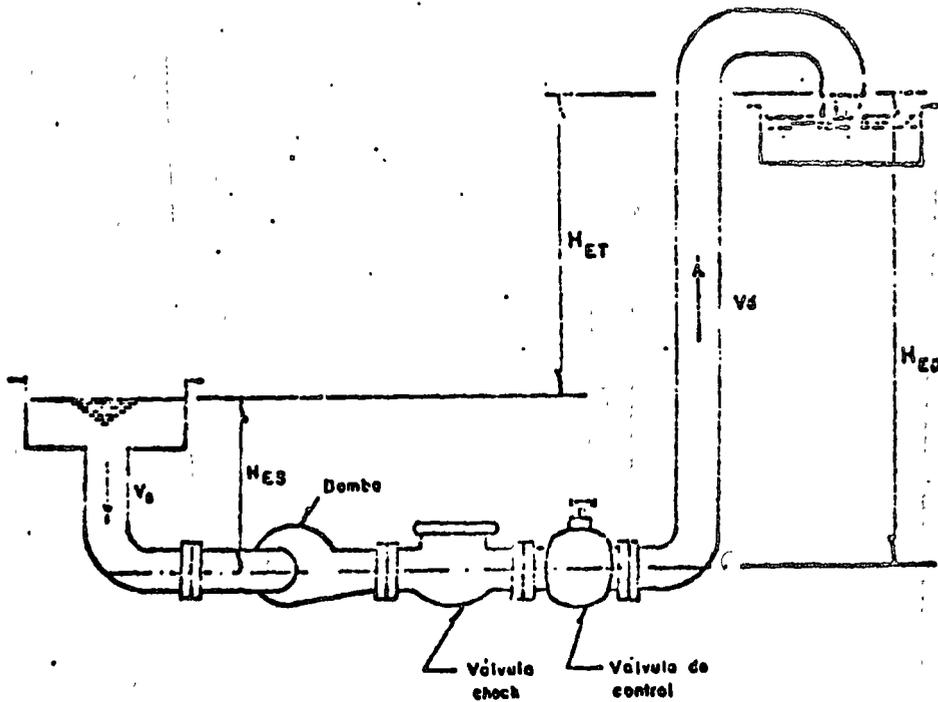
Fig. 3.5 - 1.1





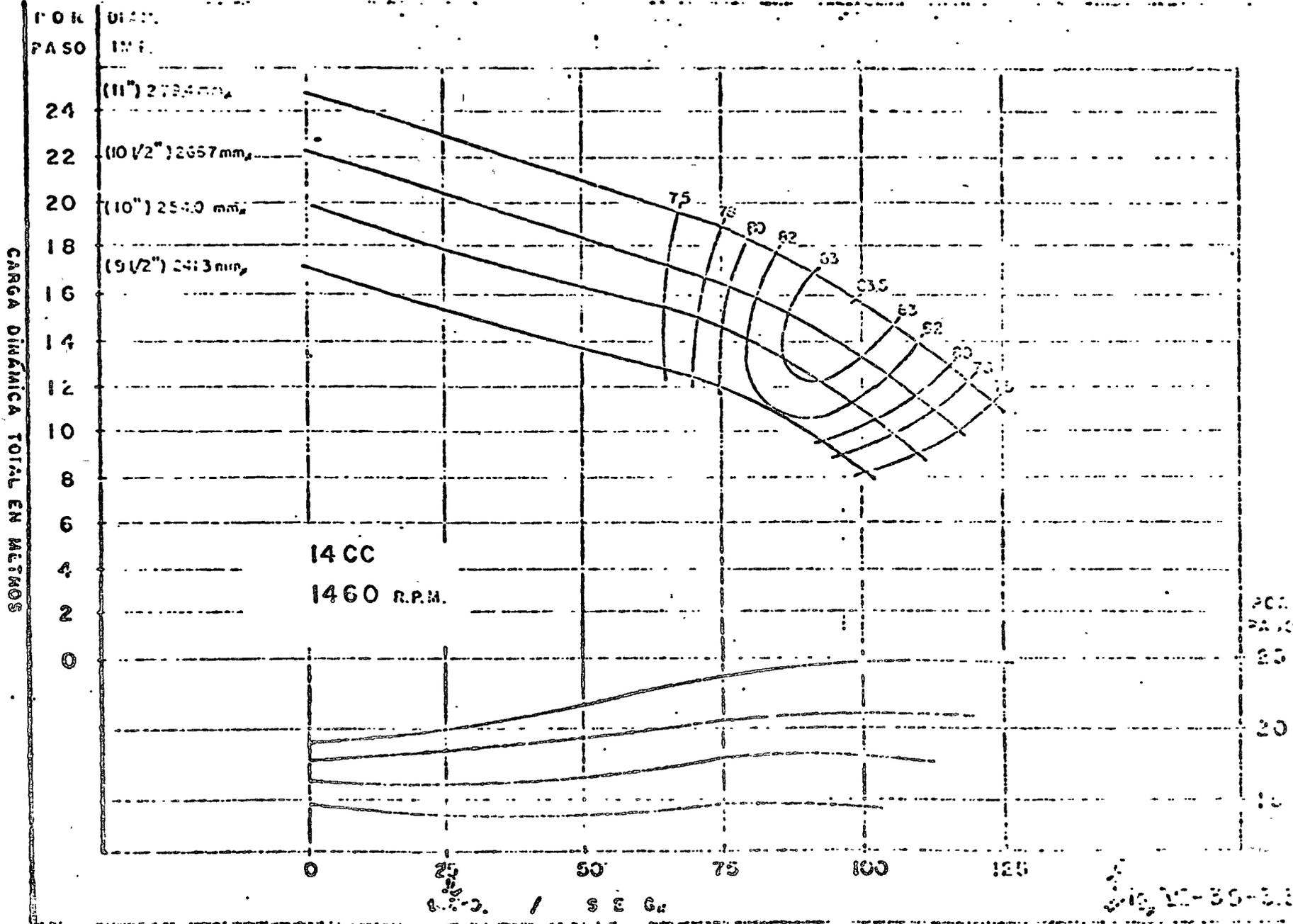
Sistema de bombeo con carga negativa de succión y descarga ahogada.

Fig. VI-3.5-3.1

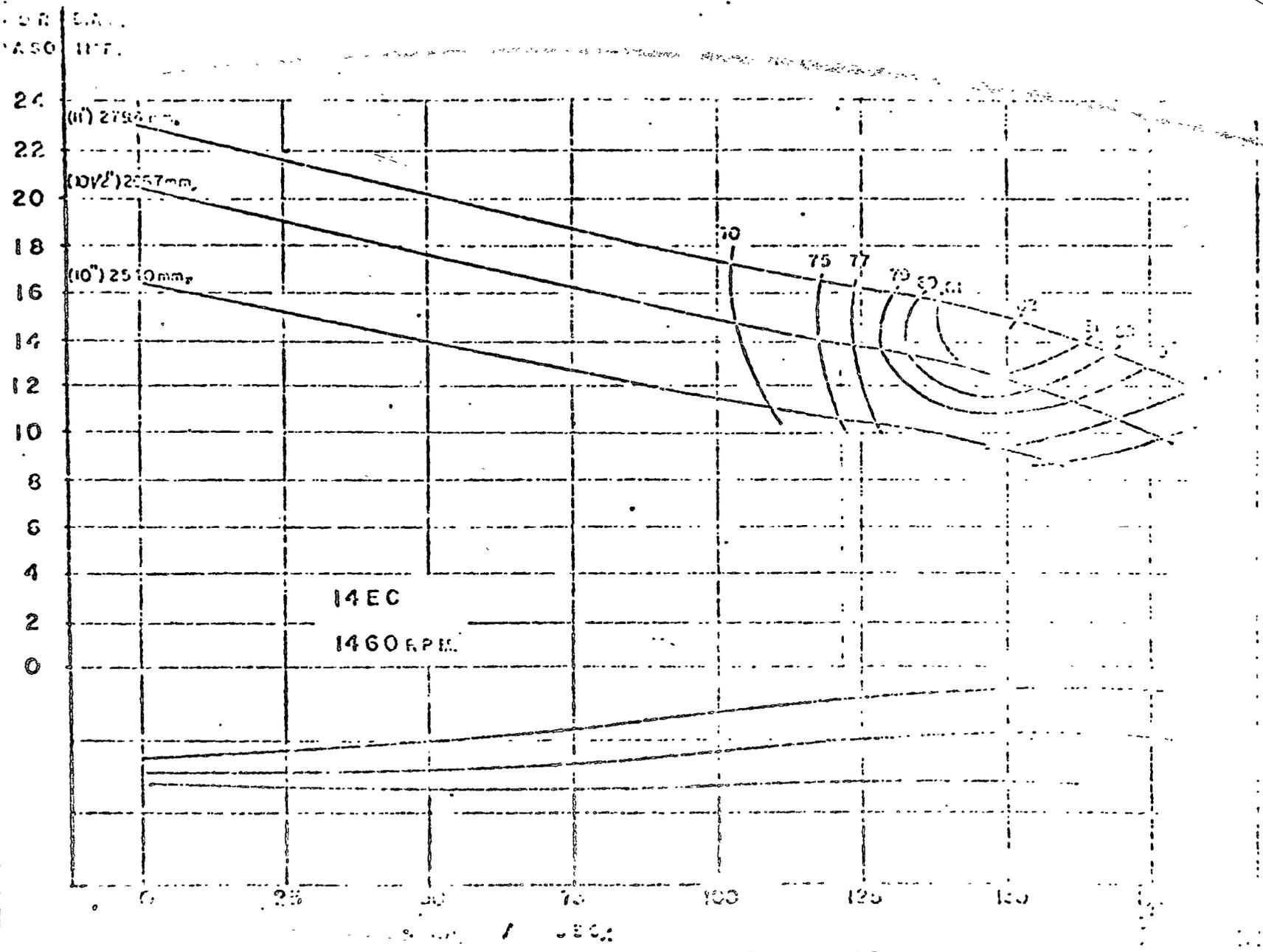


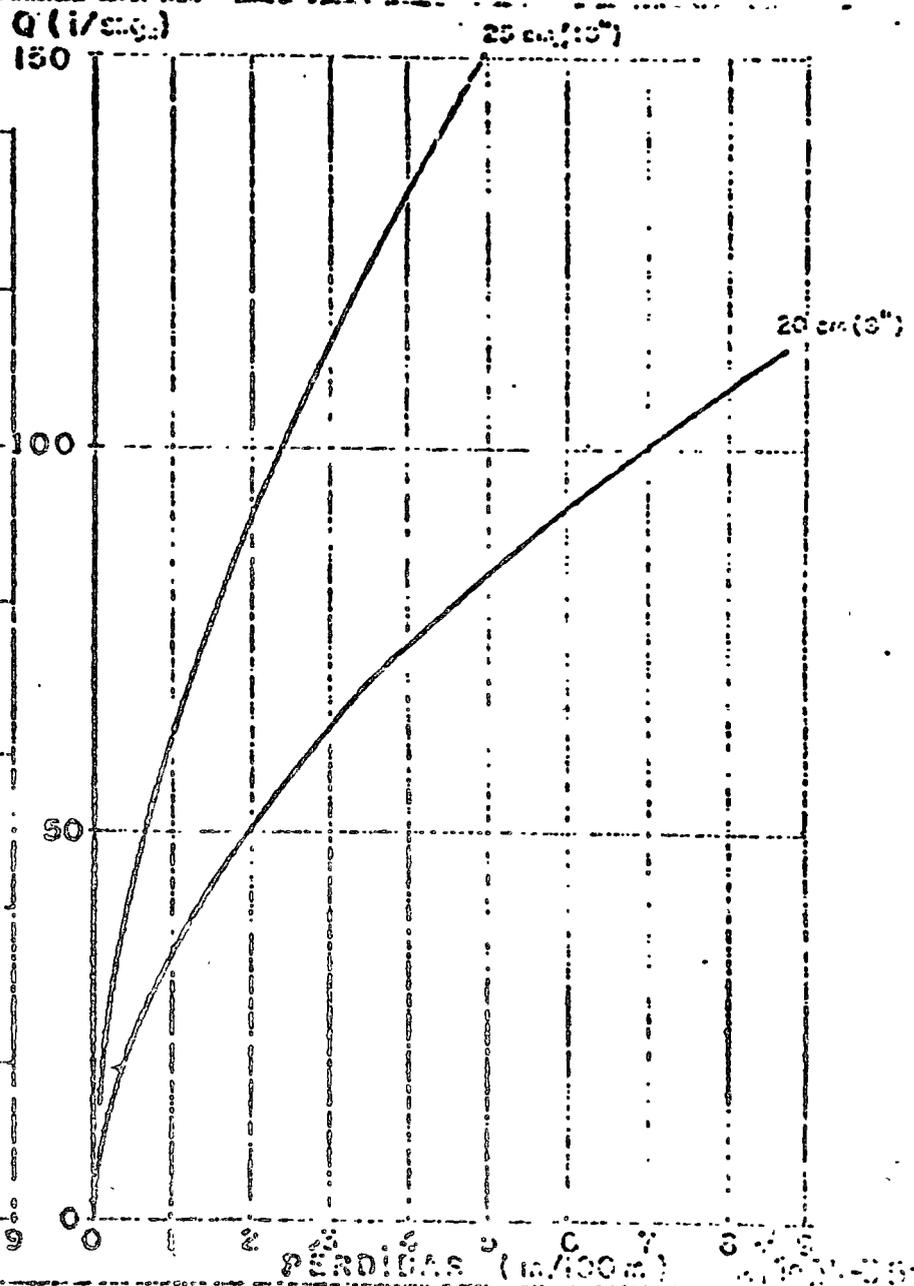
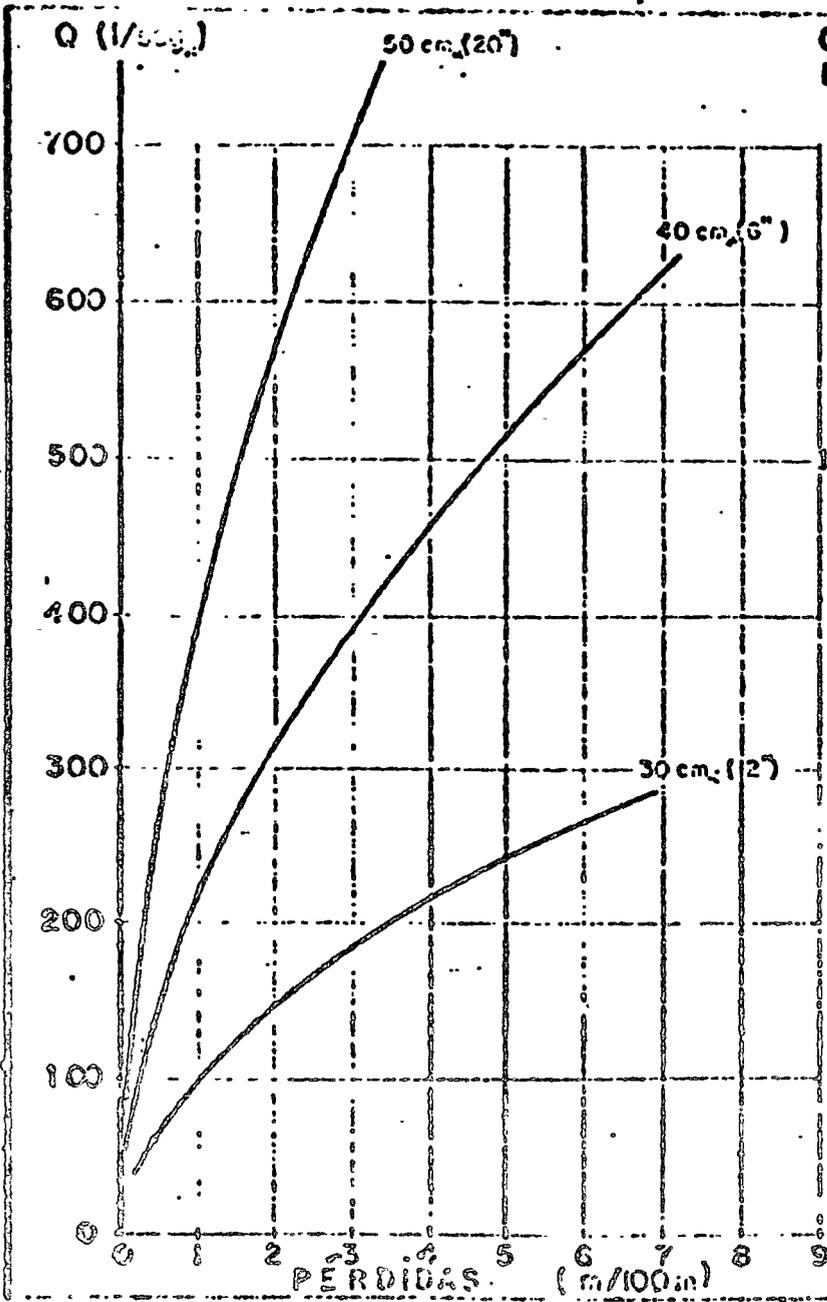
Sistema de bombeo con carga positiva de succión y descarga libre.

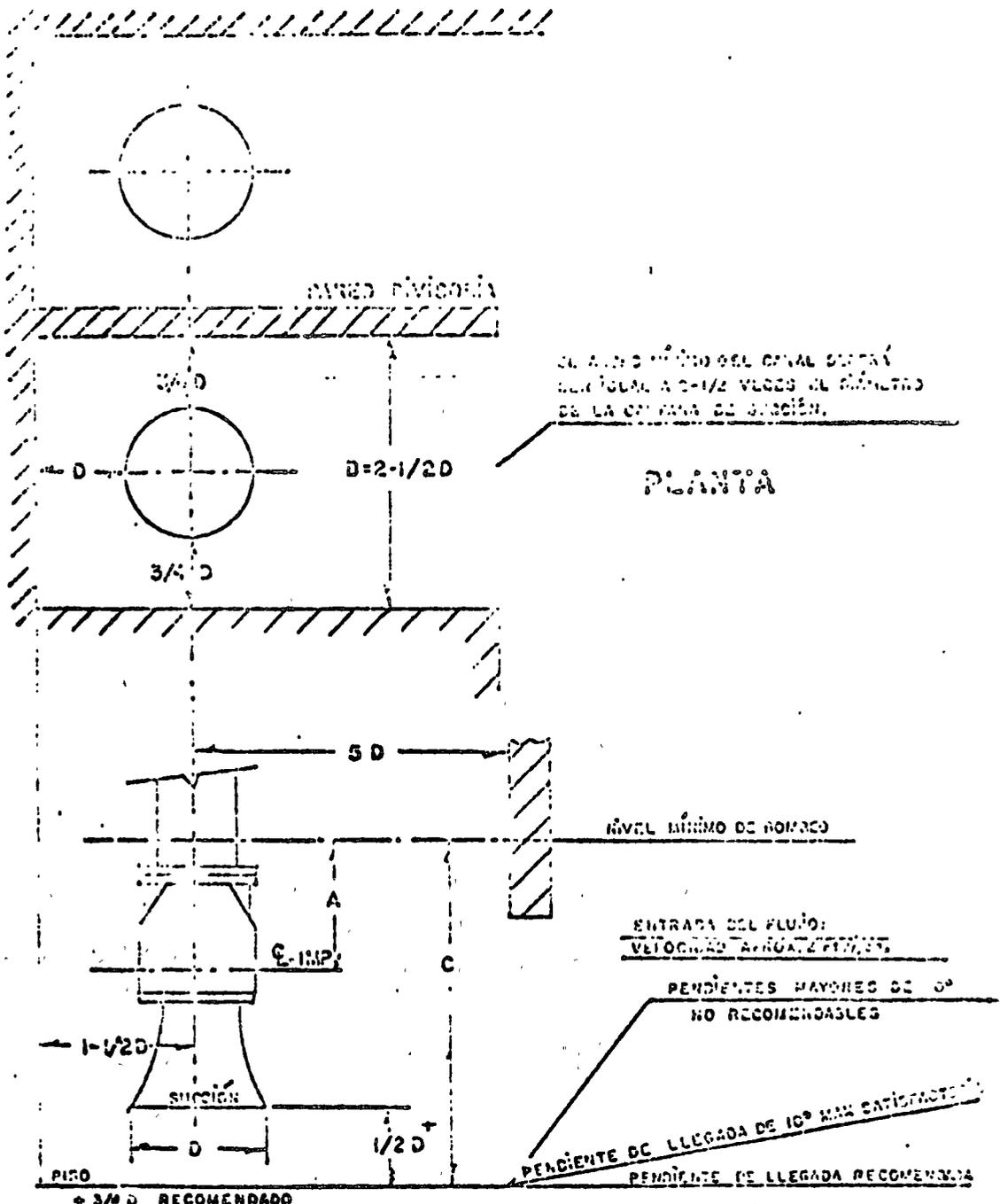
Fig. VI-3.5-3.2



CARGA DINAMICA TOTAL EN METROS







ELEVACIÓN

Fig. VI-3.6e

Q (L/sec)

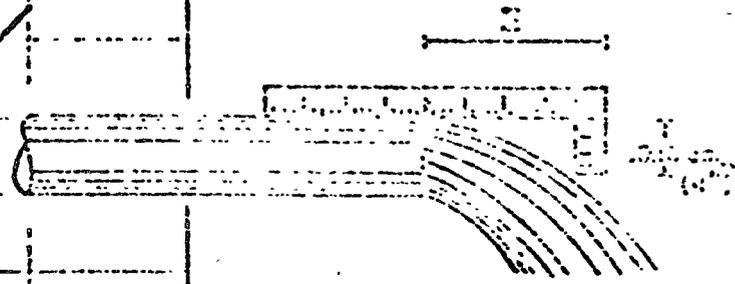
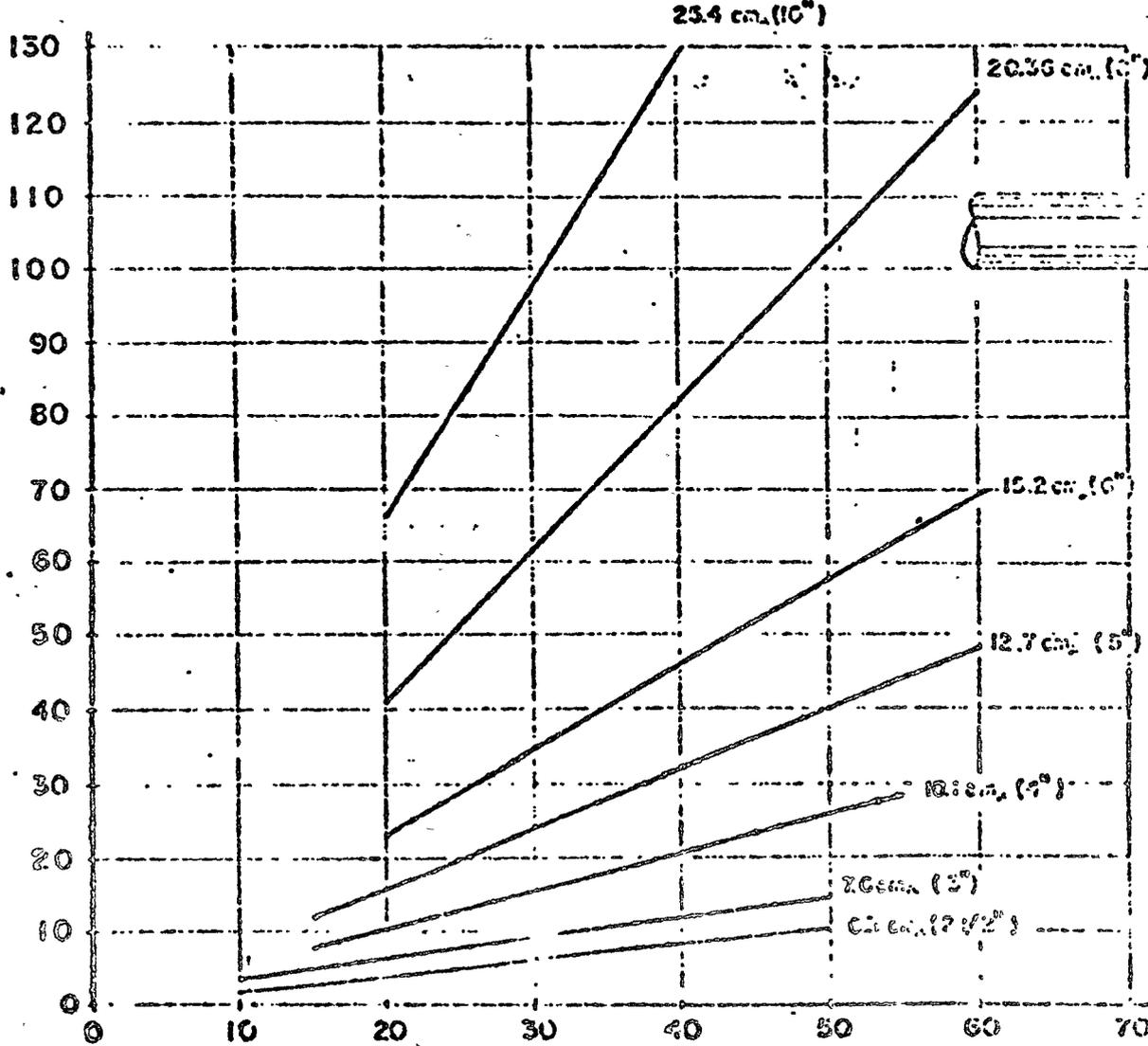
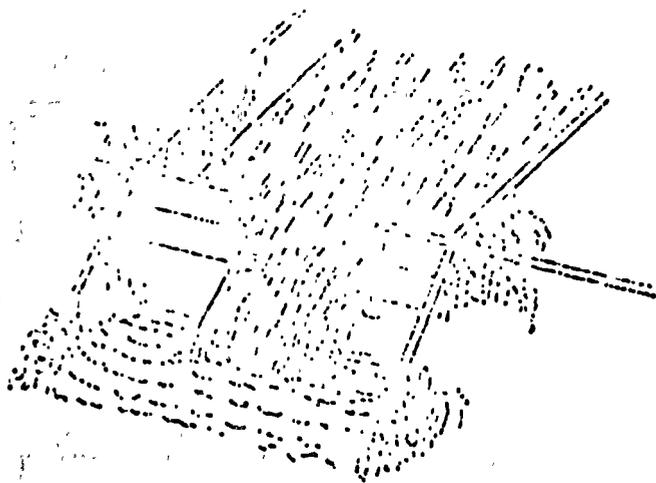
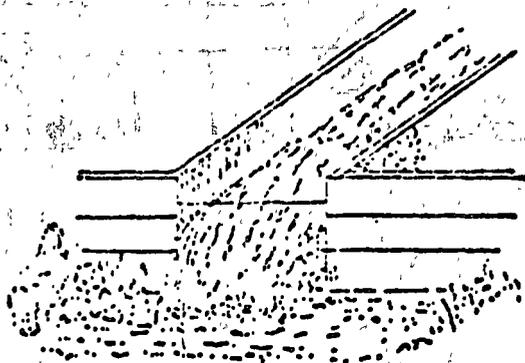


Fig. VI-3.1.1



VERTEDOR DE CONTRACCIÓN COMPLETA

Fig. V-3.7.2



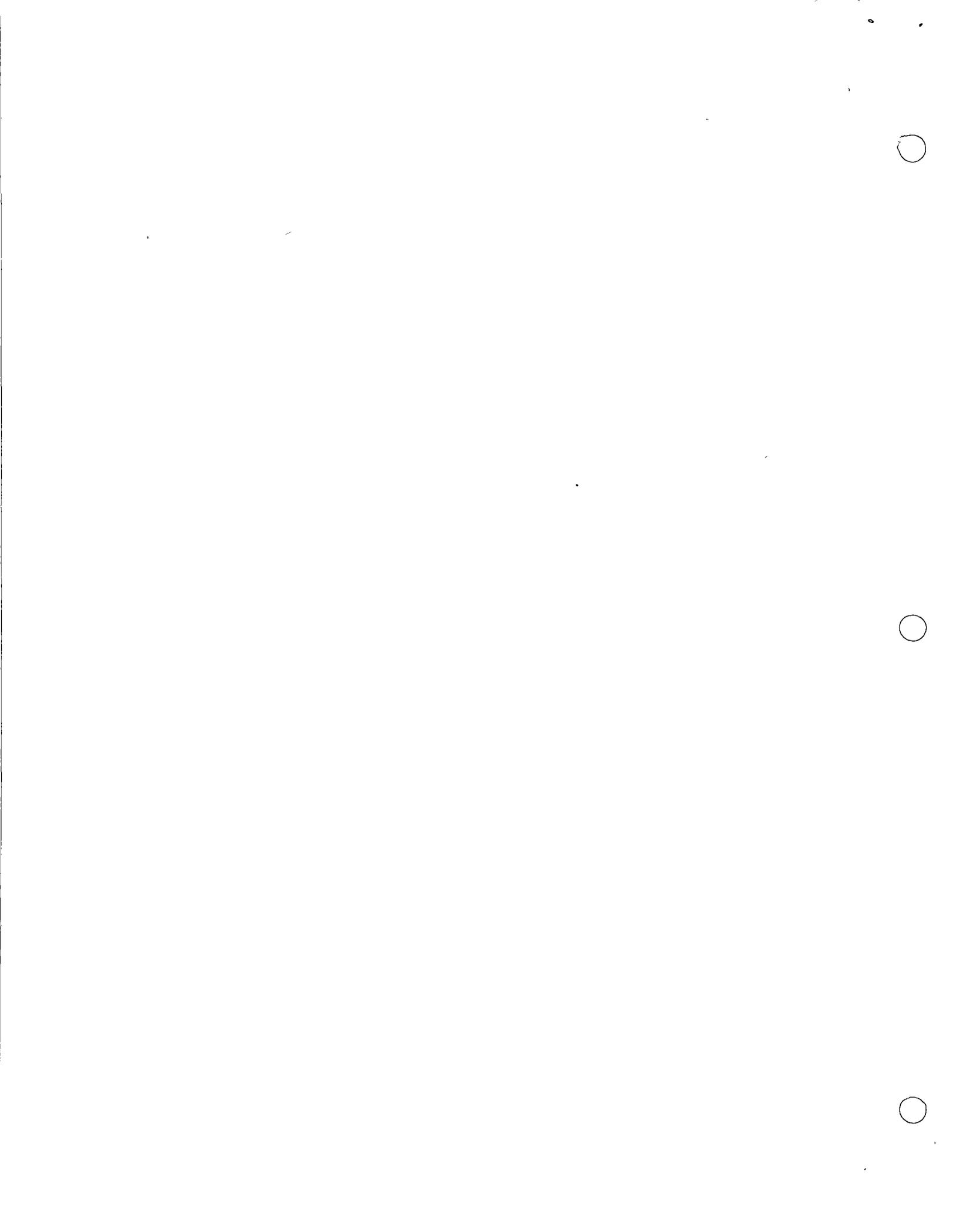
VERTEDOR SIN CONTRACCIÓN

Fig. VI-3.7.3

...
 ...
 ...

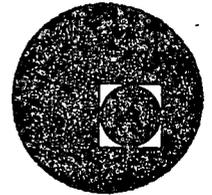
...
3.0	2.1	21.0	187.0	41.0	523.0
3.5	2.2	21.5	193.0	41.5	533.0
4.0	2.3	22.0	198.0	42.0	543.0
4.5	2.4	22.5	207.0	42.5	553.0
5.0	2.5	23.0	214.0	43.0	559.0
5.5	2.6	23.5	222.0	43.5	569.0
6.0	2.7	24.0	229.0	44.0	574.0
6.5	2.8	24.5	236.0	44.5	579.0
7.0	2.9	25.0	244.0	45.0	584.0
7.5	3.0	25.5	250.0	45.5	589.0
8.0	3.1	26.0	258.0	46.0	593.0
8.5	3.2	26.5	266.0	46.5	598.0
9.0	3.3	27.0	274.0	47.0	603.0
9.5	3.4	27.5	281.0	47.5	608.0
10.0	3.5	28.0	289.0	48.0	613.0
10.5	3.6	28.5	297.0	48.5	618.0
11.0	3.7	29.0	306.0	49.0	623.0
11.5	3.8	29.5	314.0	49.5	628.0
12.0	3.9	30.0	321.0	50.0	633.0
12.5	4.0	30.5	330.0		
13.0	4.1	31.0	338.0		
13.5	4.2	31.5	348.0		
14.0	4.3	32.0	355.0		
14.5	4.4	32.5	363.0		
15.0	4.5	33.0	373.0		
15.5	4.6	33.5	381.0		
16.0	4.7	34.0	390.0		
16.5	4.8	34.5	399.0		
17.0	4.9	35.0	407.0		
17.5	5.0	35.5	417.0		
18.0	5.1	36.0	426.0		
18.5	5.2	36.5	435.0		
19.0	5.3	37.0	445.0		
19.5	5.4	37.5	454.0		
20.0	5.5	38.0	463.0		
20.5	5.6	38.5	473.0		
21.0	5.7	39.0	482.0		
21.5	5.8	39.5	491.0		
22.0	5.9	40.0	501.0		
22.5	6.0	40.5	510.0		

Tabla VI-3.7*1²





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO



ING. ENRIQUE HERAS HERRERA

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels.: 521-40-23 521-73-35 5123-123

1. 1/2



8.1 Necesidad de almacenamiento.

En muchas ocasiones, cuando se tiene un sistema de bombeo, es necesario almacenar el agua por diversas razones, algunas de las cuales pueden ser:

1. Para agua potable.
 - a) Equilibrar el suministro y la demanda.
 - b) Proporcionar agua para necesidades urgentes tales como el uso contra incendio o en caso de averías accidentales.
 - c) Igualar presiones en el sistema de distribución.
 - d) Reducir el consumo de energía eléctrica en las horas de su máxima demanda.
 - e) Igualar el rendimiento de las bombas.
2. Para aguas residuales.
 - a) Permitir el trabajo adecuado de los equipos de bombeo en una estación de bombeo de este tipo de aguas.
 - b) Suministrar un gasto constante (hasta donde sea posible) a una planta de tratamiento.
 - c) Amortiguar los gastos excesivos de aguas residuales (pluviales principalmente) y entregar un gasto constante y mas pequeño en el punto de disposición, con el objeto de reducir la carga contaminante o para evitar descargar a niveles altos en el cuerpo receptor.
 - d) Reducir al mínimo las fluctuaciones de carga de las bombas.
3. Para agua de riego.

Excepto por lo que se refiere al proyecto de las presas o embalses de almacenamiento para este tipo de aguas, generalmente

almacenamiento en las plantas o estaciones de bombeo para aguas de riego. En este caso las dimensiones del cárcamo fundamentalmente se diseñan para permitir la instalación de los equipos de bombeo considerados y para facilitar su operación y mantenimiento. Esto mismo puede aplicarse en el caso en que se tiene un sistema de bombeo para aguas de drenaje agrícola.

8.2 Hidrograma de entrada y salida. Diagrama de Rippl.

Básicamente el diseño de un cierto volumen para almacenamiento de agua se funda en conciliar las leyes de suministro o de entrada y de demanda o de salida, de los gastos de agua que se estén considerando en un problema dado.

Ahora bien, tanto la ley de entrada como la ley de salida pueden ser de tipo uniforme o de tipo variable y la manera mas usual de representarlas es por medio de un hidrograma.

Un hidrograma consiste en la representación gráfica de las variaciones de un gasto o flujo con relación al tiempo. En la fig. 8.1 se muestra un hidrograma que representa una ley de entrada o de salida de tipo uniforme y en la fig. 8.2 se muestra el hidrograma que representa una ley de entrada o de salida de tipo variable.

Los hidrogramas pueden trazarse para representar el gasto con relación al tiempo que escurre en una sección de una corriente natural, de un canal, de una tubería, etc. Por tanto, para cualquier tipo o número de conductos que entren o salgan de un determinado volumen de almacenamiento, generalmente un tanque o un cárcamo, se puede conocer el hidrograma respectivo, ya sea que se determine mediante mediciones directas o que se suponga para fines de diseño.

Si se tiene el hidrograma correspondiente a una sección de un escurrimiento, el área bajo la curva del hidrograma entre dos tiempos representa el volumen de agua escurrido por esa sección en ese intervalo, o sea:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} Q dt = \text{volumen escurrido entre los tiempos } t_1 \text{ y } t_2$$

Si para dos tiempos de un hidrograma se define un rectángulo cuyos lados coincidan con estos tiempos y que tenga la misma área que la encerrada por el hidrograma, el eje de las abscisas y las ordenadas de los tiempos considerados, la altura de este rectángulo representará el gasto medio de ese escurrimiento (fig. 8.3).

De acuerdo con lo anterior, uno de los usos principales de los hidrogramas es para calcular los volúmenes que pasan por una sección dada de un escurrimiento. Sin embargo, el hidrograma como tal no es útil para conocer cómo es la variación de los volúmenes acumulados con relación al tiempo, que es lo que nos interesa saber en cuanto a los volúmenes de entrada y de salida para el diseño de un tanque o cárcamo de almacenamiento, para esto se acostumbra utilizar la gráfica denominada "diagrama de Rippl" o "curva masa".

El diagrama de Rippl o curva masa consiste en una gráfica que representa volúmenes acumulados escurridos en una sección con relación al tiempo (fig. 8.4)

Características del diagrama de Rippl o curva masa:

1. La diferencia de ordenadas para dos tiempos dados mide el volumen escurrido en el intervalo (Fig. 8.5), o sea:

$$y_2 - y_1 = \text{volumen escurrido entre los tiempos } t_1 \text{ y } t_2$$

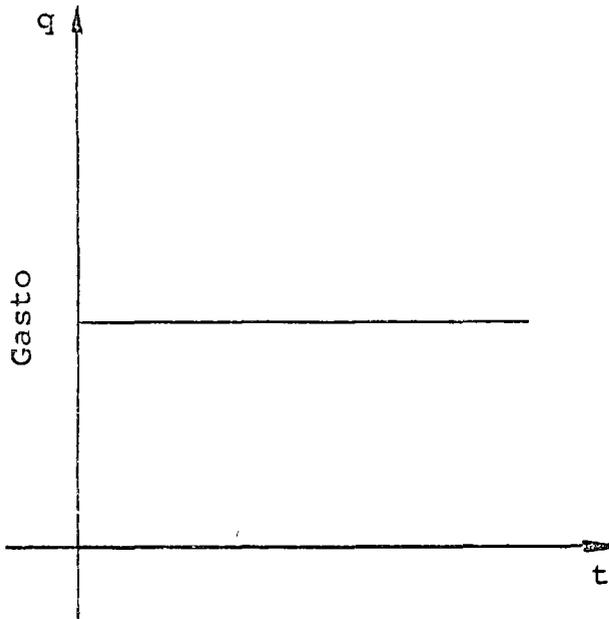


Fig. 8.1 Hidrograma para gasto uniforme.

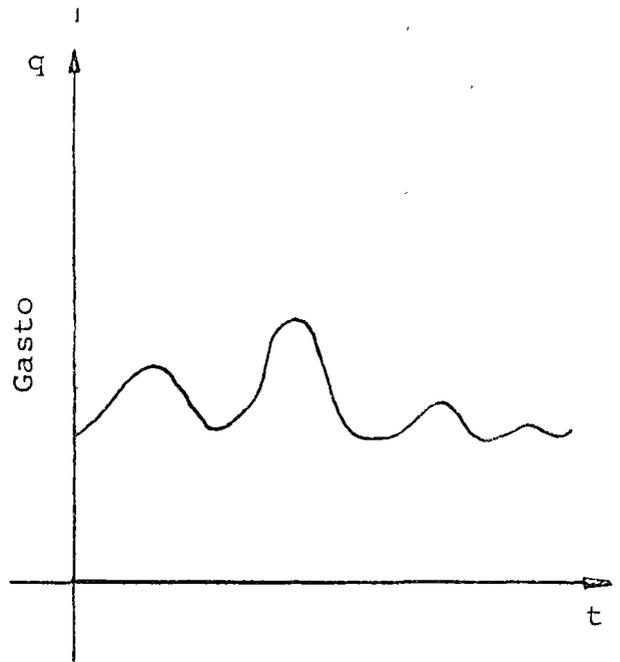


Fig. 8.2 Hidrograma para gasto variable.

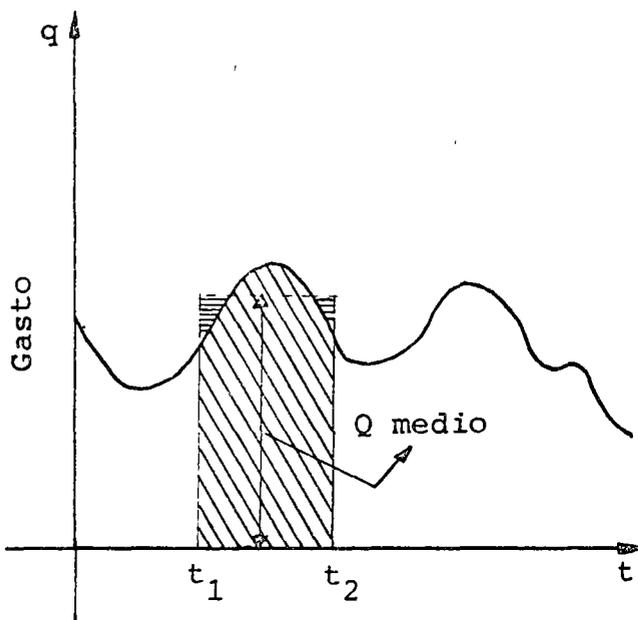


Fig. 8.3 Determinación del gasto medio entre dos tiempos para la sección considerada, mediante igualación de áreas.

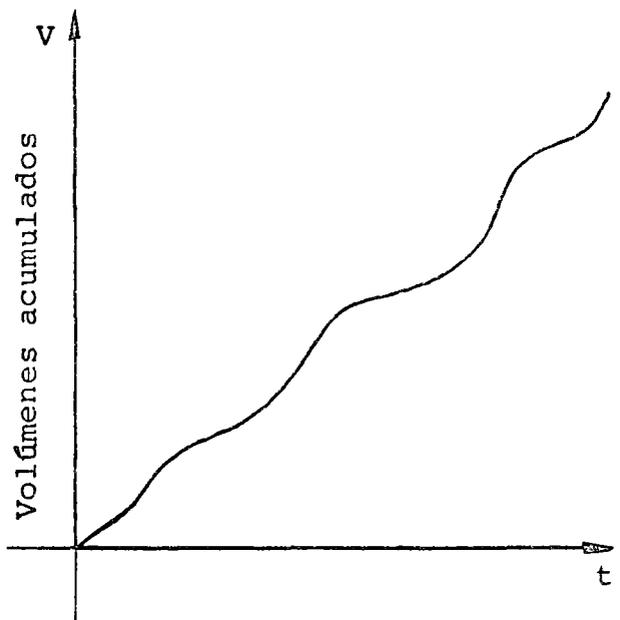


Fig. 8.4 Diagrama de Rippl o curva masa.

2. La pendiente de la tangente en un punto (un instante) de la curva masa re presenta el gasto en ese momento (Fig. 8.6), o sea:

$$Q = \frac{dv}{dt}$$

por lo tanto, en una curva masa no pueden tenerse pendientes negativas, - cuando mucho se tendrán pendientes iguales a cero (recta horizontal).

3. Si se unen dos puntos (dos instantes) de la curva masa mediante una recta, su pendiente representa el gasto medio entre esos dos puntos o momentos (Fig. - 8.7), o sea:

$$Q \text{ medio} = \frac{\text{volumen escurrido}}{t_2 - t_1}$$

Cuando en un sistema de bombeo se tiene el caso de un volumen de almacenamiento (tanque o cárcamo) que recibe agua a través de varios conductos de entrada y que además tiene varios conductos de salida para satisfacer diferentes variaciones de demanda, se pueden hacer combinaciones de las curvas masa correspondientes a cada conducto de entrada y de salida, de manera de sumar por un lado las curvas masa de los conductos de entrada y por el otro las referentes a los conductos de salida, lo que dará como resultado final únicamente dos curvas masa, una para los volúmenes acumulados de entrada y otra los volúmenes acumulados de salida.

La suma de varias curvas masa ya sea para la entrada o para la salida, consiste - simplemente en sumar las ordenadas correspondientes a cada una de las curvas para la misma ordenada de tiempo. Los puntos obtenidos con los valores de las ordenadas resultantes de las sumas para los tiempos considerados, definen la curva masa producto de la suma (Fig. 8.8).

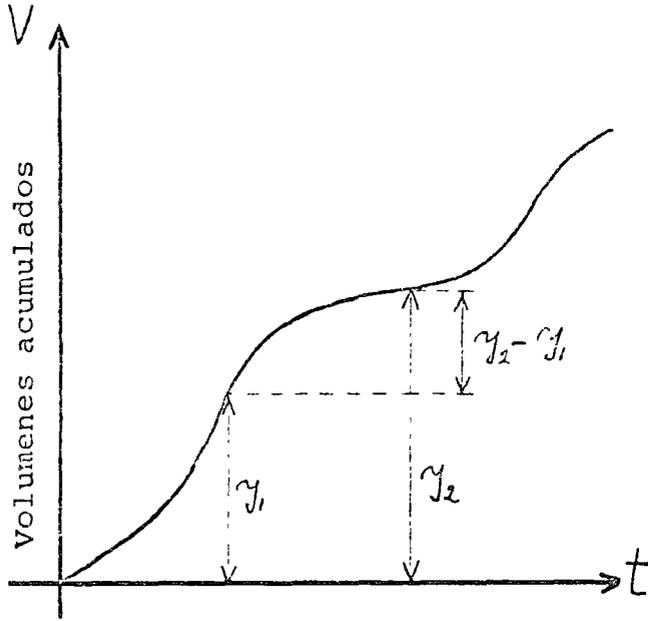


Fig. 8.5 Volumen escurrido en un intervalo de tiempo.

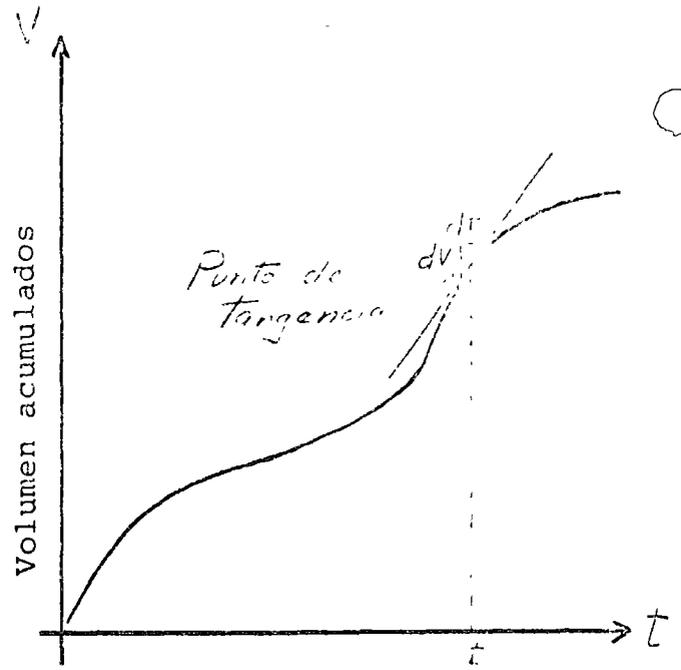


Fig. 8.6 La pendiente de la tangente en un instante de la curva masa representa el gasto en ese instante.

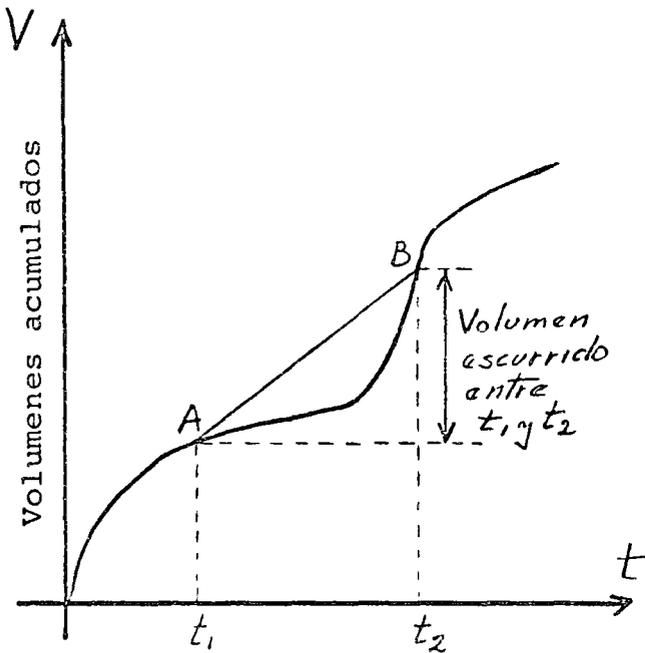


Fig. 8.7 La pendiente de la recta AB representa el gasto - medio entre los instantes t_1 y t_2 .

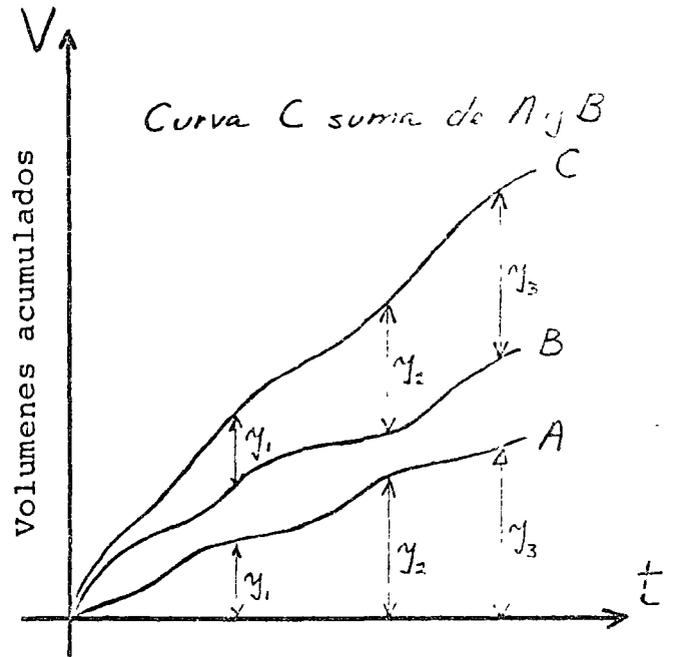


Fig. 8.8 Suma de curvas masa.

8.3 Cálculo del volumen de almacenamiento.

El cálculo del volumen de almacenamiento puede hacerse en forma gráfica o analítica.

1) Método gráfico.

Para hacer el cálculo del volumen de almacenamiento en forma gráfica sólo habrá que combinar o armonizar, como antes se dijo, la curva masa de la entrada (ley de entrada) con la curva masa de la salida (ley de salida) para los mismos intervalos de tiempo.

Para hacer la combinación anterior se trazan las dos curvas masa en un mismo sistema de ejes coordenados haciendo coincidir las escalas de tiempo, ya sea que las unidades de éste sean minutos, horas, semanas, etc. (Fig. 8.9). Una vez trazadas las dos curvas masa, la diferencia de ordenadas entre las dos curvas para un tiempo dado representa el excedente o el faltante de volumen de almacenamiento para el momento considerado. Si la curva masa de entrada está por arriba de la salida la diferencia de ordenadas representará un excedente, en caso contrario equivaldrá a un faltante.

Por ende, los datos que se necesita conocer para calcular el volumen de almacenamiento son las leyes de suministro y de demanda o sea las curvas masa de entrada y de salida, las cuales podemos obtener con mediciones directas o suponer de acuerdo al problema que hay que resolver. Estas curvas masa pueden trazarse con datos de volumen o de porcentaje del volumen manejado en la unidad de tiempo seleccionada.

El procedimiento que a continuación se expone con un ejemplo, aún cuando se hace para el caso de un abastecimiento de agua que es el más usual, es general y -

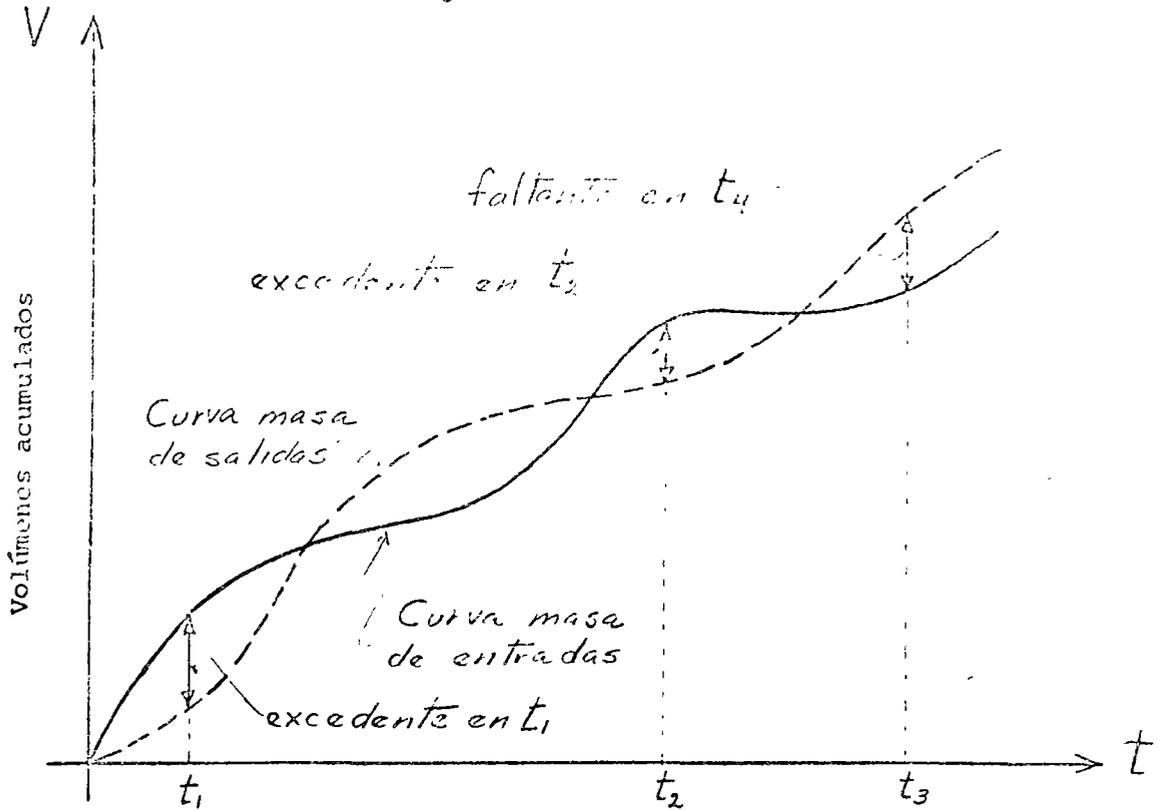


Fig. 8.9 Combinación de curvas masa de entradas y salidas

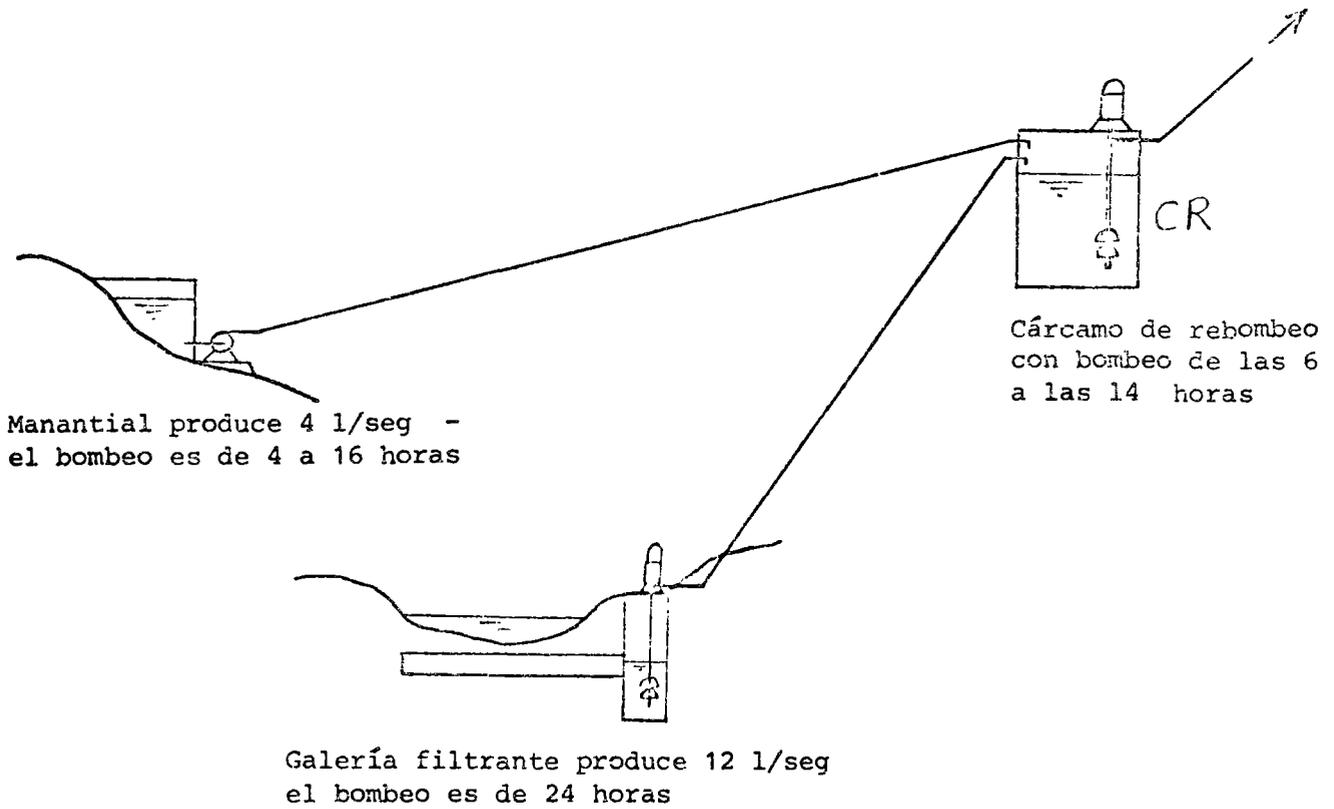


Fig. 8.10

puede aplicarse a otros casos en que se requiera calcular volúmenes de almacenamiento.

Para el caso de los abastecimientos, los volúmenes requeridos de almacenamiento casi siempre se calculan para efectuar una regulación diaria de los volúmenes de entrada y de salida, con la particularidad de que estos volúmenes deben ser iguales, o sea que el volumen diario de entrada debe ser igual al volumen diario de salida a fin de satisfacer adecuadamente las necesidades de la población, y la variación de los gastos de entrada y de salida se acostumbra representarla en forma horaria o sea que la unidad de tiempo para el hidrograma o la curva masa correspondiente es una hora.

Ejemplo:

Supongamos que se tiene un cárcamo de rebombeo CR alimentado por dos fuentes de abastecimiento con los gastos y los tiempos de bombeo indicados en la Fig. 8.10.

El ejemplo se resolverá de dos maneras, la primera haciendo el trazo de las curvas masa correspondientes con volúmenes y tiempos y la segunda haciendo este trazo con porcentajes horarios y tiempos.

a) Curvas masa con volúmenes.

El volumen diario total que proporciona el manantial en forma continua es de:

$$\begin{array}{l} \text{volumen producido} \\ \text{por manantial} \end{array} = 4 \times 24 \times 3\,600 = 345.60 \text{ m}^3.$$

Pero este volumen se bombea sólo durante 12 horas al día por lo que en rea_

lidad también habría que calcular un cierto volumen de almacenamiento para la caja del manantial con una entrada constante y una salida intermitente.

La curva masa correspondiente al manantial es la gráfica M de la Fig. 8.11 y se dibuja a partir del punto de inicio del bombeo con volumen acumulado igual a cero, hasta el punto que representa la terminación del bombeo y el volumen total acumulado. La pendiente de esta gráfica (ver párrafo 8.2.3) representa el gasto medio en el intervalo de tiempo considerado y es igual a:

$$q \text{ bombeo del manantial} = \frac{345,60 \times 1000}{12 \times 3600} = 8 \text{ l/seg.}$$

o visto de otra manera:

$$q \text{ entrada caja} \times \text{horas entrada manantial} = q \text{ salida caja} \times \text{horas salida manantial}$$

$$\therefore q \text{ salida} = q \text{ entrada} \frac{\text{horas entrada}}{\text{horas salida}}$$

o sea:

$$q \text{ salida caja} = 4 \frac{24}{12} = 8 \text{ l/seg}$$

manantial

El volumen diario total que proporciona la galería filtrante es:

$$\text{volumen producido por galería} = \frac{12 \times 24 \times 3600}{1000} = 1036,80 \text{ m}^3.$$

La curva masa correspondiente a la galería filtrante es la gráfica G de la Fig. 8.11 y se traza de forma similar a la gráfica M. La pendiente de la curva G representa el gasto medio para el intervalo de tiempo considerado, o sea:

$$q \text{ bombeo galería filtrante} = \frac{1036,80 \times 1000}{24 \times 3600} = 12 \text{ l/seg}$$

La suma de las dos curvas masa de entrada al cárcamo CR es la gráfica S de la Fig. 8.11, siendo el volumen diario total acumulado de entrada de:

$$345.60 + 1036.80 = 1382.40 \text{ m}^3.$$

La curva masa que representa la ley de salida del cárcamo CR es la gráfica C de la Fig. 8.12 y se traza desde el punto de inicio del bombeo con volumen cero hasta el punto que representa la terminación del bombeo y el volumen total acumulado que debe bombearse diariamente. La pendiente de esta gráfica representa el gasto de bombeo en el cárcamo CR durante el intervalo de tiempo considerado, o sea:

$$q_{\text{bombeo salida}} = \frac{1382.40 \times 1000}{8 \times 3600} = 48 \text{ l/seg}$$

La combinación de las curvas masa de entrada y de salida al cárcamo CR se muestra en la Fig. 8.12 y del estudio de estas gráficas puede deducirse que:

$Y_6 =$ máximo volumen excedente

$Y_{14} =$ máximo volumen faltante

Se requieren estos volúmenes máximos de almacenamiento para poder efectuar la regulación de los volúmenes de entrada y de salida.

Por consiguiente, el volumen de almacenamiento que debe tener el cárcamo CR es:

Volumen

$$\text{Cárcamo} = \left[\text{Máximo excedente} + \text{Máximo faltante} \right]$$

Esta condición se desprende al analizar las gráficas de la Fig. 8.12 pues puede observarse que si a las cero horas empieza a llenarse el cárcamo CR, a las 6 horas, momento en que se inicia el bombeo de salida en este cárcamo, se tendrá un volumen máximo de entrada acumulado - representado por la ordenada Y_6 . A partir de este punto como el gasto de salida del cárcamo es mayor que el de entrada, el volumen almacenado se va reduciendo y llegará un instante en que se vacíe dicho cárcamo, este instante se presenta en el punto E donde se cruzan las dos curvas masa. Después de este punto y hasta las 14 horas (terminación del bombeo) el gasto de salida es mayor que el de entrada, por lo que se tendrá un volumen máximo de almacenamiento faltante representado por la diferencia de ordenadas en el momento en que termina el bombeo de salida en el cárcamo, que es igual al volumen de entrada que se acumularía de las 14 a las 24 horas (Fig. 8.12).

Por lo tanto, para que no falte el agua, el volumen de almacenamiento tendrá que ser la suma del máximo volumen excedente mas el máximo volumen faltante.

Lo anterior también puede verse de la siguiente manera, consideremos que el cárcamo CR comienza a llenarse a las 14 horas para un ciclo de 24 (un día), entonces la combinación de las curvas masa de entrada y de salida será como se muestra en la Fig. 8.13, en donde S' es la curva masa de entrada y C es la curva masa de salida. De estas gráficas puede deducirse inmediatamente que el máximo volumen acumulado es el valor de la ordenada Y_6 en la hora 6, ya que a partir de este punto

se inicia el bombeo en el cárcamo CR y como el gasto de salida es mayor que el de entrada, el máximo volumen requerido de almacenamiento será igual al máximo volumen que se había acumulado. El volumen representado por la ordenada Y_i puede observarse que es igual a la suma de las ordenadas Y_6 y Y_{14} de la Fig. 8.12 o sea:

$$Y_i = Y_6 + Y_{14} = 316.80 + 489.60 = 806.40 \text{ M}^3$$

$$\therefore \text{Volumen cárcamo} = 806.40 \text{ M}^3$$

b) Curvas masa con porcentajes horarios.

Para resolver el ejemplo por medio de porcentajes con respecto al gasto medio horario, hay que trazar las curvas masa de entrada y de salida con los datos de dichos porcentajes y los tiempos correspondientes. Como los porcentajes para este caso se consideran con respecto a un gasto medio horario, la unidad de tiempo es

la hora que es la más usual, pero puede aplicarse el procedimiento para cualquier otra unidad de tiempo.

Por lo tanto, al gasto medio horario de cada hora de un ciclo de 24 se le asigna un 100% de gasto y las variaciones de los caudales de entrada o de salida se darán como porcentajes con relación a este 100%.

Si el tiempo de trabajo es un ciclo completo de 24 horas (un día) y a cada hora le corresponde el 100% del gasto medio horario, el porcentaje total correspondiente a un día será de:

$$24 \text{ horas} \times 100\% = 2400\%$$

Para dibujar la curva masa de los volúmenes de entrada al cárcamo

CR se necesita calcular en primer lugar el gasto medio horario total de entrada y después los porcentajes con respecto a éste que le corresponden a cada uno de los gastos horarios de entrada. Se puede entonces trazar una curva masa para cada fuente de abastecimiento y después sumarlas o trazar directamente la curva masa para el gasto total de entrada. Hagamoslo de esta última manera:

$$\text{volumen medio horario entrada} = \frac{\text{volumen total entrada}}{24} = \frac{1382.40}{24} = 57.60 \text{ M}^3$$

○ sea que el gasto medio horario vale $57.60 \text{ M}^3/\text{hr}$.

Ahora bien de 0 a 4 y de 16 a 24 horas entra al cárcamo CR sólo el gasto de la galería filtrante por lo que en cada hora de estos lapsos entrará un volumen de:

$$\frac{12 \times 3600}{1000} = 43.20 \text{ M}^3$$

Entonces el porcentaje del gasto medio horario que entra en estos intervalos de tiempo es de:

$$\frac{43.20 \times 100}{57.60} = 75\%$$

De las 4 a las 16 horas entra al cárcamo el gasto de la galería mas el del manantial o sea 20 l/seg. , por lo que en cada hora de este intervalo entrará un volumen de:

$$\frac{20 \times 3600}{1000} = 72.00 \text{ M}^3$$

El porcentaje será entonces de:

$$\frac{72.00}{57.60} \times 100 = 125\%$$

Como comprobación tenemos que:

$$75\% \times 12 + 125\% \times 12 = 2400\%$$

La curva masa de entrada al cárcamo resulta entonces como se muestra en la gráfica N de la Fig. 8.14.

Por lo que toca a la curva masa de los volúmenes de salida del cárcamo CR, es necesario calcular qué porcentaje del gasto medio horario se tiene cada hora del intervalo de tiempo que dura el bombeo de salida, o sea:

$$\text{Porcentaje total durante 24 horas} = 2400\%$$

$$\text{Tiempo de bombeo de salida} = 8 \text{ horas}$$

$$\text{Porcentaje horario bombeo salida} = \frac{2400}{8} = 300\%$$

En vista de esto la curva masa de la salida del cárcamo que da como se muestra en la gráfica L de la Fig. 8.14.

Haciendo un análisis semejante al descrito antes de las curvas masa de entrada y de salida que aparecen en la Fig. 8.14, se encuentra que el volumen requerido de almacenamiento será la suma de las ordenadas que representan el máximo porcentaje de volumen excedente mas el máximo porcentaje de volumen faltante, multiplicada por el gasto medio horario, o sea:

$$\text{Volumen} = \frac{q_{\text{medio horario}}}{100} \left[\begin{array}{l} \text{m\u00e1ximo} \\ \text{porcentaje} \\ \text{excedente} \end{array} + \begin{array}{l} \text{m\u00e1ximo} \\ \text{porcentaje} \\ \text{faltante} \end{array} \right]$$

Para el ejemplo se tiene (ver Fig. 8.14)

Volumen

$$\text{C\u00e1rcamo} = \frac{57.60}{100} (550 + 850) = 806.40 \text{ m}^3.$$

2) M\u00e9todo anal\u00edtico.

El m\u00e9todo anal\u00edtico nos es mas que la expresi\u00f3n num\u00e9rica detallada del m\u00e9todo gr\u00e1fico, aunque tambi\u00e9n puede decirse que el m\u00e9todo gr\u00e1fico no es mas que la representaci\u00f3n gr\u00e1fica del m\u00e9todo anal\u00edtico.

El c\u00e1lculo del volumen de almacenamiento utilizando este m\u00e9todo tambi\u00e9n se puede hacer con vol\u00fmenes o con porcentajes de volumen.

Con el objeto de facilitar y sistematizar los c\u00e1lculos se acostumbra realizarlos mediante una tabla o cuadro como la mostrada a continuaci\u00f3n.

a) Procedimiento con vol\u00fmenes.

Este procedimiento se ilustra con la tabla 8.1 en la cual en la columna ① se enlista el ciclo de tiempo con las unidades consideradas; en la columna ② se anota la ley de entrada tomando en cuenta el o los conductos de entrada as\u00ed como la forma en que entregan los vol\u00fmenes de acuerdo con la unidad de tiempo seleccionada; en la columna ③ se anota la ley de salida en forma similar a la anterior; en la columna ④ se anota la diferencia algebra\u00edca entre los vol\u00fmenes de entrada y los de salida y finalmente en la columna ⑤ se anotan las diferencias acumuladas resultantes de la suma algebra\u00edca de las diferencias de la columna ④.

TABLA 8.1- METODO ANALITICO PARA EL CALCULO DEL
 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO A BASE DE VOLUMENES
 ACUMULADOS.

(1) HORAS	(2) ENTRADAS m ³	(3) SALIDAS m ³	(4) DIFEREN- CIAS. m ³	(5) DIFERENCIAS ACUMULADAS m ³
0 - 1	+ 43.20	0	+ 43.20	+ 43.20
1 - 2	+ 43.20	0	+ 43.20	+ 86.40
2 - 3	+ 43.20	0	+ 43.20	+ 129.60
3 - 4	+ 43.20	0	+ 43.20	+ 172.80
4 - 5	+ 72.00	0	+ 72.00	+ 244.80
5 - 6	+ 72.00	0	+ 72.00	+ 316.80
6 - 7	+ 72.00	- 172.80	-100.80	+ 216.00
7 - 8	+ 72.00	- 172.80	-100.80	+ 115.20
8 - 9	+ 72.00	- 172.80	-100.80	14.40
9 - 10	+ 72.00	- 172.80	-100.80	- 86.40
10 - 11	+ 72.00	- 172.80	-100.80	- 187.20
11 - 12	+ 72.00	- 172.80	-100.80	- 288.00
12 - 13	+ 72.00	- 172.80	-100.80	- 388.80
13 - 14	+ 72.00	- 172.80	-100.80	- 489.60
14 - 15	+ 72.00	0	+ 72.00	- 417.60
15 - 16	+ 72.00	0	+ 72.00	- 345.60
16 - 17	+ 43.20	0	+ 43.20	- 302.40
17 - 18	+ 43.20	0	+ 43.20	- 259.20
18 - 19	+ 43.20	0	+ 43.20	- 216.00
19 - 20	+ 43.20	0	+ 43.20	- 172.80
20 - 21	+ 43.20	0	+ 43.20	- 129.60
21 - 22	+ 43.20	0	+ 43.20	- 86.40
22 - 23	+ 43.20	0	+ 43.20	- 43.20
23 - 24	+ 43.20	0	+ 43.00	0

Σ 1382.40

1382.40

Para los datos del ejemplo se tiene:

$$\begin{array}{l} \text{volumen horario} \\ \text{galería filtrante} \end{array} = \frac{12 \times 3600}{1000} = 43.20 \text{ m}^3.$$

suministrado durante las 24 horas

$$\begin{array}{l} \text{volumen horario} \\ \text{manantial} \end{array} = \frac{8 \times 3600}{1000} = 28.80 \text{ m}^3.$$

suministrado sólo de las 4 a las 16 horas

Por lo tanto el volumen horario alimentado al cárcamo CR de las 4 a las 16 horas será de:

$$43.20 + 28.80 = 72.00 \text{ m}^3.$$

Además:

$$\begin{array}{l} \text{volumen horario} \\ \text{salida cárcamo} \end{array} = \frac{48 \times 3600}{1000} = 172.80 \text{ m}^3.$$

bombeado sólo de las 6 a las 14 horas.

Los cálculos quedan entonces como se muestra en la Tabla 8.1

Al revisar la columna de diferencias acumulada se observa que el máximo volumen acumulado excedente es de 316.80 m³. y que el máximo volumen acumulado faltante es de 489.60 m³.

Por lo tanto, y procediendo de acuerdo como se explicó, antes el volumen requerido de almacenamiento será la suma de estos dos volúmenes, o sea:

$$\begin{array}{l} \text{volumen} \\ \text{cárcamo} \end{array} = \sum \left[+316.80 + |-489.60| \right] = 806.40 \text{ m}^3.$$

Este método analítico puede también aplicarse considerando únicamente los volúmenes de almacenamiento que se requieren para cubrir la demanda que se tenga o sea, dicho volumen debe ser suficiente para satis

facen los volúmenes de salida durante el o los intervalos de tiempo en que la salida es mayor que la entrada. Lo anterior está basado en el hecho de que al término del ciclo considerado, generalmente un día, el volumen total de salida debe necesariamente ser igual al volumen total de entrada. Esta forma de realizar el cálculo se muestra en la tabla 8.2. Puede observarse que la suma de la columna de volúmenes requeridos para cubrir la demanda da un resultado exactamente igual al caso anterior, o sea:

$$\text{volumen cárcamo} = 806.40 \text{ m}^3$$

b) Procedimiento con porcentajes de volumen.

Para el cálculo analítico del volumen de almacenamiento a base de porcentajes de volumen, se sigue el mismo procedimiento que en el inciso precedente con la única diferencia que ahora los datos de entrada y de salida los manejaremos como porcentajes del gasto medio horario para el ciclo considerado.

Por lo tanto, los porcentajes a considerar para la entrada y la salida al cárcamo CR son los determinados anteriormente y el cálculo del volumen de almacenamiento se realiza como se muestra en la Tabla 8.3.

De la observación de los valores de la columna de diferencias acumulada se deduce que el máximo porcentaje excedente es de 550% y el máximo porcentaje faltante es de 850%, por lo que:

$$\text{volumen} \\ \text{cárcamo} = \frac{q \text{ medio horario}}{1000} \sum \left[\left| \begin{array}{l} \text{máximo} \\ \text{porcentaje} \\ \text{excedente} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{máximo} \\ \text{porcentaje} \\ \text{faltante.} \end{array} \right| \right]$$

o sea:

$$\text{volumen} = \frac{57.60}{1000} \left[| + 550 | + | - 850 | \right] = 806.40 \text{ m}^3$$

TABLA 8.2.- METODO ANALITICO PARA EL CALCULO -
 DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO A BASE DEL VOLUMEN REQUERIDO PARA CUBRIR LA DEMANDA.

HORAS	ENTRADAS m ³	SALIDAS m ³	Volumen requerido para cubrir la demanda. m ³
0 - 1	43.20	0	0
1 - 2	43.20	0	0
2 - 3	43.20	0	0
3 - 4	43.20	0	0
4 - 5	72.00	0	0
5 - 6	72.00	0	0
6 - 7	72.00	172.80	100.80
7 - 8	72.00	172.80	100.80
8 - 9	72.00	172.80	100.80
9 - 10	72.00	172.80	100.80
10 - 11	72.00	172.80	100.80
11 - 12	72.00	172.80	100.80
12 - 13	72.00	172.80	100.80
13 - 14	72.00	172.80	100.80
14 - 15	72.00	0	0
15 - 16	72.00	0	0
16 - 17	43.20	0	0
17 - 18	43.20	0	0
18 - 19	43.20	0	0
19 - 20	43.20	0	0
20 - 21	43.20	0	0
21 - 22	43.20	0	0
22 - 23	43.20	0	0
23 - 24	43.20	0	0
Σ	1382.40	1382.40	806.40

TABLA 8.3.

METODO ANALITICO PARA EL CALCULO DEL
VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO A BASE DE
PORCENTAJES DEL GASTO MEDIO HORARIO.

Horas	Entradas %	Salidas %	Diferencias %	Diferencias acumuladas
0 - 1	+ 75	0	+ 75	+ 75
1 - 2	+ 75	0	+ 75	+ 150
2 - 3	+ 75	0	+ 75	+ 225
3 - 4	+ 75	0	+ 75	+ 300
4 - 5	+ 125	0	+ 125	+ 425
5 - 6	+ 125	0	+ 125	+ 550 *
6 - 7	+ 125	- 300	- 175	+ 375
7 - 8	+ 125	- 300	- 175	+ 200
8 - 9	+ 125	- 300	- 175	+ 25
9 - 10	+ 125	- 300	- 175	- 150
10 - 11	+ 125	- 300	- 175	- 325
11 - 12	+ 125	- 300	- 175	- 500
12 - 13	+ 125	- 300	- 175	- 675
13 - 14	+ 125	- 300	- 175	- 850 *
14 - 15	+ 125	0	+ 125	- 725
15 - 16	+ 125	0	+ 125	- 600
16 - 17	+ 75	0	+ 75	- 525
17 - 18	+ 75	0	+ 75	- 450
18 - 19	+ 75	0	+ 75	- 375
19 - 20	+ 75	0	+ 75	- 300
20 - 21	+ 75	0	+ 75	- 225
21 - 22	+ 75	0	+ 75	- 150
22 - 23	+ 75	0	+ 75	- 75
23 - 24	+ 75	0	+ 75	0

2 400

2 400

El cálculo analítico del volumen de almacenamiento a base de porcentajes de volumen pero ahora considerando solo los volúmenes de almacenamiento requeridos para satisfacer la demanda, se muestra en la Tabla 8.4.

Se tiene entonces que la suma de porcentajes del gasto medio horario requerido para satisfacer la demanda es de 1400% por lo que:

$$\begin{array}{l} \text{volumen} \\ \text{cárcamo} \end{array} = \frac{57.60}{100} \times 1400 = 806.40 \text{ m}^3$$

3) Volumen adicional necesario.

El volumen de almacenamiento calculado con cualquiera de los métodos o procedimientos antes explicados, es exclusivamente el que se requiere para efectuar la regulación del volumen total de entrada y del volumen total de salida durante el ciclo de tiempo considerado (generalmente 1 día) con el objeto de satisfacer adecuadamente las demandas de la población y de que no vaya a faltar agua en un momento dado, este volumen es el que quedaría comprendido entre los niveles de operación de las bombas (arranque y paro) que se instalarían en el cárcamo de rebombeo, por lo tanto, de acuerdo con el tipo de bombas empleado y con el diseño mismo de la estación o planta de bombeo, se requerirá un volumen adicional al de almacenamiento, que queda a criterio del proyectista, con el fin de tener la mínima sumergencia necesaria para bombas verticales, la altura mínima requerida para el cebado de bombas, para que no se aumente la altura de la máxima succión permisible, o para algún otro propósito indispensable para el adecuado y eficiente funcionamiento del volumen de almacenamiento calculado.

T.A.B.L.A. 8.4

Método analítico para el cálculo del volumen de almacenamiento a base de los porcentajes del gasto medio horario requeridos para cubrir la demanda.

Horas	Entradas %	Salidas %	Porcentajes requeridos %
0 - 1	75	0	0
1 - 2	75	0	0
2 - 3	75	0	0
3 - 4	75	0	0
4 - 5	125	0	0
5 - 6	125	0	0
6 - 7	125	300	175
7 - 8	125	300	175
8 - 9	125	300	175
9 - 10	125	300	175
10 - 11	125	300	175
11 - 12	125	300	175
12 - 13	125	300	175
13 - 14	125	300	175
14 - 15	125	0	0
15 - 16	125	0	0
16 - 17	75	0	0
17 - 18	75	0	0
18 - 19	75	0	0
19 - 20	75	0	0
20 - 21	75	0	0
21 - 22	75	0	0
22 - 23	75	0	0
23 - 24	75	0	0

Σ

2400

2400

1400

Finalmente es importante señalar que en los casos en que se tengan sistemas de bombeo y volúmenes de almacenamiento, debe tomarse muy en cuenta que la determinación final del volumen de almacenamiento está dictada por consideraciones económicas, pues debe siempre buscarse el balanceo o equilibrio entre el costo del volumen de almacenamiento y el costo del bombeo, tomando en cuenta todos los factores que integran uno y otro tipo de costo.

8.4 Sistemas de bombeo - almacenamiento.

Puede considerarse que un sistema de bombeo almacenamiento es aquel que es ta constituido por una o varias estaciones o plantas de bombeo y por uno o varios tanques o vasos de almacenamiento.

Estos sistemas pueden diseñarse para manejar distintos tipos de aguas con el objeto de satisfacer determinadas necesidades o requerimientos, sin embargo, su uso mas frecuente y amplio es en los sistemas de abastecimiento. Por lo tanto, las instalaciones de bombeo-almacenamiento sólo se ejemplificarán en base a dichos sistemas de abastecimiento, teniendo en cuenta que el diseño básico de los volúmenes de almacenamiento se ha visto al principio de este tema, y que el diseño de las estaciones o plantas de bombeo así como la selección de los equipos de bombeo y de control de han visto en otros temas de este curso.

Convencionalmente los sistemas de bombeo-almacenamiento utilizados generalmente en sistemas de abastecimiento pueden clasificarse en primarios y secundarios.

Los sistemas primarios son aquellos que toman el agua de alguna fuente de abastecimiento y la descargan en las unidades de una planta potabilizadora, en algún tanque de almacenamiento o en una combinación de ambos.

Los sistemas secundarios son aquellos que trabajan con un gasto o caudal producido por un sistema primario y permiten aumentar la presión o el gasto requerido. Estas instalaciones también se denominan sistemas de rebombeo, elevadoras de potencial hidráulico o "boosters". Las obras que integran estos sistemas pueden variar desde una simple bomba elevadora de presión colocada en un conducto generalmente con alimentación constante y de operación casi siempre automática, hasta un sistema más o menos complejo de tanques de almacenamiento y equipos de bombeo que permitan satisfacer las necesidades del problema por resolver.

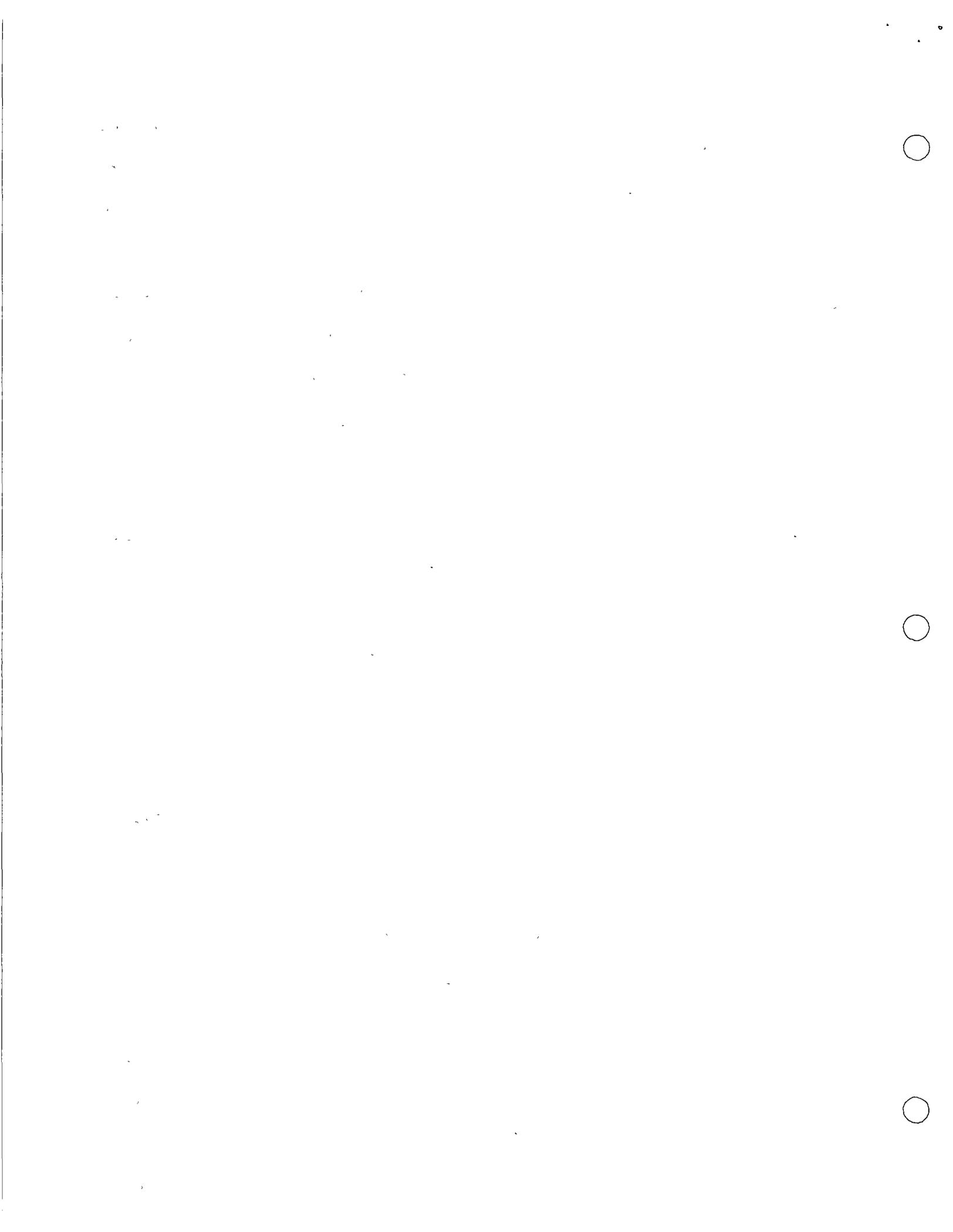
Por lo que toca a los sistemas primarios, de acuerdo con el tipo de instalaciones que los integran, se pueden considerar tres clases de sistemas: con tanque elevado; con bombeo directo o "sistema sin tanque" y con tanque a presión o sistema hidroneumático. Este último comúnmente sólo se utiliza para el suministro de agua a pequeños abastecimientos individuales ya sean habitacionales, comerciales o industriales.

1) Sistema con tanque elevado.

Pueden presentarse los siguientes casos que se explican por sí mismos en cada una de las figuras correspondientes:

- a) Con planta potabilizadora, Fig. 8.15
- b) Con bombeo directo a través de la red, Fig. 8.16
- c) Con bombeo directo al tanque elevado, Fig. 8.17

Podría quizá tenerse otro caso si en el sistema se tuvieran pozos dentro de la red de distribución, pero este caso puede asimilarse al presentado en la Fig. 8.16 con la condición adicional de que en estas ocasiones muchas veces conviene hacer el control de la operación de los pozos de acuerdo con las presiones que



El volumen y presión de agua se mantienen por medio de la bomba y del compresor de manera de satisfacer adecuadamente las necesidades del abastecimiento.

Estos sistemas pueden automatizarse completamente a fin de obtener un servicio satisfactorio y presentan además algunas otras ventajas.

El diseño de una instalación de este tipo consiste simplemente en determinar el tamaño del tanque de presión de acuerdo con los requerimientos de gasto y en definir el tipo y capacidad de la bomba así como la capacidad del compresor en función de las necesidades de gasto y de presión.

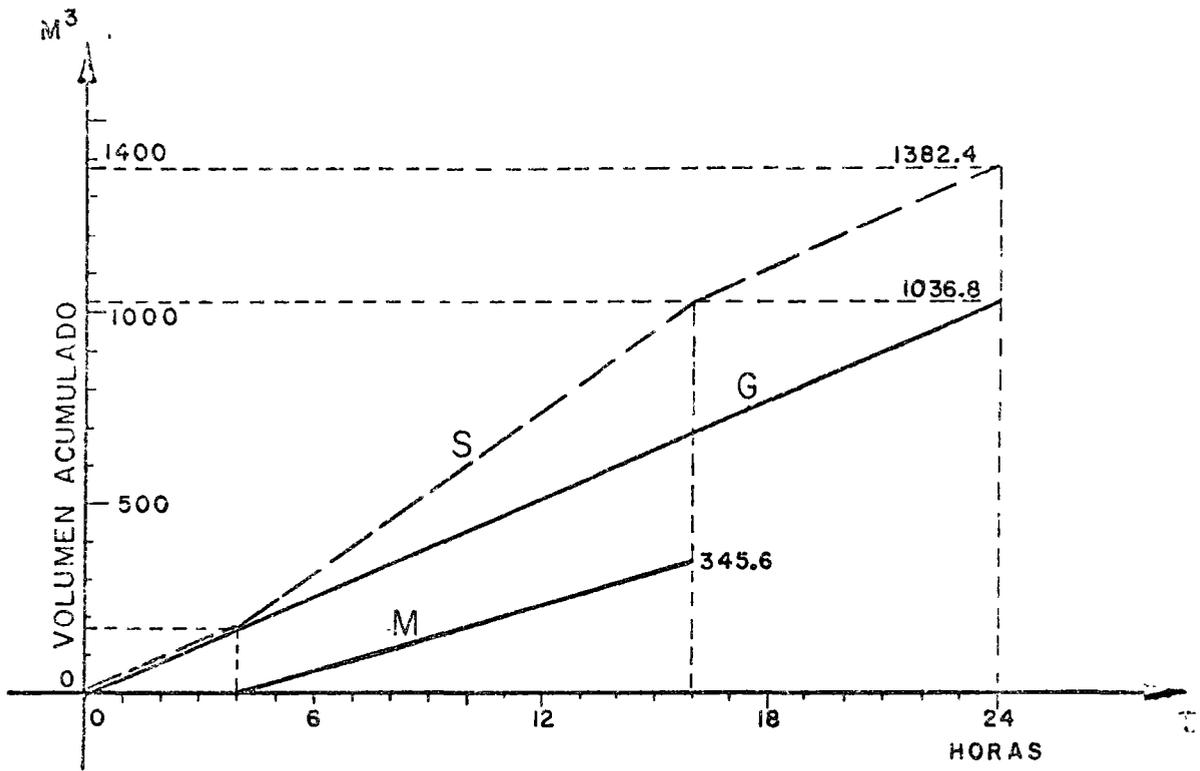


FIG. 8.11

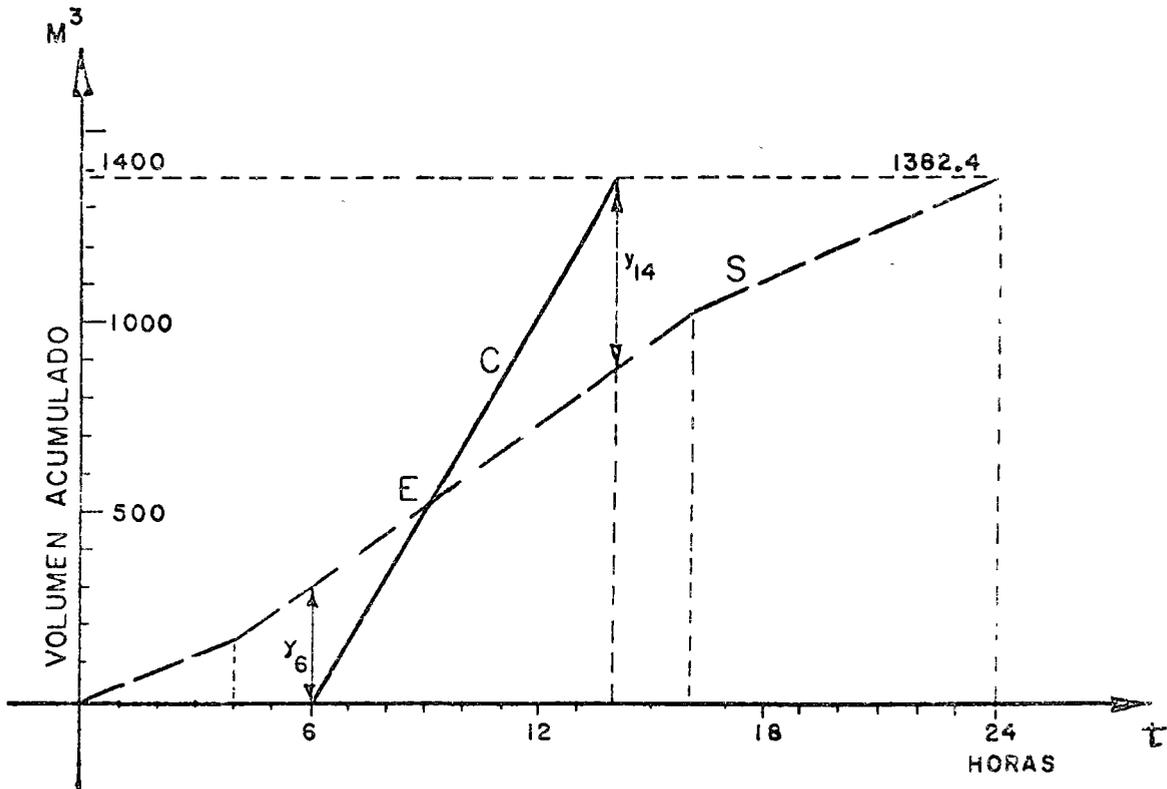


FIG. 8.12

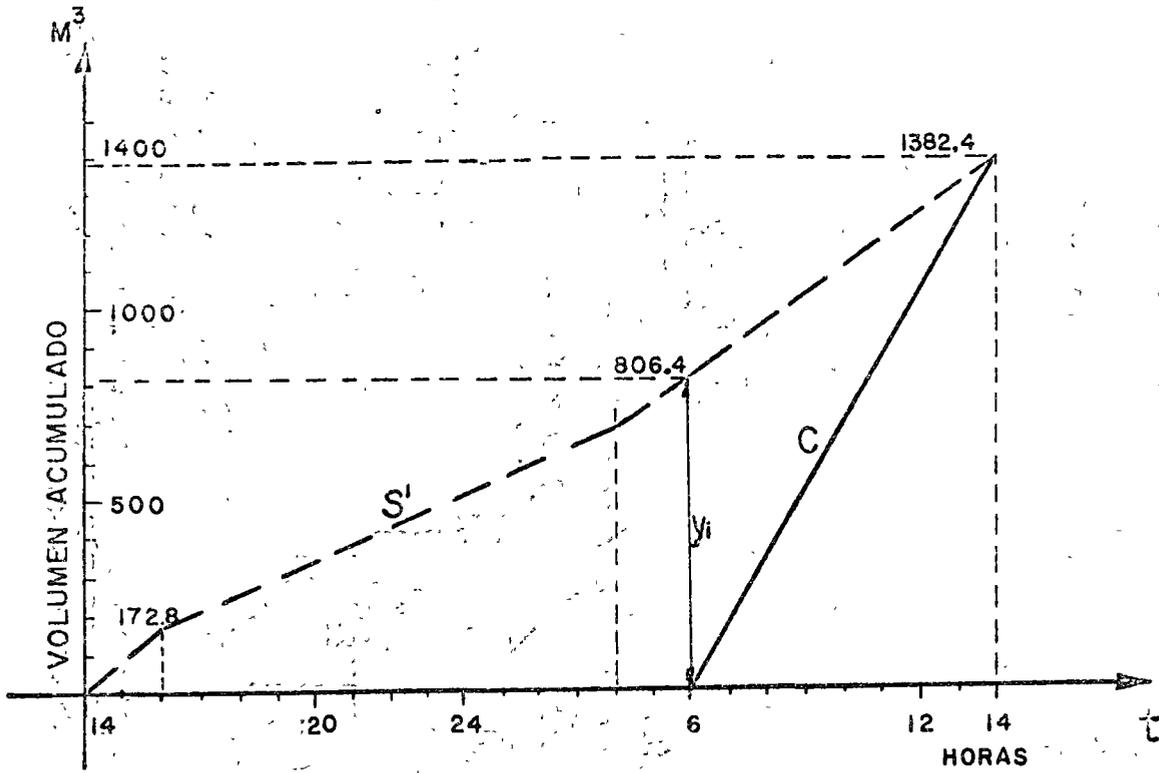


FIG.8.13

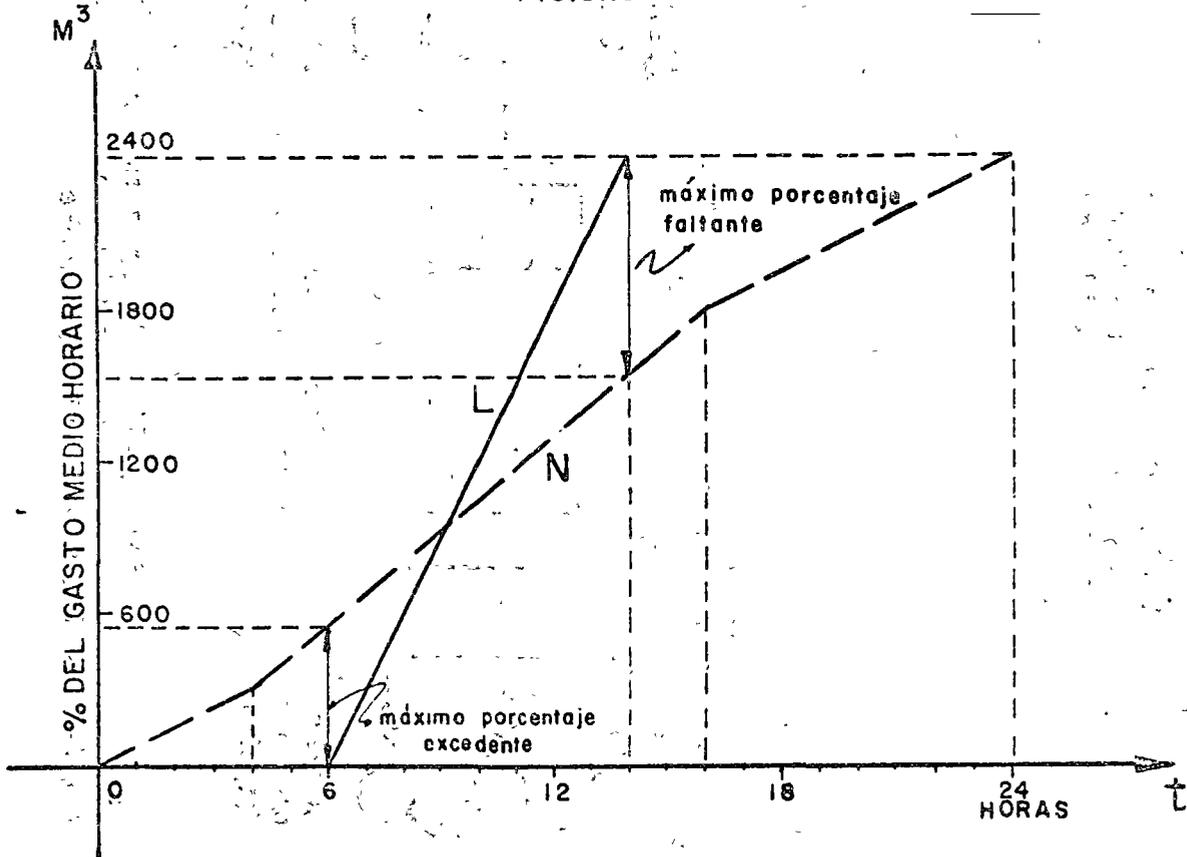


FIG.8.14

OPERACION: Los detectores de nivel en el tanque de agua potable operan las bombas de bajo impulso y las alarmas de alto y bajo nivel en este tanque. Los detectores de presión operan las bombas de alto impulso y la alarma de nivel alto o bajo en el tanque elevado.

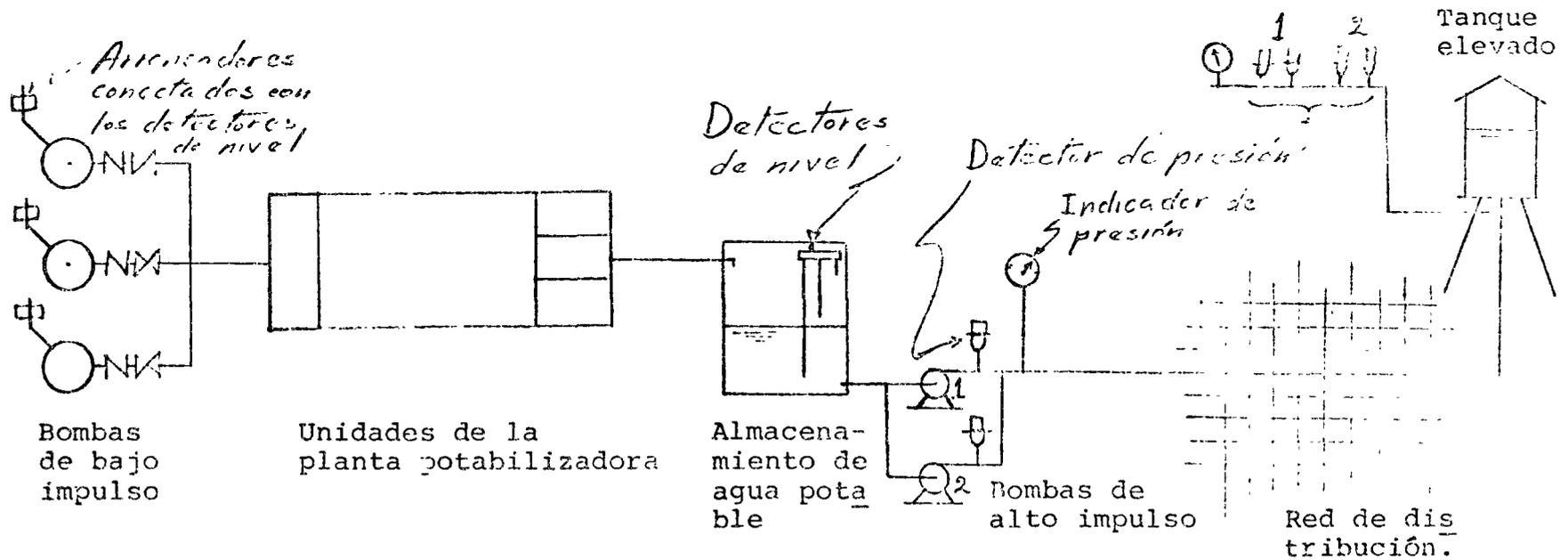
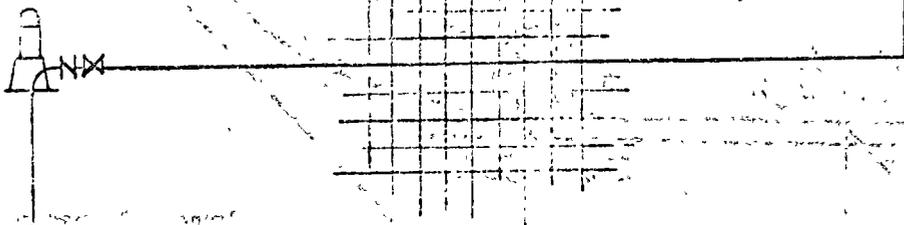
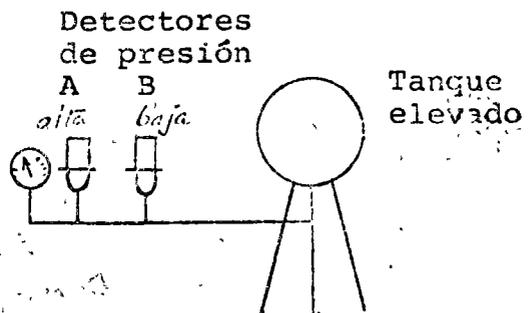


Fig. 8.15 Esquema muy simplificado de un sistema de bombeo-almacenamiento con tanque elevado y planta potabilizadora.

OPERACION:

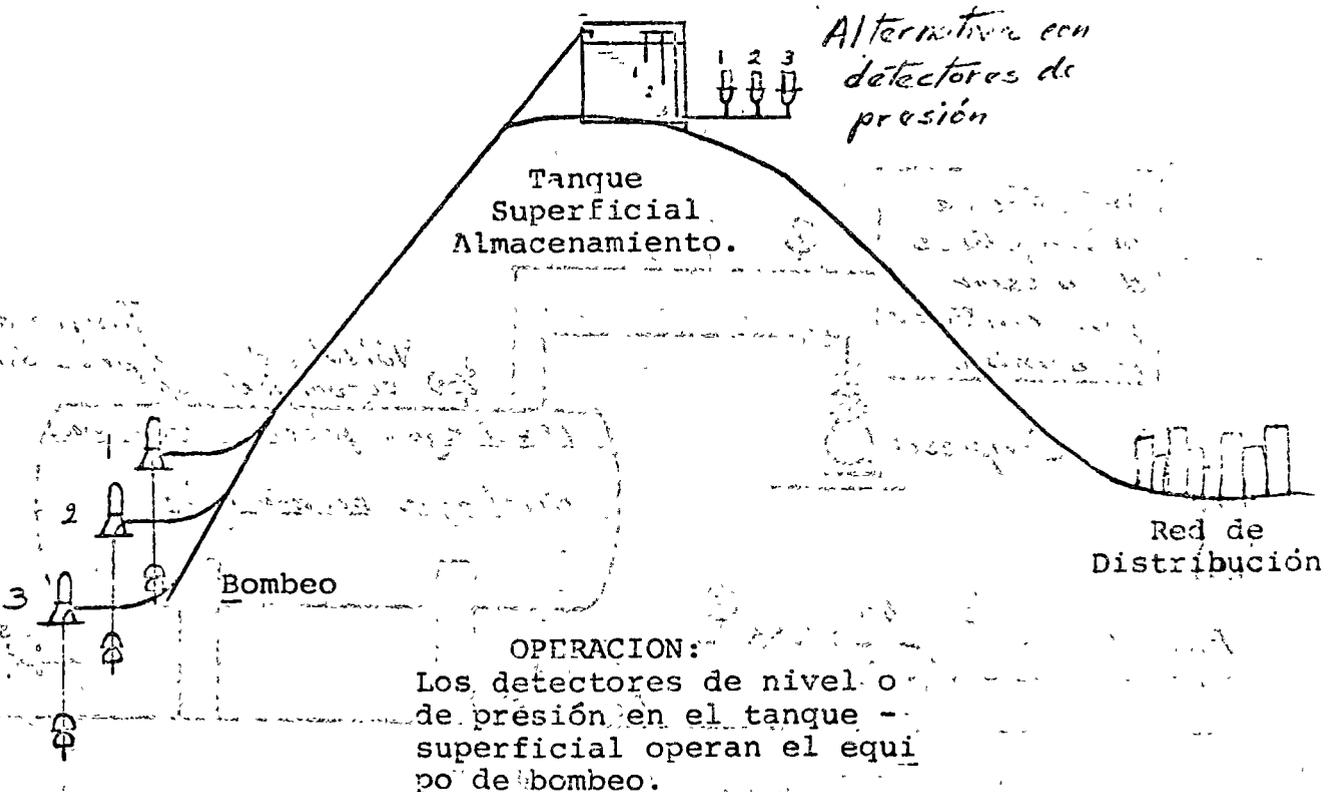
Los detectores de presión operan a control remoto el equipo de bombeo.



Bombeo

Red de Distribución

Fig. 8.16 Sistema bombeo-almacenamiento con tanque elevado y bombeo directo a través de la red.



OPERACION:

Los detectores de nivel o de presión en el tanque superficial operan el equipo de bombeo.

Fig. 8.17 Sistema de bombeo - almacenamiento con bombeo directo al tanque elevado (en superficie).

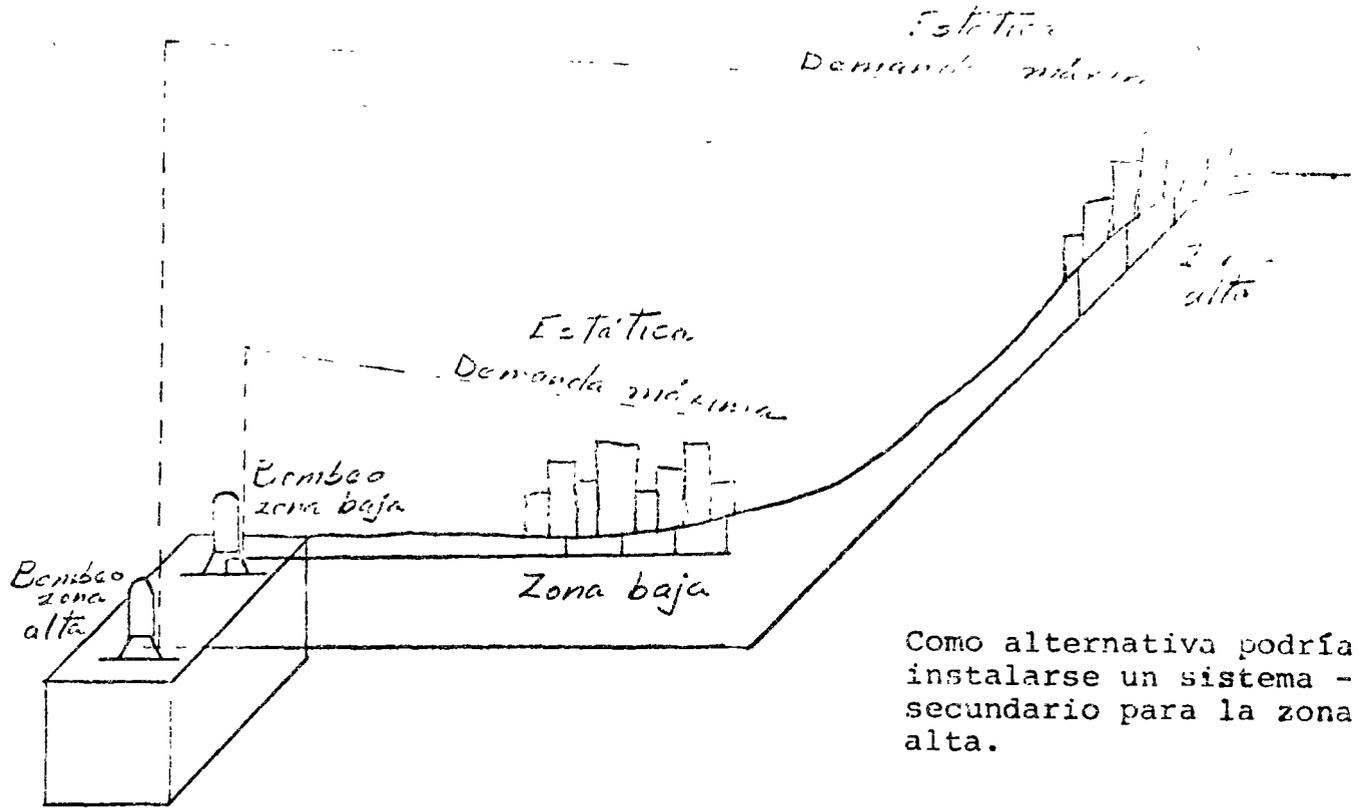


Fig. 8.18 Sistema de bombeo-almacenamiento con bombeo directo a la red de distribución.

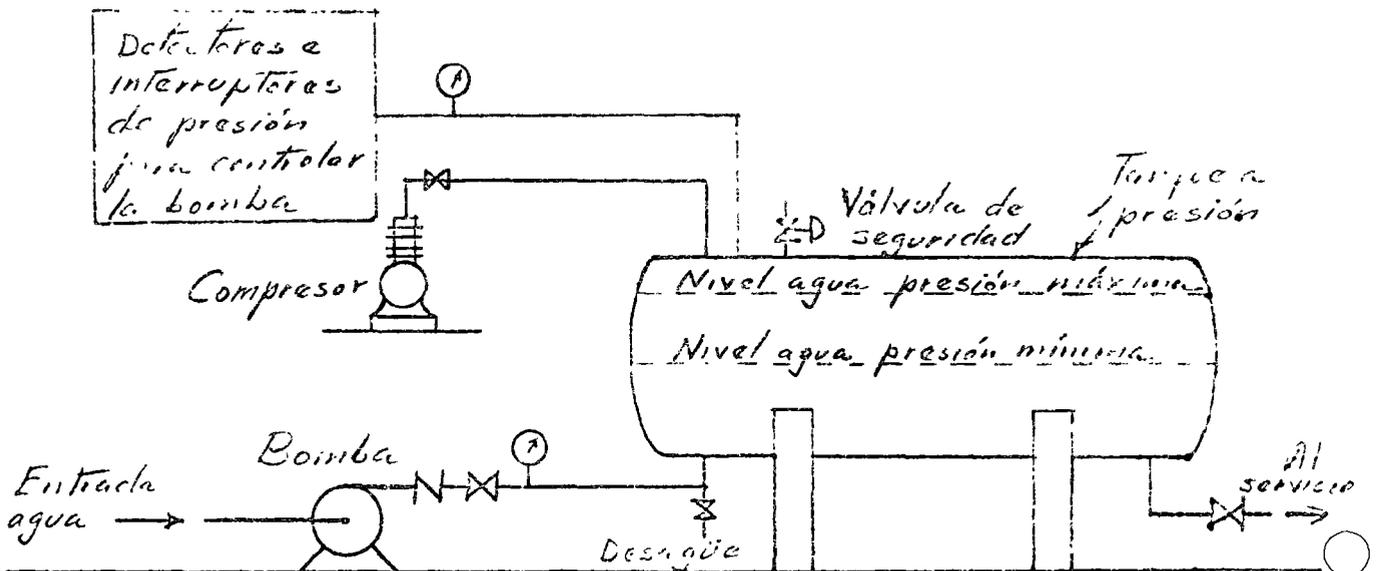


Fig. 9.19 Sistema hidroneumático.

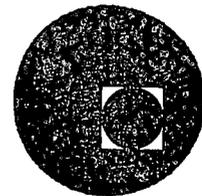
BIBLIOGRAFIA.

1. "Bombas para agua potable". Organización Panamericana de la Salud, Publicación científica 145.
2. "Water and Wastewater Engineering", Volume 1: Water supply and wastewater removal. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Daniel A. Okun. Ed. John Wiley and Sons, Inc. 1966.
3. "Water and Waste-Water Technology". Mark J. Hammer. Ed. John Wiley and Sons, Inc. 1975.
4. "Wastewater Engineering". Metcalf and Eddy Inc. Ed. Mc Graw Hill Book, Co. 1972.
5. "Proyectos de Plantas de Bombeo". Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1974.
6. "Water-resources Engineering". Ray E. Linsley and Joseph - B. Franzini. Ed. Mc Graw-Hill Book, Co. 1964.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO



DR. CARLOS FARIAS DE LA GARZA
GERENTE, PICA BOMBAS Y SISTEMAS
Marzo, 1976

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels.: 521-40-23 521-73-35 5123-123

10

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.



LISTA DE TRANSPARENCIAS.

Día 24 de Marzo de 1976.

- 1.- Esquema de abastecimiento de agua por gravedad.
- 2.- Diagrama de bombeo duplex a tanque elevado.
- 3.- Esquema de abastecimiento de agua directo.
- 4.- Bomba "Booster" bombeo directo a la red.
- 5.- Sistemas hidroneumáticos.
- 6.- Equipo hidroneumático simplex con tanque vertical.
- 7.- Equipo hidroneumático duplex con tanque horizontal.
- 8.- Ejemplo de compresión con dibujo.
- 9.- Relación de agua-aire con tanques hidroneumáticos.
- 10.- Concepto sobre controles en equipos hidroneumáticos.
- 11.- Control hidroneumático Duotrol simplex.
- 12.- Control hidroneumático Duotrol duplex.
- 13.- Diagrama control hidroneumático Warrick.
- 14.- Esquema hidroneumático con control Warrick.
- 15.- Corte compresora para equipo hidroneumático.
- 16.- Bombas centrífugas Chicago Pump Co.
- 17.- Bombas centrífugas Fairbanks Morse.
- 18.- Bombas centrífugas Worthington.
- 19.- Bombas centrífugas Aurora Pump.
- 20.- Curva típica de bomba centrífuga 1.
- 21.- Curva típica de bomba centrífuga 2.
- 22.- Curva típica de bomba centrífuga 3.
- 23.- Curva típica de bomba centrífuga 4.
- 24.- Curva mostrando límites de turbulencia y cavitación.
- 25.- Carga Neta Positiva de Succión (N.P.S.H.)
- 26.- Tabla 1 mostrando N.P.S.H. en poblaciones de México.
- 27.- Tabla 2 mostrando N.P.S.H. en poblaciones de México.
- 28.- Curva típicamostrando: límites de turbulencia y cavitación, eficiencia y N.P.S.H.
- 29.- Curva adecuada para sistemas hidroneumáticos, con los mismos datos de la anterior.
- 30.- Curva no adecuada para sistemas hidroneumáticos, con los datos anteriores.

LISTA DE TRANSPARENCIAS.

Día 26 de Marzo de 1976.

Primera Sesión.

EQUIPOS USADOS EN E.U.A.

- 1.- Volumen de agua descargada a distintas presiones.
- 2.- Edificios mostrando 3 sistemas de abastecimiento.
- 3.- Primer equipo de presión constante con variador a velocidad.
- 4.- Corte de un dispositivo de velocidad variable.
- 5.- Esquema de un equipo usando velocidad variable.
- 6.- Instalación de equipo de velocidad variable en México.
- 7.- Curva mostrando presión constante por velocidad variable.
- 8.- Primer equipo de presión constante con motores de velocidad variable (APCOMATIC).
- 9.- Diagrama del equipo APCOMATIC de presión constante.
- 10.- Foto de un equipo APCOMATIC duplex de presión constante.
- 11.- Primer sistema programado empleando el APCOMATIC.
- 12.- Control APCOMATIC.
- 13.- Válvulas reguladoras para dar presión constante.
- 14.- Bombeo simplex con válvulas reguladoras.
- 15.- Bombeo duplex con válvulas reguladoras.
- 16.- Equipo compacto de presión constante con válvulas .
- 17.- Equipo triplex de presión constante con válvulas.
- 18.- Equipo programado a presión constante con válvulas.

LISTA DE TRANSPARENCIAS.

Día 26 de Marzo de 1976.

Segunda Sesión.

EQUIPOS USADOS EN MEXICO.

- 1.- Hidroneumático Simplex.
- 2.- Curva.
- 3.- Hidroneumático Duplex.
- 4.- Curva.
- 5.- Hidroneumático Triplex.
- 6.- Curva.
- 7.- Hidroneumático Cuadruplex.
- 8.- Curva.
- 9.- Equipo Programado de Presión Variable.
- 10.- Curva.
- 11.- Hidropistón, patente mexicana usado en vez de compresora en equipos hidroneumáticos.
- 12.- Secuencia 1 de Hidropistón.
- 13.- Secuencia 2 de Hidropistón.
- 14.- Secuencia 3 de Hidropistón.
- 15.- Secuencia 4 de Hidropistón.
- 16.- Primer programado a presión constante diseñado en México.
- 17.- Programado a presión constante con bomba de sostén (Jockey Pump)
- 18.- Curva.
- 19.- Foto de un sistema de presión constante.
- 20.- Control.

F I N .

PREGUNTAS Y RESPUESTAS.

LA CARGA NETA POSITIVA DE SUCCION

(N. P. S. H.)

La Carga Neta Positiva de Succión es resultado de un estudio hecho por el Instituto de Normas Hidráulicas (Hydraulic Standard Institute) en los E.U.A. y de ahí el nombre adoptado de N.P.S.H. (NET POSITIVE SUCTION HEAD)

El N. P. S. H. se clasifica en dos formas:

A) N.P.S.H. DISPONIBLE.

Corresponde, ya sea, a la Presión Barométrica medida en milímetros de mercurio, o a la presión en metros de columna de agua sobre el nivel del mar en que se instale la bomba ó bombas.

B) N. P. S. H. REQUERIDO

Corresponde a la suma en metros de columna de agua de lo siguiente:

- 1° Altura en metros del centro de la bomba al punto más bajo de succión. (En caso de cisternas elevadas, esta carga puede ser negativa).
- 2° Pérdidas por fricción en metros en la tubería de succión de la bomba, válvula de pié y coladera.
- 3° Pérdida en metros correspondiente a la presión de vapor en el caso de líquidos volátiles o de alta temperatura. (el agua a temperatura ambiente tiene un valor de 0).
- 4° N. P. S. H. requerido por la bomba en el gasto máximo seleccionado (ver curvas originales de fábrica).
- 5° Margen de protección para impedir la evaporación del líquido (0.60 M) .

El N. P. S. H. DISPONIBLE debe de ser mayor que el N. P. S. H. REQUERIDO para la correcta operación de la bomba.

CARGA NETA POSITIVA DE SUCCION

(N.P.S.H.)

Para Succión de Bombas
en diferentes Poblaciones de México

P O B L A C I O N	Altura sobre nivel de mar. Metros	Presión Barométrica. mm. de Hg	N.P.S.H. disponible. Metros
Aguascalientes, Ags.	1861	607.85	8.26
Campeche, Camp.	0	760.00	10.33
Celaya, Gto.	1808	611.22	8.31
Cd. Juárez, Chih.	407	725.16	9.85
Cd. Victoria, Tamps.	449	720.68	9.79
Colima, Col.	480	720.00	9.78
Córdoba, Ver.	820	689.27	9.37
Cuernavaca, Mor.	1542	632.53	8.60
Culiacán, Sin.	40	757.00	10.29
Chihuahua, Chih.	1405	643.74	8.75
Chilpancingo, Gro.	1193	656.08	8.92
Durango, Dgo.	2100	589.91	8.02
Guadalajara, Jal.	1566	634.77	8.63
Guanajuato, Gto.	2012	601.12	8.17

P O B L A C I O N	Altura sobre nivel de mar.	Presión Barométrica. mm. de Hg	N.P.S.n. disponible. Metros	
Guaymas, Son.	0	760.00	10.33	○
Hermosillo, Son.	206	676.00	10.13	
Irapuato, Gto.	1730	615.70	8.37	
Jalapa, Ver.	1405	643.74	8.75	
La Paz, B.C.	0	760.00	10.33	
Mérida, Yuc.	8	758.10	10.30	
México, D. F.	2242	579.82	7.88	
Monterrey, N.L.	945	679.63	9.24	
Morelia, Mich.	1950	601.12	8.17	
Oaxaca, Oax.	1146	666.17	9.05	
Pachuca, Hgo.	2450	565.24	7.68	○
Puebla, Pue.	2162	585.43	7.66	
Querétaro, Qro.	1490	634.77	8.63	
Saltillo, Coah.	1580	630.28	8.56	
Sn. Juan del Río, Qro.	2033	592.15	8.05	
Sn. Luis Potosí, S.L.P.	1890	605.61	8.23	
Tepic, Nay.	953	679.63	9.24	
Tlaxcala, Tlax.	2252	645.98	7.86	
Toluca, Méx.	2025	551.78	7.50	
Tulancingo, Hgo.	2125	587.67	7.99	
Veracruz, Ver.	1	760.00	10.33	○
Zacatecas, Zac.	2503	560.75	7.62	

SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
en
ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA
Y EN MEXICO.

Y

SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION CONSTANTE
UTILIZADO EN MEXICO

Síntesis de los capítulos del mismo nombre del libro.

" ABASTECIMIENTO DE AGUA "

por

CARLOS FARIAS DE LA GARZA

Gerente General
P I C S A
BOMBAS Y SISTEMAS

Miembro de la

ASOCIACION DE CONSULTORES EN INSTALACIONES, A.P.

México, D.F.

ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA Y EN MEXICO Y, DESCRIPCION DEL SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION CONSTANTE UTILIZADO EN MEXICO.

A. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA USADOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA.

En los Estados Unidos de Norteamérica, así como en algunas ciudades del Norte de México, el abastecimiento de agua se efectúa por medio de un "Sistema Cerrado", o sea que el agua es conducida a presión desde la planta potabilizadora por medio de la red de tubería de distribución municipal, a la toma de la casa o edificio y, de aquí, pasando por el medidor de agua, a la tubería de alimentación, hasta llegar a los muebles sanitarios, a donde el agua queda por primera vez expuesta al medio ambiente, al abrir la llave del mueble.

Este "Sistema Cerrado" es el más perfecto, primero porque mantiene el agua pura y libre de contaminación; segundo, por consistir de un sistema subterráneo, el agua se mantiene fresca; tercero el agua se abastece en la cantidad y presión necesaria para la casa y, cuarto, este sistema de abastecimiento simplifica la instalación hidráulica, como se ve en la fig. N° 1.

En los casos que la presión municipal excede la presión recomendada por el código para la buena conservación de muebles y tuberías, (4.2 Kg/cm²) se recomienda el uso de válvulas reguladoras de presión de la capacidad adecuada para el caso. (Fig. N° 2)

En los edificios altos, en que la presión suministrada por el municipio no es suficiente para abastecer los pisos superiores, la instalación de " Equipos de Rebombeo " (Booster Pump) se hace necesaria, para lograr un buen abastecimiento de agua, y en estos casos las bombas se conectan directamente a la toma municipal, recibiendo así una " Carga Positiva " sobre la succión de la bomba equivalente a la presión suministrada por el municipio. (Fig. N° 3)

Sin embargo, debe de tomarse en consideración que esta presión que suministra el municipio es variable, dado que las pérdidas por fricción en la red municipal aumentan al incrementarse la demanda de agua, y disminuyen al reducirse dicha demanda, lo que resulta una variación constante en la presión a que se abastece el agua en las tomas.

Es por esta razón anterior, que las bombas de velocidad constante no son adecuadas como " Equipo de Rebombeo " pues su presión de descarga varía de acuerdo con la "Carga Positiva" que reciben en la succión, o sea que si la presión municipal varía de: 1 Kg/cm², presión mínima a las horas de mayor demanda, a 5 Kg/cm², presión máxima, a las horas de menor demanda, y el edificio requiere una presión de 6 Kg/cm², tendremos lo siguiente:

HORAS DE MAYOR DEMANDA

Presión recibida de la toma	Presión suministrada por la bomba	Presión total en el edificio
1 Kg/cm ²	5 Kg/cm ²	6 Kg/cm ²

HORAS DE MENOR DEMANDA

Presión recibida de la toma	Presión suministrada por la bomba	Presión total en el edificio
5 Kg/cm ²	5 Kg/cm ²	10 Kg/cm ²

Como se verá, a las horas de menor demanda, que son la mayor parte del día, dado que la presión suministrada en la toma municipal es mayor al reducirse las pérdidas por fricción, la presión suministrada por la bomba de velocidad constante supera grandemente la presión requerida por el edificio, con el daño consiguiente a la instalación hidráulica, a los muebles sanitarios y otras llaves.

Esto podía solucionarse con instalar en la descarga de la bomba un grupo de válvulas reguladoras de presión; sin embargo, queda el problema de la necesidad de utilizar bombas y motores de acuerdo con la capacidad máxima del edificio, que tendrían que operar constantemente, aún a las horas de menor consumo o de gasto cero; y si calculamos que el gasto cero puede ser hasta de ocho horas al día; el gasto mínimo, que es aproximadamente de 25% del gasto total, puede ser alrededor de cuatro horas al día; el gasto medio, de más o menos 50% del total con duración aproximada de seis horas al día, y el gasto desde el 50% al 100%, es de solo seis horas al día, se verá que operar veinticuatro horas al día una bomba del 100% del gasto, es definitivamente anti - económico.

Los sistemas hidroneumáticos, que operan en forma intermitente de acuerdo con la demanda en la red, aunque superiores a las bombas "BOOSTER", tampoco dieron resultados satisfactorios en los Estados Unidos Americanos, debido, primero, a esta misma variación en la "Carga Positiva sobre la succión", resultado de la conexión directa de las bombas del sistema a la toma municipal; segundo por el espacio excesivo ocupado por estos, dadas las dimensiones de los tanques hidroneumáticos requeridos por un buen diseño; y, tercero, por el tamaño de las bombas y capacidad de los motores eléctricos, ya que éstos, como en el caso de las bombas " Booster ", deben de ser seleccionadas de acuerdo con la demanda máxima del sistema.

En 1955, se encontró la solución al problema de presión variable al utilizarse " Variadores de Velocidad " (FLUID DRIVE), operados por turbina de aceite; tales como el "GYROL" y el "NELSON", conectados por medio de coples flexibles, entre un motor eléctrico normal de velocidad constante y una bomba centrífuga y, operados por controles especiales, que permitían variar la velocidad de las bombas centrífugas, aumentando o reduciendo la presión de descarga de las bombas, para suministrar así una presión constante a la red hidráulica.

Los resultados, en cuanto a abastecer el agua a presión constante, fueron completamente satisfactorios; sin embargo nuevamente, el espacio requerido para instalar estos equipos, lo complejo de su instalación y operación, así como su alto costo, fueron un obstáculo para que se popularizaran estos sistemas.

Así nació en 1965, el " SISTEMA APCOMATIC " de la Aurora Pump que por medio de un control electrónico operado por un potenciómetro conectado a la red, varía la velocidad de los motores eléctricos de corriente alterna, que operan las bombas y, dado que la variación de velocidad es determinante en la variación de la presión, esto permite que la presión en la red se mantenga constante a cualquier gasto.

A la economía de espacio obtenida, primero, sobre los sistemas hidroneumáticos, al eliminar el tanque de presión; y segundo sobre los sistemas equipados con elementos " Variadores de Velocidad " (Fluid Drive), al eliminarse estos, la firma Aurora Pump, añadió otra ventaja, el uso de bombas centrífugas verticales, que además de ser superiores en muchos conceptos a las horizontales, ocupan solo el 50% de su espacio, y de esta manera se solucionaron dos de los problemas: el de disponer de un sistema de presión constante, y el de ocupar menos espacio rentable.

En lo concerniente a la instalación, la misma sencillez del " Sistema Apcomatic " facilita la instalación, quedando solamente dos problemas: primero, el del servicio al " Control Apcomatic ", lo que dentro del territorio de los Estados Unidos no es de mayor importancia, dada la disponibilidad de técnicos y partes; y segundo, el costo del control, que si bien en un equipo grande es insignificante, considerando las muchas ventajas de este sistema, en un equipo mediano o pequeño, encarece seriamente el costo del sistema, haciéndolo in costeable.

Así fué que varias firmas americanas aprovechando el alto costo del " APCOMATIC " en sistemas pequeños, diseñaron otros equipos que, aunque no tan perfectos ni tan simples en operación ni en instalación, si presentan un costo inicial menor.

Estos equipos, en principio, son bastante semejantes a los " Sistemas de Presión Variable " utilizados en México, pues consisten de una pequeña bomba auxiliar (Jockey Pump) con capacidad hasta del 25% del gasto de diseño o, en los casos que no haya demanda por varias horas, de un pequeño sistema hidroneumático de la misma capacidad. Las demandas media y máxima se abastecen con dos bombas iguales que operan en forma alternada durante las horas de demanda mínima a media, (del 25% al 50%) y, en forma simultanea, para suministrar la demanda media a máxima, (50% a 100%)

Para lograr la "PRESION CONSTANTE" estos equipos tienen dos válvulas reguladoras de presión instaladas en la descarga de cada bomba o en la descarga del tanque hidroneumático, en su caso. El uso de dos válvulas reguladoras se debe a que las válvulas operan correctamente solo del 30% al 100% de su capacidad de diseño, y esto hace necesario el utilizar una válvula del 30% del gasto y otra del 100%.

La razón para usar dos válvulas en cada bomba, es que en caso de descompostura de válvulas o bombas, se elimina solo una unidad del sistema, formado por una bomba con sus válvulas respectivas, quedando el resto del equipo operando correctamente, lo que no ocurriría si se instalan estas válvulas en la línea general y sufren algún desperfecto.

El complemento de estos equipos es el control. Este consiste de un medidor de gasto, o de flujo, provisto de dos controles que arrancan la primer bomba grande al llegar el gasto al 25%, y la segunda bomba al 50% del gasto total de diseño. La desconexión se hace en sentido inverso al bajar el gasto..

Como se verá, este equipo podrá ser más económico que el " APCOMATIC ", pero dista mucho de ser sencillo; sin embargo estos dos sistemas parecen ser los preferidos en los Estados Unidos y su operación se ha comprobado ser bastante satisfactoria para el caso particular ahí encontrado, dado que no utilizan cisternas o tanques subterráneos de regularización, sino que las bombas toman succión directamente de la toma municipal, aprovechando la presión para reducir el tamaño de las bombas y la capacidad de los motores.



B.- SISTEMAS DE ABASTECIMIENTOS DE AGUAS USADAS EN MEXICO.

En la mayor parte de las ciudades de México, y en general en toda Latino - América, el sistema de abastecimiento de agua se hace por medio de tanques de regularización: tinacos, en casas y edificios, y tanques elevados, en fraccionamientos y poblaciones.

En los casos que la presión del agua no alcanza a llegar a la azotea del edificio, se usan cisternas, generalmente subterráneas, y bombas que elevan el agua de la cisterna al tinaco o tanque elevado.

Este sistema de tinacos constituye lo que se llama un " Sistema abierto " y, a pesar de las muchas precauciones que se han tomado, es el origen de las enfermedades hídricas tan comunes entre nuestro pueblo; además de hacer necesaria una instalación de tubería más costosa y complicada. Pues como se podrá ver en el caso del agua caliente, hay una tubería de subida al tinaco, luego una de bajada al calentador o caldera y nuevamente otra subida hasta el baño más alto, o hasta la azotea, si se instala jarro de aire.

EL SISTEMA CERRADO, representado por el equipo hidroneumático, hizo su aparición en México en 1945, en que se instaló el del Hotel del Prado. Posteriormente en 1950, se utilizó un sistema de bombeo múltiple de presión variable directo a la línea que no tuvo mucha aceptación: luego volvió el sistema hidroneumático, pero de bombas múltiples, y, de 1965 a 1968 se instalaron algunos sistemas de presión constante equipados con variadores de Velocidad, tipo " Fluid Drive ", sin muchos éxitos.

Por último, el mal llamado " Sistema Programado de Presión Variable " que no es más que una variedad del Sistema Hidroneumático, hizo su aparición y hasta la fecha es utilizado solo por su menor costo inicial.

Este Sistema por ser un " Sistema de Presión Variable " - no permite programar las bombas de acuerdo con las demandas de agua, dado que al variar la presión en el sistema varía también la cantidad de agua descargada por las válvulas, pues una sola válvula de 13 mm., puede descargar hasta 40 Lpm., más al subir la presión de 1.4 Kg/cm², (de 20 a 40 libras), y, si se considera que un sistema de presión variable, bien diseñado, debe operar con los siguientes diferenciales, podrá deducirse que la descarga de agua en llaves y muebles sanitarios aumentará considerablemente:

PRESION DE DISEÑO (O DE ARRANQUE)		AUMENTO POR DIFERENCIAL		PRESION MAXIMA (O DE PARADA)
de 0	hasta 5.6 Kg/cm ²	1.4 Kg/cm		5.6 Kg/cm ²
de 4.2	" 5.6 "	1.75 "		7.35 "
de 5.6	" 8.4 "	2.10 "		10.5 "
de 8.4	" 11.2 "	2.45 "		13.65 "
de 11.2	" 14 "	2.80 "		16.80 "

Y además, como en los sistemas de bombas múltiples, estos diferenciales deben de ser aumentados a razón de 0.21 Kg/cm² por cada bomba adicional que se desee operar, veremos que estos sistemas operan con grandes variaciones de presión y mientras mayor sea la variación en la presión, mayor será la variedad de gastos que descargará cada válvula del sistema, haciendo así imposible el programar el abastecimiento de agua a la demanca.

Es cierto que la instalación de válvulas reguladoras de presión (una del 30% y otra del 100 % de la capacidad total) pueden convertir a " Presión Constante " un " Sistema de Presión Variable " , pero también debe de tomarse en consideración que, para hacer esto correctamente, deberán instalarse dos válvulas, en la descarga de cada bomba, como se describió en el último equipo usado en Estados Unidos y, dado que estas válvulas son bastante costosas y no se fabrican en México, esto puede elevar excesivamente el costo del Sistema de Presión Variable, sin haber mejorado su diseño.

En 1965, se instaló en la Escuela Preparatoria Mixcoac de México, D. F., el primer " Sistema de Presión Constante " , diseñado en México para uso en cualquier lugar en que las bombas del equipo no reciban presión variable en la succión, sino que esta presión sea constante, tal como ocurre al succionar de una cisterna.

La operación de este sistema se basa en tres puntos: Primero no tener variaciones en la presión de succión. Segundo: Seleccionar bombas cuya curva de operación permita que operen a diferentes gastos, sin variación notable en su presión, para que así nunca haya variaciones de presión en el sistema, y Tercero.- Disponer de un control que permita conectar y desconectar las bombas a gastos predeterminados, ya que al no haber variación en la presión, no podrán utilizarse, controles de presión.

Dado que nuestro sistema de abastecimiento municipal hace necesario el uso de las cisternas, el primer punto está resuelto por anticipado.

El segundo punto consiste en abandonar el uso de bombas de curvas adecuadas para sistemas hidroneumáticos y otros sistemas de presión variable, o sea, aquellas que pueden operar en un gran rango de presiones, con poca variación en su gasto, (Fig.) y fabricar nuevas bombas las cuales operan con un gran rango de gasto y con muy poca variación en la presión. (Fig.)

Tercero.- Todos los controles hidráulicos y neumáticos que se conocían hasta esa fecha eran operados por presión, y si el sistema que se trataba de controlar, no tenía variaciones de presión era necesario diseñar uno que operara de acuerdo con la única variante, en el caso de este sistema, el FLUJO, dado que este varía constantemente de acuerdo con la demanda de agua en la red hidráulica.

De los diversos " Controles de Flujo " utilizados en los Estados Unidos sólo había uno que pudiera proporcionar un registro suficientemente exacto, y, aún éste, estaba limitado al uso de

uno, y máximo de dos controles, y además, cada uno de estos controles servía para conexión y desconexión en el mismo por ciento de gasto, lo que ocasionaba que si el gasto estuviera fluctuando alrededor de este punto, las bombas estarían conectándose y desconectándose constantemente con el daño consiguiente; tales como turbulencia, golpeteo de válvulas, golpes de ariete, ruido y, más que nada, siendo causa de que se quemaran los motores y arrancadores eléctricos.

No fué fácil resolver este problema pero finalmente se pudo diseñar y fabricar en México un " Control de Flujo " que puede transmitir hasta diez señales diferentes, cinco de desconexión y cinco de conexión, y además es posible variar en el lugar la posición de estas unidades, en los casos en que se encontrarán fluctuaciones que afectarán su funcionamiento correcto. Así quedó resuelto para México el problema de suministrar agua a presión constante a una red hidráulica, lo que permite predeterminar la presión a que se suministrará el agua en cada nivel de un edificio y no desperdiciar agua al no haber variaciones de presión que aumenten el caudal de descarga.

Las ventajas de este " Sistema de Presión Constante " sobre sistemas similares estadounidenses, son; que, además de ocupar poco espacio, de la simplicidad de su instalación, operación y mantenimiento y de poder utilizar bombas centrífugas verticales; la sencillez y economía de su control permite que se pueda utilizar en casi cualquier tamaño de equipo, teniendo así mayor campo de aplicación. Por último, es diseñado y fabricado por técnicos mexicanos, sin requerir tecnología extranjera.

C.- SISTEMA AUTOMATICO PROGRAMADO DE PRESION CONSTANTE

Los sistemas de presión constante hicieron posible tanto en México, como en EE. UU., el que se pudiera obtener por primera vez lecturas correctas de consumo de agua en las redes hidráulicas de diversas instituciones, lo que antes no había sido posible dado, que, al haber variaciones en la presión a que se suministraba el agua, la cantidad de agua descargada por una llave o un mueble sanitario varia ba también.

En los EE. UU., el Dr. Roy B. Hunter, autor del conocido método de Hunter para determinar el " Gasto Máximo Instantaneo Probable" instaló una serie de medidores y registradores de gastos en diversos tipos de instalaciones para tomar lecturas de gastos de agua a diversas horas, y así pudo desarrollar su teoría y su método, tan conocidos en México por los proyectistas y contratistas hidráulicos.

La Universidad de John Hopkins en Baltimore, hizo una investigación semejante, y muchos autores, tales como Babbitt y Doland, Eddy y Metcalf y muchos otros, hicieron uso de esta información y, de la obtenida por los departamentos de agua de las ciudades de EE.UU., para los estudios y obras que han publicado.

En México, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, y el Banco Hipotecario Urbano de Obras y Servicios Públicos, han hecho estudios semejantes, de demanda de agua, en diversas poblaciones de México.

Estos estudios, son los que han permitido determinar la demanda máxima diaria, la demanda máxima horaria y aun la demanda máxima instantanea. Las dos primeras son útiles para determinar la demanda diaria de una población, la capacidad de tinacos y de tanques elevados de regularización, y la capacidad de bombeo a estos tanques.

La última, la demanda máxima instantanea, es la indispensable para determinar primero, el cálculo de la red de abastecimiento y, segundo, el gasto máximo instantaneo que debe de suministrarse, en caso de abastecimiento directo a la red, sin utilizar tanques de regularización; tales como es el caso en sistemas cerrados de abastecimiento de agua a presión.

Los gastos medio y mínimo, así como gastos intermedios, sólo pueden ser predeterminados con sistemas de presión constante, como se explicó anteriormente. Y fué el estudio de estos gastos y su duración en horas, lo que originó el estudio de que se podían programar bombas de diversas capacidades, de acuerdo con las demandas de la red y, por consiguiente el poder programar la capacidad, en caballos de fuerza, que requirieren para suministrar una demanda determinada, en vez de tener una o dos bombas de gran capacidad y con motores de gran potencia, operando para suministrar sólo un gasto pequeño, como es el caso en los Sistemas Hidroneumáticos y otros.

La tendencia de los técnicos en abastecimiento hidráulico de los EE. UU., de cambiar los sistemas de presión constante a sistemas programados de presión constante, basándose en las demandas uní

formas de cada tipo de muebles al no haber variaciones de presión, y basándose también en los estudios y estadísticas obtenidas, se hizo patente en papeles presentados en convenciones y conferencias, en artículos publicados en revistas técnicas y en equipos experimentales de estudio instalados en laboratorios de prueba en varias fábricas.

En lugar de esperar a que estos estudios y experimentos estuvieran terminados, en México se inició un estudio semejante, convirtiendo a porcentaje las gráficas de gastos obtenidos en diversos tipos de instalaciones en los EE. UU. presentadas en galones por minuto; convirtiendo también a por ciento de gasto, las tablas publicadas por instituciones oficiales mexicanas, permitiendo así hacer un estudio comparativo entre instalaciones del mismo tipo en los dos países y pudiendo establecer bases de comparación que permitieran hacer una selección correcta para las instalaciones hidráulicas en México.

Terminadas estas nuevas gráficas, y con el fin de determinar su grado de exactitud, se procedió a hacer gráficas de demandas reales para cada tipo de instalación, utilizando los medidores de gasto, que operan los controles de los muchos sistemas de presión constante, instalados en diversos tipos de instalaciones en México.

Comparando estas gráficas de casos reales, con las gráficas preparadas con datos estadísticos obtenidos de instituciones oficiales mexicanas y con gráficas estadounidenses, y tomando como base para corregir éstas, los estudios de Babbitt y Doland presentados en su libro " Water Supply Engineering ", referente a modificaciones a la demanda de agua por " Localización Geográfica " y por " Condición Socio - económica " se comprobó que correspondían, a las tomadas en México.

Así alrededor de 1970, apareció en México el " SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION COSNTANTE ", que ha permitido programar la operación de bombas a la demanda, en forma tal que una bomba puede suministrar una gama de gastos de acuerdo con el gasto requerido por el sistema. Así puede decirse en forma teórica que el equipo opera como sigue:

% DE GASTO	GASTO	BOMBAS OPERANDO
0 a 10%	Intermedio mínimo	1 bomba chica
10% a 20%	mínimo	2 bombas chicas
20% a 40%	Intermedio medio	1 bomba grande
40% a 60%	medio	2 bombas grandes
60% a 80%	Intermedio máximo	3 bombas grandes
80% a 100%	Máximo	4 bombas grandes

Dependiendo en las ^{condiciones} este número de bombas puede reducirse a quedar en un mínimo de una bomba chica para cubrir el gasto mínimo y dos grandes para cubrir los gastos medio y máximo.

Las características generales de este sistema son:

Primero.- Que el diseño de sus bombas suministra una presión que no varía más allá de .5 Kg/cm² en toda su gama de gastos lo que representa una economía en consumo de agua y protege las válvulas de los muebles sanitarios, aumentando su duración y reduciendo su mantenimiento al poder ser seleccionadas para una presión prede-terminada.

Segundo.- Que no requiere el uso de válvulas reguladoras de presión simplificando así, costo de instalación y mantenimiento.

Tercero.- Que puede utilizar dos o tres tamaños de bombas y motores diferentes que, ya sea operando solas o en forma alter-nada, o combinadas, puede suministrar una gama variada de gastos, en los cuales estará operando el motor o motores de menor capacidad que puede requerir la demanda de agua en el sistema.

Cuarto.- El " Control de Flujo " que consiste de un medi-dor de gasto mide constantemente la demanda de agua en la red hacien-do operar automáticamente solamente la bomba o bombas que se requie-ren para suministrar un gasto determinado.

Quinto.- Que un simple estudio de las demandas particu-lares de un edificio permite hacer una tabla horaria de operación de las diferentes bombas, y en caso de descompostura o falla, pueden co-nectarse las bombas manualmente de acuerdo con este programa.

Sexto.- Que este sistema es ante todo más simple y ocu-pa menos espacio que otro cualquiera y además, si se considera que se pueden utilizar bombas centrífugas verticales, esto reduce el espacio requerido además de proporcionar otras ventajas, tales como, menor vibración, más protección de los motores, mayor duración y más fácil mantenimiento.

Séptimo.- Que la economía que proporciona en instala-ción y en mantenimiento, en consumo de agua, y de corriente eléctri-ca y la economía de espacio rentable, son factores determinantes en favor de este equipo.

Octavo.- Que el hecho de que bombas, motores, válvulas equipo eléctrico y controles son fabricados en México, garantiza la obtención inmediata de partes y servicios.

El diseño correcto del sistema de distribución de agua en un edificio es indispensable, con el fin de que los diversos muebles sanitarios puedan funcionar adecuadamente.

La cantidad requerida ya sea de agua fría o caliente, es variable dependiendo del tipo de edificio, su uso, ocupación u hora del día.

La demanda diaria de un edificio depende de muchos factores, tales como son: Facilidades sanitarias, normas de vida, localización, número de habitantes, tipo de edificio, condición socio-económica, etc. Esta demanda pueda variar desde 100 hasta 300 litros por habitante por día.

La demanda máxima instantánea, que es la que se utiliza para determinar el tamaño de la toma, del medidor, de la línea de alimentación y del equipo de abastecimiento directo en su caso, y luego para calcular la red hidráulica, no puede ser determinada de acuerdo con la demanda diaria, sino que presenta un problema más complicado, debido al hecho que los muebles sanitarios operan en forma intermitente y con frecuencias irregulares.

En casas y edificios de apartamentos, los muebles de baño se usan principalmente por las mañanas y al retirarse por la noche; los fregaderos de cocina se utilizan antes y después de los alimentos y los lavaderos y lavadoras particularmente en el curso de la mañana.

Este uso intermitente de los muebles sanitarios y el hecho de que el tiempo que están en operación sea mucho menor que aquel que están sin operar fue la razón por la que se pensó en determinar la "DEMANDA MAXIMA INSTANTANEA" que permite diseñar una

red hidráulica más acorde con la realidad, en vez de calcular la red para la operación simultánea de todos los muebles que no solamente es inútil, sino que representa un costo prohibitivo.

Los métodos más conocidos para determinar esta "Demanda Máxima Instantánea" son:

a).- El Método Empírico. Estudiado en la Gran Bretaña, y por Dawson y Bowman en los E.U.A., utiliza una tabla en la que se indica la descarga de cada tipo de mueble en galones por minuto, se multiplica esta cantidad por el número de muebles de cada tipo y se suman los gastos obtenidos.

El gasto total obtenido, corresponde al gasto de todos los muebles operando simultáneamente; esta cantidad se lleva a una tabla calculada por los diseñadores de estos sistemas, en la cual se puede seleccionar el gasto máximo instantáneo, de acuerdo con las experiencias obtenidas por ellos en el curso de años de práctica.

Estos sistemas, con ciertas modificaciones, fueron utilizados por años por varios fabricantes de bombas y equipos hidro neumáticos en los E.U.A. y en México.

b).- El Método Alemán de Raíz Cuadrada, utiliza como unidad de gasto la descarga de un hidrante de 3/8" (9.5 mm) operando bajo ciertas condiciones y se señala un "Factor de Carga" por unidad a este gasto (.25 lps). Para cualquier otro mueble con diferente gasto, se establece un "Factor de Carga", tomando la relación de gasto de este mueble con la del hidrante de 3/8" y el resultado se eleva al cuadrado.

Posteriormente el "Factor de Carga" de cada tipo de mueble se multiplica por el número de éstos, se suman los resultados

y se saca la raíz cuadrada de esta suma. Este resultado se multiplica por el "Factor de Carga" del hidrante de 3/8" para obtener la demanda máxima de la línea de alimentación general.

El procedimiento de obtener la raíz cuadrada, en forma arbitraria cubre el hecho de que no todos los muebles operen simultáneamente.

c).- El Método de probabilidades parece haber sido empleado por primera vez por el Dr. Roy B. Hunter del "Departamento Nacional de Normas" de los E.U.A. para calcular los gastos de diseño en sistemas hidráulicos. Hunter fundó su teoría en que la operación de los muebles de mayor gasto de un sistema es el azar, lo que sin ser absolutamente real, sirve de base para la aplicación de la teoría al problema, luego determinó las frecuencias máximas del uso de estos muebles tomadas de pruebas efectuadas en hoteles y edificios de apartamentos durante las horas de mayor uso. También midió los valores característicos de las demandas de agua para los diversos muebles y el tiempo de operación de cada uno.

El sistema obtenido por Hunter de sus teorías y pruebas es aplicable especialmente para redes que abastecen un gran número de muebles y está basado en que podrá no dar satisfacción en 1% de casos.

Este valor de 1% fué escogido arbitrariamente por Hunter en sus primeras experiencias y al decir de Manas, es posible que el diseño esté excedido y que un valor de 2% pueda ser suficiente, quedando a pruebas de casos reales el determinar cual valor es el correcto. Sea lo que sea, la Teoría de Probabilidades de Hunter ha demostrado ser la más exacta y ---

racional de los tres métodos arriba descritos.

Datos obtenidos con los tres métodos anteriores en un municipio
militar de seis departamentos:

Método empleado	Capacidad lps.	Capacidad en %
Hunter	2.65	100
Alemán	3.04	126
Británico	3.97	150
Dawson	4.02	152

METODO EMPIRICO BRITANICO

COSTO MAXIMO PROBABLE

DESCARGA DE MUEBLES	
MUEBLE	LITROS/SEC.
BAÑO (PRIVADO)	0.315
BAÑO (PUBLICO)	0.504
FREGADERO	0.252
LAVADO (AGUJA)	0.126
REGADERA (AGUJA)	0.126
REGADERA (10cm.)	0.252
REGADERA (15cm.)	0.504

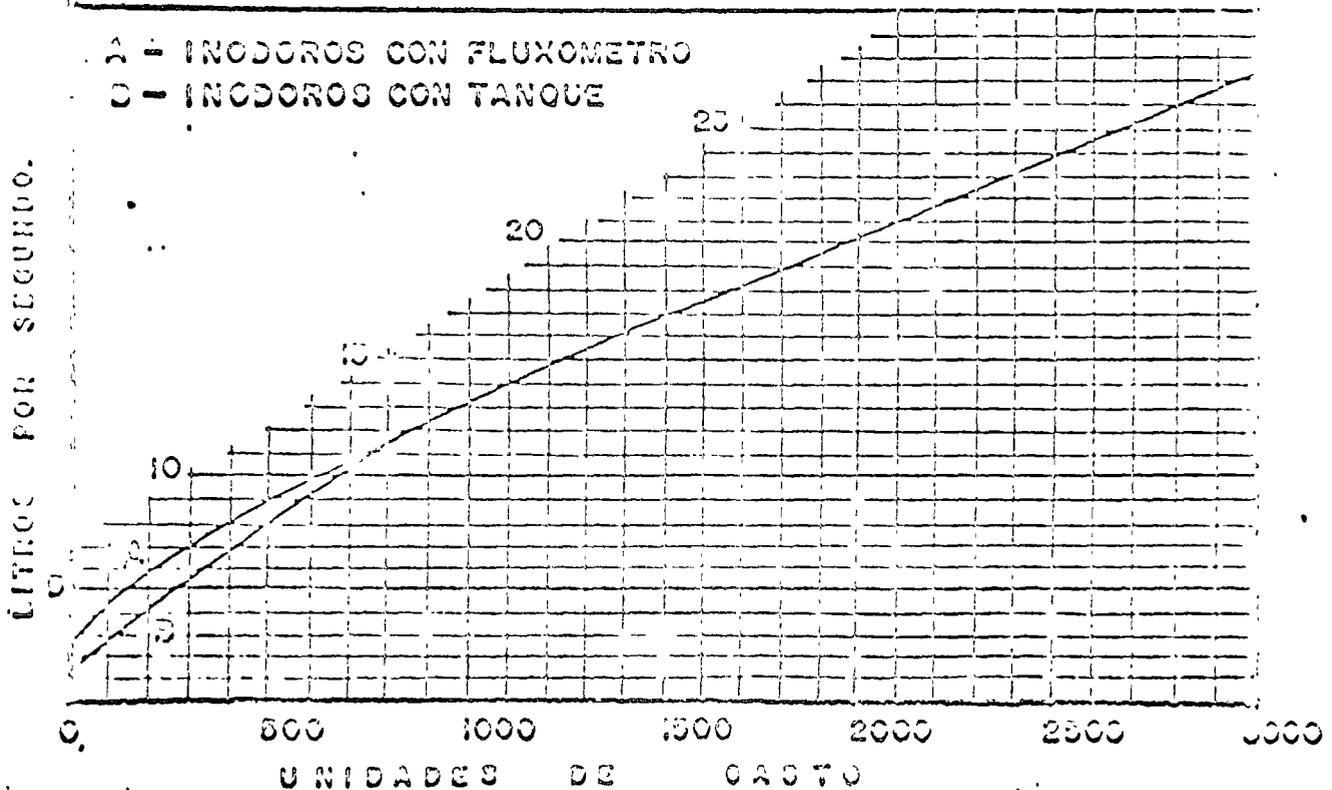
DEMANDA MAXIMA PROBABLE

COSTO TOTAL SIMULTANEO		COSTO PROBABLE SIMULTANEO	
lps.		lps.	
0.035 a 0.700	100 %	5.105	2.551
0.302	0.810	5.292	2.457
1.008	0.913	6.741	2.042
1.134	1.000	7.745	2.035
1.260	1.102	8.946	3.024
1.445	1.197	10.209	3.270
1.636	1.291	11.544	3.520
1.890	1.417	13.006	3.843
2.203	1.512	14.624	4.095
2.520	1.630	16.010	4.473
2.898	1.764	20.727	4.951
3.350	1.980	23.014	5.555
3.843	2.010	27.400	6.935
4.475	2.142	18.640	6.552
		20 y más	20%

MÉTODO DE MONTER COSTO MÁXIMO PROBABLE

EQUIVALENCIA DE LOS MUEBLES EN UNIDADES DE COSTO

MUEBLE	SERVICIO	CONTROL	U.M.
EXCUSADO	PUBLICO	VALVULA	10
EXCUSADO	PUBLICO	TANQUE	10
FREGADERO	HOTEL RES.	LLAVE	4
LAVABO	PUBLICO	LLAVE	2
MINGITORIO pedestal	PUBLICO	VALVULA	10
MINGITORIO pared	PUBLICO	VALVULA	10
MINGITORIO pared	PUBLICO	TANQUE	5
REGADERA	PUBLICO	MEZCLADORA	4
TINA	PUBLICO	LLAVE	4
VERTEDERO	OFICINA, etc	LLAVE	5
EXCUSADO	PRIVADO	VALVULA	10
EXCUSADO	PRIVADO	TANQUE	5
FREGADERO	PRIVADO	LLAVE	2
GRUPO BAÑO	PRIVADO	EXC. VALVULA	10
GRUPO BAÑO	PRIVADO	EXC. TANQUE	10
LAVADO	PRIVADO	LLAVE	1
LAVADERO	PRIVADO	LLAVE	3
REGADERA	PRIVADO	MEZCLADORA	2
TINA	PRIVADO	MEZCLADORA	2



Hasta el año de 1957 el método más extendido para determinar la "Demanda Máxima Instantánea" en los E.U.A. y en México, fue variación del Sistema Empírico que los principales fabricantes de bombas y equipos hidroneumáticos ilustraban en sus catálogos.

Sin embargo, la experiencia demostró la falta de exactitud de estos métodos y fue, al aparecer el Código de Plomería editado por Vincent Manas, que se empezó a unificar el criterio de diseñadores y contratistas y se generalizó el uso del método de probabilidades de Hunter descrito en detalle en dicho libro.

Nuevamente la práctica fue demostrando errores en este método y diversos investigadores en E.U.A. y en México se dedicaron a investigar los resultados reales de edificios en los que se había calculado la demanda basada en el Método de Hunter...

Con las facilidades existentes en los E.U.A. se instalaron medidores-registradores de flujo en diversos tipos de edificios y en diversos lugares del país y así se pudo efectuar un estudio comparativo entre el diseño original basado en el Sistema de Hunter y el gasto real obtenido por medición.

En México, aunque sin contar con los medios de los E.U.A. se pudieron hacer estudios prácticos comparativos también, utilizando los medidores de flujo, empleados como controles en los Sistemas Programados de presión constante y, muy especialmente diversos investigadores, ya sea en forma práctica o deductiva, han efectuado estudios y, unos y otros llegando al mismo resultado: que el Método de Hunter para calcular la demanda máxima instantánea da resultados exagerados en un gran número de casos.

Esto se explica fácilmente si se considera que Hunter basó su teoría en resultados de mediciones obtenidas de edificios con gran número de muebles y durante las horas de mayor uso.

Se puede considerar que su muerte no permitió la terminación de su obra pues indudablemente hubiera incluido modificaciones que pudieran aumentar o disminuir los gastos obtenidos con su Sistema utilizando las mismas consideraciones que afectan la demanda de agua mencionadas por todos los autores de la materia y detallados en el libro "Water Supply Engineering" por Sabitt y Doland a saber:

- 1.- Clima y Localización.
- 2.- Uso de medidores y costo del agua.
- 3.- Calidad y presión del agua.
- 4.- Facilidades sanitarias y normas de vida.
- 5.- Condición socio-económica.

VARIACIONES EN LA DEMANDA DE AGUA
 BASADA EN LA
 CONDICION SOCIO-ECONOMICA
 (CASAS HABITACION)

CONDICION	CASAS	HABITANTES	l/h/c	% USO
EXCELENTE	200	600	473	100
MUY BUENA	102	620	322	60
BUENA	600	204	242	45
MEDIA	611	1707	182	32
POBRETA	470	1700	120	20

RESULTADO DE INVESTIGACIONES
 EN MULTIFAMILIARES PARA PERSONAS
 DE ESCASOS RECURSOS EN E. U. A .

N O M B R E	NUMERO DE DEPTOS	NUMERO DE HAB.	TOTAL DE UNIDADES MUEBLE	L.P. S. SEGUN HUNTER	L.P. S. SEGUN MEDICION	% AL QUE SE REDUCE
DARROW HOMES	400	3312	5280	40.32	17.77	44.07
ROCKWELL GARDENS	140	720	1640	17.32	9.51	54.90
TAYLOR HOMES	474	2940	5214	40.20	19.60	48.76
MIDWAY GARDENS	318	670	3600	29.61	19.34	65.32
P R O M E D I O				31.00	10.50	32 %

RESULTADOS DE INVESTIGACIONES
 EN EDIFICIOS DE APARTAMENTOS
 PARA ANCIANOS AUSPICIADOS POR
 EL GOBIERNO DE E. U. A.

NOMBRE	NUMERO DE DEPTOS.	NUMERO DE HAB.	L.P.S. SEGUN HUNTER	L.P.S. SEGUN REGISTRO	% AL QUE SE REDUCE
WICKER PARK	110	101	15.12	7.00	52.00
ECKHART PARK	101	290	20.10	12.60	32.50
BLACKHAWK	252	410	25.65	17.04	33.50
MIDWEST TERRACE	129	213	16.50	10.00	61.00
ARMOUR SQUARE	190	327	22.05	13.66	32.00
CARFIELD PARK	151	249	13.27	11.03	60.40
EDGEWATER TERRACE	200	330	22.05	11.66	52.00
MADISON Y PAULINA	402	700	30.50	17.55	49.00
FRANKLIN Y DRAKE	157	250	10.00	11.07	63.50
MADINE Y CLARK	161	240	13.27	11.03	60.40
PROMEDIO			21.04	12.51	57.00%

RESULTADO DE INVESTIGACION
EN UN HOTEL EN ACAPULCO, GRO.

MUEBLES SANITARIOS	NUMERO DE MUEBLES	U. M. SEGUN HUNTER	TOTAL DE U. M.
W.C. FLUXOMETRO	300	6	2200
RECADERA C/TINA	360	2	750
LAVABOS	300	2	750
LAVADEROS	10	5	50
FREGADEROS	10	4	40
TOTAL EN UNIDADES MUEBLE			5750
GASTO MAXIMO CONSTANTE SEGUN HUNTER			54.65 07.
GASTO MAXIMO CONSTANTE SEGUN MEDICION			22.60 07.
POR CIENTO AL QUE SE REDUCE EL GASTO			64.63%

1.1.2.3. DETERMINACION DE LA CARGA MANOMETRICA.

La Carga Manométrica corresponde a la presión mínima a que debe suministrarse el agua para un edificio.

Para su estudio tomamos tres factores:

a).- Altura en metros desde el punto de abastecimiento al punto más alto de descarga.

b).- Presión que se desea tener en ese punto más alto de descarga.

c).- Pérdida por fricción en la longitud total de tubería desde el punto de abastecimiento al de descarga, incluyendo en esta tubería la longitud equivalente a todas las conexiones y válvulas. (Esq. 7)

En los casos que la red hidráulica del edificio se abastece directamente de la red municipal, debe determinarse si la presión suministrada es suficiente para el edificio en cuestión a las horas de mayor demanda; pues de otro modo será necesario usar una bomba auxiliar (Booster) o algún otro equipo para elevar la presión cuando sea necesario.

En el caso de México, así como de la mayor parte de los países latinoamericanos, en los que los reglamentos, el diámetro reducido de las tuberías y tomas, las interrupciones en el servicio de agua y la falta de presión impiden considerar un abastecimiento directo a la red hidráulica o a la conexión directa de las bombas a la red municipal, se ha extendido el uso de tinacos para edificios de poca altura o de tanques de almacenamiento o cisternas para los más altos.

En el caso de que la cisterna sea subterránea, la carga manométrica antes mencionada, que es desde el punto de abastecimiento o sea la bomba, debe de ser considerada la succión como sigue:

a).- Altura en metros desde el eje de la bomba al nivel mínimo del agua (que se recomienda no exceda de 2 m en el D.F.),

b).- Aumentar las pérdidas por fricción correspondientes a la longitud total de la tubería de succión más la longitud equivalente en metros de las conexiones, válvulas y coladeras.

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DIRECTO DE LA RED MUNICIPAL.

Datos para calcular tomas, tubería y medidores en casas y edificios pequeños, de acuerdo con normas de E. U. A.

1.- Determinar la demanda máxima probable de la casa en unidades mueble de acuerdo con la siguiente tabla:

TIPO DE MUEBLE	UNIDADES MUEBLE
1 Excusado de tanque	5
1 Lavabo	1
1 Tina de baño con o sin regadera	2
1 Regadera	2
1 Fregadero de cocina	2
1 Lavadero	3
1 Lavadora	3
1 Llave de manguera	4

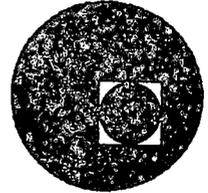
2.- Determinar la presión disponible en la toma, Esta deberá ser suficiente para dar una presión de .6 Kg/Cm² en muebles de baja presión o de 10.5 Kg/Cm² en el caso de usar muebles de fluxómetro, una vez deducidas la altura del mueble y las pérdidas por fricción. En caso de presiones mayores de 4 Kg/Cm² se recomienda el uso de válvulas reguladoras de presión.

3.- La siguiente tabla puede ser utilizada para seleccionar los diámetros de toma y línea de alimentación, basados en diferentes longitudes de tubería y el total de unidades mueble. Estos diámetros han sido calculados usando 3 m. por segundo de velocidad del agua, lo que corresponde aproximadamente a 10% de pérdidas por fricción.

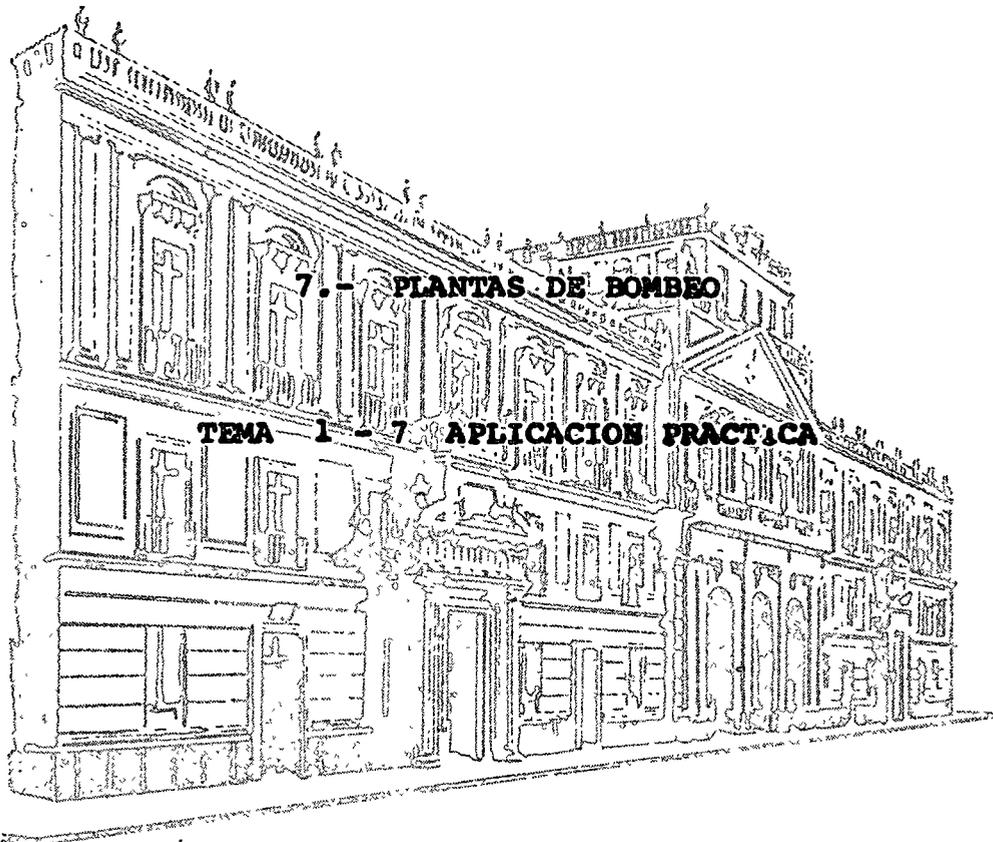
	DIAM.	ALIMENTACION	LONGITUD TUBERIA	UNIDADES MOLDES
1	19 mm	19 mm	15 m	25
2	19 mm	19 mm	30 m	16
3	19 mm	19 mm	45 m	15
4	19 mm	25 mm	15 m	40
5	19 mm	25 mm	30 m	33
6	19 mm	25 mm	45 m	28
7	25 mm	25 mm	15 m	50
8	25 mm	25 mm	30 m	40
9	25 mm	25 mm	45 m	30
10	25 mm	32 mm	15 m	96
11	25 mm	32 mm	30 m	65
12	25 mm	32 mm	45 m	55
13	32 mm	32 mm	15 m	150
14	32 mm	32 mm	30 m	100
15	32 mm	32 mm	45 m	65
16	32 mm	38 mm	15 m	250
17	32 mm	38 mm	30 m	160
18	32 mm	38 mm	45 m	130



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO



ING. RAUL LOPEZ CALVILLO

MARZO DE 1976.

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

... ..
... ..
... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

7.- PLANTAS DE BOMBEO

Ing. R. L. C.

TEMA 1-7 APLICACION PRACTICA

Se eligió como ejemplo de aplicación práctica de un sistema de bombeo, el problema del manejo de las aguas de filtración durante la excavación de los túneles del Sistema de Drenaje Profundo para la Ciudad de México.

El Sistema de Drenaje Profundo consiste en dos túneles interceptores, central y oriente y en un emisor central que desaloja las aguas negras y pluviales, fuera del Valle de México, hacia la Vertiente del Golfo.

Las profundidades promedio a las que fueron excavados los interceptores son de 46 metros y la profundidad media del emisor es 126 m. y sus longitudes son para el interceptor central 8.4 km para el interceptor oriente 9.6 km y para el emisor central de 50 km.

Para el ataque de estos túneles se excavaron 32 lumbreras o accesos verticales de un diámetro de 6 m revestido.

El bombeo del agua subterránea se hizo persiguiendo dos principales objetivos:

- 1.- Abatimiento del nivel freático
- 2.- Extracción del agua de filtración

Para el primer objetivo se usaron bombas sumergibles de -

10 l.p.s de capacidad promedio y para el segundo, bombas de pozo profundo lubricadas con agua con impulsores de 11" de diámetro, accionadas con motores eléctricos de 200 HP para las que se instalaron en los interceptores, de 300 HP para las del emisor.

El haber estandarizado los tipos de bomba y los motores eléctricos produjo una notable ventaja por la facilidad del intercambio.

El gasto de las filtraciones por metro lineal de tunel varió de acuerdo a las condiciones geohidrológicas de los terrenos por los cuales se atravezaba.

La alimentación de energía eléctrica se hizo con una línea de alta tensión (13 000 volts) que estaba alimentada por tres circuitos, garantizando así la continuidad del servicio.

Las galerías de bombeo construídas dentro de los túneles siguieron, por decirlo así, un mismo patrón en el que se tomaron en consideración las recomendaciones dadas por el Instituto de Hidráulica de Norte América, variando lógicamente, las dimensiones y el número de bombas que en ellos se instalaban.

El tramo del emisor central que tuvo una mayor aportación

fue el comprendido entre las Lumbreras 12 y 14, pues como se dice en la Memoria de la obra, llegó a ser de $4 \text{ m}^3/\text{seg.}$

A continuación se transcribe los capítulos de la Memoria -- que describen los estudios geológico y geohidrológico realizados para la ejecución de la obra.

2.- ESTUDIO GEOLÓGICO DEL TRAMO COMPENDIDO ENTRE LUMBRE- RAS 13, 14A y 14.

El tramo del túnel entre la L12 y L14 fue excavado en basaltos y brechas escoriacias y ocasionalmente en rocas sedimentarias superyacentes (tobas y conglomerados).

Los basaltos, pero principalmente las brechas escoriaceas presentaron condiciones de permeabilidad muy grande por lo que la aportación de agua esperada resultó ser muy abundante (veáse corte geológico Fig. 1) lo que podría haber retrasado el programa de ejecución de la obra, siendo esta, la principal razón, por lo que se decidió la excavación de una lumbrera intermedia entre la L-13 y L-14 denominándola L-14A:

La excavación de la L-14A se realizó de un terreno formado por basaltos, tobas areno conglomeráticas y basaltos vesiculares con un alto coeficiente de permeabilidad que aportarían un gasto grande de filtración, tomando en consideración lo anterior, se decidió efectuar la excavación

de la lumbrera, después de haber impermeabilizado el terreno mediante un sistema de inyecciones a base de perforaciones de 6" de diámetro y por medio de un tubo de "manguitos" de 4" de diámetro con el que se inyectó una mezcla de cemento y bentonita, formando así una pantalla impermeable, la que se llegó hasta 12 m abajo del nivel de la plantilla del túnel.

3.- ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA SUBCUENCA DE LOS RIOS TE- POTZOTLAN Y CUATUTLAN

El Emisor Central atravesó una unidad fisiográfica desde -- aguas abajo de la lumbrera 4 hasta aguas abajo de la lumbrera 16.

Dentro de esta Cuenca el Emisor Central tiene una longitud de 28.5 km (veáse corte geológico).

La mayor parte de los frentes de excavación en este tramo - tuvieron graves problemas de aportaciones de agua, originadas por el gran potencial de infiltración y del almacenamiento que tienen las rocas que forman el Valle y las sierras de esta subcuenca.

Para conocer la cantidad de agua subterránea que podía fluir al túnel, fue necesario hacer el estudio del ciclo hidrogeológico de la parte de la subcuenca, que influiría en el tú -

nel. Los datos que se obtuvieron fueron los siguientes:

a) Area de estudio = 690 km²

Rocas volcánicas = 274 km²

Formación Tarango = 331 km²

Aluviones y depósitos fluviales = 76 km²

b) La precipitación anual promedio es de -

800 mm.

c) El escurrimiento estimado es de; E_s =

105,000 000 m³

d) Los coeficientes de infiltración para -

cada tipo de roca en porcentajes, se estimaron en:

Rocas volcánicas = 13

Formación Tarango = 23

Depósitos aluviales = 5

e) El cálculo de la evapotranspiración fue

de 570 mm. anuales.

Con estos datos se estimaron los siguientes volúmenes de agua.

Precipitación

$$690 \text{ km}^2 \times 800 \text{ mm} = P = 552.0 \times 10^6 \text{ m}^3 \dots\dots\dots 1$$

Escurrimiento

$$E_s = 105.0 \times 10^6 \text{ m}^3 \dots\dots\dots 2$$

Evapotranspiración:

$$690 \text{ km}^2 \times 570 \text{ mm } E_v = 393.3 \times 10^6 \text{ m}^3 \dots\dots\dots 3$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación general del ciclo balance hidrológico (1) $P = E_s + E_v + I$ se tiene:

$$552.0 \times 10^6 \text{ m}^3 = 105.0 \times 10^6 \text{ m}^3 + 393.3 \times 10^6 \text{ m}^3 + I$$

de donde: $I = 53.7 \times 10^6 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (A)$

$$I = 1.7 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Calculando I, a partir de los coeficientes de infiltración (d) se obtiene otro resultado :

$$\text{Rocas volcánicas} = 28.5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Formación Tarango} = 62.5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Aluviones} = \underline{3.1 \times 10^6 \text{ m}^3}$$

$$I = 94.1 \times 10^6 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (B)$$

comparando (A) y (B) se tiene una diferencia de $40.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ que representa tan solo el 7.3 por ciento del volumen total de la precipitación. Ahora bien, como no se tenían datos exactos del escurrimiento (E_s) y que en el valor de la evapotranspiración (E_v) se puede considerar un error del 20 -- por ciento, la cifra (B) de $94.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ se tenía como más cercana a las condiciones reales.

Este valor (B) da un promedio anual de infiltración de --
2.984 m³/seg.

El túnel a todo lo largo de la cuenca debería tener una in
filtración por segundo mayor que lo calculado, ya que pri-
mero debería abatir el nivel freático, y por lo tanto, ago
tar los acuíferos recargados.

De aguas arriba de la lumbrera 5 hasta la lumbrera 9A, se
calculó una aportación de 1.98 m³/seg provenientes de la -
Formación Tarango, más 0.09 m³/seg de los aluviones, espe-
rándose por lo tanto un caudal superior a los 2 m³/seg. Es
te se presentó concentrado en su mayor parte entre las lum-
breras 4 a 5 entre las lumbreras 8 a 9A, originando graves
problemas de estabilidad y los referentes al manejo del --
agua.

La Formación Tarango presentó solamente filtraciones con -
centradas en las zonas de falla o de fracturas, pero por -
metro de un tunel el promedio fue muy bajo (0.2 lps).

Por otro lado, bajo la Sierra de Tepetzotlán el volumen -
de agua aportado fue sensiblemente superior al calculado
por los coeficientes de infiltración. Debido a que el tú
nel quedó emplazado muy cerca del Valle, en donde éste --
funciona como una área de recarga ya que los basaltos per
meables se encuentran cerca de la superficie. En esta zo

na también se encuentra la laguna de Zumpango que recarga parcialmente a los acuíferos del Valle.

La excavación del túnel estableció un flujo continuo de -- oriente a poniente (del Valle hacia la Sierra) que sumado al agua almacenada en los acuíferos de la Sierra, llegando a producir hasta $4 \text{ m}^3/\text{seg.}$ entre la lumbrera 10 y la lumbrera 14, caudal que empezó a disminuir conforme se iban abatiendo los acuíferos del Valle y de la Sierra.

4.- MANEJO DEL AGUA EN LA LUMBRERA 14-A

Durante la excavación de la lumbrera, debido a la impermeabilización lograda, no se presentó ningún problema en el manejo del agua, y así fue posible excavar una galería de bombeo a un lado de la Lumbrera (Fig. 2) de las dimensiones siguientes, largo 16.75 m ancho 4.00 con un cárcamo Fig. 3 de 16.75 m x 2.50 m y 3.50 m de profundidad en la que se instalaron 8 bombas Johnston Mod. C C 14 accionadas con motores eléctricos de 300 HP. Fig. 2 y 3.

Las salidas de las ocho bombas estaban conectadas a un manifold de 20" de diámetro que a su vez se ligaba a una columna de descarga de igual diámetro.

Drenes: Fig. No.2. Para conducir el agua hasta el cárcamo se excavaron drenes de 0.75 x 0.80 metros de sección, -

uno, el de aguas arriba con pendiente de $S = 0.002$ otro el de aguas abajo, con pendiente $S = 0.001$, capaces de conducir 672 y 416 l.p.s. respectivamente.

$$Q = AV \quad V = \frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$$

Desarenador.- Figs. 2 y 6. Antes de llegar los drenes al cárcamo se excavó una ampliación de esta para alojar en ellos el desarenador con las dimensiones de 3 m x 2 m evitando con ellos, que el material de cárcamo azolvará al cárcamo. El cálculo del desarenador se hizo, siguiendo la Teoría Simple de sedimentación tal como se indica, en el capítulo correspondiente de la Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo.

Cálculo de una bomba

De las curvas características de la bomba, Johnston 14 C C y considerando una eficiencia de 83.5 por ciento, se determinó que el gasto capaz de bombear con gastos de 100 l.p.s aproximadamente, y que cada impulsor puede vencer una carga dinámica de 15.9 m, consumiendo una potencia de 24.5 HP.

DATOS

Carga estática	150.00 m
Carga por velocidad	0.95 m
Carga por fricción y aditamentos	<u>6.60 m</u>
Por futuras obstrucciones.	<u>7.47</u>
	165.00 m

$$\text{Cálculo de la potencia HP} = \frac{165 \times 100}{76 \times 0.833} = 260 \quad 300$$

Número de impulsores en la columna de succión:

$$\frac{165}{15} \div 9 = 11$$

Potencia que consumen los once impulsores

$$11 \times 24.5 = 264 \text{ HP} \quad 300$$

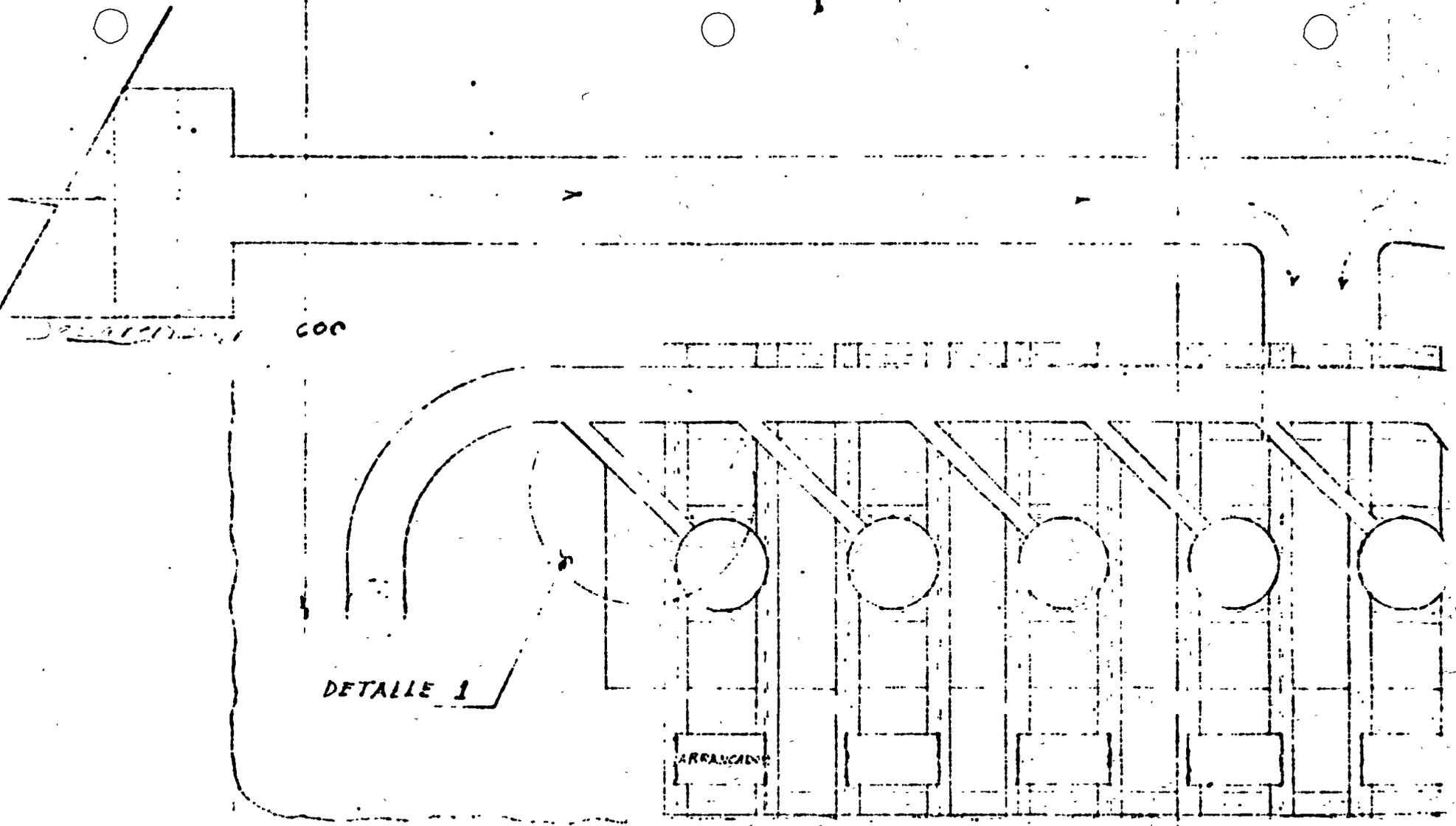
Siguiendo la política de estandarización el motor que se -- instaló, fue de 300 HP, es decir tenía una potencia mayor - que la calculada de un 15% con la que se podía absorber la sobre demanda por el arranque.

A partir de la L-14A se debían excavar 622 metros de Túnel hacia la L-13 y 187 metros hacia la L-14 para cumplir con el programa prefijado, estos tramos de túnel aportarían un gasto de 650 l.p.s., deducción basada en el estudio geohi - drológico; por lo que en la galería se instalaron 8 bombas Johnston 14 CC., teniendo asú una reserva del 20% de capa - cidad de bombeo.

Las pérdidas de carga por ampliación, por cambio de direc - ción, por entrada, por fricción, por rejilla, por reduccio - nes y por válvulas se calcularon siguiendo las constantes y fórmulas establecidas en las páginas Nos. 11, 12, 13, 14, - 15, 16 de la Memoria antes mencionada de la que se transcri

el capítulo VI-3 MANEJO DE AGUA DE FILTRACION.





600

DETALLE 1

ARRANCIENT

PLANTA

60 50 70 50

125

700

1675



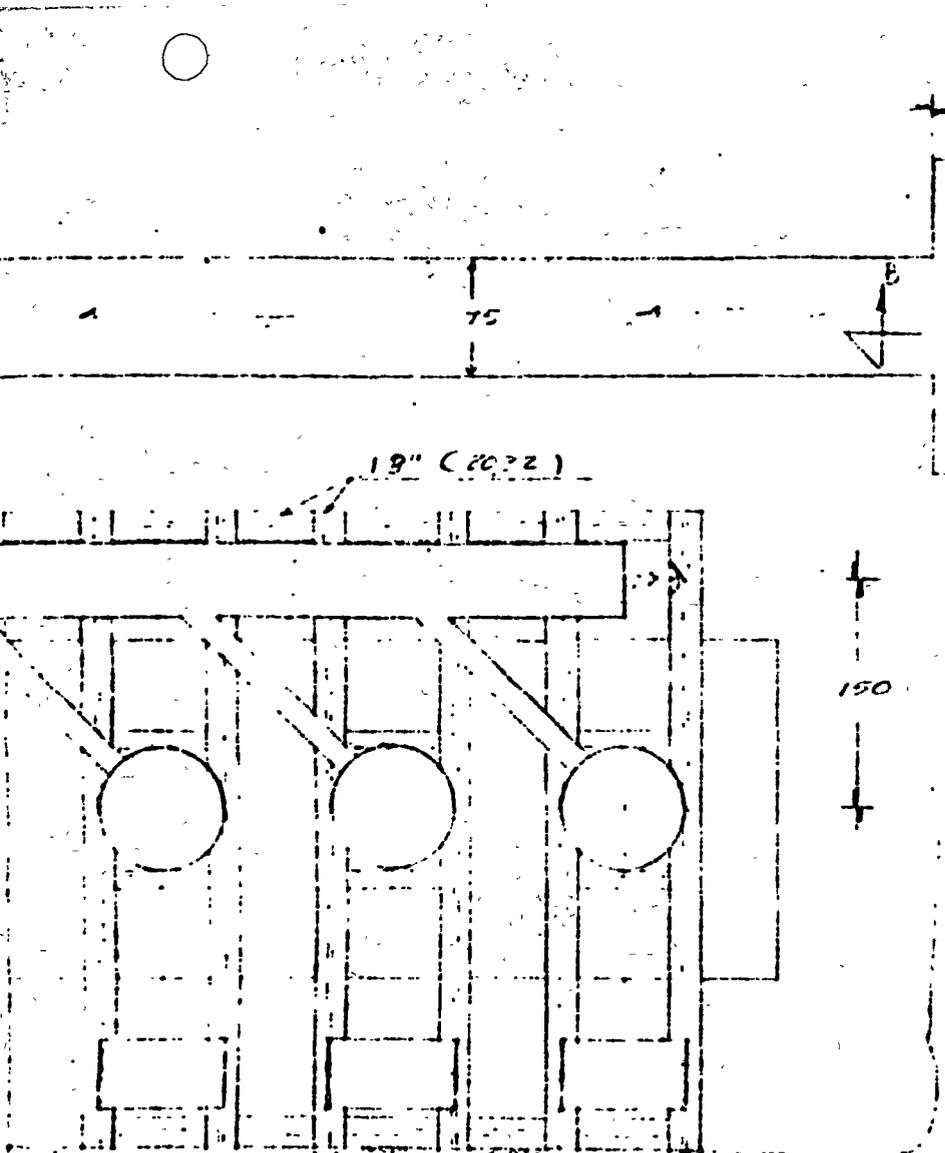
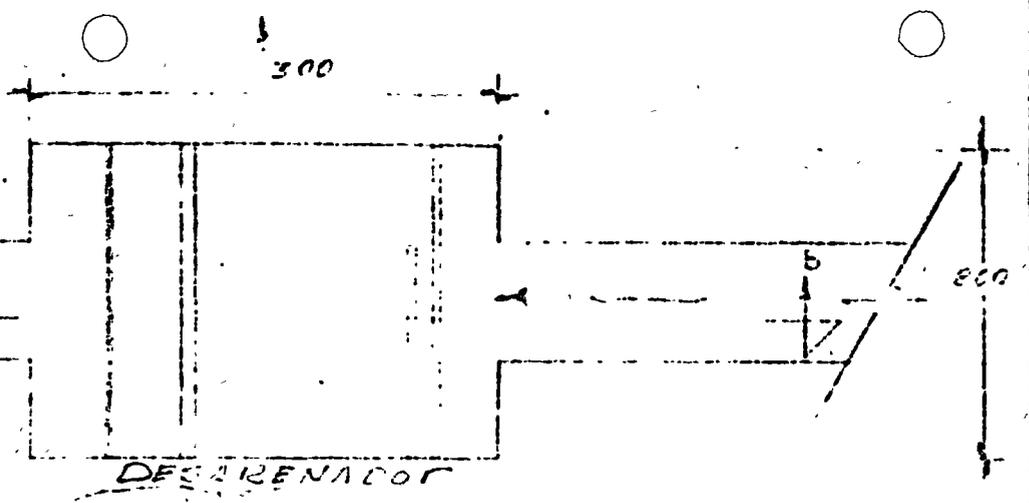
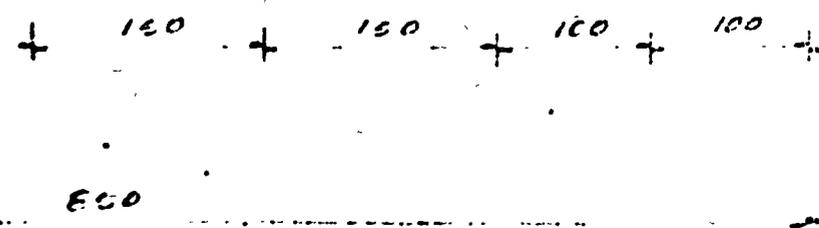
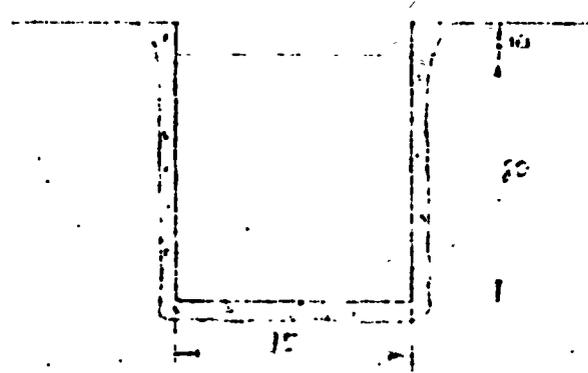


FIG-2-



DESARENADOR



DREN 1:25

n	0.017	0.017	0.017
V	1.28	1.10	0.91
Q	328	272	278

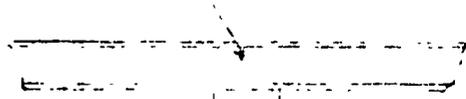
$V = \frac{A}{P} = 0.152$
 $S = 0.002$
 $Q = AV \left(\frac{1.49}{0.59} \right)$
 $A = 0.60 \text{ m}^2$

n	0.017	0.017	0.017
V	0.91	0.91	1.15
Q	245	410	428

$S = 0.001$



± 8' (2432)



151
254

variable
150

13 3/8"
(3397)

9" (2286)

5' 2" (2280)

251 46

N.M.B

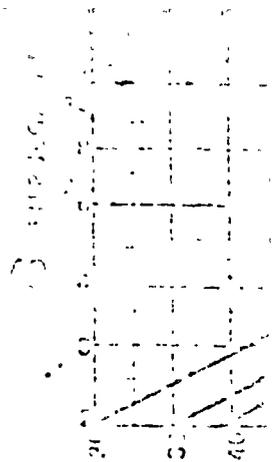
113

ECC

10 1/2" (2667)

20" (508)

30"



CONSEJO
PARA UN
SUBCASA
ESTE SE
PARALELO
CON EL
INTERIOR

DATA'S:

C AREA ESTADIA
CARGA POR PIESCUA Y LA
CARGA POR VELOCIDAD
CARGA DINAMICA TOTAL

TORNILLO EN CUBIERTA F.
LIGERA UNA CARGA K

QUELINDO CON UNA LATA
BOHIA 14-CG CON 6
DE INCHAS JOHNSTON
LA UNIDAD PARA CON
TRAFICA).

LE PUERDO A 10 AN
IMPULSIONES NECESARI

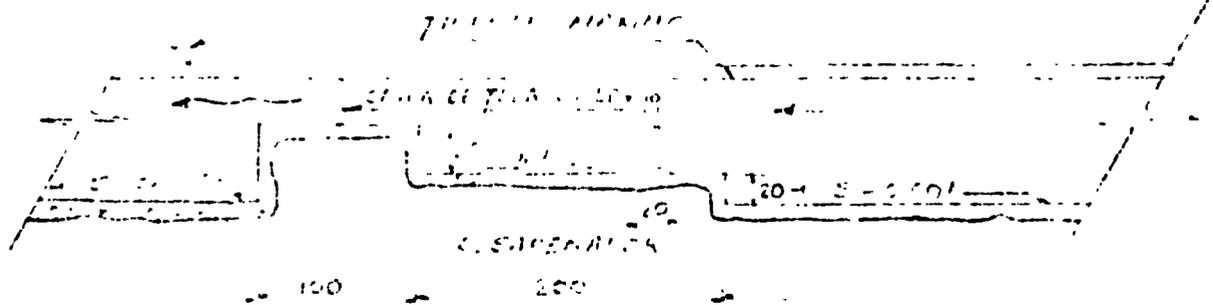
$$\frac{525}{52} = 10$$

CON LOS ESCALOS EN
CARGA CON CARGO =

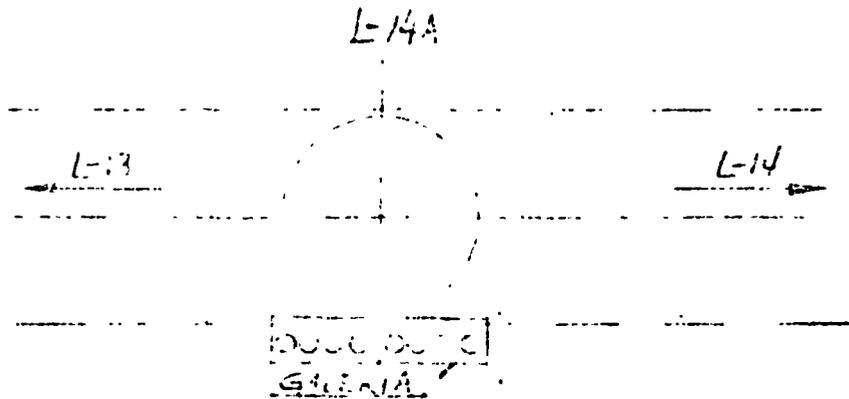
BOMBA JOHNSTON
14 C-C Ø 11"

ESC 1:50

Fig. 5



DESARENALC. CONTE E B ±esc 1:50

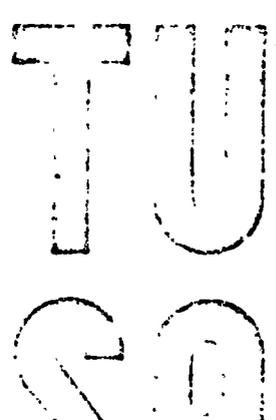


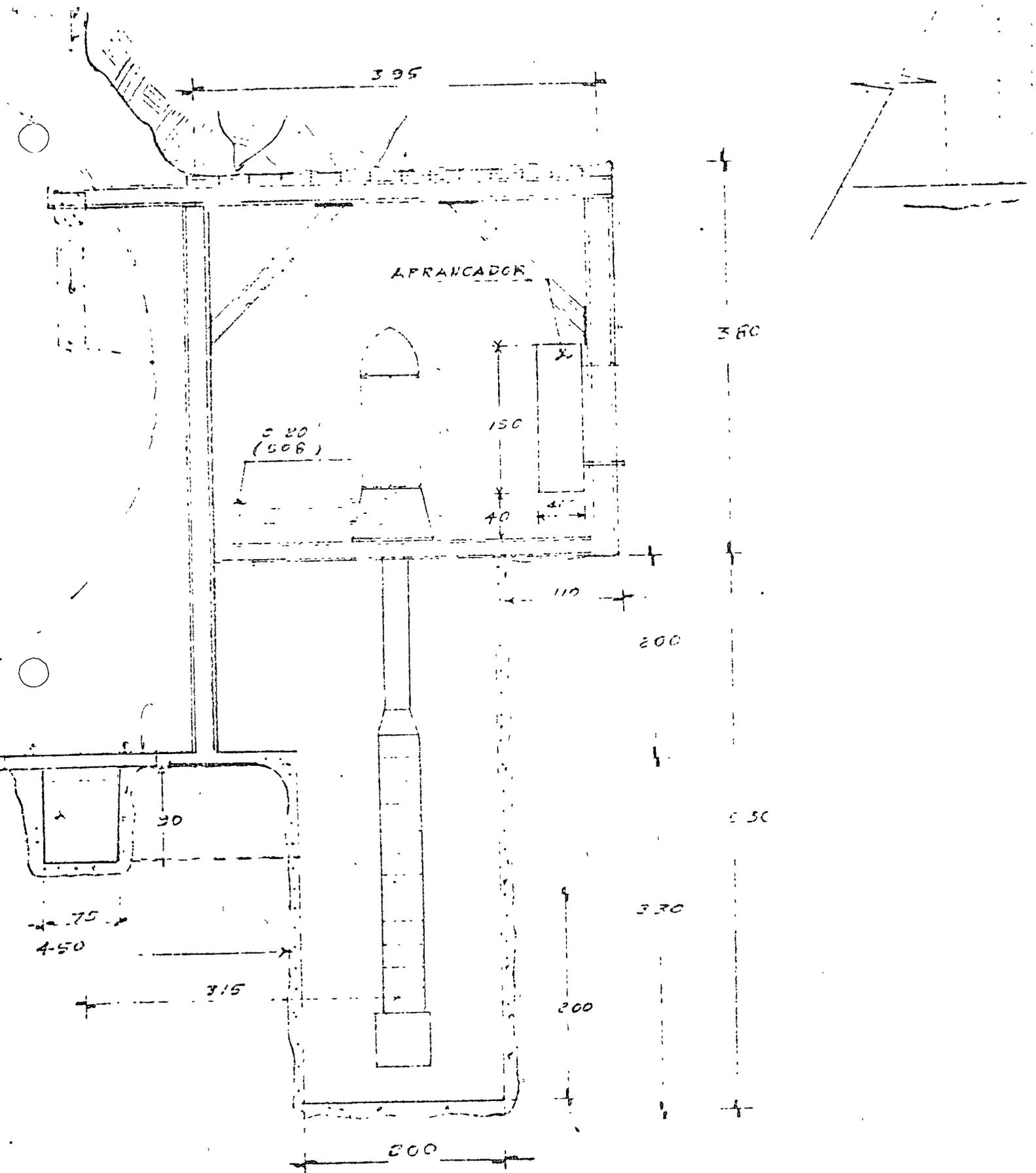
CROQUIS DE LOCALIZACION

NOTAS:

- 1.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS. EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2.- PARA EL SISTEMA DE MANEJO DE BOMBAS / MOTORES. VEASE - EL PLANO QIP-10-054.

Fig 6

	<p>GERENCIA DE INGENIERIA Y PLANEACION DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y DISEÑO</p> <p>GALERIA DE BOMBEO L-14A CIMENTAMIENTO 0±000</p>
---	---



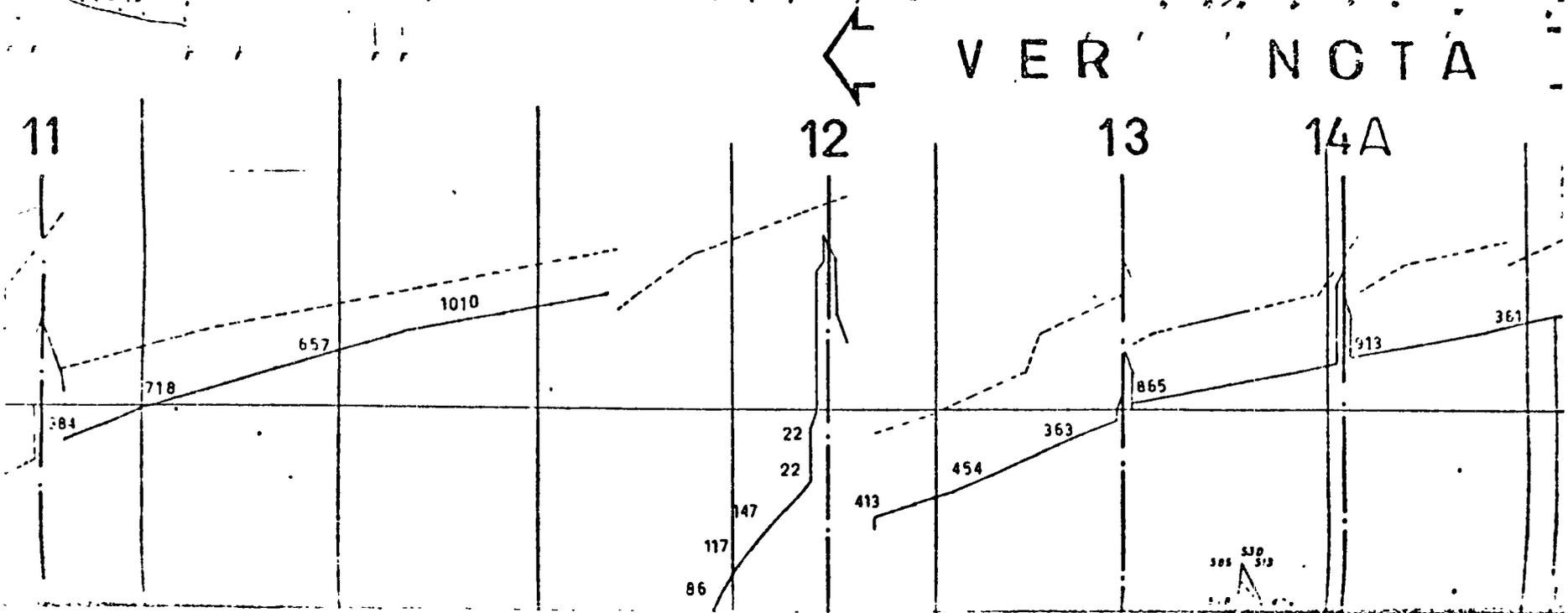
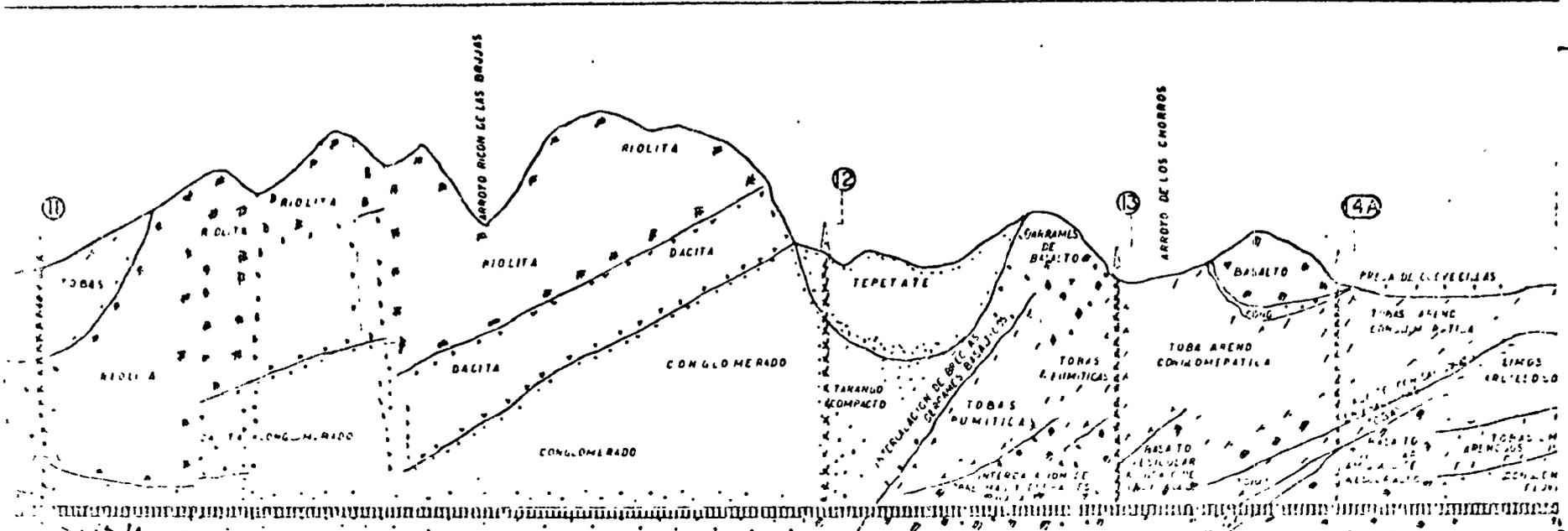
ESC 1:50

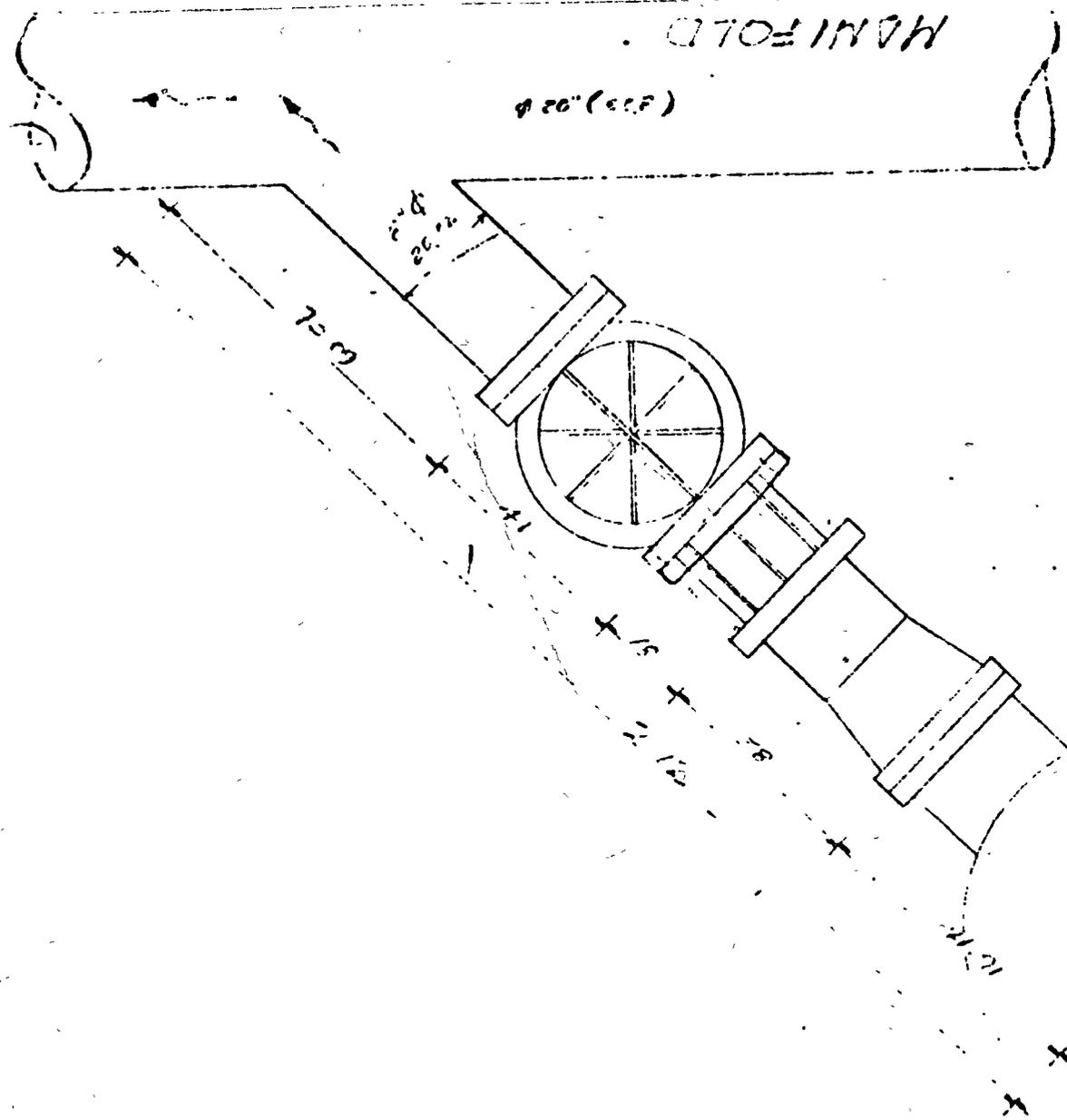
GALERIA DE BOMBEO

Fig 3

IB' (20.32)

T-1





150

DETALLE DE CONEXION

12.38
(3.177)

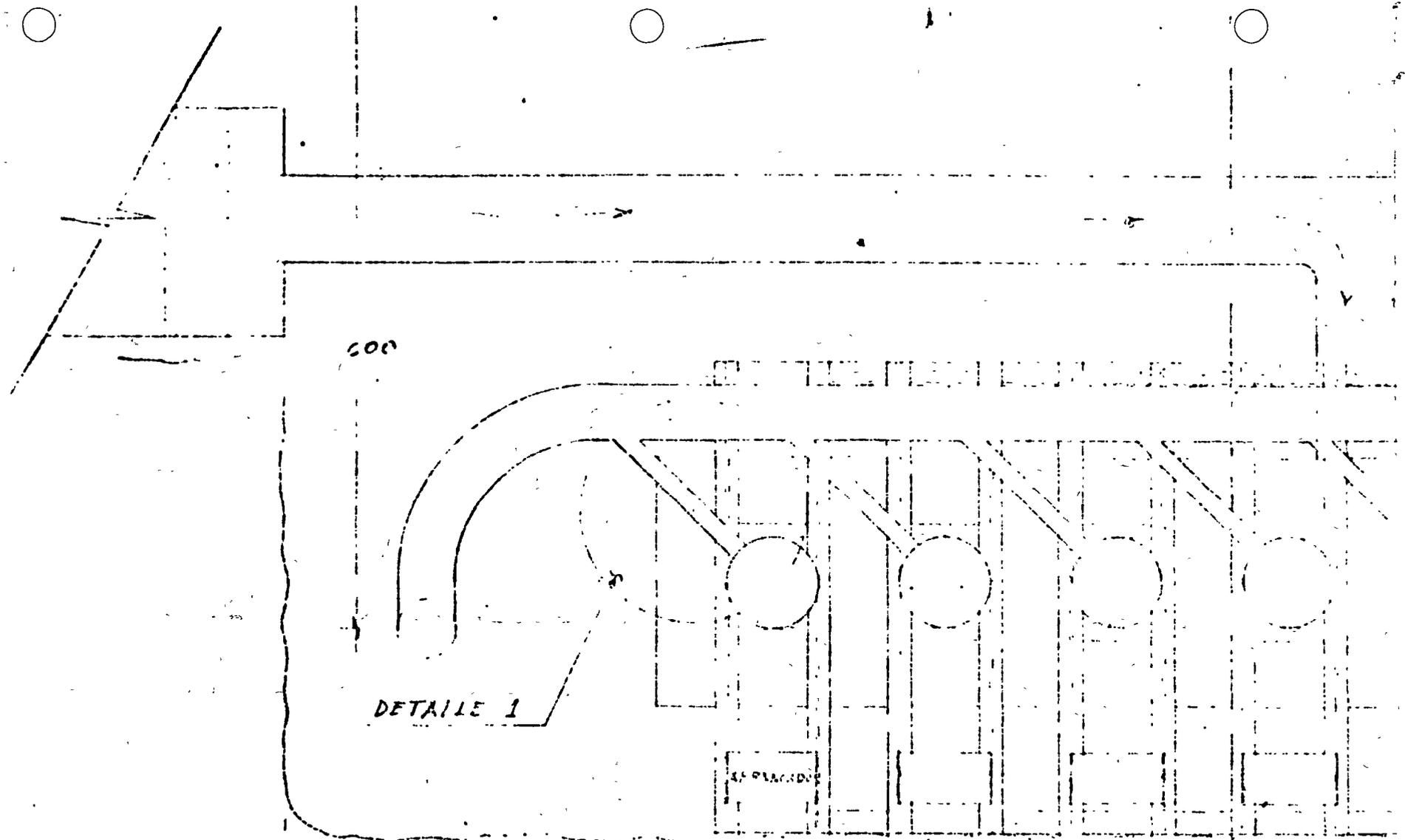
113

Fig 4

DETALLE 1

BO





600

DETAILE 1

AS PAREDO

60 + 60 + 70 + 60 +

PLANTA G.

+ 125 +

700

16.75





VI-3. MANEJO DEL AGUA DE FILTRACION

VI-3.1. I N T R O D U C C I O N

En el capítulo I-7, Hidrogeología, se trata el estudio realizado para la estimación de filtraciones al interior del túnel. Si bien un estudio de esa naturaleza no tiene un grado de confiabilidad muy elevado, también hay que añadir que los resultados que arroja representan una buena base para iniciar la planeación del manejo del agua de filtraciones en el interior del túnel, hasta su extracción a superficie. Por otra parte, las observaciones realizadas en las zonas ya excavadas, permiten ajustar el análisis, mediante la introducción de parámetros empíricos, hasta lograr una precisión razonable.

La obtención de estos parámetros no representa un serio problema si se aceptan algunas hipótesis que, en realidad, están bien respaldadas, estadísticamente, por lo que ha ocurrido en todas las excavaciones subterráneas.

1.- Las filtraciones promedio, al iniciar la excavación, medidas en l/seg/m, son superiores a las filtraciones promedio, medidas en la misma unidad, cuando ya se tiene una longitud apreciable de túnel excavado. Es decir, la variación de filtraciones se parece más a la curva A que a la curva B de la figura VI-3.1-1.

2.- El flujo de agua en un punto de la excavación, varía según la curva asintótica mostrada en la Figura VI-3.1-2. Es

decir, se tenderá a un equilibrio entre los nutrientes del -- acuífero y las pérdidas del mismo, por filtración.

Seguramente este equilibrio se presentará después de que haya transcurrido un tiempo muy grande y no compatible con la duración de la obra, sin embargo, se puede aceptar, conservadora - mente, que después de un lapso, que se puede fijar en función de esta duración de la obra, el volumen de filtraciones se mantendrá constante.

Esta hipótesis es también aceptable para el caso de aportaciones puntuales debidas a fallas, aunque seguramente, debido a - que el agua que contienen puede proceder de lugares más lejanos, la relación de gasto final a gasto inicial es mayor que en el - caso de flujo uniforme.

En base a estas dos hipótesis se puede seguir el procedimiento que se describe.

a).- Estimar las filtraciones en l/seg/m. de acuerdo a lo expuesto en la Hidrogeología para túnel desarrollado y afectar - el resultado, para condiciones iniciales de un coeficiente.

Como será necesario instalar una o varias galerías de bombeo - el ajuste de este coeficiente se podrá hacer inmediatamente con la localización de la galería. Supóngase por ejemplo que se ha estimado que el túnel desarrollado tendrá filtraciones de -- 0.5L/seg/m. y que se inicia a partir de una lumbrera que no tiene filtraciones debido a un tratamiento de impermeabilización.

La solución adecuada será suponer que, al inicio de la excavación se tendrán filtraciones de 5L/seg/m., proponer la situación y dimensiones de una galería de bombeo, por ejemplo a 30 m, de la lumbrera y de 10 m. de profundidad, es decir, 40 m. de túnel. Habrá que instalar bombas de pozo profundo y columna larga en la lumbrera para extraer $5 \times 40 = 200$ l/seg. mientras se construye la galería. Si durante la excavación se observa que el coeficiente es superior a 10, por ejemplo 12, entonces la galería se tendrá que construir a

$$(10 + 1) \times 6 = 200$$

$$d = \frac{200}{6} - 10 \approx 23 \text{ m.}$$

- b).- Hacer aforos inmediatos para obtener las reducciones en las aportaciones de acuerdo a la curva A (Fig.VI-3.1-1) y a la curva B de la fig. VI-3.1-2.
- c).- Contar con un programa de avance de excavación para relacionarlo con dichas curvas.
- d).- Proponer la localización y capacidad de nuevas galerías.
- e).- Continuar los aforos para ajustar, hasta donde se desee las curvas en cuestión.

Finalmente cabe añadir que la relación de gasto uniforme final a gasto uniforme inicial suele variar entre 0.1 y 0.3 y la de gasto puntual final a gasto puntual inicial, entre 0.1 y

0.6.

VI-3.2 MANEJO Y CONDUCCION EN LA ETPA DE EXCAVACION

La acumulación de agua en los frentes de excavación es uno de los impedimentos mayores para el logro de ciclos óptimos. Es evidente que cuando la sección de excavación corresponde a la de proyecto y se ataca un frente hacia aguas arriba, el agua, drenará por gravedad sin inundar la zona de trabajo, pudiéndose captar en un dren cuyo tipo y dimensiones dependerá del gasto a conducir. El problema se agudiza en los frentes que avanzan hacia aguas abajo, en los que la pendiente ha-e que el agua tienda a acumularse en la zona de trabajo.

VI-3.2-1. FRENTES AGUAS ABAJO.- Para este caso de excavación hacia aguas abajo, la solución adoptada en el Emisor Central, consistió en hacer cárcamos para bombeo horizontal hacia la galería más cercana, entre los que se construyó un dren con pendiente contraria a la del túnel (Fig. VI-3.2-1). Esta contrapendiente se fijó en 0.1% siendo la del túnel de 0.2%.

Los drenes se eligieron y diseñaron de acuerdo a lo indicado en las tablas VI-3.2-1 y VI-3.2-2. Los drenes en contrapendientes se excavaron de acuerdo a la tabla VI-3.2-3 mediante la deducción que se indica a continuación.

En base a la Fig. VI-3.2-2 y suponiendo como conocidos

$$d_1, d_2 = \frac{2}{3} d_1 \ell_1$$

$$S_1 = 0.002 \quad S_2 = 0.001 \text{ y } b, \text{ se tiene:}$$

$$d_1 = d_2 + l (S_1 + S_2) = \frac{2}{3} d + l (S_1 + S_2)$$

$$d_1 = \frac{2}{3} d + 0.003l$$

$$l_2 = (d - d_2) / (S_1 + S_2)$$

$$l_1 = l - (d - d_2) / (S_1 + S_2) = l - d/0.009$$

$$l = l_1 + III d_1$$

Como ejemplo se calculará un dren en contra-pendiente para conducir un gasto de 2 l/seg/m , uniforme más un gasto en el frente de 50 L/seg .

$$S_1 = 0.002 \quad S_2 = 0.001$$

Si se adopta una distancia, entre cárcamos, de 100 m . se tiene:

$$Q = 100 \times 2 + 50 = 250 \text{ L/seg.}$$

De la tabla VI-3.2-1 se obtiene un dren tipo C_1 ; de la tabla VI-3.2-2 se obtiene que $b = 60 \text{ cm}$ y $d = 50 \text{ cm}$.

Finalmente, de la tabla VI-3.2-3 se tiene que:

$$d_1 = 65 \text{ cm}, \quad l_1 = 40 \text{ m.} \quad l_2 = 60 \text{ m.}$$

Si hay suficiente capacidad de bombeo instalada, los cártamos, se pueden separar a 200 m. con lo que se tiene:

$$Q = 200 \times 2 + 50 = 450 \text{ L/seg.}$$

dren tipo C_1 , $b = 70 \text{ cm}$, $d = 70 \text{ cm}$, $d_1 = 91 \text{ cm}$, $l_1 = 120 \text{ m}$.

$$l_2 = 80 \text{ m.}$$

VI-3.2-2. FRENTE AGUAS ARRIBA.- Independientemente de lo molesto que resulta trabajar en un frente con filtraciones importantes, si este frente se ataca hacia aguas arriba, el drenaje será natural y no se tendrán inundaciones en la zona de trabajo. El agua podrá ser colectada en un dren y conducido a la galería de bombeo más cercana para su extracción.

Así pues, en estas condiciones, los ciclos de excavación se pueden llevar a cabo con una precisión mayor y obtenerse, como sucedió, rendimientos mayores.

VI-3.3. DESARENADORES.

El agua de filtración que conducen los drenes hasta las galerías de bombeo, arrastra considerables cantidades de material producto de la excavación con una capacidad de abrasión que ocasiona daños importantes en las bombas de pozo profundo. Por esta razón, es muy conveniente colocar desarenadores entre los drenes y dichas galerías. Estos desarenadores no son más que tanques de sedimentación y para su diseño se usa la Teoría Simple de la Sedimentación:

Seon te . . . puesto, que . . .

. . .

. . . $Q = bhv$ se tiene

. . .

$$b = \frac{Q}{hv}$$

- b = ancho del tanque, en m.
- Q = gasto, en m^3/seg , con que se alimenta la planta.
- v = velocidad de flujo, en m/seg , en el tanque.
- h = tirante, en m., en el tanque.

Si ω , en m/seg , es la velocidad de sedimentación o de caída de una partícula y, la longitud del tanque es l , en m , la proposición es que el tiempo, t_h , que tarda la partícula en recorrer, horizontalmente la longitud, l del tanque, sea igual al tiempo, t_v que tarda en recorrer la altura h , verticalmente, es decir:

$$t_h = \frac{l}{v} ; \quad t_v = \frac{h}{\omega}$$

$$t_h = t_v$$

$$l = \frac{vh}{\omega}$$

La velocidad de sedimentación, w , queda definida por los resultados de Rubey en la Fig. VI-3.3-1. La velocidad V' , máxima -- permisible, que evita que las partículas, una vez asentadas, -- sean nuevamente puestas en movimiento (velocidad crítica de -- arrastre de los granos) es, según Camp:

$$V' = \alpha \sqrt{d} \quad (\text{en cm/seg.})$$

d = diámetro de las partículas, en mm.

α = coeficiente que depende de

$$\alpha = 36 \text{ para } d > 1 \text{ mm}$$

$$\alpha = 44 \text{ para } 0.1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$$

$$\alpha = 51 \text{ para } d < 0.1 \text{ mm}$$

Si, por ejemplo se tiene un gasto $Q = 400$ l/seg. con un tiranta $h = 75$ cm. y se quieren eliminar partículas mayores de 0.5 mm, se tendrá: Según Camp. la velocidad crítica es

$$V' = 44 \sqrt{0.5} = 31.2 \text{ cm/seg.}$$

según Rubey, de la Fig. VI-3.3-1.

$$w = 6 \text{ cm/seg.}$$

$$b = \frac{0.4}{0.75 \times 0.312} = 1.70 \text{ m.}$$

$$L = \frac{0.312 \times 0.75}{0.06} = 3.9 \text{ m.}$$

Con el objeto de poder hacer limpieza en el desarenador es conveniente dividirlo en 2 canales con compuerta y rejilla que detenga los cuerpos flotantes y reduzca la turbulencia.

VI-3-4 CONDUCCION A PRESION

Cualquier problema de diseño hidráulico de un conducto a presión, con escurrimiento permanente, se puede resolver con las ecuaciones de continuidad de Bernoulli y del impulso.

La primera establece la invariabilidad del gasto en cada sección del conducto.

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \dots$$

La segunda establece la constancia de la energía entre las secciones transversales 1 y 2 del conducto.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_f + \sum_1^2 h_m$$

La tercera ecuación es una aplicación de la segunda ley de Newton, en forma vectorial y se conoce como ley de impulso.

$$\sum_i^2 \vec{F} = \frac{\rho}{g} Q [(\beta v)_2 - (\beta v)_1]$$

Los distintos símbolos representarán:

- A = area de la sección transversal, en m²
- Q = gasto en el conducto, en m³/seg.
- v = velocidad, media en la misma sección, en m/seg.
- g = aceleración de la gravedad (aproximadamente 9.8 m/seg.
- P = presión en kg/m²

$Z =$ carga de posición, en m.
 $\alpha =$ coeficiente de Coriolis (adimensional) que corrige el error que se origina al considerar una distribución uniforme de velocidades en la sección, de magnitud igual a la velocidad media. Se suele considerar $\alpha = 1$ y se demuestran que depende del coeficiente de fricción.

$\gamma =$ peso específico del líquido, en kg/m^3

$\sum_{1 \rightarrow 2} h_f =$ suma de las pérdidas de energía, o de carga, por fricción, desde la sección 1 a la 2.

$\sum_{1 \rightarrow 2} h_m =$ Suma de pérdidas menores de 1 a 2

$\sum_{1 \rightarrow 2} F =$ Resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el elemento líquido comprendido entre las secciones 1 y 2 considerado como cuerpo libre.

$\beta =$ Coeficiente de Boussinesq con explicación semejante a

$$\beta = 1 + \frac{\alpha - 1}{3}$$

El total de pérdidas estará dado por

$$\Delta h = h_f + h_r + h_c + h_v + h_g + h_r + h_s$$

- $h_a =$ pérdidas por ampliación
- $h_c =$ pérdidas por cambio de dirección
- $h_e =$ pérdidas por entrada
- $h_f =$ pérdidas por fricción en todo el conducto
- $h_R =$ pérdidas por rejilla
- $h_r =$ pérdidas por reducción
- $h_s =$ pérdidas por salida
- $h_v =$ pérdidas por válvula

VI-3.4-1 PERDIDAS POR ENTRADA. - La expresión general es

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g}$$

Los valores de K_e están dados en las figuras VI-3.4-1.1. y VI-3.4-4-1.2.

La entrada elíptica es la que produce el mínimo de pérdidas

VI-3.4-2. PERDIDAS POR REJILLA. La fórmula de Kirschmer es:

$$h_R = K_e \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \text{Sen } \alpha \frac{v_0^2}{2g}$$

En la figura VI-3.4-2.1 se muestran las acotaciones respectivas y el valor de K_R en función de la forma de la rejilla. v_0 es la velocidad frente a las rejas como si estas no existieran.

Si el flujo es esviado se puede utilizar la fórmula de Mosonyi.

$$h_{r2} = \beta h_R$$

Los valores de β pueden obtenerse de la figura VI-3.4-2.2 en términos del coeficiente $\frac{v}{b}$ y del ángulo ϵ de inclinación del flujo.

Para rejillas completamente sumergidas, la fórmula de Creager es:

$$h_r = K_R \frac{v^2}{2g}$$

en donde

$$K_R = 1.45 - 0.45 R - R^2$$

$$R = \frac{C_n}{C_g}$$

C_n = área neta de la rejilla

C_g = área bruta de la rejilla

V = velocidad neta a través de rejillas.

VI-3.4-3 PERDIDAS POR AMPLIACION.- Se usa la fórmula

$$h_a = K_a \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = K_a \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

donde K_a depende del ángulo Θ del difusor como se muestra en la Fig. VI-3.4-3.1. Para ampliaciones bruscas se usa la misma fórmula con $K_a = 1$

Con objeto de evitar separaciones y cavitación, el ángulo del difusor debe ser:

$$\operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} = \frac{\sqrt{gd}}{2v} \quad \text{para } \Theta = 20^\circ$$

para

en que

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{y} \quad V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

VI-3.4-4. PERDIDAS POR REDUCCION. - Se calculan con la fórmula

$$h_r = K_r \frac{V^2}{2g}$$

Si la reducción es gradual, el coeficiente K_r depende del ángulo Θ con que ésta se produzca de acuerdo con Kisieliév (tabla VI-3.3-4.1).

Si la contracción es brusca, se usan los coeficientes de Weisbach graficados en la Fig. VI-3.4-4.1).

VI-3.4-5: PERDIDAS POR CAMBIO DE DIRECCIÓN. - Si el cambio de dirección es gradual con una curva circular de radio medio y rugosidad absoluta , se puede usar la gráfica de la Fig. - VI-3.4-5.1, debida a Hoffmann para calcular la pérdida de carga de una curva a 90° .

$$h_c = K_c \frac{V^2}{2g}$$

Si la curva tiene un ángulo diferente de 90° se usa la gráfica de la Fig. VI-3.4-5.2 de Wasiliewski, aplicable sólo a tubos lisos.

Para $\Theta = 90^\circ$ se pueden multiplicar los coeficientes de Hoffmann por la relación

$$\Theta / 90^\circ$$

Estos resultados son válidos para curvas en conductos de gran diámetro. Si se trata de codos en tuberías de diámetro chico se pueden usar los resultados de la Fig. VI-3.4.5.3, de acuerdo con el diámetro del tubo.

Si el cambio de dirección es brusco, el coeficiente de pérdidas depende del número de Reynolds, , como se muestra en la figura VI-3.4-5.4 de Kirchbach y Schubart, para diferentes ángulos.

Si el cambio de dirección es a base de varios tramos rectos, -- los coeficientes de pérdida son como se muestra en la Fig. -- VI-3.4-5.5.

VI-3.4-6. PERDIDAS POR BIFURCACION.- Pueden ser por unión o -- por separación (Fig. VI-3.4-6.1).

Las pérdidas de carga al integrarse o separarse la corriente -- se valían como sigue:

$$h_a = K_a \frac{V^2}{2g} \quad h_d = K_d \frac{V^2}{2g}$$

en que, para separación

$$K_a = 0.95 \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)^2 + \left(1.3 \cot \frac{\epsilon}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1 \phi}{\phi^2} \right) \left(1 - 0.9 \sqrt{\frac{P}{Q}}\right) \left(\frac{Q_a}{Q}\right)^2 + 0.4 \left(1 + \frac{1}{\phi}\right) \cot \frac{\epsilon}{2} \frac{Q_a}{Q} \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)$$

$$K_d = 0.09 - 0.26 \frac{Q_a}{Q} + 0.58 \left(\frac{Q_a}{Q}\right)^2$$

para unión

$$K_a = \left[\left(1 - \phi\right) \frac{\cos \delta}{\phi} - \left(1.2 - \sqrt{P}\right) \left(\frac{\cos \epsilon}{\phi} - 1\right) - 0.8 \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \right] \left(\frac{Q_a}{Q}\right)^2 + 0.92 \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)^2 + (2 - \phi) \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right) \frac{Q_a}{Q}$$

$$K_d = 0.03 \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)^2 \left[1 + (162 - \sqrt{P}) \left(\frac{2.03 \epsilon}{\phi} - 1 \right) - 0.38 \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right) \right] \frac{Q_a}{Q} - (2 - \phi) \left(\frac{Q_a}{Q} \right) \left(1 - \frac{Q_a}{Q}\right)$$

donde:

$$\phi = \frac{A_a}{A} \quad p = \frac{r}{d} \quad \Gamma = \text{radio de redondeamiento}$$

Γ = radio de redondeamiento

VI-3.4.7 PERDIDAS POR VALVULAS Los coeficientes de pérdida por válvulas varían de acuerdo con el tipo de éstas y deben ser proporcionados por los fabricantes para distintas posiciones. A -- continuación se dan algunos valores del coeficiente. K_v

$$h_v = K_v \frac{v^2}{2g}$$

$$K_v = 0.016 \text{ para válvula esférica}$$

$$K_v = 0.080 \text{ para válvula de guillotina}$$

$$K_v = 0.100 \text{ para válvula de mariposa (europea)}$$

$$K_v = 0.200 \text{ para válvula de mariposa (americana)}$$

$$K_v = 0.400 \text{ para válvula de aguja}$$

VI-3.4.5. FUERZAS PRODUCIDAS POR EL LIQUIDO EN MOVIMIENTO

Con este tema se pretende hacer referencia a los efectos producidos por el líquido en los cambios de dirección y en las contracciones del conducto. Para el primer caso, cambios de dirección, en base a la fig VI-3.4.8.1 y aplicando la ley de impulso se tiene:

$$p_1 A_1 - F_x - p_2 A_2 \cos \theta = \frac{\gamma}{g} Q (V_2 \cos \theta - V_1)$$

$$F_y = p_2 A_2 \sin \theta = \frac{\gamma Q}{g} V_2 \sin \theta$$

Las componentes F_x y F_y representan las fuerzas que deberá resistir la estructura de atraque del tubo. En el caso en que se mantenga la sección constante, $V_1 = V_2 = V$ y $p_1 = p_2 = p$ si además se tendrá:

$$F_x = pA + \frac{\gamma Q}{g} V$$

$$F_y = pA + \frac{\gamma Q}{g} V$$

para el segundo caso, figura VI-3.4-8.2 se tiene:

$$p_1 A_1 = F_x - p_2 A_2 = \frac{\gamma}{g} Q (V_2 - V_1)$$

$$F_x = p_1 A_1 - p_2 A_2 - \frac{\gamma Q}{g} (V_2 - V_1)$$

VI-3.5 B O M B E O

El tipo de bomba a utilizar depende del gasto a manejar y del origen y destino de líquido. En términos generales, se puede decir que las bombas utilizadas fueron las siguientes:

- a) bombas neumáticas
- b) bombas para manejo horizontal
- c) bombas de pozo profundo para manejo vertical

VI-3.5.1 BOMBAS NEUMATICAS Estas bombas son de bajo gasto y baja carga. Generalmente trabajan a base de membranas que aspiran o expulsan el líquido por la acción del aire comprimido. Son especialmente útiles en los frentes de aguas abajo donde las filtraciones son pequeñas y es necesario impedir su inundación o para vaciado de cárcamos. Generalmente operan con una presión del orden de 6 kg/cm^2 (85 lb/pulg^2). En la fig VI-3.5.1.1 se presenta la gráfica de capacidad de una bomba sumergida (sin altura de succión) DOP 10 de Atlas Copco, como un ejemplo de máquina de este tipo, sin analizar sus ventajas o desventajas con respecto a otras marcas.

VI-3.5.2 BOMBEO HORIZONTAL Cuando las filtraciones son importantes y se trabaja en frentes aguas abajo o, cuando se necesita hacer un desvío del agua de un dren por cualquier razón, por ejemplo, revestirlo, el bombeo horizontal cobra gran importancia. En la fig VI-3.5.2.1 se presenta una gráfica de capacidad de bomba para este uso, sin atender a su marca.

VI-3.5.3 BOMBAS DE POZO PROFUNDO En términos generales, estas bombas, están formadas por un motor eléctrico, un cabezal especial con salida para el agua, una flecha y un cuerpo de impulsores que forman la bomba propiamente dicha. Un diagrama del sistema de bombeo se presenta en la fig VI-3.5.3.1 para el caso de carga negativa de succión y descarga ahogada y otro, correspondiente a carga de succión positiva y descarga libre, en la fig VI-3.5.3.2. La carga total del primer sistema es:

$$H = H_{ES} + H_{ED} + H_{fs} + H_{fd} + H_v$$

y la del segundo:

$$H = H_{ED} - H_{ES} + H_{fs} + H_{fd} + H_v$$

H = carga total del sistema

H_{ES} = altura estática de succión

H_{ED} = altura estática de descarga

H_{fs} = pérdidas totales de fricción y menores; en la rama de succión.

H_{fd} = pérdidas totales de fricción y menores; en la rama de descarga.

h_v = pérdidas por salida, representadas por la carga de velocidad en la rama de descarga.

Las curvas características de bombas proporcionan la siguiente información:

- a) Curva de gastos: Establece el punto o los puntos de operación de la bomba para los pares de valores (h, Q) del sistema.
- b) Curva de potencias: Da los consumos de energía en el rango de operación que fija la curva de gastos.
- c) Curva de eficiencias: Determina la adaptabilidad de la bomba, el sistema en el rango de operación que fija la curva de gastos.

Las figuras VI-3.5.3.3 y VI-3.5.3.4 representan curvas características de bombas de pozo profundo.

Las bombas pueden operarse en serie y en paralelo. Cuando varias bombas operan en serie la curva de gastos de operación del conjunto, se obtiene sumando las cargas de presión de todas las bombas para cada gasto de funcionamiento. Cuando varias bombas se operan en paralelo, la curva de gastos de operación del conjunto se obtiene sumando los gastos correspondientes de todas las bombas para cada carga de funcionamiento.

Con el objeto de aclarar el sistema de diseño de una estación de bombeo, se presenta a continuación un ejemplo detallado del

análisis.

ejemplo: se desea instalar una estación de bombeo para extraer 700 l/seg desde una profundidad de 145 m. Se proponen bombas de 300 HP y tubo de descarga de 50.8 cm de diámetro interior -- (ver plano VI-3.5.3.1).

$$H_{ES} = 0$$

$$H_{ED} = \frac{145 \text{ m}}{1}$$

$$H_{ET} = 145 \text{ m}$$

Se supondrá que cada bomba es capaz de extraer 70 l/seg trabajando a 1460 rpm por un tubo de 20.3 cm de diámetro 20.3 cm (8 pulg). Este tubo tiene una válvula DUO-check y otra de compuerta.

$$A_1 = \frac{\pi \times 0.203^2}{4} = 0.032 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{0.070}{0.032} = 2.19 \text{ m/seg}$$

$$H_{V_1} = \frac{2.19^2}{19.6} = 0.245 \text{ m}$$

válvula check $K_{CH} = 2.0$

$$H_{CH} = 2 \times 0.245 = 0.49 \text{ m}$$

válvula de compuerta (despreciable)

ampliación brusca $K_a = 1$

$$H_a = 1 \times 0.245 = 0.245 \text{ m}$$

para el múltiple y tubería de descarga:

$$A = \frac{\pi \times 0.508^2}{4} = 0.203 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.700}{0.203} = 3.45 \text{ m/seg}$$

$$H_v = \frac{3.45^2}{19.6} = 0.61 \text{ m}$$

4 codos de gran radio, de 90°, bridados $K_c = 0.1$

$$H_c = 0.1 \times 4 \times 0.61 = 0.244 \text{ m}$$

longitud de tubo = 30 + 145 = 175 m

pérdida por fricción para tubo de acero

2.9 m/100 m (figura VI-3.5-3.5)

$$H_f = 2.9 \times 1.75 = 5.07 \text{ m}$$

$$H = 5.07 + 145.00 + 0.24 + 0.61 + 0.24 + 0.49 + 0.24$$

$$H = 152.00 \text{ m}$$

$$HP = \frac{70 \times 152}{76 \text{ E}}$$

$$E = \text{eficiencia} = 0.75$$

$$\text{HP} = 187 < 300$$

no obstante, para fines de ilustración, se aceptará el motor de 300 HP.

Suponiendo una bomba 14 CC con impulsor de 28 cm (11"), de la fig. VI-3.5.3.3 se tiene un tazón vence 19.5 m de carga, por lo tanto se necesitan

$$\frac{152}{19.5} = 7.8 = 8 \text{ pasos .}$$

de los cuales, cada uno, consume 23 HP

$$\text{HP} = 8 \times 23 = 184 \text{ HP} = 187 \text{ HP}$$

Se necesitarán 10 bombas y se colocarán 12 con el objeto de tener 20 por ciento de reserva.

VI-3.6. GALERIAS DE BOMBEO

El diseño de las galerías de bombeo se hizo en base a suponer que la excavación no necesitaría un soporte mayor que el que tuviera el túnel. Así se propuso utilizar las claves del ademe metálico o revestirlas con concreto lanzado, según el ademe que llevará el túnel. La tubería de descarga se alojó en un pozo o se extrajo por la lumbrera según la distancia a la que estuviera de ella. La separación entre bombas y entre las bombas y los muros se hizo según los mínimos mostrados en la fig. VI-3.6. 1. El plano VI-3.6.1 muestra la distribución y geometría de una galería típico de bombeo usada en el Emisor Central.

VI-3.7. A F O R A D O R E S

Se utilizaron dos tipos de aforadores: uno de ellos, muy elemental, se ilustra en la fig VI-3.7.1 y fue para determinar el gasto que podrían manejar las bombas después de su reparación. No obstante lo simple del sistema, se obtuvieron buenos resultados. El otro consistió en vertedores construídos en superficie que permitían hacer las mediciones del gasto extraído por las bombas de pozo profundo.

Los vertedores se distinguen de los orificios en que están dispuestos de modo que el agua sólo toque la base y los bordes laterales. La arista superior viene a ser el nivel del agua del derrame en el plano vertical que pasa por la base. Cualquier orificio se convierte en vertedor cuando el nivel del agua hacia atrás de él, queda abajo de su arista superior.

La teoría de los orificios puede extenderse a los vertedores con sólo suponer igual a cero la carga sobre la arista superior; así es que la fórmula $Q = 2.947 C_a (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$ deducida para orificios, se puede aplicar haciendo $h_1 = 0$; b, será la longitud o anchura de la cresta del vertedor y h_2 , la carga sobre esta última.

Los vertedores que se usan en la práctica pueden clasificarse de cuatro maneras: según la forma del chorro, según el grueso de las paredes según las condiciones en que sale el agua. y según su forma geométrica.

Según la forma del chorro, pueden dividirse en vertedores de -
contracción completa, de contracción incompleta y de ninguna con
tracción. Para que haya contracción completa se necesita que -
las distancias de la cresta al fondo, y de los bordes vertica -
les a las paredes del canal, sean mayores que dos y media veces
la carga; si son menores, sin ser nulas, la contracción es in -
completa; y, por último, si las distancias de los bordes lateral
les a las paredes del canal son nulas, es decir, si el ancho --
del vertedor es el mismo que el del canal, hay supresión de con
tracción en los lados; pero sobre la cresta o base debe haber -
contracción completa como en el primer caso. La figura VI-3.7.
2 muestra un vertedor de contracción completa; y la VI-3.7.3 -
uno de contracción suprimida lateralmente, el cual, para abre -
viar, designaremos simplemente como vertedor "sin contracción".

Atendiendo al grueso de las paredes, pueden dividirse en verted
edores de pared delgada y de pared gruesa, siendo los primeros,
aquellos en los cuales las aristas pueden considerarse como lín
neas sin espesor apreciable, lo que se consigue, prácticamente,
usando láminas de fierro de menos de un milímetro de grueso, -
para limitar la abertura; o bien, si el vertedor es de madera,
dejando chaflanes con la inclinación hacia afuera tanto en la
cresta como en los bordes verticales. Cuando el vertedor es -
de contracción suprimida, esta condición sólo se exige en la -
cresta, pues no existen bordes verticales por ser aquél del --
mismo ancho que el canal. Si el umbral y los bordes laterales
tienen un espesor apreciable, se dice que el vertedor es de par
red gruesa.

Según las condiciones en que sale el agua, pueden dividirse en vertedores de manto libre, de manto sumergido, de manto deprimido de resalto alejado y de manto deprimido de resalto cercano. Se dice que el manto es "libre" cuando el agua derrama libre - mente en el aire, siendo el nivel de ella, en el canal de salida, más bajo que el de la cresta; es "deprimido" cuando no puede haber aire debajo del manto; y es "sumergido" cuando el nivel del agua en el canal de salida es mayor que el de la cresta. El manto se deprime cuando se coloca un vertedor a través de un canal de sección constante, siendo la cresta del mismo ancho -- que éste, pues si no se tiene la precaución de abrir en los bordes del canal, un poco adelante de la salida, ranuras o agujeros que comuniquen el aire exterior con la parte inferior del manto, al cabo de poco tiempo el aire existente debajo será expulsado parcial o totalmente. En los mantos deprimidos pueden presentarse tres casos: 1o. Si la carga es menor que cierto límite, el aire sólo será expulsado en parte. 2o. Si la carga es suficientemente grande para expulsar por completo el aire, y el resalto que se forma adelante está cerca de la salida, el agua cubrirá el pie del manto. 3o. Si el resalto se forma algo lejos a causa de fuertes pendientes en el canal, el pie del manto que dará libre. Todas estas indicaciones han sido tomadas de la -- obra de Bazin sobre los vertedores.

En cuanto a la forma geométrica de los vertedores, éstos pueden dividirse en rectangulares, trapezoidales y triangulares. Podría haber otras muchas formas, pero sólo las citadas han sido estudiadas experimentalmente hasta hoy.

En medidas de precisión sólo deberán emplearse los vertedores - de pared delgada, de contracción completa o totalmente suprimida en los lados, de manto libre y de forma rectangular.

La cresta deberá estar siempre perfectamente horizontal; y los bordes verticales; el vertedor se colocará normalmente a la corriente, y la carga habrá de medirse con el mayor cuidado un poco atrás de la cresta, pues el agua al derramar, forma una curva que se extiende hasta cierta distancia, la cual varía según diversas circunstancias; pero en lo general se puede ya medir a unos 0.60 m. ó 1 m atrás, para los pequeños vertedores; 0 a 2 ó 3 m, para los más grandes.

Para medir la carga con la mayor precisión posible, se puede - llevar el agua del canal alimentador a un pequeño depósito cercano, por medio de una cañería con sus extremos tapados y en la cual entre el agua por varios agujeros abiertos en el tubo. -- Así se conseguirá que el agua no tenga oscilaciones en el depósito, en donde podrá medirse la carga por medio de un "gancho - aforador" como el de Gurley, o por otro semejante. Este gancho consiste en una regla metálica graduada que desliza verticalmente entre guías fijas de madera y que está provista en su parte superior de un tornillo de aproximación, a fin de darle peque - ños movimientos. Las guías fijas están provistas de un vernier que permite apreciar fracciones muy pequeñas de la menor división de la escala; y en la parte inferior está adaptado un gancho.

La medida del gasto por medio de vertedores es la más generalmente usada cuando se desea cierta precisión, pero deberá procurarse que aquellos estén en condiciones adecuadas, evitándose que sean de pared ancha o de contracción incompleta, y que el manto se encuentre deprimido o sumergido.

Las condiciones que deben llenarse en la instalación de vertedores, a fin de conseguir con ellos la mayor precisión posible en la medida, son las siguientes:

1. La contracción deben ser completa tanto en la cresta como en los bordes o aristas verticales; es decir, sus distancias al fondo y paredes del canal deben ser mayores que dos veces y media la carga.
2. Si no se pudiera llenar esta condición se hará el vertedor del mismo ancho que el canal a fin de que haya completa supresión de contracción a los lados; pero la altura de la cresta sobre el fondo deberá ser mayor que dos veces y media la carga.
3. En los vertedores de contracción completa es conveniente que la longitud de la cresta exceda del doble o triple de la carga a fin de que las contracciones laterales no hagan que se formen remolinos en los hilos de agua que se juntan en el centro, cuando la longitud es pequeña con relación a la carga.

4. La cresta y aristas verticales deberán estar cortados a bisel en pared delgada; la primera tendrá que estar perfectamente horizontal y las segundas tendrá que ser verticales.

5. El vertedor deberá colocarse normal a la dirección de la corriente.

6. En los de contracción suprimida, el aire deberá tener acceso bajo el manto.

7. Para instalar un vertedor en un río o canal de tierra deberá escogerse un tramo rectilíneo, lo más largo posible, y nunca elegir una parte sinuosa o muy irregular. El lugar en que se coloque debe ser tal que el agua llegue a él con una velocidad casi uniforme.

8. Deberán evitarse los lugares en que haya, a corta distancia hacia atrás, un salto que produzca movimientos irregulares.

9. La altura de la cresta sobre el fondo tendrá que ser suficientemente grande, no sólo para que la contracción sobre aquella sea completa, sino también para disminuir la velocidad de llegada y para evitar que quede sumergido el vertedor.

10. En los vertedores de contracción suprimida deberán prolongarse las paredes del canal un poco adelante de la cresta; pero sin que se impida la entrada del aire.

11. En donde el agua entra al canal en una condición de turbulencia, deben ponerse pantallas o amortiguadores para quietar el escurrimiento. Estos dispositivos deben colocarse bien aguas arriba del vertedor.

La figura VI-3.7.4 muestra un vertedor utilizado en el Emisor Central y la tabla VI-3.7.1 los gastos que pasan.

Q (1 / ΔSeg , Bombeo de la lumbrera)

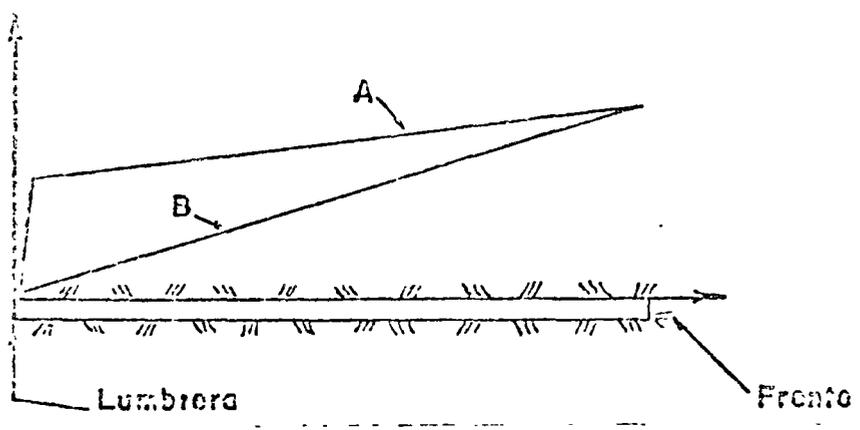


Fig. 2-3.101

C (1 / ΔSeg en un punto)

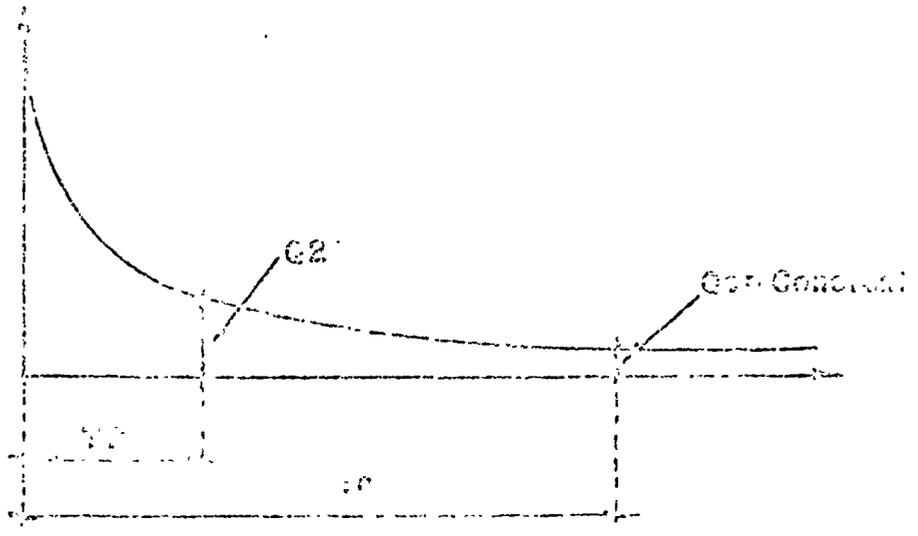


Fig. 2-3.102

TABLA PARA SELECCIONAR EL TIPO DE ZANJA

Costo q /seg.	TERRENO duro (roca)		TERRENO suelto	
	Fase de exc.	Fase de rev.	Fase de exc.	Fase de rev.
600	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
500				
400				
300				
200	A ₁	B ₂	C ₁	C ₂
200				
150				
100	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
50				
25				
12.5	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
00				

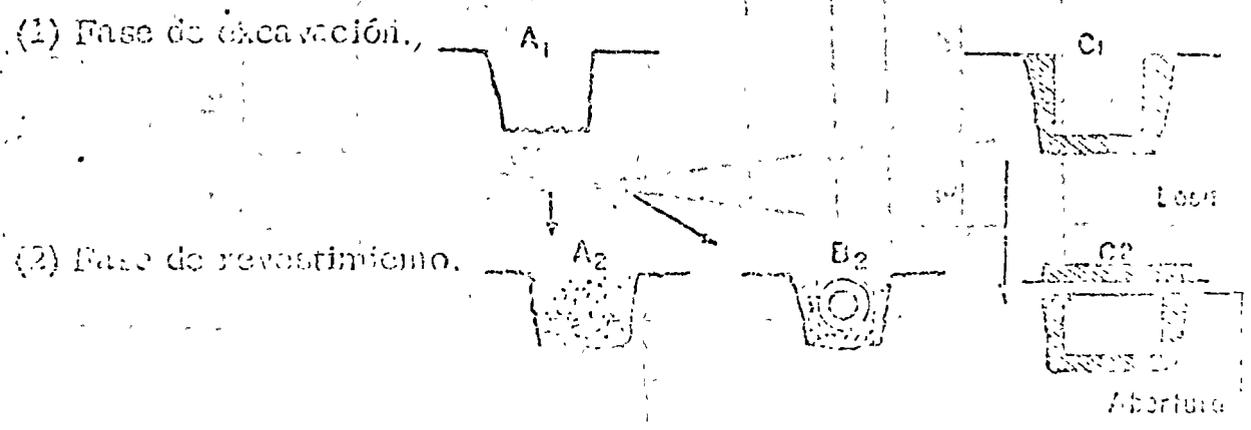


TABLA VI-3.2-1

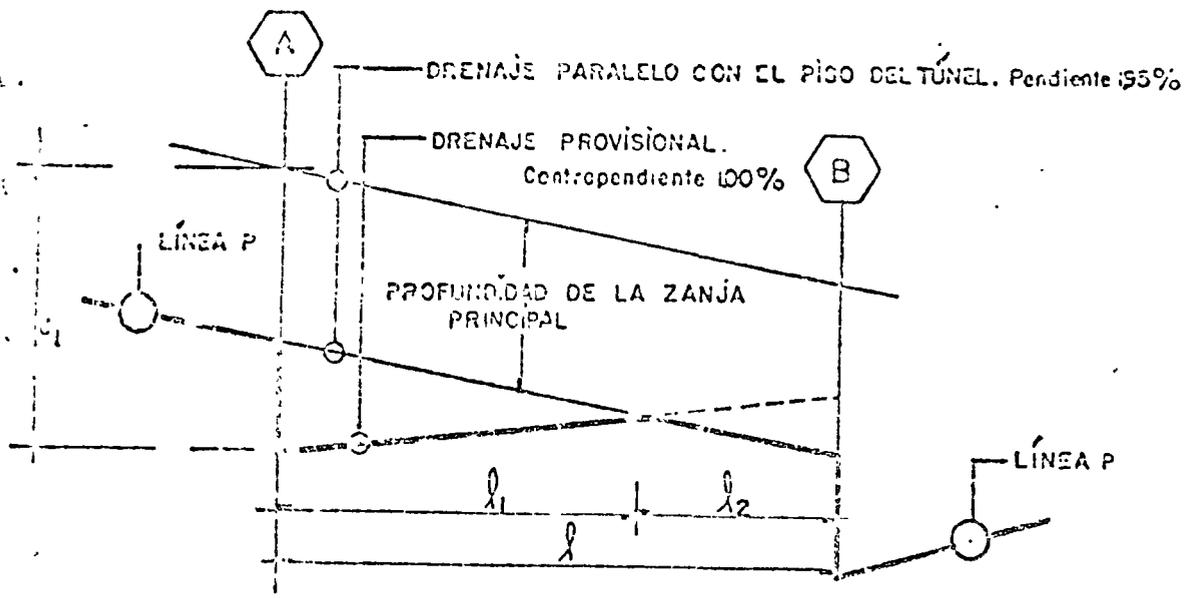


Fig. VI-3.2e1

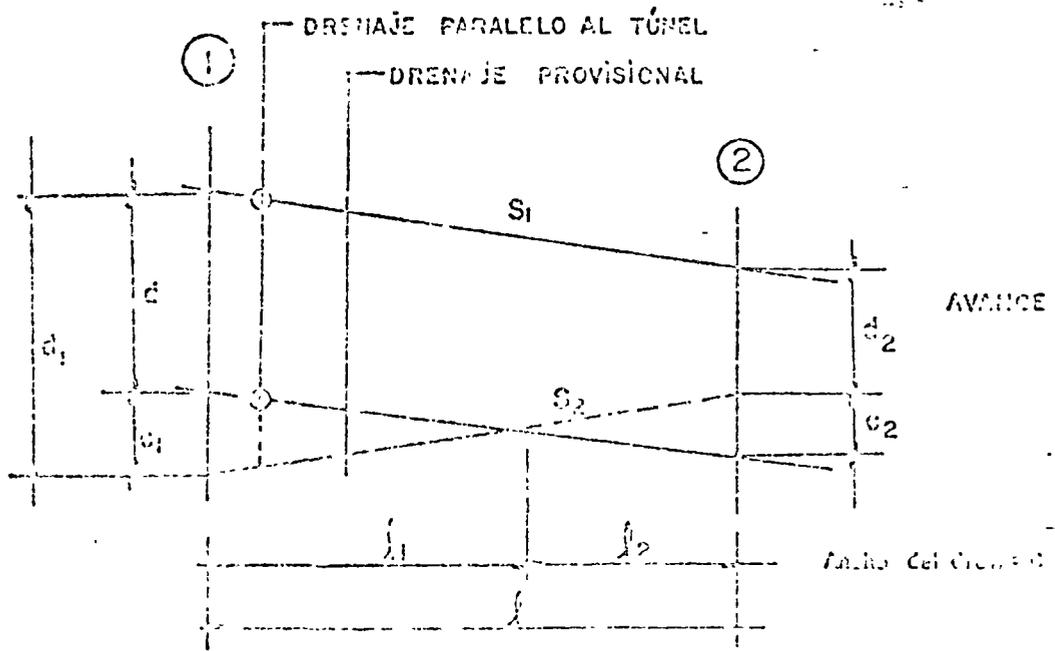


Fig. VI-3.2e2

TABLA PARA ESCOGER EL ANCHO Y LA PROFUNDIDAD DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ZANJA Y EL DIÁMETRO DE LA TUBERIA DE CONCRETO.

g. / seg.	TIPO DE LA ZANJA				
	A		B	C	
	Prof.	ancho	diámetro	prof.	ancho
600	---	---	---	80	75
500	---	---	---	65	75
400	---	---	---	75	60
300	---	---	---	60	60
200	---	---	---	45	60
150	---	---	---	40	60
100	50	60	16" (40 cm) *	35	60
50	40	50	13" (38 cm)	25	60
25	30	40	10" (25 cm)	20	60
C 12.5	25	40	---	--	--

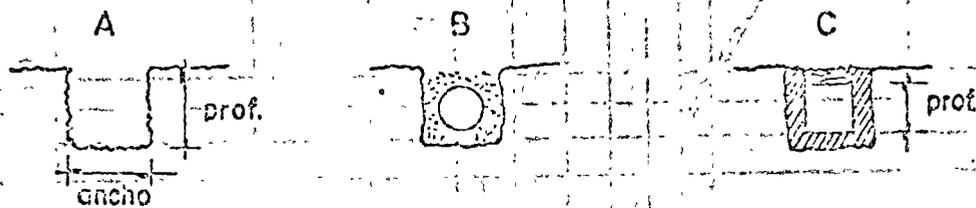
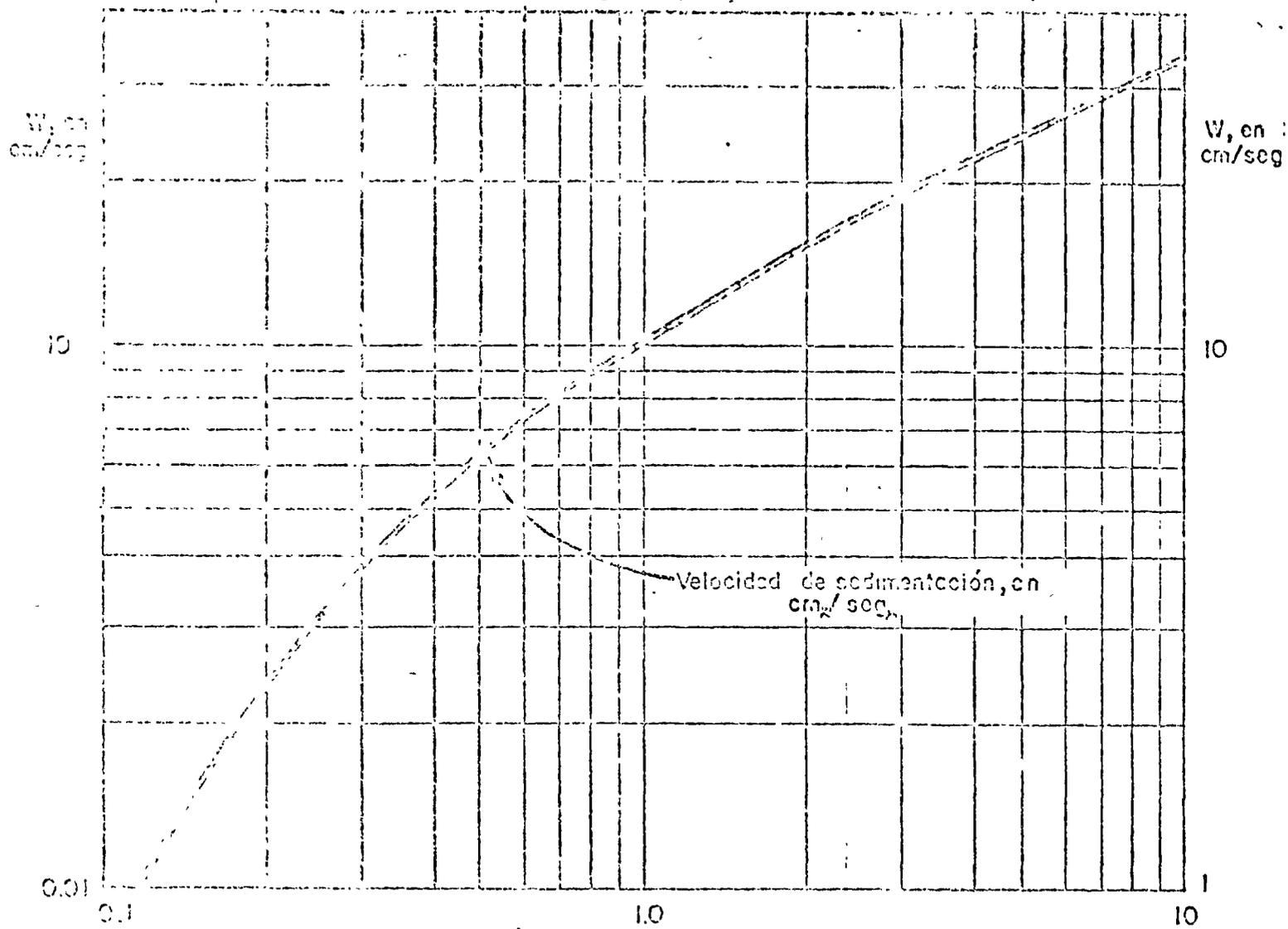


TABLA VI-3.2-2

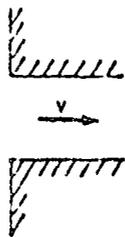
Gasto l/seg.	Profund. escogida de la zanja m.	l = 100 m.		l = 200 m.		l = 300 m.	
		d ₁ m.	d ₂ m.	d ₁ m.	d ₂ m.	d ₁ m.	d ₂ m.
25	0.30	0.50	66	0.79	106	1.09	265
50	0.30	0.56	55	0.86	155	1.15	255
100	0.50	0.63	43	0.92	143	1.22	243
150	0.40	0.56	55	0.86	155	1.15	255
200	0.45	0.60	49	0.89	149	1.19	249
300	0.60	0.70	32	0.99	132	1.29	232
400	0.75	0.80	15	1.09	115	1.39	215
500	0.65	0.73	26	0.73	126	1.02	236
600	0.80	0.83	9	1.12	109	1.42	209

TABLA VI-3.2-3



Velocidad de sedimentación, W , para diferentes tamaños de granos de guerra, según Ruboy.

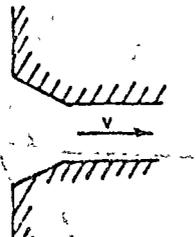
Fig. VI-3.34



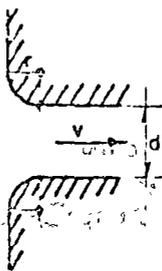
a) $K = 0.5$



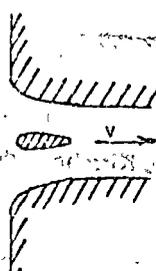
b) $K = 0.5 + 0.3 \cos \theta + 0.2 \cos^2 \theta$



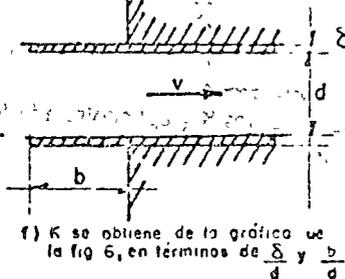
c) $K = 0.15$ a 0.25



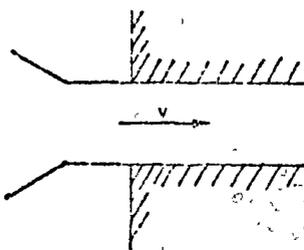
$K = 0.15$ a 0.06 Si $\frac{r}{d} < 0.15$
 $K = 0.08$ a 0.27 Si $\frac{r}{d} \geq 0.15$



e) $K = 0.06$ a 0.10



f) K se obtiene de la gráfica de la fig 6, en términos de $\frac{\delta}{d}$ y $\frac{b}{d}$



$K = 0.5$

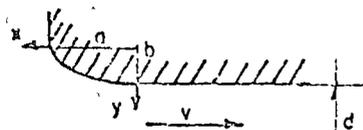


Fig. VI-3.4-1.1

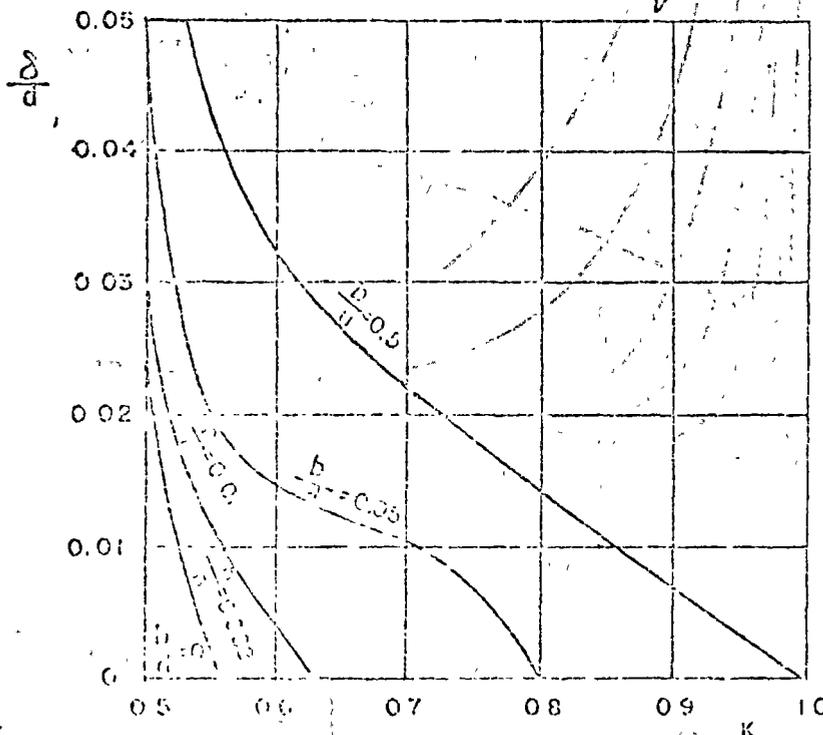
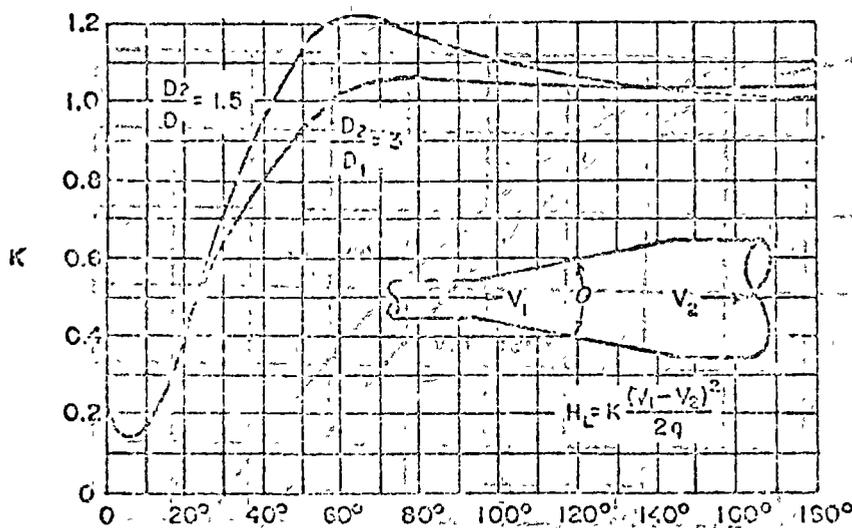


Fig. VI-3.4-1.2

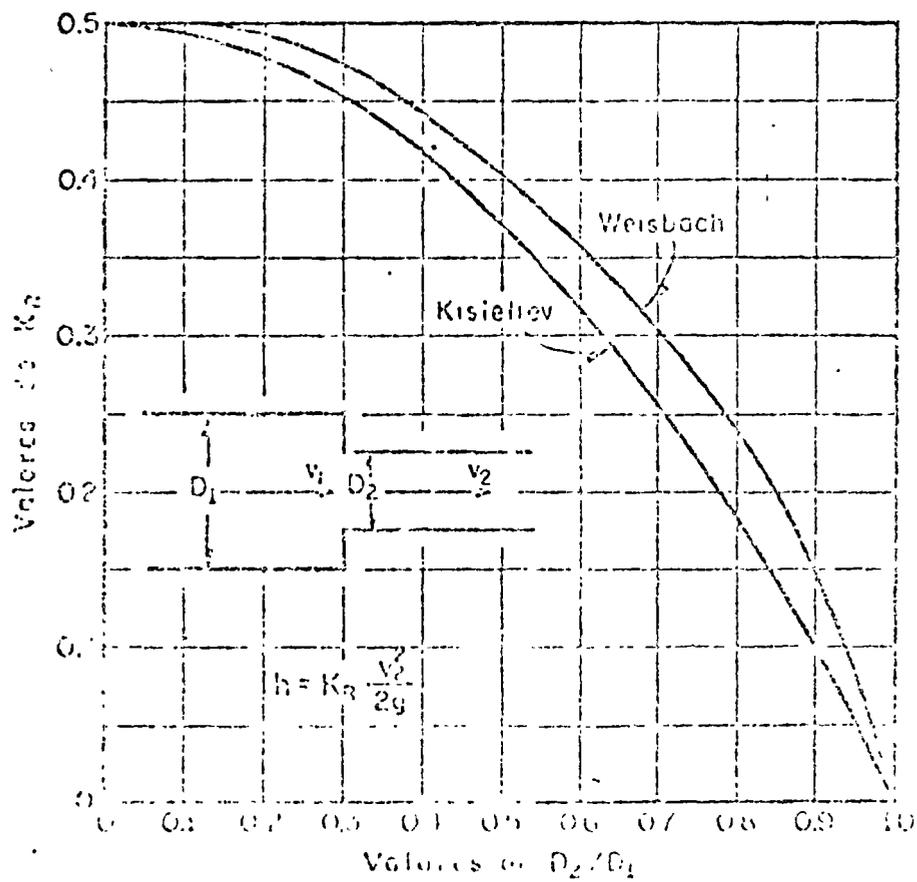


Coefficiente de pérdida para ampliaciones graduales.

Fig. VI-3.4-3.1

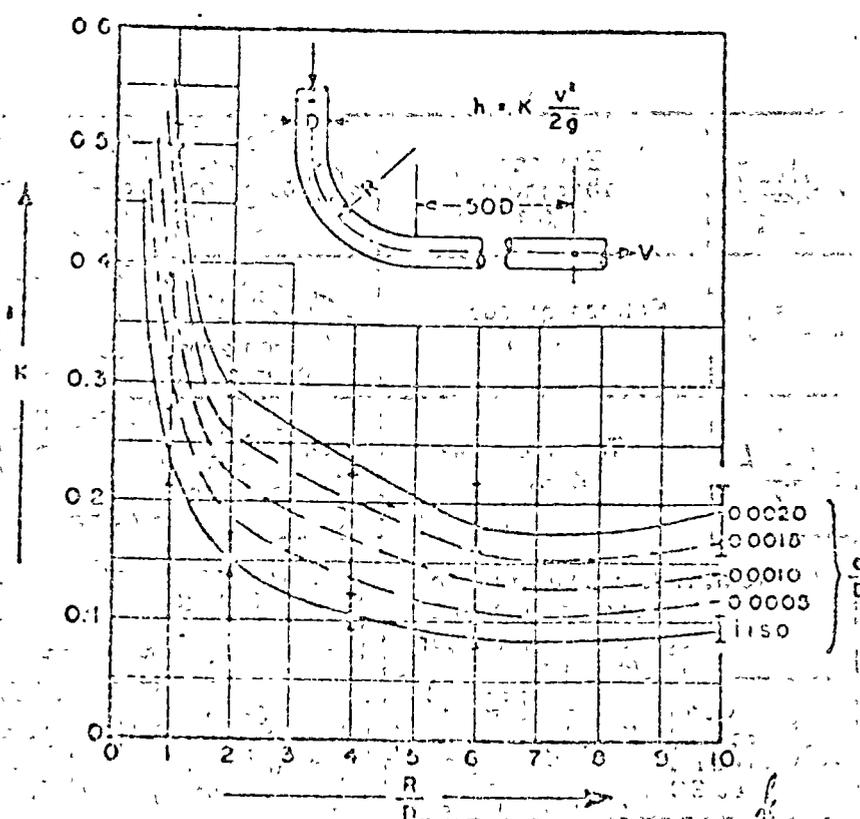
θ	4 a 5°	7°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	
Kr	0.06	0.065	0.16	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.35

Tabla VI-34-4.1

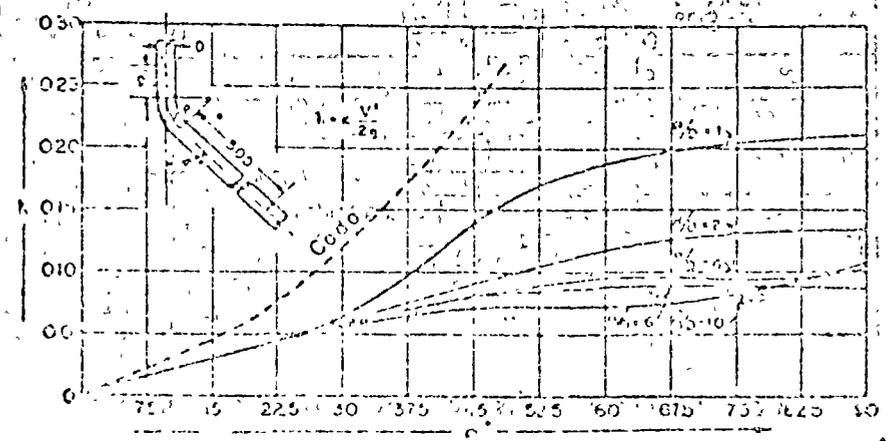


Pérdida de carga en una contracción brusca

Fig. VI-34-4.1



a) Coeficientes de pérdida para curvas de 90° y diámetro constante. Fig. 3.4-5.1



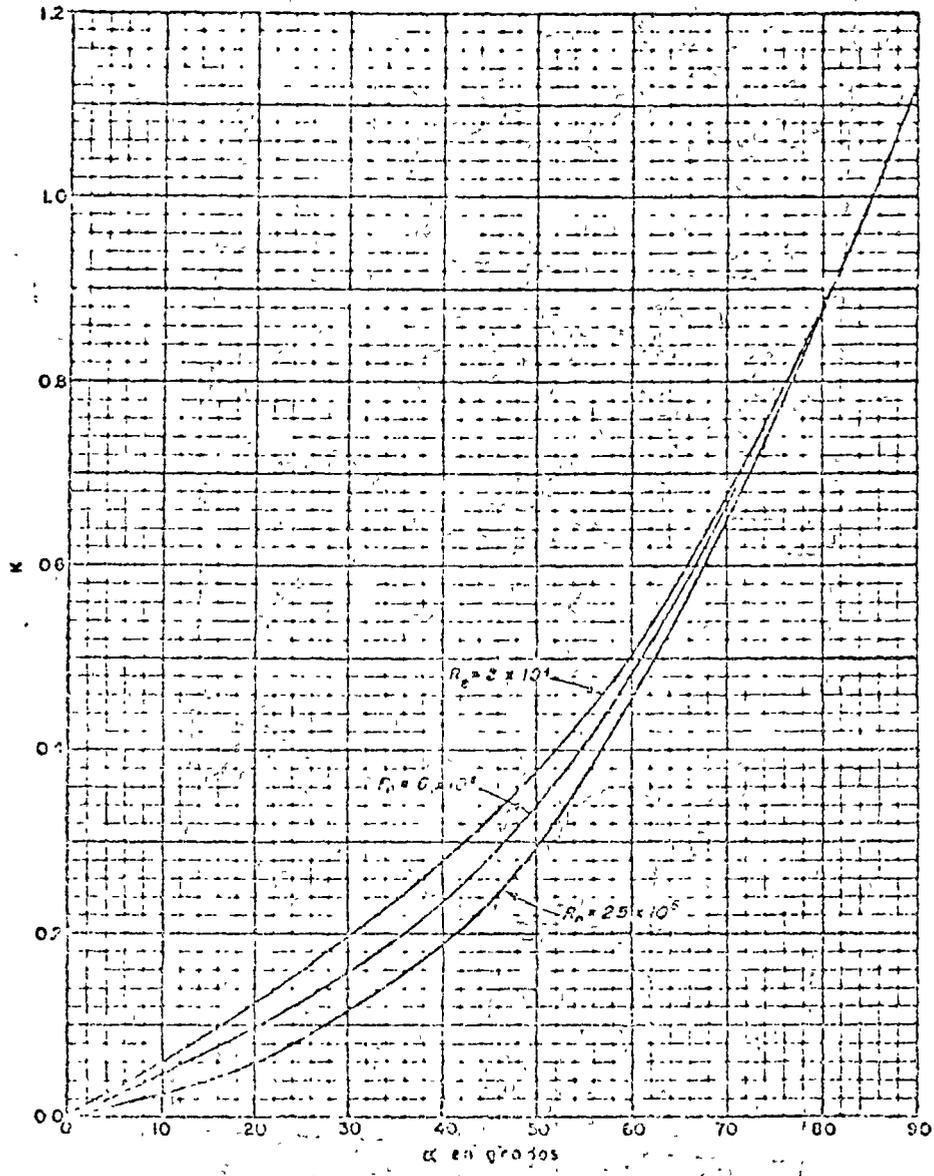
b) Coeficientes de pérdida en curvas de diámetro constante con superficie lisa y número de Reynolds de 2.25×10^4 . Fig. 3.4-5.2

	<p>Entrada abocinada K = 0.03</p>	<p>Codo roscado normal de 45°</p>
	<p>Entrada afilada K = 0.5</p>	<p>Codo de 45° de arco redio con bridas</p>
	<p>Tubo reentrante K = 1.0</p>	<p>Codo de 180° roscado</p>
<p>Nota: K decrece al aumentar el espesor de la pared del tubo y redondear las aristas.</p>		<p>Codo de 180° con bridas</p>
	<p>Codo roscado regular de 90°</p>	<p>En la dirección del flujo principal</p>
	<p>Codo de 90° roscado con bridas</p>	<p>Flujo lateral</p>
	<p>Codo regular de 90° con bridas</p>	<p>En la dirección del flujo principal</p>
	<p>Codo de 90° de arco redio con bridas</p>	<p>Flujo lateral</p>

Coefficientes de pérdida poro válvulas y uniones.

$L = K \cdot \frac{V^2}{2g}$ pérdida de carga en m

Fig. A1-3.4-5.3



Ecuación básica

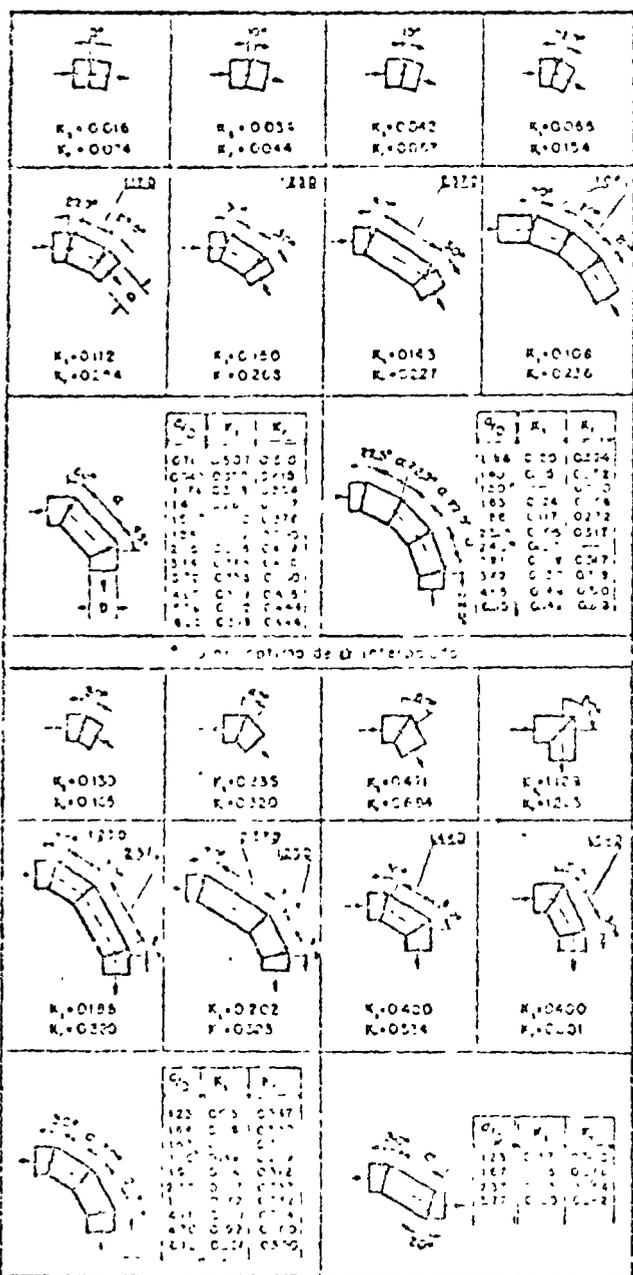
donde $K = \frac{\Delta P}{\rho \frac{V^2}{2}}$
 K = Coeficiente de pérdidas por codo
 ΔP = Carga perdida en el codo



CODOS

Coefficiente de pérdidas por codos, K

Fig. III-3.4-5.4

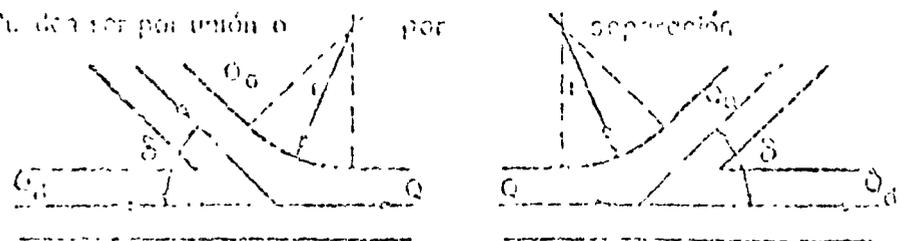


Coefficiente de pérdida para curvas, con- puestas y número de Reynolds de 2.25×10^5

Perdidas por bifurcación

Perdida por unión o por

separación



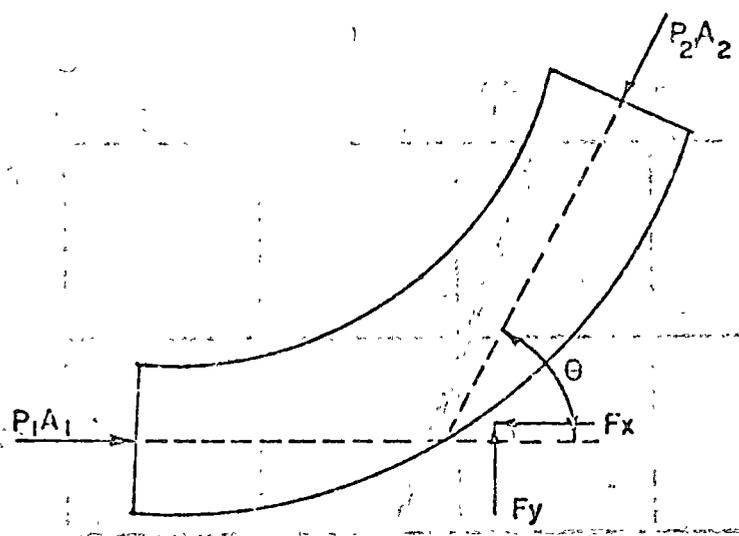


Fig. VI-3.4-8.1

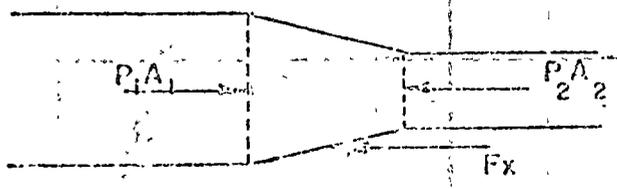


Fig. VI-3.4-8.2

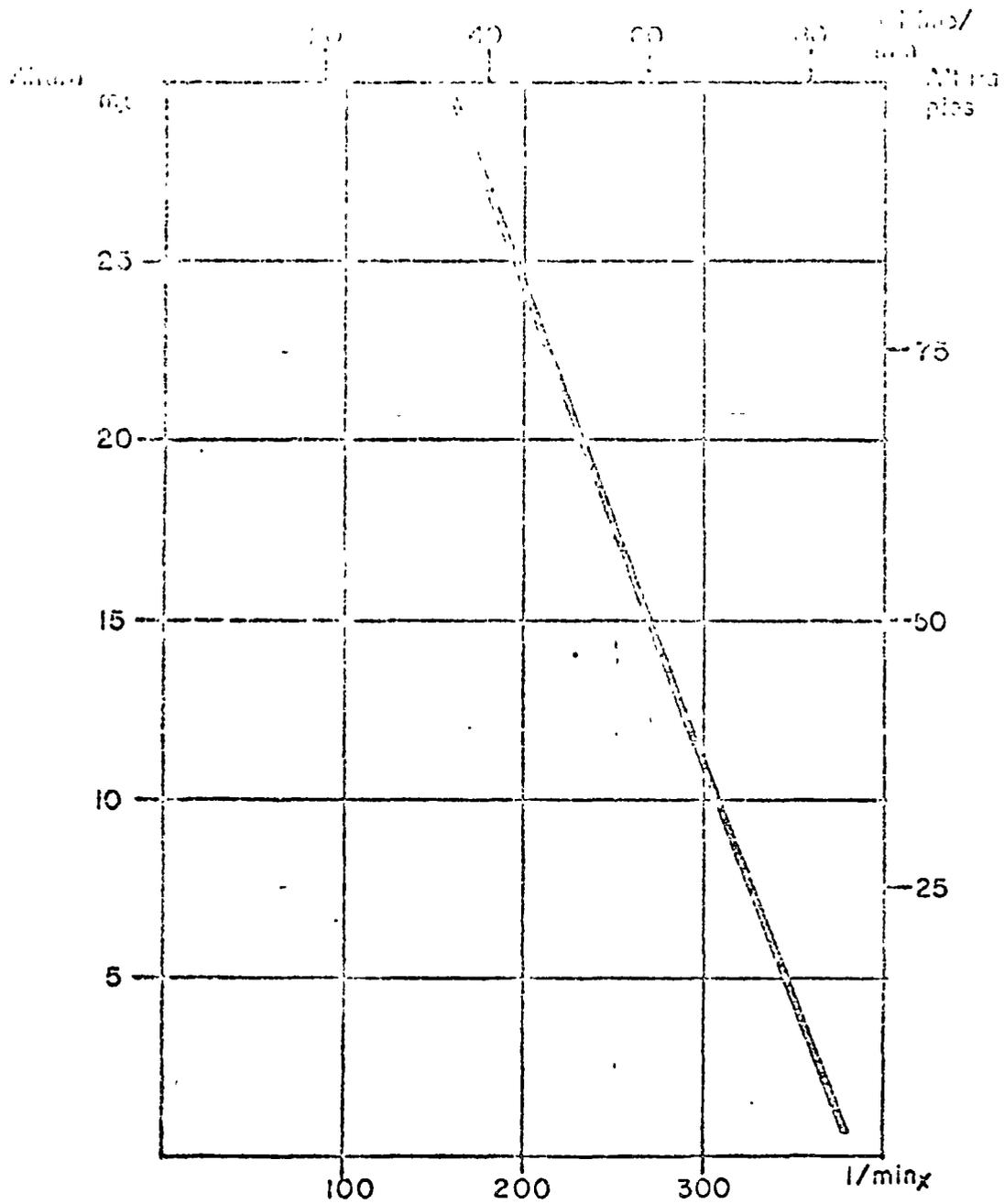


Fig. VI-3.5 -1.1

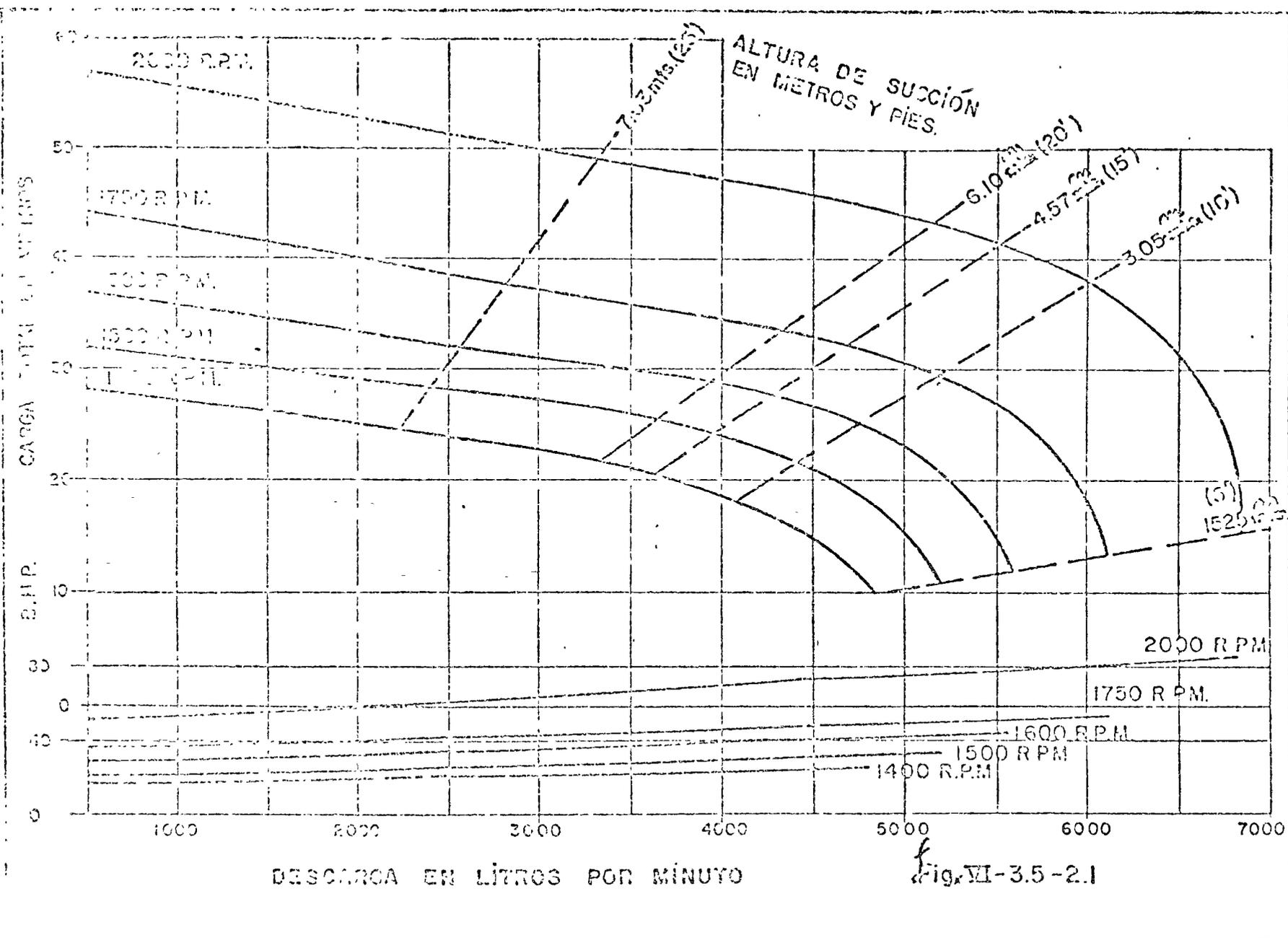
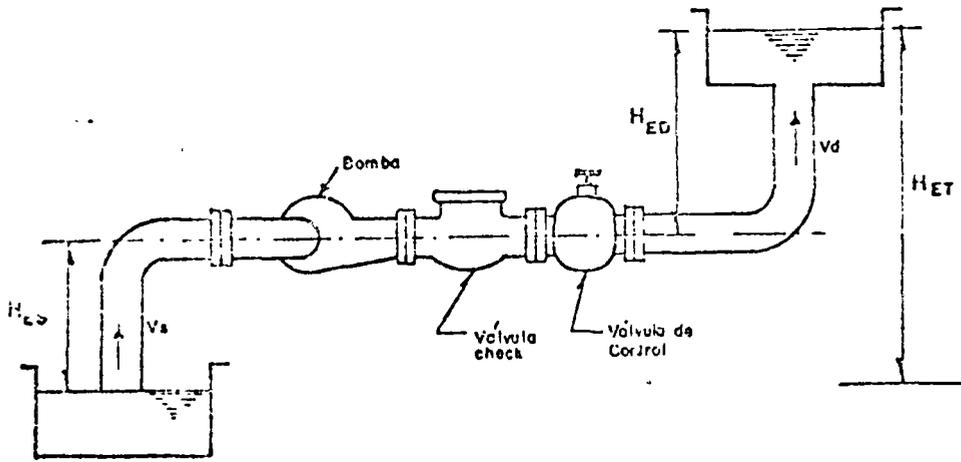


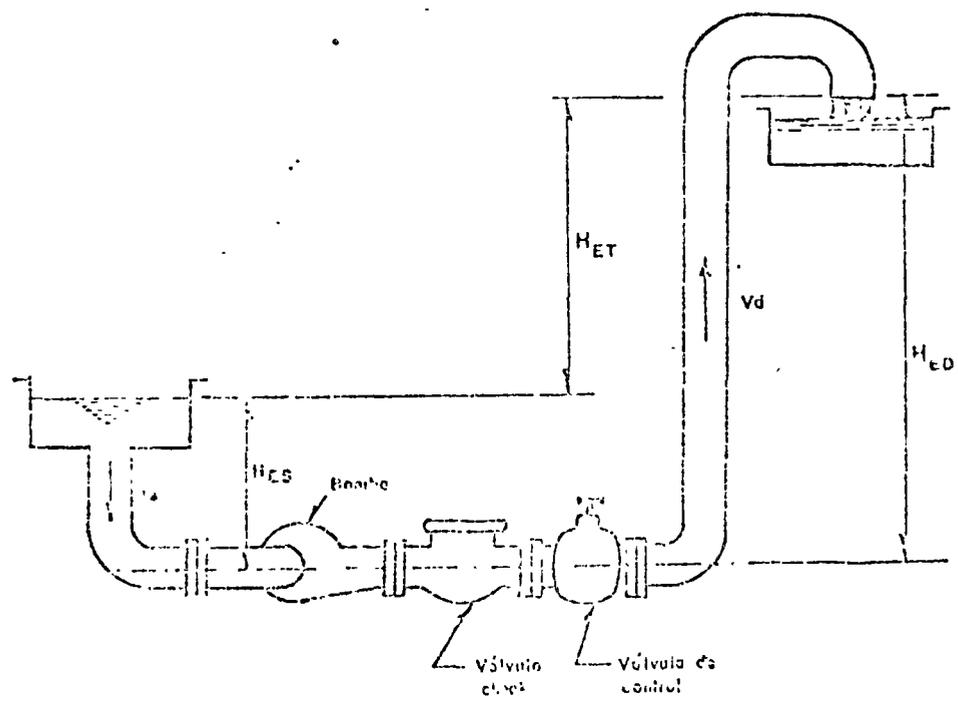
Fig. VI-3.5-2.1

100



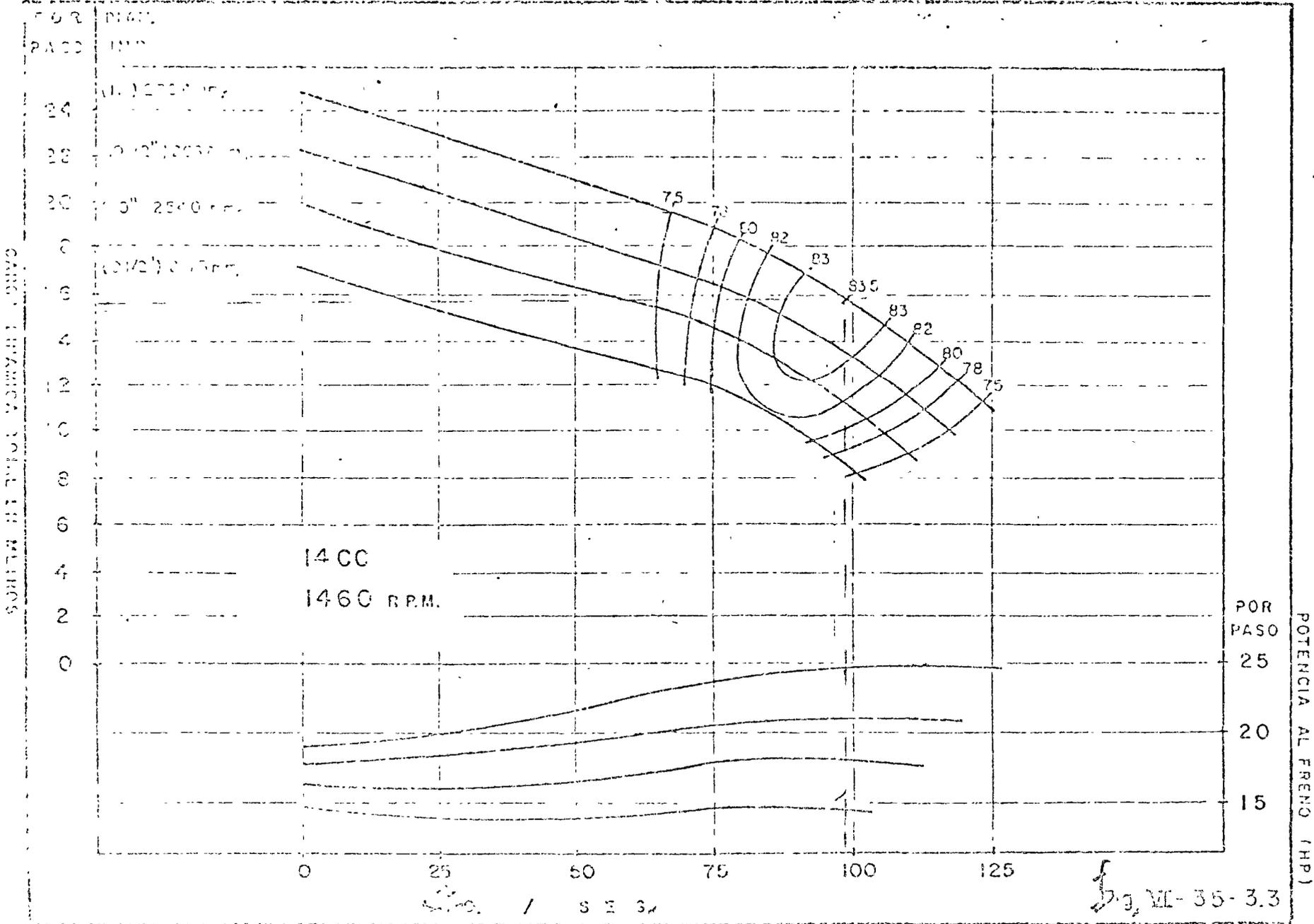
Sistema de bombeo con carga negativa de succión y descarga ahogada.

Fig. VI-3.5-3.1

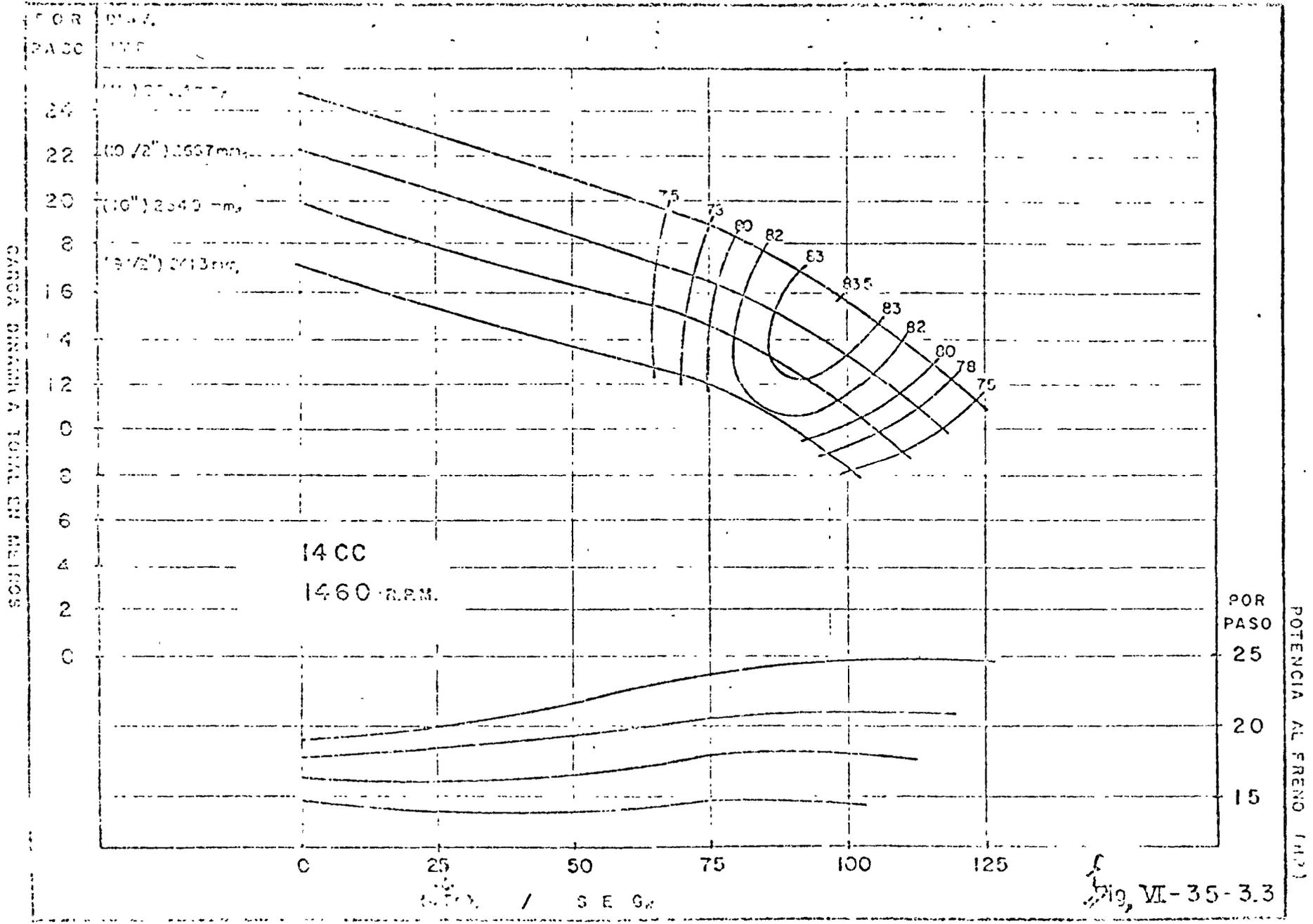


Sistema de bombeo con carga positiva de succión y descarga libre.

Fig. VI-3.5-3.2



Bomba inyección NCC



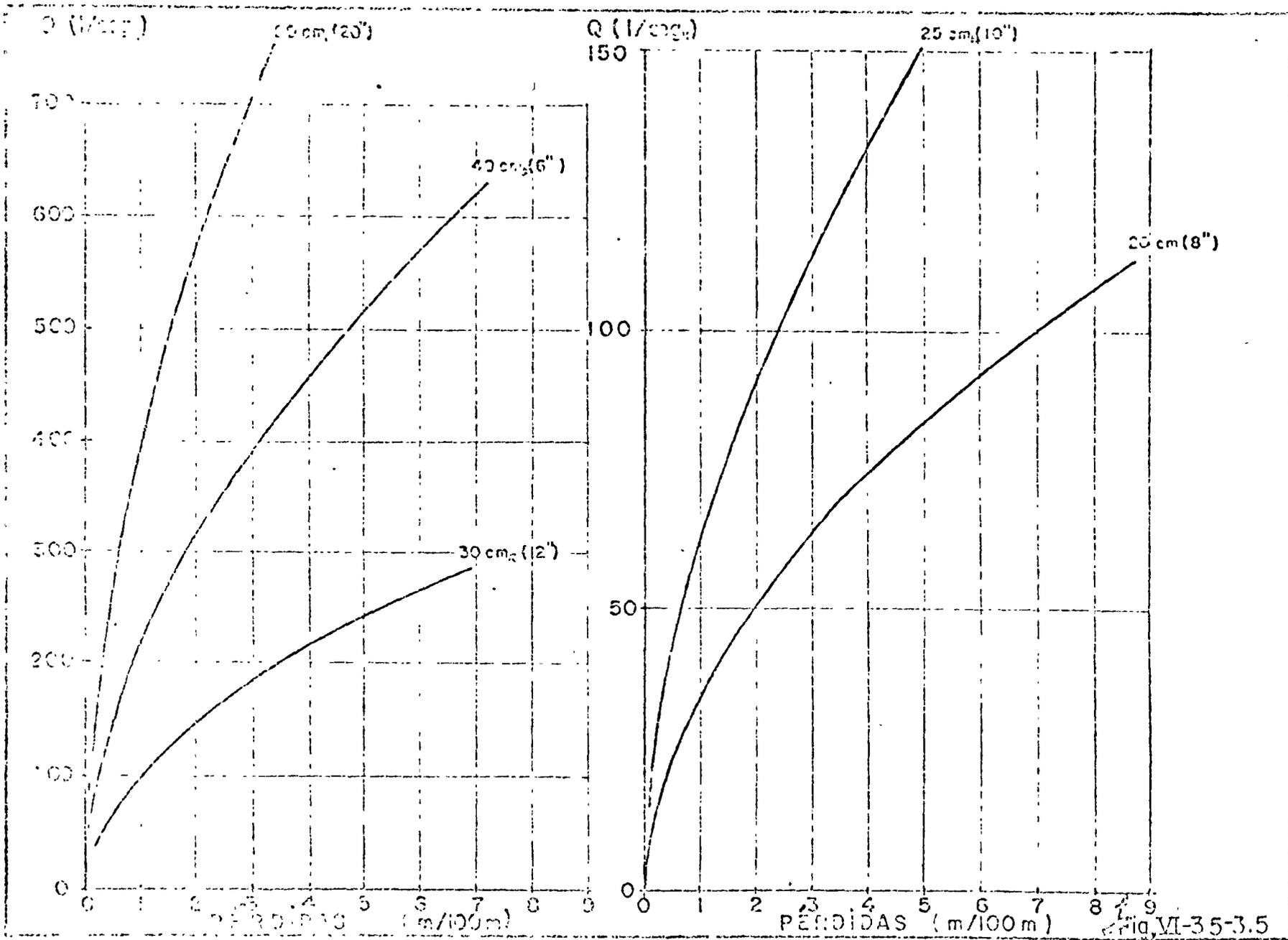


Fig. VI-35-3.5

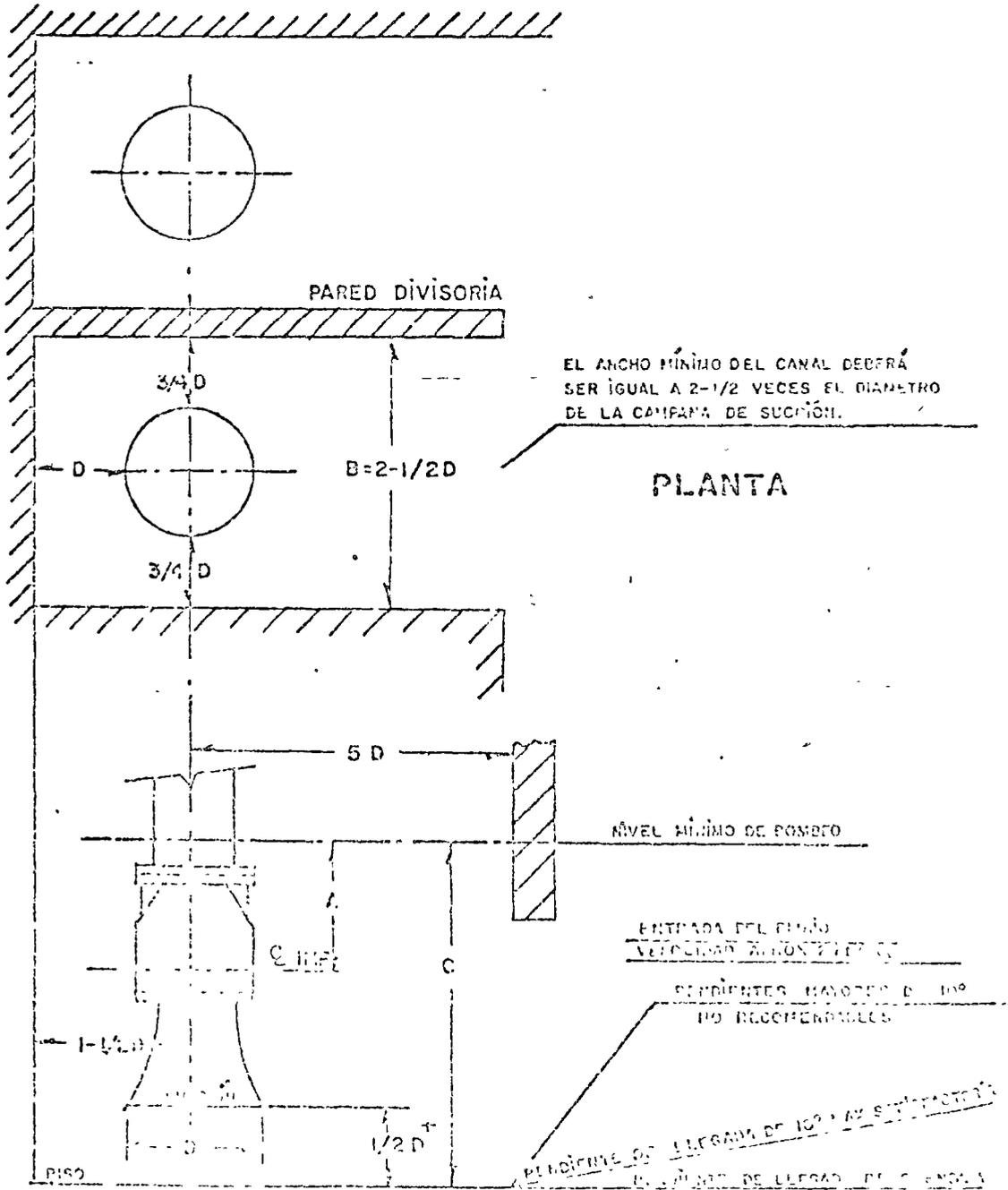


Fig. No. 3.6-1

G (1/cm)

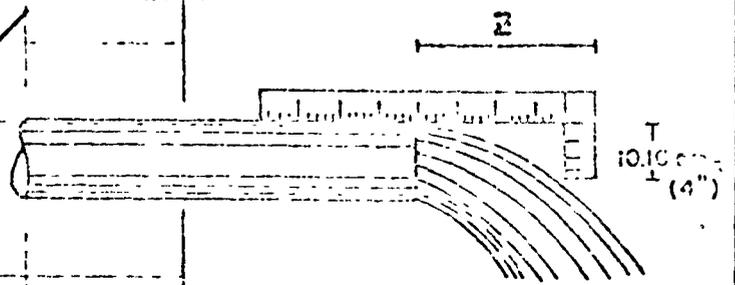
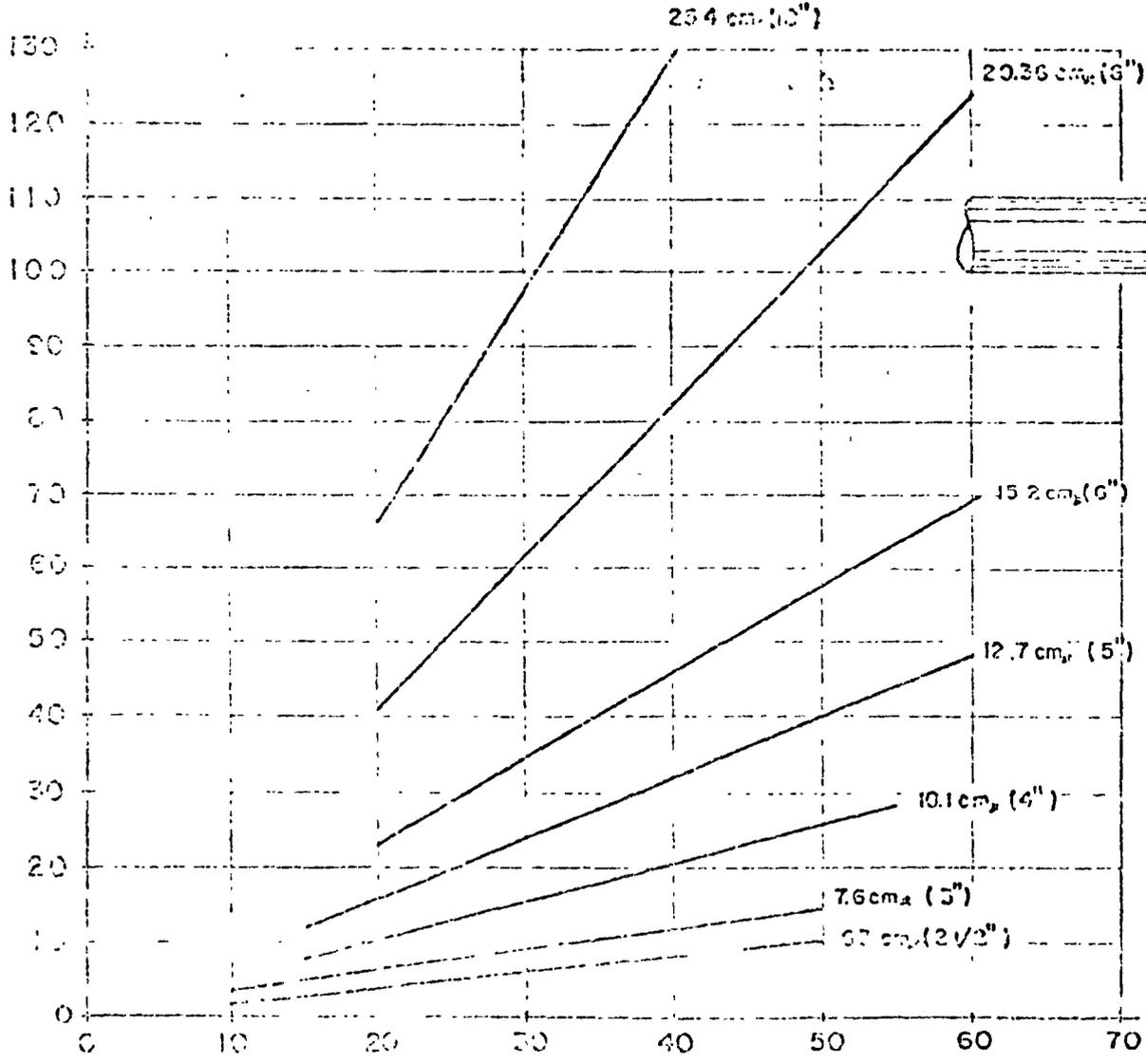
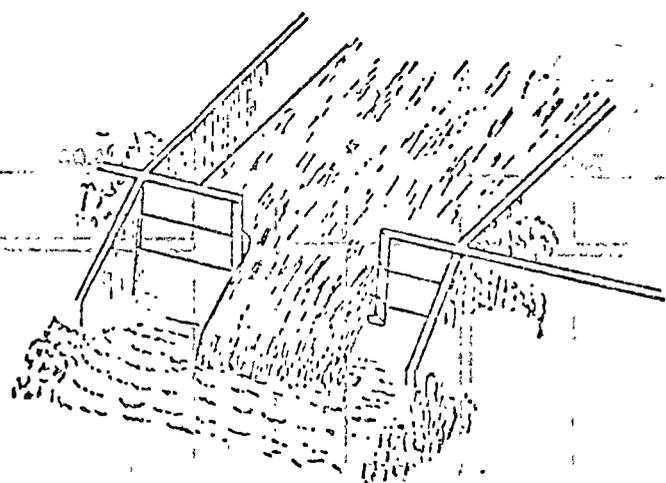
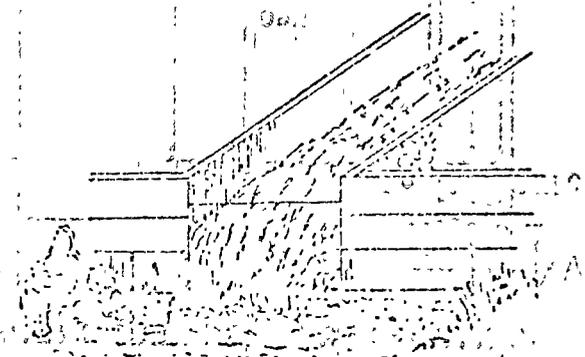
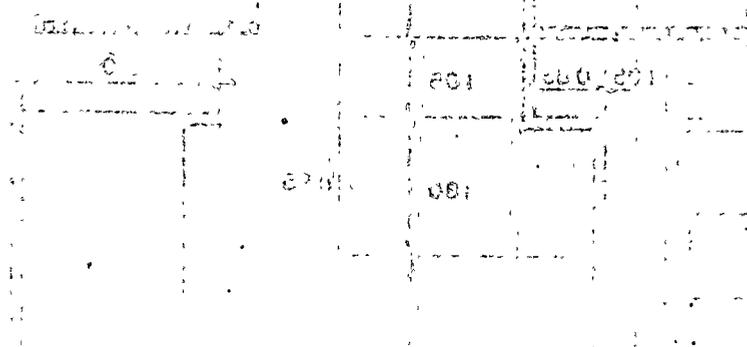


Fig. VI-3.7°



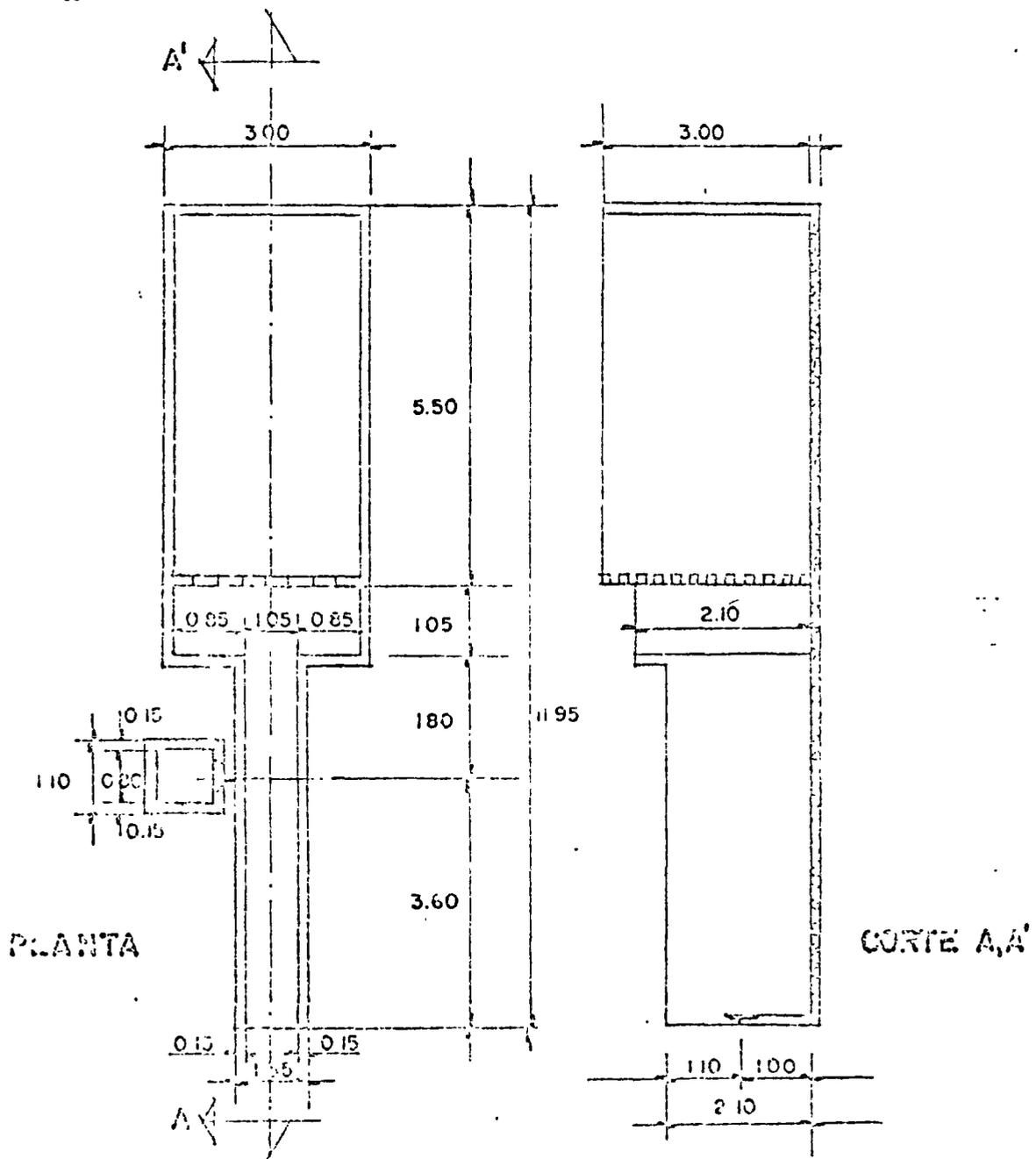
VERTEDOR DE CONTRACCION COMPLETA

Fig. VI-3.7*2



VERTEDOR SIN CONTRACCION

Fig. VI-3.7*3



VENTEDOR G-3 DE LUMBRERA 14 E.C.

279.11-5.704

248109

248109

DERRAME SOBRE UN VERTEDOR RECTANGULAR DE PARED DELCADA
 CON LONGITUD DE CRISTA DE 1.05 m. VERTEDOR DE LA GALERIA
 No. 3 LUMBRERA DEL PASO CENTRAL

CARGA EN	Q	CARGA EN	Q	CARGA EN	Q
cm _s	litros/seg.	cm _s	litros/seg.	cm _s	litros/seg.
1.0	2.1	21.0	187.0	41.0	523.0
1.5	4.2	21.5	193.0	41.5	533.0
2.0	5.3	22.0	201.0	42.0	542.0
2.5	8.4	22.5	207.0	42.5	548.0
3.0	10.5	23.0	214.0	43.0	559.0
3.5	12.6	23.5	222.0	43.5	569.0
4.0	16.0	24.0	229.0	44.0	581.0
4.5	19.0	24.5	236.0	44.5	591.0
5.0	22.0	25.0	244.0	45.0	601.0
5.5	25.0	25.5	251.0	45.5	611.0
6.0	28.0	26.0	258.0	46.0	623.0
6.5	33.0	26.5	266.0	46.5	632.0
7.0	36.0	27.0	274.0	47.0	643.0
7.5	40.0	28.0	281.0	47.5	653.0
8.0	44.0	28.0	290.0	48.0	665.0
8.5	48.0	28.5	297.0	48.5	675.0
9.0	53.0	29.0	306.0	49.0	685.0
9.5	57.0	29.5	314.0	49.5	695.0
10.0	61.0	30.0	321.0	50.0	707.0
20.5	67.0	30.5	330.0		
11.0	70.0	31.0	338.0		
11.5	76.0	31.5	348.0		
12.0	80.0	32.0	355.0		
12.5	85.0	32.5	363.0		
13.0	90.0	33.0	373.0		
13.5	96.0	33.5	381.0		
14.0	101.0	34.0	390.0		
14.5	116.0	34.5	399.0		
15.0	112.0	35.0	407.0		
15.5	118.0	35.5	417.0		
16.0	124.0	36.0	426.0		
16.5	129.0	36.5	435.0		
17.0	135.0	37.0	445.0		
17.5	142.0	37.5	454.0		
18.0	148.0	38.0	463.0		
18.5	154.0	38.5	473.0		
19.0	161.0	39.0	482.0		
19.5	167.0	39.5	491.0		
20.0	173.0	40.0	501.0		
20.5	180.0	40.5	510.0		

Tabla VI-3.7*1x

BOMBAS CENTRIFUGAS

Partes integrantes de la bomba

Esencial, constan de dos partes.

Elemento móvil, está formado de uno o varios impulsores acoplados directamente a la flecha.

Carcasa.- Es una fundición, que puede ser integral o en partes, está constituida por una voluta con brida de descarga, apoyos, soportes de los cojinetes, colector de goteo con caja de prensa estopas, y conductos de alimentación con brida de succión.

Clasificación general.-

Por la forma en que circula el flujo a través del impulsor, -- las bombas se agrupan en las siguientes clases:

de flujo radial o centrífugas propiamente dichas $N_s < 4\ 200$.

de flujo mixto; $4\ 200 < N_s < 9000$

de flujo axial $N_s > 9000$

donde N_s es la velocidad específica

La velocidad específica indica la forma y características de los impulsores de las bombas, en el rango de operación de máxima eficiencia. Determina la adaptabilidad de la bomba a un sistema de bombeo dado y permite establecer en forma bastante precisa las limitaciones en la rama de succión.

Tipos de bombas centrífugas

Al seleccionar el equipo para un sistema de bombeo, se deberán tomar en consideración las características constructivas de las bombas, que definen su aplicación específica. Este aspecto es importante en cuanto a la economía de los sistemas de bombeo.

El tipo de una bomba se define por las siguientes características constructivas:

- a) Número de pasos o impulsores en serie
 - de un paso
 - de varios pasos

- b) Tipo de Carcaza
 - de voluta
 - de Cámara circular
 - con difusores

- c) Tipo de ensamble de la carcaza
 - de fundición integral o partidas radialmente
 - partidas axialmente.

- d) Tipo de impulsor
 - cerrado
 - semiabierto
 - abierto

- e) Posición de la flecha matriz
 - horizontal
 - vertical

- f) Tipo de succión
 - simple
 - doble

- g) Materiales de construcción
 - fierro fundido
 - aditamentos de bronce
 - bronce
 - bronce de características metalurgicas específicas
 - aditamentos de acero inoxidable
 - acero inoxidable.

- h) Por el uso específico a que están destinadas
 - de uso general
 - de pozo seco
 - de pozo profundo
 - autocebante
 - regenerativa
 - sumergible

Tamaño nominal de las bombas

El tamaño nominal de una bomba se especifica por el diámetro de la brida de descarga, pero en ningún caso determina la ca-

pacidad de la misma.

Sentido de rotación de la flecha matriz

El sentido de rotación tiene mucha importancia en la selección de una bomba, ya que fija la disposición de las bridas de succión y descarga, que a su vez determinan el diseño de la instalación de tuberías dentro de la casa de máquinas.

Curva de cargas del sistema de bombeo.

Es una gráfica que relaciona la carga total con el gasto que suministra el equipo de bombeo.

Carga de succión positiva neta (C S PN)

Es la energía necesaria para conducir un gasto dado a través de la tubería de succión, hasta los conductos del impulsor CSPN disponible.

Depende únicamente de las dimensiones y formas de la instalación de succión.

Para cálculos la CSPN disponible se necesita antes conocer la carga neta de succión - Se expresa como

$$H_{NS} = \frac{P_a}{\gamma} - (H_{ES} + H_{fs})$$

H_{ES} = altura estática de succión.

H_{fs} = pérdidas totales en la tubería de succión

H_{NS} = carga neta de succión

P_a/g = presión atmosférica en el lugar de bombeo expresada en altura de agua.

Luego la CSPN disponible es:

$$CSPN = H_{NS} - \frac{P_v}{g}$$

en que P_v es la presión de vapor del agua a la temperatura de bombeo, (véase curva).

CSPN requerida

Es la energía con que debe entrar un líquido en los alabes del impulsor, para que la bomba funcione correctamente, es función de la N_s y de las características constructivas del impulsor - Los fabricantes incluyen la gráfica correspondiente dentro de las curvas características de las bombas.

Limitaciones en la rama desucción.

a) Si la CSPN disponible es menor que la CSPN requerida, - se producen los siguientes fenómenos perjudiciales:

- 1) La energía en la rama de succión es insuficiente - para conducir el gasto que bombea el impulsor a -- través de sus alabes, dando origen a un bombeo con intermitencias y fuertes vibraciones.

2) Para suplir esta energía, la presión absoluta en la rama de succión disminuye más bajo de la presión de vapor del líquido, con lo cual se forman cavidades de vapor que originan la rotura de la columna de succión, interrumpiéndose así el bombeo, o provocando el fenómeno de cavitación.

b) Velocidad específica máxima permisible.

Aun cuando se satisfaga la condición a), para que la bomba funcione correctamente para cada condición de carga neta de succión y carga neta total del sistema de bombeo, la N_s de funcionamiento no deberá ser mayor que la N_s máxima permisible.

c) Presión de vapor del líquido.

La presión mínima absoluta permisible en la rama de succión deberá ser siempre mayor que la presión de vapor del líquido bombeado, para evitar que se interrumpa súbitamente el bombeo o se presenten fenómenos de cavitación. Se satisface con la limitación a)

Velocidad específica

Se expresa por medio de:

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

H = carga total en pies.
Ns = velocidad específica en r.p.m.
N = velocidad angular. en r.p.m.
Q = gasto en gal/min

Curvas Características de Bombas

Suministran la siguiente información

Curva de gastos. Establece el punto o los puntos de Operación de la bomba para los pares de valores (H-Q) del sistema.

Curva de potencias.- Da los consumos de energía en el rango - de operación que fija la curva de gastos.

Curva de eficiencias.- Determina la adaptabilidad de la bomba al sistema, en el rango de operación que fija la curva de gas tos.

Curva de CSPN requerida.- Determina las condiciones en el ran go de operación mencionado.

Tipos de estaciones de Bombeo primarias

a) Estaciones de una cámara

Constan de un cárcamo de bombeo para alojar las tuberías de succión de las bombas. Generalmente se usan bombas verticales montadas directamente sobre el brocal del cárcamo. La instalación del equipo puede hacerse bajo techo a la intemperie.

b) Estaciones de dos cámaras

Consisten en una cámara seca donde se instalan las bombas con sus accesorios de protección y control, y de un cárcamo de bombeo inmediato a ésta, separadas por un muro de contención. Se usan indistintamente bombas horizontales o verticales.

La instalación es bajo techo.

Dimensiones de las cámaras.

a) Cámara seca.

Se dejarán los espacios siguientes:

- I) Separación mínima entre unidades tal que permite la circulación entre ellas para su inspección y reparación.
- II) Espacio para las válvulas de control y los dispositivos de amortiguación del golpe de arietes. Estos quedan alojados sobre la tubería de descarga inme -

diatamente después de la brida de descarga de la -
bomba. Se dejará espacio suficiente para reparar
y maniobrar las bombas.

III) Lugar para los tableros de control. Se localizan
generalmente junto a los muros de la casa de máqui-
nas. Se dejará espacio suficiente para la circula-
ción de los operadores.

IV) Espacio para tubo de paso o derivación. Se usan
unicamente con sistemas de operación continua y -
factor de carga variable, para evitar la frecuen-
cia de arranque y parada de las máquinas. Se lo-
calizan paralelamente a las tuberías de descarga.

V) Apoyos y atraques. Se encuentran en los cambios
de dirección, por debajo y a los lados de las tube-
rías de descarga. Se dimensiona con base en la -
ley del impulso.

VI) Espacio para el múltiple de descarga si se aloja
dentro de la casa de máquinas. Generalmente que-
da localizada lateralmente a este en el exterior.

u) Carcamo de bombeo.

I) La separación mínima entre tuberías de succión de

berá tener dos veces y media el diámetro de éstas, pero en tal forma que la velocidad de acceso del agua en el cárcamo no sea mayor de 0.60 m/seg.

- II) La separación mínima entre la pared de las tuberías y el paño del cárcamo deberá ser igual o mayor que un diámetro de estas, pero no menor de 0.30 m.
- III) La separación entre la boca de la tubería de succión y el fondo del cárcamo deberá ser igual a $3/4$ del diámetro de estos.
- IV) El nivel mínimo permisible de sumersión del impulsor, para evitar la entrada de aire al tubo de succión, deberá ser igual o mayor que dos diámetros de la tubería de succión, pero en tal forma que la profundidad desde la superficie libre del agua al fondo del cárcamo no sea menor de 10 veces el área de la tubería de succión.
- V) La alimentación del cárcamo de bombeo deberá hacerse normalmente a la línea de centros de las tuberías de succión. Nunca se alimentará longitudinalmente a esta.

Recomendaciones generales de instalación

- a) Nunca se deberán usar tuberías de diámetros meno-

res que el de las bridas de succión y descarga de las bombas.

- b) El diámetro de la tubería de succión deberá ser -- siempre mayor, o cuando menos igual que el de la tubería de descarga.
- c) Usense siempre relaciones excéntricas hacia abajo en la zona horizontal de la tubería de succión, - para evitar la formación de bolsas de aire y ruptura de la columna.
- d) Las reducciones en la tubería de succión y las ampliaciones en la de descarga, deberán ser graduales, para evitar excesos de turbulencia y pérdidas menores.
- e) Las tuberías de succión y descarga deberán tener - un mínimo de accesorios, las instalaciones complicadas traen consigo altos consumos de energía.
- f) La tubería de succión se deberá colocar horizontalmente, o con pendiente ascendente hacia la brida de succión.
- g) Nunca se deberá poner un codo horizontal inmediatamente antes de la brida de succión de bombas de doble succión, úsese un tramo recto de 4 á 6 veces

el diámetro del tubo, son permisibles codos verticales, pero deben ser de radio grande.

Requisitos en la rama de succión.

- a) Hay que asegurarse de que la presión absoluta sea mayor que la presión de vapor del líquido.
- b) Siempre que sea posible, se evitará diseñar instalaciones con altura de succión negativa.
- c) Cuando se tenga altura de succión negativa, se deberá proveer a la rama de succión con una válvula de pie, para evitar tener que disponer de un equipo adicional de cebado.
- d) No se deben instalar válvulas de control en la rama de succión, excepto en sistemas que tienen altura de succión positiva, para poder aislar las unidades en caso de reparaciones.
- e) Se deberán usar líneas de succión separadas, si no es posible, se empleará un múltiple con salida diagonal, ensanchando el diámetro del tubo hacia la admisión. Este ensanchamiento se determina por continuidad.

Requisitos en la rama de descarga.

- a) Deberá instalarse una válvula de control y una válvula de Check, inmediatamente después de la brida de descarga de la bomba.
- b) Las ampliaciones deberán ser concéntricas.
- c) Las descargas de bombas en paralelo se deberán hacer a múltiples con entrada en diagonal y ensanchando el diámetro del tubo (continuidad) hasta el diámetro final de la descarga.
- d) En tuberías de descarga en sifón, se deberá proveer la parte superior de una válvula de ventosa en la parte superior de la garganta de ésta.
- e) Se instalarán conexiones de dilatación en tuberías de descarga muy largas, inmediatamente después de la brida de descarga de la bomba, para evitar esfuerzos que no pueden resistir las carcassas de estas.

Problema

Determinar la carga total para el sistema de bombeo con carga - negativa de succión y descarga ahogada con los siguientes datos:

Carga estática de succión $H_{ES} = 2.55 \text{ m}$

Carga estática de descarga $H_{ED} = 60.00 \text{ m}$

Diámetro de la tub. de succión $D_S = 10''\emptyset$

Diámetro de la tub. de descarga $D_D = 8''\emptyset$

Long. de la tub. de succión $L_S = 4.80 \text{ m}$

Long. de la tub. de descarga $L_D = 105 \text{ m}$

Las tuberías serán de acero remachado.

Se trata de bombear un gasto de $\phi 165 \text{ l/seg}$ a 15°C .

La válvula de control estará siempre totalmente abierta y además se dispone de una válvula de Check en la descarga.

Para calcular las pérdidas de fricción se hará uso de la fórmula de D'Arcy - Weisbach.

Solución:

Carga estática total

$$H_{ES} = 2.55 \text{ m}$$

$$H_{ED} = \underline{60.00} \text{ m}$$

$$H_{ET} = 62.55 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción

a) Tubería de succión

$$A = \text{para } d = 10'' = \frac{\pi \times (0.254)^2}{4} = 0.0404 \text{ m}^2$$

$$v_s = \frac{Q}{A} = \frac{0.165}{0.0404} = 4.09 \text{ m/seg}$$

$$H_v = \frac{v_s^2}{19.6} = \frac{4.09^2}{19.6} = 0.85 \text{ m}$$

$$H_{fs} = f_s \frac{L_s}{D} H_v$$

En la gráfica de velocidades cinemáticas de algunos gases y líquidos a presión atmosférica normal, determinemos el valor por $\sqrt{\epsilon} = 0.00101$ para el agua a 15°C de temperatura y para acero remachado $\epsilon = 0.00915$

La rugosidad relativa es

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.00915}{0.254} = 0.036$$

El número de Reynolds vale

$$R = \frac{v_{sd}}{\nu} = \frac{409 \times 25.4}{0.0101} = 1,030\,000$$

Del ábaco de Moody para estos valores

$$f = 0.058$$

$$H_{fs} = 0.058 \frac{4.80}{0.254} \times 0.85 = 0.93 \text{ m}$$

Como se ve, el consumo es muy alto, por lo que sería necesario hacer dos estudios: uno con una bomba de mayor tamaño e intervalo de eficiencia mayor $\eta \sim 0.90$ o con la misma bomba utilizar en la descarga tubería de mayor tamaño, pues la pérdida por fricción en esta rama representa el $40.5/108.97 = 0.37$ o sea el 37% del total.

$$R = \frac{515 \times 20.3}{0.0101} = 1\ 030\ 000$$

$$\text{Luego } f = 0.58$$

$$H_{fD} = 0.058 \times \frac{105 \times 1.35}{0.203} = 40.5 \text{ m}$$

Pérdidas menores

$$H_{CH} = 2.70$$

$$H_{VC} = 0.135$$

$$H_C = 1.22$$

La pérdida por salida igual a la carga de velocidad $H_s = 1.35$

La pérdida total en la rama de descarga es

$$H_{fD} = H_{CH} + H_{VC} + H_C = 44.56$$

La carga total del sistema contra la que trabajará la bomba es:

$$H_{ET} + H_{fts} + H_{ftD} = 62.55 + 1.86 + 44.56 =$$

$$H = 108.97$$

Si la curva de gastos de la bomba desarrollara una carga total - de 108.97 con un gasto de 165 lits/seg el sistema estaría en equilibrio, suponiendo que para ese gasto la eficiencia de la bomba sea $\eta = 85\%$ el consumo de energía sería

$$P = \frac{165 \times 108.97}{0.85 \times 76} = 278 \text{ HP}$$

Pérdidas menores

Pérdida por entrada, para tubería de succión con entrada abocinada $k_e = 0.20$

$$H_{e} = 0.20 \times 0.85 = 0.17 \text{ m}$$

Pérdida por codo estandar $k_c = 0.9$

$$H_c = 0.9 \times 0.85 = 0.76 \text{ m}$$

La pérdida total en la rama de succión es:

$$H_{fs} = 0.93 \text{ m}$$

$$H_e = 0.17 \text{ m}$$

$$H_c = 0.76 \text{ m}$$

$$H_{fts} = 1.86 \text{ m}$$

b) Tubería de Descarga

$$A \text{ de } 8'' = \frac{3.1416 \times 0.203^2}{4} = 0.032 \text{ m}^2$$

$$V_d = \frac{0.165}{0.032} = 5.15 \text{ m/seg}$$

$$H_v = \frac{5.15^2}{19.6} = 1.35 \text{ m.}$$

Rugosidad relativa y número de Reynolds para las mismas condiciones.

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.00915}{0.203} = 0.0451$$

Problema

CSPN para sistemas de bombeo con carga negativa de succión y --
descarga ahogada y con carga positiva de succión y descarga li-
bre.- Con los siguientes datos:

1o.- Sistema - Carga negativa de succión y descarga ahogada.

Carga estática de succión: - 2.80 m

Longitud de la tubería de succión: 4.00 m (acero remachado) --
entrada abocinada.

Diametro de la tubería: 18"Ø

Gasto de bombeo: 500 lt/seg

Temperatura de bombeo: 20°C

Altura sobre el nivel del mar: 610 m (706.1 mm hg)

a) Carga neta de succión disponible

$$H_{SN} = Pa/\gamma_{H_2O} - (H_{ES} + H_{fs} + H_E + H_C + H_{Vs})$$

Pérdida por fricción

$$\text{para diámetro de 18" } = A = \frac{3.1416 \times 0.457^2}{4} = 0.164 \text{ m}^2$$

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{0.500}{0.164} = 3.05 \text{ m/seg}$$

$$H_{Vs} = \frac{3.05^2}{19.6} = 0.475 \text{ m}$$

Para agua de 20°C = 0.00737

$$R = \frac{305 \times 45.7}{0.00737} = 1\ 890\ 000$$

Rugosidad relativa.

$$\frac{\epsilon}{D_s} = \frac{0.00915}{0.457} = 0.020$$

Del ábaco de Moody $f = 0.048$

$$H_{fs} = 0.048 \times \frac{4.00}{0.457} \times 0.475 = 0.20\ \text{m}$$

Pérdidas menores

$$H_E = 0.20 \times 0.475 = 0.095$$

$$H_C = 0.90 \times 0.475 = 0.427$$

Total pérdidas, más la carga de velocidad y carga estática de succión.

$$H_{ES} = 2.80\ \text{m}$$

$$H_{fs} = 0.20$$

$$H_E = 0.095$$

$$H_C = 0.427$$

$$H_V = \underline{0.475}$$

$$H_S = -3.997 \approx 4.00$$

Presión atmosférica de 610 m S.N.M.

$$H_a = 0.7061 \times 13.6 = 9.60 \text{ m de agua}$$

Luego

$$H_{SN} = 9.60 - 4.00 = 5.60 \text{ m}$$

$$P_v \text{ a } 20^\circ\text{C} = 0.0167 \text{ kg/cm}^2$$

b) Sistema, con carga de succión positiva neta CSPN

$$P_v \text{ a } 20^\circ\text{C} = 0.0167 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{CSPN} = H_{SN} - P_v/\gamma$$

$$H_v = 0.167$$

Luego

$$\text{CSPN} = 5.60 - 0.167 = 5.433 \text{ m.}$$

La bomba deberá funcionar con una CSPN requerida \cong 5.433

Sistema de bombeo con carga positiva de succión y descarga libre.

Carga estática = 2.80 m

Luego la H_s es ahora

$$H_{ES} = + 2.80$$

$$H_{fs} = - 0.20$$

$$H_E = - 0.0925$$

$$H_C = - 0.427$$

$$H_V = - 0.475$$

$$H_s = + 0.603 \text{ m} \cong 0.60$$

La H_{SN} es ahora

$$H_{SN} = H_a + H_s = 9.60 + 0.60 = 10.20 \text{ m y la CSPN valdrá}$$

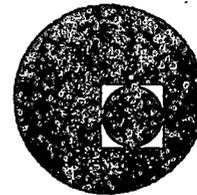
$$CSPN = H_{SN} - P_v/\gamma = 10.20 - 0.167 = 10.03 \text{ m}$$

Con CSPN de 10.03 m. La bomba trabaja en muy buenas condiciones.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO



ING. FRANCISCO ECHAVARRIA A.

MARZO DE 1976.

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY



Cartas del golpe de ariete para bombas centrífugas (John Parmakian).

Parámetros de las gráficas.

$$a) \quad \rho = \frac{a V_r}{2g H_r}$$

donde

V_r velocidad de operación en condiciones normales

H_r carga nominal de la bomba

g aceleración de la gravedad

a velocidad de presión de la onda

$$a = \frac{\sqrt{Kg/\gamma^1}}{\sqrt{1 + (K/E) (D/e)}}$$

γ^1 peso volumétrico del líquido

K módulo de elasticidad volumétrico del líquido

E módulo de elasticidad del material de la tubería

D diámetro interior de la tubería

e espesor de la tubería

$$b) \quad K \left(\frac{2 L}{a} \right)$$

L longitud total de la tubería de descarga

$$K = \frac{450 g \sqrt{H_r} Q_r}{\pi^2 W R^2 E_r N_r}$$

- Q_r gasto nominal de la bomba
 N_r velocidad nominal de rotación de la bomba
 E_r eficiencia nominal de la bomba
 WR^2 efecto de inercia de las partes rotatorias

Curvas del golpe de ariete para sistemas de bombas centrífugas, incluyendo la fricción en la tubería de descarga (Hitoshi Kinno y John F. Kennedy).

Parámetros

a) $\rho = \frac{a V_r}{2g H_r}$

b) $\zeta = \frac{1}{K_1 \left(\frac{2L}{a} \right)}$

donde

$K_1 = 2 K$

c) $h_f = \frac{H_f}{H_r}$

H_f pérdida de carga por fricción.

d) $h_d = \frac{H_d}{H_r}$

H_d carga mínima

e) $h_r = \frac{H_m}{H_r}$

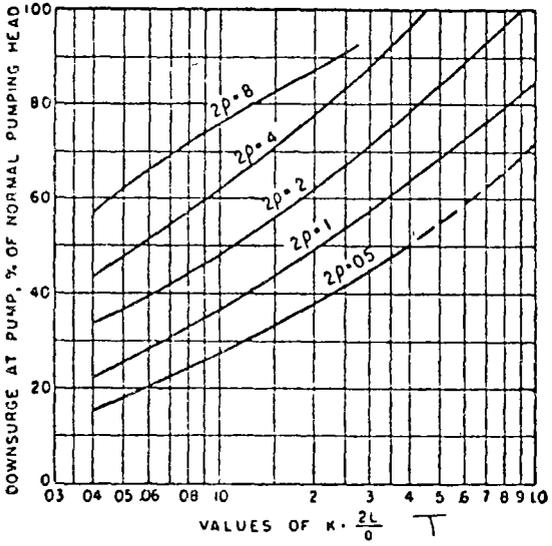
Hm carga máxima

Referencias:

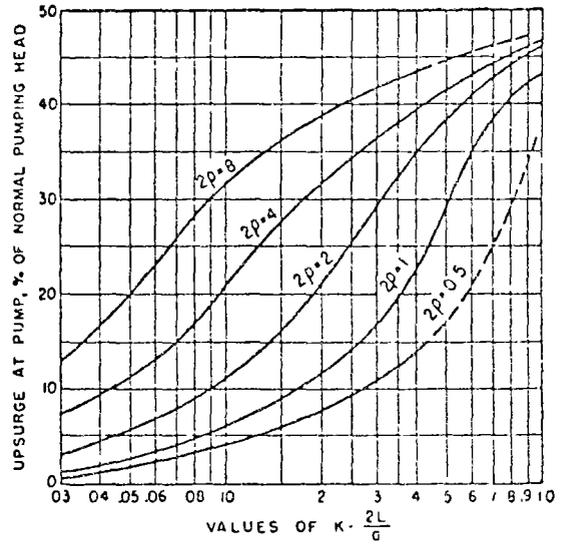
John Parmakian. Waterhammer Analysis. Dover Publications, Inc. New York, N. Y.

Hitoshi Kinno y John F. Kennedy. Waterhammer Charts for Centrifugal Pump Systems.

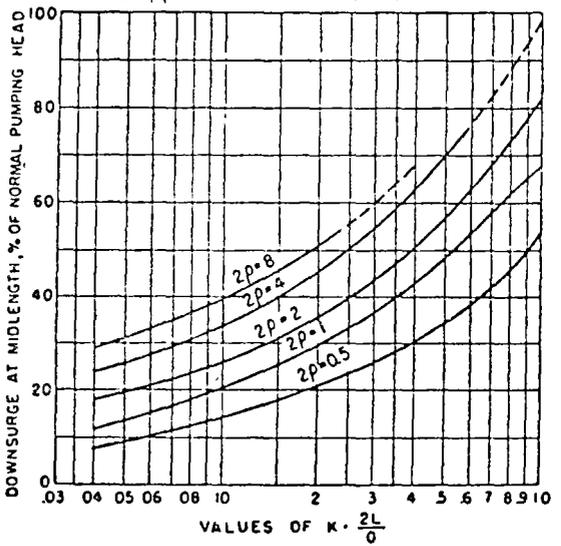
Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Mayo 1965.



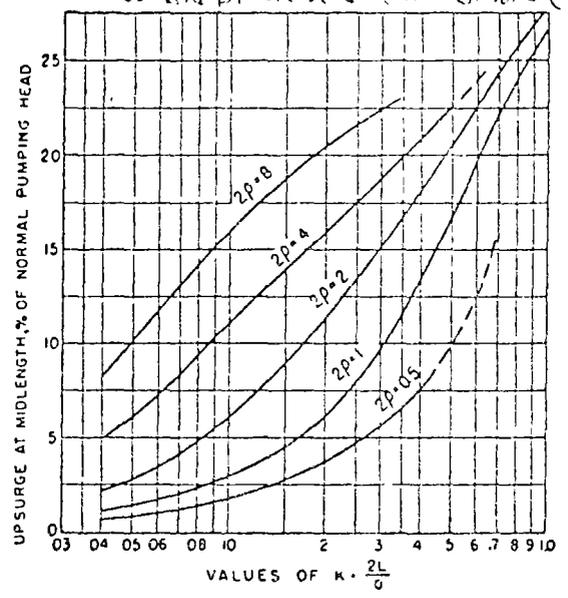
Downsurge at Pump
Depresión en la bomba



Upsurge at Pump
Sobrepresión en la bomba

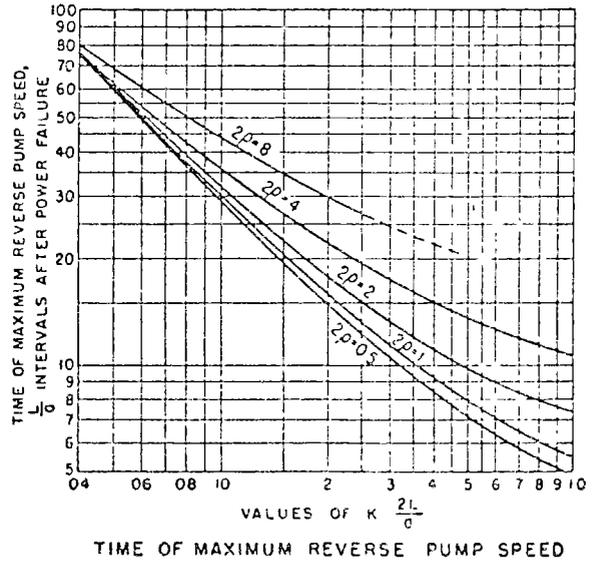
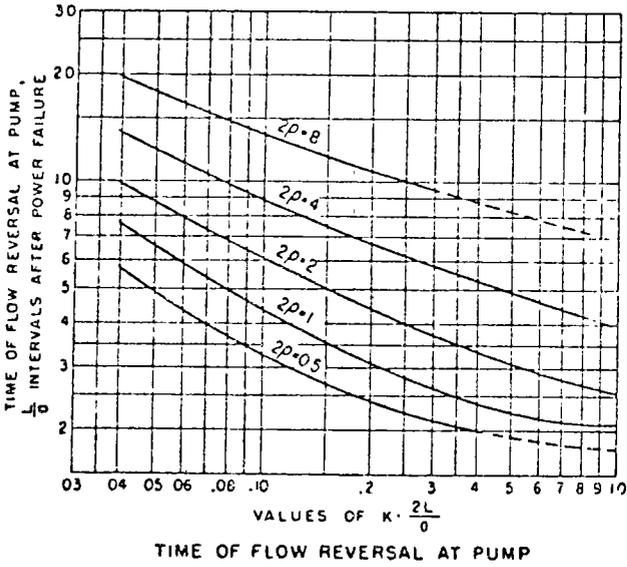
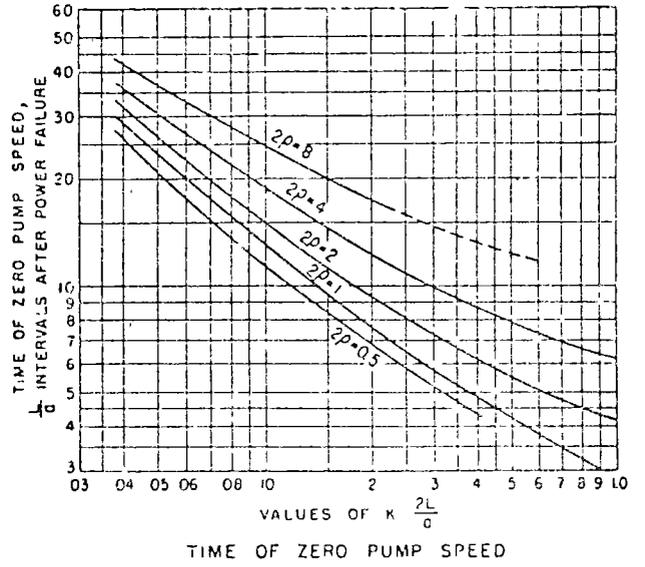
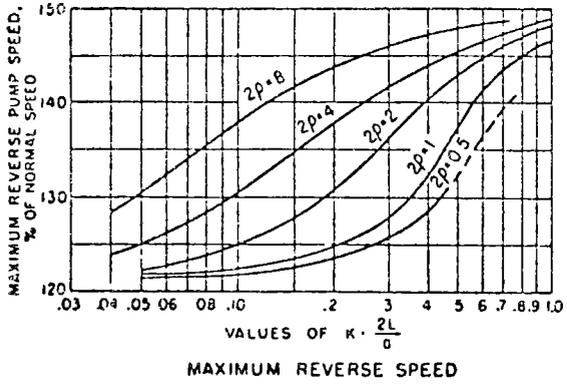


Downsurge at Midlength
Depresión a la mitad de la tubería



Upsurge at Midlength
Sobrepresión a la mitad de la tubería

PARIAKIAN



PARMANAN

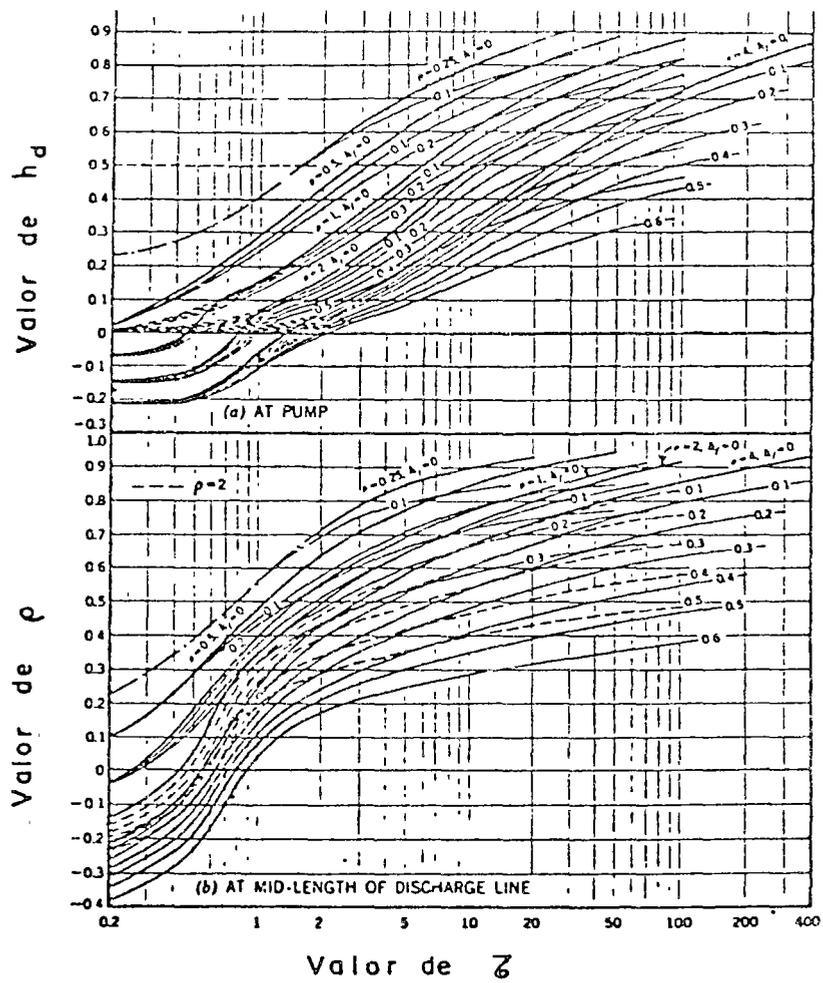


Fig. 20.- Carga mínima después de la falla de potencia.

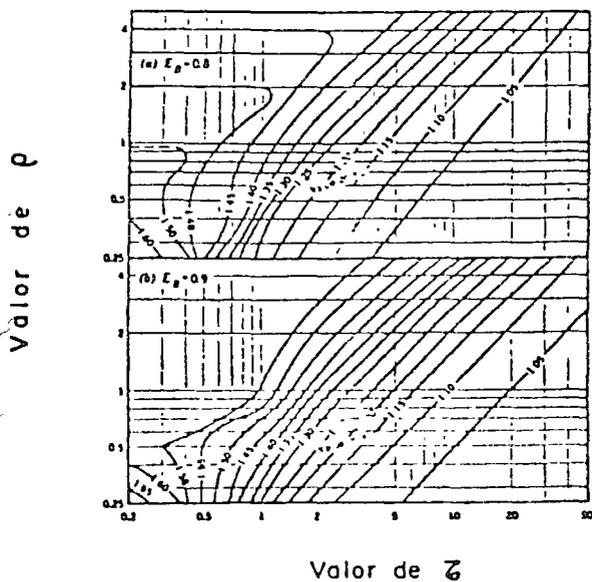


Fig. 23.- Carga máxima en la bomba después de la falla de potencia.

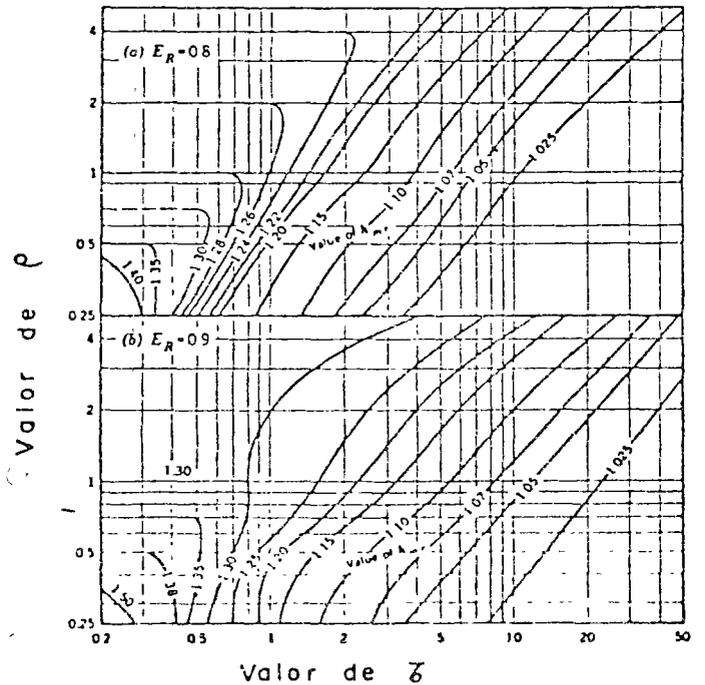


Fig. 24.- Carga máxima durante la oscilación en la mitad de la longitud de la tubería de descarga.

Problema

Determinese la máxima depresión y sobrepresión en la bomba y en la longitud media de la tubería de descarga, para una interrupción brusca de energía eléctrica suministrada al sistema de bombeo.

Las características de la instalación son las siguientes:

- a) Dos bombas de succión simple.
- b) $WR=13700 \text{ Kg-m}^2$ para cada bomba motor.
- c) Velocidad de rotación de la bomba $Nr=327 \text{ RPM}$.
- d) Carga de operación $Hr=56.5\text{m}$.
- e) Capacidad de descarga de cada bomba para Hr, --
 $Qr=5.80 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- f) Eficiencia de la bomba para la carga de operación,
 $Er=90\%$
- g) Diámetro interior de la tubería de descarga, --
 $D=3.35\text{m}$.
- h) Longitud de la tubería de descarga, $L= 2460\text{m}$.
- i) Velocidad de presión en la tubería, $a=1220\text{m}/\text{seg}$.

SOLUCION

Usando las gráficas de Parmakian.

$$Vr=2Qr/A=2Qr/\pi D^2/4=2(5.8)/\pi(3.35)^2/4=1.32\text{m}/\text{seg}$$

$$r=aVr/2gHr=1220(1.32)/19.6(56.5)=1.45$$

$$2r=2(1.45)=2.90$$

$$K(2L/a)$$

$$K=450g^3HrQr/\pi^2WR ErNr^2$$

$$K=(450)(9.8)(1000)(56.5)(11.6)/(\pi^2)(27400)(0.9)(327)^2$$

$$K=0.1111$$

$$K(2L/a)=0.1111(2)(2460)/(1220)=0.45$$

Depresión máxima en la bomba $h_m = .85(Hr) = .85(56.5) = 48.02m$

Depresión máxima en la mitad de la tubería

$$h_m = .57(Hr) = .57(56.5) = 32.20m$$

Sobrepresión máxima en la bomba

$$H_m = .38(Hr) = .38(56.5) = 21.47m$$

Sobrepresión máxima en la mitad de la tubería

$$H_m = .20(Hr) = .20(56.5) = 11.30m$$



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO

OPERACION Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO



ING. JORGE ARREDONDO GARCIA

MARZO DE 1976.

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY
DIVERSITY



UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY



REFACCIONES.
CAPÍTULO PRIMERO.

Definición de Mantenimiento.

Se entiende por mantenimiento el conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones o equipos, para prevenir daños o para repararlos cuando ya se hubieren producido, a fin de lograr su buen funcionamiento.

Tipos de Mantenimiento.

Hay dos clases de mantenimiento: correctivo y preventivo.

Mantenimiento Correctivo.

Consiste en la reparación más o menos inmediata de cualquier daño que sufran los equipos.

Como es difícil o casi imposible saber cuando se va a producir un desperfecto y la naturaleza de éste, es un error atenderse exclusivamente a este tipo de mantenimiento, pero es razonable disponer de herramientas, refacciones y personal capacitado para solucionar a la brevedad posible los problemas que se pueden suscitar cuando ocurre un desperfecto en al gún equipo.

Mantenimiento Preventivo.

Consiste este tipo de mantenimiento en la ejecución periódica de ciertos trabajos en los equipos, con el fin de prevenir daños o desperfectos hasta donde sea factible, ya que no es posible eliminarlos por completo.

La práctica organizada de este tipo de mantenimiento redictúa las siguientes ventajas:

- Una sensible economía.
- Pocas y relativamente breves interrupciones del suministro.
- Solución anticipada de un cierto número de problemas técnico-operacionales y simplificación de los administrativos.

- 2 -

CAPITULO SEGUNDO.

27

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270

1271

1272

1273

1274

1275

1276

1277

1278

1279

1280

1281

1282

1283

1284

1285

1286

1287

1288

1289

1290

1291

1292

1293

1294

1295

1296

1297

1298

1299

1300

1301

1302

1303

1304

1305

1306

1307

1308

1309

1310

1311

1312

1313

1314

1315

1316

1317

1318

1319

1320

1321

1322

1323

1324

1325

1326

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

1334

1335

1336

1337

1338

1339

1340

1341

1342

1343

1344

1345

1346

1347

1348

1349

1350

1351

1352

1353

1354

1355

1356

1357

1358

1359

1360

1361

1362

1363

1364

1365

1366

1367

1368

1369

1370

1371

1372

1373

1374

1375

1376

1377

1378

1379

1380

1381

1382

1383

1384

1385

1386

1387

1388

1389

1390

1391

1392

1393

1394

1395

1396

1397

1398

1399

1400

1401

1402

1403

1404

1405

1406

1407

1408

1409

1410

1411

1412

1413

1414

1415

1416

1417

1418

1419

1420

1421

1422

1423

1424

1425

1426

1427

1428

1429

1430

1431

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

1441

1442

1443

1444

1445

1446

1447

1448

1449

1450

1451

1452

1453

1454

1455

1456

1457

1458

1459

1460

1461

1462

1463

1464

1465

1466

1467

1468

1469

1470

1471

1472

1473

1474

1475

1476

1477

1478

1479

1480

1481

1482

1483

1484

1485

1486

1487

1488

1489

1490

1491

1492

1493

1494

1495

1496

1497

1498

1499

1500

1501

1502

1503

1504

1505

1506

1507

1508

1509

1510

1511

1512

1513

1514

1515

1516

1517

1518

1519

1520

1521

1522

1523

1524

1525

1526

1527

1528

1529

1530

1531

1532

1533

1534

1535

1536

1537

1538

1539

1540

1541

1542

1543

1544

1545

1546

1547

1548

1549

1550

1551

1552

1553

1554

1555

1556

1557

1558

1559

1560

1561

1562

1563

1564

1565

1566

1567

1568

1569

1570

1571

1572

1573

1574

1575

1576

1577

1578

1579

1580

1581

1582

1583

1584

1585

1586

1587

1588

1589

1590

1591

1592

1593

1594

1595

1596

1597

1598

1599

1600

1601

1602

1603

1604

1605

1606

1607

1608

1609

1610

1611

1612

1613

1614

1615

1616

1617

1618

1619

1620

1621

1622

1623

1624

1625

1626

1627

1628

1629

1630

1631

1632

1633

1634

1635

1636

1637

1638

1639

1640

1641

1642

1643

1644

1645

1646

1647

1648

1649

1650

1651

1652

1653

1654

1655

1656

1657

1658

1659

1660

1661

1662

1663

1664

1665

1666

1667

1668

1669

1670

1671

1672

1673

1674

1675

1676

1677

1678

1679

1680

1681

1682

1683

1684

1685

1686

1687

1688

1689

1690

1691

1692

1693

1694

1695

1696

1697

1698

1699

1700

1701

1702

1703

1704

1705

1706

1707

1708

1709

1710

1711

1712

1713

1714

1715

1716

1717

1718

1719

1720

1721

1722

1723

1724

1725

1726

1727

1728

1729

1730

1731

1732

1733

1734

1735

1736

1737

1738

1739

1740

1741

1742

1743

1744

1745

1746

1747

1748

1749

1750

1751

1752

1753

1754

1755

1756

1757

1758

1759

1760

1761

1762

1763

1764

1765

1766

1767

1768

1769

1770

1771

1772

1773

1774

1775

1776

1777

1778

1779

1780

1781

1782

1783

1784

1785

1786

1787

1788

1789

1790

1791

1792

1793

1794

1795

1796

1797

1798

1799

1800

1801

1802

1803

1804

1805

1806

1807

1808

1809

1810

1811

1812

1813

1814

1815

1816

1817

1818

1819

1820

- II: Bombas centrífugas de eje vertical lubricadas por agua.
- III: Bombas centrífugas de eje horizontal.
- IV: Bombas de pistón.
- V: Cabezal de engranes.
- VI: Motores eléctricos de eje horizontal.
- VII: Motores eléctricos de eje vertical.
- VIII: Motores eléctricos de tipo sumergido.
- IX: Motores de combustión interna para gasolina.
- X: Motores de combustión interna para diesel.
- XI: Motores de combustión interna para tractolina.
- XII: Tableros.
- XIII: Unidades de arranque manual.
- XIV: Unidades de arranque automático.
- XV: Interruptores termomagnéticos.
- XVI: Interruptores de navajas con fusibles.
- XVII: Subestaciones eléctricas.
- XVIII: Medidores de caudal tipo hélice.
- XIX: Medidores de caudal de presión diferencial.
- XX: Cloradores de gas de aplicación directa.
- XXI: Cloradores de gas tipo solución.

Normas de Mantenimiento Preventivo para Cada Grupo.

En este punto se enumeran las actividades que constituyen el mantenimiento preventivo de los equipos comprendidos en cada grupo, periodicidad con que se han de realizar tales trabajos, materiales, repuestos y lubricantes para ello.

Trabajos a realizarse en los Grupos I y II.

I Bombas centrífugas de eje vertical lubricadas por aceite.

II Bombas centrífugas de eje vertical lubricadas por agua.

En períodos de:

- 1 día Reporte de nivel estático y nivel dinámico, según el caso, y presiones de carga.
 Chequeo del prensa-estopa y ajuste.
 Control del nivel de aceite y goteo en las bombas lubricadas por aceite.
 Control del tanque de pre-lubricación en las bombas lubricadas por agua. (Cuando exista).
 Reporte de vibraciones o estabilidad durante el funcionamiento del equipo y de sus condiciones generales de trabajo.

1 año Desmontaje total del equipo y limpieza de todas las partes.
Inspección de todos los elementos de fricción, en el eje en la columna y en la bomba, y cambio de las partes defectuosas.
Cambio de los sellos de aceite en las bombas lubricadas por aceite.
Revisión de los impulsores, anillos de fricción y cambio de las partes dañadas.
Revisión de los tazones y cambio, si fuere necesario.
Limpieza del colador o cernidora de succión.
Revisión de las válvulas de entrada, salida, de escape y reparaciones si fueran necesarias.
Verificación de que el equipo esté y trabaje en buenas condiciones, de acuerdo con su diseño y características.

Materiales, Repuestos y Lubrificantes Necesarios:

Aceite.
Anillos de desgaste.
Bushings de caucho y de bronce.
Compuertas de válvulas.
Chumaceras.
Ejes.
Empaquetaduras de válvulas.
Formularios especiales.
Impulsores.
Pernos y tuercas.
Prensa-estopa.
Sellos de aceite.
Tazones.
Tubería de descarga, con uniones.
Vástagos.

Trabajos a Realizarse en el Grupo III
Bombas Centrífugas de Eje Horizontal.

En períodos de:

1 día Reporte de presiones de descarga.
Chequeo del prensa-estopa y ajuste.

Control externo y lubricación de cojinetes y baleros con aceite o grasa, según el tipo.
Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento.
Funcionamiento del equipo y condiciones generales de trabajo.

6 meses Cambio de grasa de los respectivos cojinetes o baleros sin desmontaje, expulsando por presión de un engrasador tipo pistola toda la grasa antigua.
Cambio de aceites de los respectivos cojinetes, drenando el aceite usado y llenándolo con aceite nuevo.
Alineamiento de la unidad bomba-motor y reajuste de los pernos de anclaje.
Chequeo del prensa-estopa y cambio de empaquetaduras, si fuere necesario.

1 año Desmontaje completo de la bomba.
Lavado y limpieza completa de todas sus partes.
Chequeo del alineamiento y del desgaste del eje y reparaciones o cambios si fuere necesario.
Chequeo de impulsores, difusores, bushings, baleros y demás elementos sujetos al desgaste. Reparación de las piezas dañadas, o cambio si fuere necesario.
Montaje, alineamiento y prueba completa de la unidad.
Control de válvulas de entrada, salida, check, y reparaciones si fueran necesarias.
Verificación de que el equipo está y trabaja en buenas condiciones de acuerdo con su diseño y características.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

Aceites.
Baleros.
Bushings.
Compuertas de válvulas.
Difusores.
Ejes.
Empaquetaduras de prensa-estopa.
Empaquetaduras de válvulas.
Formulario.
Crasas.
Impulsores.

Lainas para nivelación.
Pasadores y compuertas para válvulas check.
Pernos de repuesto.
Tuercas.

Trabajos a Realizarse en el Grupo IV
Bombas de Pistón.

En períodos de:

- 1 día Revisión de las condiciones generales de trabajo.
- 3 meses Extracción del varillaje y del pistón de la bomba.
Cambio de los empaques del pistón.
Control de los checks.
- 1 año Desmontaje total del equipo.
Limpieza e inspección del cilindro.
Cambio de los empaques del pistón y control del check de retención.
Revisión de la transmisión, correas y poleas.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios.

Cilindros completos.
Empaques.
Empaques del check de retención.
Empaques del pistón.
Pintura de empaquetadura especial para juntas.
Varillas.

Trabajos a Realizarse en el Grupo V.
Cabezal de Engranés.

En períodos de:

- 1 día Inspección visual del nivel de aceite; añadir si fuere necesario.
- 1 año Drenaje del aceite y llenado con aceite nuevo, sin desmontar el equipo.
Reajuste general.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios.

Aceites.
Pernos, tuercas y rondanas.

Trabajos a Realizarse en el Grupo VI
Motores Eléctricos de Eje Horizontal

En períodos de:

- 1 día Verificación de voltaje, amperaje y potencia.
Revisión del calentamiento de los baleros.
Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo, y condiciones generales de trabajo.
- 6 meses Cambio de grasa de los baleros sin desmontar el motor expulsando por presión la grasa antigua.
Arranque del equipo para control de sobre-calentamiento de baleros por posible exceso de grasa, y control de condiciones eléctricas en general.
Comprobación de las condiciones generales de trabajo.
- 1 año Desmontaje completo del motor sacando los baleros y el rotor.
Lavado de baleros, inspección de los mismos y cambio de aceite y/o grasa, o cambio de baleros si fuere necesario.
Comprobación eléctrica de las bobinas, limpieza exteriores con aire comprimido y solvente industrial y, si fuere necesario, recubrimiento con barniz dieléctrico.
Montaje, realineamiento y prueba completa.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

Aceite.
Baleros.
Barniz Dieléctrico.
Cables y Terminales eléctricos.
Cinta aislante eléctrica.
Formularios.
Grasas.
Solvente Industrial.

Trabajos a Realizarse en el Grupo VII
Motores Eléctricos de Eje Vertical.

En períodos de:

- 1 día Verificación de voltaje, amperaje y potencia.

Comprobación visual de niveles de aceite de los baleros.
Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo, y condiciones generales de trabajo

- 6 meses Desmontaje completo del motor sacando los baleros y el rotor.
Lavado de los baleros, inspección de los mismos y cambio de aceite y/o grasa, o cambio de baleros si fuere necesario.
Comprobación eléctrica de las bobinas, limpieza exterior con aire comprimido y solvente industrial y, si fuere necesario, recubrimiento con barniz dieléctrico.
Montaje, realineamiento y prueba completa.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

Aceites.
Baleros.
Barniz dieléctrico.
Cables y terminales eléctricos.
Cinta aislante eléctrica.
Formularios.
Grasa.
Solvente industrial.

Trabajos a Realizarse en el Grupo VIII
Motores Eléctricos de Tipo Sumergido.

En períodos de:

- 1 día Verificación de voltaje, amperaje y potencia.
Desmontaje completo del motor y desacople de la bomba.
Inspección de los bushings y baleros, o cambio si fuere necesario.
Inspección del platillo de sustentación del rotor o cambio si fuere necesario.
Inspección del sistema de lubricación del motor y limpieza del filtro, o cambio si fuere necesario.
Verificación eléctrica del rotor y del estator.
Montaje realineamiento y prueba completa.
Verificación del aislamiento del cable del motor.
Regulación de la bomba-motor.
Revisión de los checks de la columna, y reparación o cambio si fuere necesario.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

Baleros.
Bushings.
Checks de la columna.
Filtros.
Lainas.
Líquidos y cintas especiales para aislamiento.
Platillo de sustentación del rotor.

Trabajos a Realizarse en el Grupo IX
Motores de Combustión Interna para Gasolina.

En períodos de:

- 1 día Verificación de niveles de agua, aceite y combustible antes de arrancar el equipo.
Registro de lecturas de presión de aceite, temperatura amperaje y revoluciones por minuto, durante el período de trabajo.
Verificación de las condiciones generales de trabajo del equipo.
Cálculo del número de horas de trabajo a partir del último cambio de aceite, y cambio de aceite y filtro cuando se acumulen 150 horas de trabajo, siempre y cuando no se indique un número diferente de horas para algún motor en particular, en cuyo caso el cambio se registrará por este número.
- 1 mes Limpieza de las bujías sin alterar su calibración; drenaje y reposición del agua del radiador con el motor frío; lavado del filtro de aire, si lo hay.
- 3 meses Limpieza y calibración de bujías, asentamiento y calibración de los platinos; limpieza, chequeo y calibración del carburador; regulación y afinación del motor y cambio de todas las partes que fuere necesario a juicio del mecánico reparador.
- Nota: Siempre que se cambien los platinos se cambiará el condensador.
Verificación total del sistema eléctrico.
- 1 año Inspección y reparación completa de la máquina y cambio de todas las partes que el mecánico reparador considere necesario.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

Aceite.
Agujas de los carburadores y su asiento.
Bujías.
Cables de la ignición.
Condensador.
Conj nto de juntas y sellos.
Conjunto de la bomba de agua.
Escobillas del generador eléctrico.
Filtros de aceite.
Formularios.
Juego de anillos de compresión y aceite.
Juego de bushings para la biela.
Juego de cojinetes de bancada y biela.
Juegos de juntas de los carburadores.
Permatex.
Platinos.
Terminales de los cables.

Trabajos a Realizarse en el Grupo X
Motores de Combustión Interna para Diesel

En períodos de:

- 1 día Verificación de niveles de agua, aceite y combustible antes de arrancar el equipo.
Lubricación de los puntos de engrase.
Registro de lecturas de presión de aceite, temperatura, amperaje y revoluciones por minuto, durante el período de trabajo.
Verificación de las condiciones generales de trabajo del equipo.
Cálculo del número de horas de trabajo a partir del último cambio de aceite, y cambio del aceite y filtro cuando se acumule el número de horas que se especifique para cada unidad en particular.
- 1 semana Limpieza y lavado del filtro de aire.
- 1 mes Drenaje y lavado del tanque de combustible; drenaje y reposición del agua del radiador con el motor en frío, cuando fuere del tipo de refrigeración por agua lavado de filtros de combustible, cuando sean de tipo metálico.
Verificación de la tensión de las correas del ventilador.

- 3 meses Limpieza y calibración de inyectores y válvulas.
Cambio de filtros de combustible.
Limpieza de los purificadores de aire.
Revisión del sistema de embrague.
Revisión del sistema auxiliar de arranque.
Reajuste de pernos y tuercas del motor.
- 1 año Mantenimiento de 3 meses; además:
Esmerilado de las válvulas.
Descarbonización de los cilindros y pistones.
Chequeo del cilindro, limpieza de los orificios de lubricación del pistón y cambio de anillos si fuere necesario a juicio del mecánico reparador.
Desmontaje y revisión del sistema de embrague.
Revisión o cambio del conjunto de la bomba de agua.
- 2 años Inspección y reparación completa de la máquina, y cambio de las partes que el mecánico reparador considere necesario.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios.

Aceite.
Agua destilada.
Caja de bolas del embrague.
Cigüeñal nuevo o rectificación del cigüeñal si fuere necesario.
Collarines de los embragues.
Conjunto de la bomba de barrido.
Conjunto de sellos y junta.
Conjunto de la bomba de agua.
Disco del embrague.
Filtros de aceite.
Filtros de combustible.
Formularios.
Grasa.
Juego de anillos.
Juego de cables y terminales.
Juego de camisas para los cilindros.
Juego de cojinetes del eje de levas.
Juego de empaques para la bomba de inyección
Juego de pistones.
Juego de pulverizadores de los inyectores.
Juego de válvulas de escape y rectificación de las culatas.
Juegos de bushings o cojinetes de bancada y de biela.
Juntas de la culata.

Juntas de los balancines.
Per. ntex.
Sistema de embrague.

Tareas a Realizarse en el Grupo XI
Motors de Combustión Interna para Tractolina

En períodos de:

- 1 día Verificación de niveles de agua, aceite y combustible antes de arrancar el equipo.
Registro de lectura de presión de aceite, temperatura, amperaje y revoluciones por minuto, durante el período de trabajo.
Verificación de las condiciones generales de trabajo del equipo.
Cálculo del número de horas de trabajo a partir del último cambio de aceite, y cambio de aceite y filtro cuando se acumulen 150 horas de trabajo, siempre y cuando no se indique un número diferente de horas para algún motor en particular en cuyo caso el cambio se registrará por este número.
- 1 mes Limpieza de las bujías sin alterar su calibración; drenaje y lavado del tanque de combustible; drenaje y reposición del agua del radiador con el motor frío; lavado del filtro de aire, si lo hay.
- 3 meses Limpieza y calibración de bujías, asentada y calibración de los platinos; limpieza, chequeo y calibración del carburador; regulación y afinación del motor y cambio de todas las partes que fuere necesario a juicio del mecánico reparador.
- Nota: Siempre que se cambien los platinos se cambiará el condensador.
- 1 año Inspección y reparación completa de la máquina, incluyendo el cambio de todas las partes que el mecánico reparador considere necesario.

Materiales, Repuestos y Lubricaciones Necesarios:

Aceite.
Agujas del carburador y sus asientos.
Bujías.

Cables de la ignición.
Condensadores.
Conjunto de juntas y sellos.
Conjunto de la bomba de agua.
Escobillas del generador eléctrico.
Filtros de aceite.
Formularios.
Juego de anillos de compresión y aceite.
Juego de bushings para la biela.
Juego de cojinetes de bancada y biela
Juego de juntas del carburador.
Permatex.
Platinos.
Terminales de los cables.

Trabajos a Realizarse en el Grupo XII
Tableros

En períodos de:

1 día Limpieza general.
Verificación del ajuste de los aparatos de medición.
Cambio de terminales, si fuere necesario a juicio -
del encargado.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

Terminales.

Trabajos a Realizarse en los Grupos XIII y XIV
Unidades de Arranque Manual y de Arranque Automático.

En períodos de:

1 día Control y reporte del nivel de aceite, si la unidad
es de tipo de baño de aceite.
Revisión del núcleo y bobina de retención.

6 meses Revisión de contactos.
Revisión de elementos térmicos, metálicos o de acei-
te.
Revisión de bobinas.
Revisión del sistema mecánico.
Cambio opcional del aceite dieléctrico, o del elemen-
to térmico.

Regulación del tiempo de arranque.
Revisión de los cables de entrada y salida.

1 año Mantenimiento de 6 meses; además:
Cambio obligatorio de aceite dieléctrico.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

 Aceite dieléctrico (de transformador).
 Contactos.
 Elementos termicos.
 Relés de tiempo.

Trabajos a Realizarse en los Grupos XV y VXI
Interruptores Termomagnéticos y de Navajas con Fusibles.

En períodos de:

1 día Revisión del mecanismo.
 Revisión visual del ajuste de las zapetas en los in-
 terruptores de navajas.
 Revisión de los cartuchos fusibles.

6 meses Limpieza de sulfatación de terminales.
 Aplicación de una película de grasa a las cuchillas.
 Ajuste del mecanismo de accionamiento.
 Cambio de fusibles, si fuera necesario a juicio del-
 encargado.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

 Cartuchos.
 Fusibles.
 Grasa.
 Lijas.

Trabajos a Realizarse en el Grupo XVII
Subestaciones Eléctricas.

En períodos de:

6 meses Comprobación dieléctrica del aceite.
 Medición a tierra.
 Revisión y limpieza de los ductos de conexión.
 Prueba del aislamiento del transformador.

Revisión y limpieza de los pararrayos.
Revisión y limpieza de la línea de transmisión eléctrica.
Revisión de los corta-circuitos y sus fusibles.
Revisión de los apartarrayos.

1 año Mantenimiento de 6 meses.
Cambio de aceite dieléctrico, si fuere necesario a juicio del encargado.

Materiales, Repuestos y Lubricaciones Necesarios:

Aceite de transformador.
Aisladores de línea.
Apartarrayos.
Ductos.
Fusibles.
Puntas de pararrayos.
Terminales.

Trabajos a Realizarse en los Grupos XVIII y XIX
Medidores de Caudal: Tipo Hélice y de Presión Diferencial

En Períodos de:

1 día Cambio de disco del registrador.
Anotación de la lectura del totalizador y del flujo-diario, éste por diferencia con la del día anterior.

1 semana Control de la presión de la pluma sobre el disco registrador.
Drenaje del aire de las cámaras y líneas, según instrucciones del manual.

Nota: Estas operaciones semanales pueden espaciarse a períodos más largos, de acuerdo con los resultados obtenidos.

1 mes Regulación del registrador según lo establecido en el manual para verificar la exactitud de las lecturas especialmente la del cero y la correspondiente a la presión de prueba.

6 meses Lubricación general incluyendo cambios de aceite de los depositos, y ligero goteo de aceite en todos los ejes, pivotes y elementos móviles, sin desmontar ninguno de los mecanismos internos.

1 año Limpieza y regulación completa de todos los mecanismos del registrador, lubricación y regulación del aparato.

Nota: Las normas que anteceden son para medidores con transmisor de venturi o de orificio, y receptor con cámaras de presión diferencial, que tienen indicador, disco registrador y totalizador de flujo.

Materiales, Repuestos y Lubrificantes Necesarios:

Aceites especiales.
Discos.
Tinta especial.

Trabajos a Realizarse en los Grupos XX y XXI
Cloraciones de Gas: de Aplicación Directa y Tipo Solución.

En períodos de:

1 día Comprobación de que no hay fugas de cloro en el aparato, cilindros y líneas de cloro, y eliminación de las que pudiera haber.
Regulación de la proporción de alimentación de cloro en libras por cada 24 horas.
Registro de las horas de operación del clorador.
Registro de las presiones de agua y cloro, cuando hay manómetro.
Registro del peso del cilindro conectado, cuando hay báscula.
Cambio de cilindros, cuando se agote el conectado.
Limpieza exterior del aparato de cloración (en el cuarto).

1 mes Revisión de la operación del aparato.
Revisión de la operación del booster.
Revisión del sistema de inyección: desarenadores, garganta, mangueras y tubo de solución.
Limpieza de válvulas reductoras de presión a la entrada de los aparatos.
Limpieza de filtros, asientos y resortes de otras válvulas.
Comprobación de que no hay fugas de cloro, y eliminación de las que pudiere haber.

Aplicación de vaselina en las partes metálicas que muestran principios de corrosión.

Limpieza de rotámetro y de la bola indicadora.

1 año Desmontaje y limpieza completa del aparato, cambio de todas las partes defectuosas, regulación y comprobación del funcionamiento, incluyendo el de la bomba de ayuda, cuando la hay.

Materiales, Repuestos y Lubricantes Necesarios:

- Amoniaco.
- Etergentes.
- Diafragma.
- Empaques.
- Grasa.
- Hojas de control.
- Llaves de apretar conexiones.
- Resortes.
- Tubos flexibles.
- Válvulas auxiliares.
- Vaselina.

CAPITULO TERCERO.

DE SARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Inventario e Identificación de Instalaciones y Equipo.

Forma DGOSAPA MP-1

Definición.- Prácticamente, esta operación es la primera etapa del plan. Consiste en el registro individual de las partes constitutivas de los equipos: bomba, motor, cabezal de engranes, clorador, etc. incluyendo también los datos que se puedan obtener de los archivos de la oficina de operación.

Objetivo.- Además de la utilidad inherente a todo inventario éste tiene como objetivo proporcionar la base para la programación y organización del mantenimiento preventivo y permitir, en combinación con las formas DGOSAPA MP-2 y MP-3, el conocimiento rápido de los elementos existentes en un sistema.

La forma de inventario e identificación de instalaciones y equipos, DGOSAPA MP-1, se llenará como se deralla enseguida:

Mansera de llenar la Forma DGOSAPA MP-1

1.- En la parte superior, en el rectangulo a la izquierda debe anotarse la clase de sistema, el nombre de la localidad y Estado en que se encuentra; en el de la derecha se pondrán los nombres de las personas que realizaron las actividades que se indican, y la fecha en que se terminó el llenado de la forma.

2.- En seguida, en el renglón respectivo, se pondrá el nombre de la instalación o equipo que se está inventariando, usando una hoja para cada unidad, bien sea que se trate de una bomba, un motor, un atractor, un interruptor, etc.

3.- En el siguiente renglón se anotará el nombre del lugar en que se encuentre instalado el equipo que se está inventariando, debiendo usarse para esto el nombre que, por mejor conocido, pueda más fácilmente identificarse.

4.- El renglón "número de identificación" no da

de llenarse en el momento en el momento de efectuar el inventario. Las instrucciones para asignar este número se dan más adelante.

5.- Los dos renglones siguientes se llenarán con el nombre de la casa manufacturera o fabricante del equipo que se está inventariando, y su dirección postal.

6.- Bajo "placa de identificación y datos técnicos adicionales", se anotarán los datos completos de la referida placa que la casa manufacturera o fabricante fija siempre en cada equipo; datos que deberán complementarse con otros técnicos adicionales que se encuentran en los archivos de la oficina del organismo operador.

7.- En la parte inferior de la hoja "información del fabricante" en los renglones correspondientes a los manuales o lista que se encuentren en la oficina se pondrá una cruz en la columna "adjunta", o bien una cruz en la columna "no existe" en correspondencia a los que no se encuentren. En este caso, hay que escribir inmediatamente a la casa fabricante solicitando la información faltante y, una vez que se haya obtenido se deberá cambiar la posición de la cruz de la columna "no existe" a la columna "adjunta".

8.- Para efectuar este trabajo inicial de inventario y poder asentar todos los datos en las formas DGOSPA MP-1 correspondientes a cada unidad del equipo, es indispensable ir a cada una de las diferentes instalaciones, y obtener los datos que haya sobre el terreno, que posteriormente se complementaran con los que se encuentren en la oficina respectiva y con aquellos que deban investigarse

Este trabajo debe ser efectuado en la forma más completa y exacta que sea practicable, sin omitir ninguna de las unidades existentes en cada instalación ni alguno de los datos que puedan conseguirse de cada unidad en el sitio en que se encuentre, pues las formas DGOSAPA MP-1, una vez llenas, constituyen la base sobre la cual sustentará la organización del mantenimiento preventivo.

Clasificación y Cantidad de Equipos.-Forma DGOSAPA MP2

Objetivo.- Una vez terminado el equipo, como se ha descrito anteriormente, se tendrá una gran cantidad de formas DGOSAPA MP-1, una por cada unidad de instala-

ción o equipo. El objetivo de la forma FGOSAPA MP-2 es proporcionar el medio de agrupar, clasificadas en una o unas hojas, todas las unidades que se han inventariado en un sistema.

Manera de llenar la Forma DGOSAPA MP-2

1.- En la parte superior, los dos rectángulos a la izquierda se llenarán como se indica en la Forma DGOSAPA MP-1

2.- En el rectángulo que se encuentra en el extremo derecho, se pondrán las fechas inicial y final del período en que se realizó el llenado de la forma o formas correspondientes al sistema en cuestión.

3.- Para el llenado de la primera columna de la izquierda LUGARES Y LOCALIDADES, se procederá de la siguiente manera:

a).- En primer lugar, las formas DGOSAPA MP-1 se clasificarán agrupando todas las que pertenezcan a una misma localidad, incluyendo su obra u obras de captación y demás instalaciones. En los casos de abastecimiento de agua potable, puede suceder que una localidad sea abastecida por varias captaciones, o que una captación abastezca a varias localidades.

b).- En seguida, las formas DGOSAPA MP-1 pertenecientes a una misma localidad se ordenarán por rutas, cuya selección dependerá de su longitud y de las facilidades de comunicación que existan. Se procurará por tanto que, dentro de lo factible, puedan recorrerse en un tiempo mínimo, que esas rutas serán las mismas que tendrá que recorrer el personal de mantenimiento.

4.- Seleccionada la ruta, en el renglón correspondiente a la primera localidad o captación se irán anotando las unidades de un mismo grupo encontradas en dicho punto, en la columna correspondiente al grupo de que se trate. Por ejemplo, si en la referida captación o localidad se encuentran una bomba centrífuga de eje vertical lubricada por agua, 2 motores eléctricos también de eje vertical, y un motor de gasolina, se pondrá un número 1 en la col. II, un número 2 en la col. VII y un número 1 en la col. IX. En tal forma, se continuará anotando las unidades de cada-

grupo en sus respectivas columnas, y se totalizará finalmente el número que, de cada grupo, haya en la localidad que se este inventariando.

5.- Las columnas 1 a XXI cubren prácticamente la totalidad de los diferentes equipos que se encuentran en nuestras instalaciones. Sin embargo, si se hallaren equipos que no puedan clasificarse en ninguno de los 21 grupos especificados, se tomará nota numérica en las columnas XXII o XXIII y se harán al pie de la forma las aclaraciones a que haya lugar.

6.- Abajo y a la derecha de la forma, se anotará en el primer espacio vacío el número que corresponda a la hoja conforme a la ruta seleccionada, y en el segundo espacio el número de hojas que cubren el sistema en cuestión. Por ejemplo: 1 de 3, 2 de 3, 3 de 3.

Número de Identificación de los Equipos.- Forma DGOSAPA MP-3

Objetivos.- El número de identificación sirve para poder localizar rápidamente cualquier elemento de un equipo. La forma DGOSAPA MP-3 sirve para anotar en ella los números de identificación.

Formación del Número de Identificación.- Este consta de dos elementos: uno corresponde al grupo al que pertenece el equipo; el otro, que debido al poco espacio de que se dispone en la forma DGOSAPA MP-3, se anota como subíndice, señala el número progresivo que corresponde a cada equipo dentro de la localidad.

Manera de Llenar la Forma DGOSAPA MP-3

1.- La parte superior de la forma y la primera columna de la izquierda se llenarán como se mencionan en la forma DGOSAPA MP-2.

2.- La manera de llenar las demás columnas de la forma se ilustra con el ejemplo que sigue: Suponiendo que en una localidad hay 3 plantas de bombeo con bombas centrífugas de eje vertical lubricadas por agua (grupo II), y si en la primera planta hay 3 bombas, en la segunda hay 7 y en la tercera hay 6, las correspondientes anotaciones en la Forma MP-3 se harán como sigue:

En tres renglones de la 1a. columna de la izquierda se pondrá: planta de bombeo No. 1, planta de bombeo No. 2 y planta de bombeo No. 3

En los mismos renglones, pero dentro de la columna correspondiente al grupo 11, se anotará 11₁ - - 11₃; 11₄-11₁₀; 11₁₁-11₁₆.

En forma análoga se procederá para cualesquiera otras instalaciones y equipos que se encuentran en la localidad o sistema que se este inventariando.

3.- Para cada grupo de equipos, los subíndices corresponderán al orden en que se vayan recorriendo los lugares donde se encuentren tales equipos, según sean las rutas que se hayan seleccionado. Así, en cada columna, bien sea que en un lugar haya sólo un equipo o varios del mismo grupo, los subíndices irán siempre apareciendo en orden numérico progresivo continuo.

Normas de Mantenimiento Preventivo.- Forma DGOSAPA - MP-4.

Objeto.- Esta forma tiene por objeto permitir asentar en forma tabulada los trabajos a realizarse, su periodicidad y los materiales necesarios para mantener los diversos equipos en un estado de funcionamiento tan eficiente como sea practicable. El detalle de dichos trabajos, periodicidad y materiales, para los 21 grupos específicamente considerados, consta en el capítulo segundo: Normas de Mantenimiento Preventivo para cada Grupo.

Manera de Llenar la Forma DGOSAPA MP-4

1.- Los dos rectángulos superiores se llenarán como los de la forma DGOSAPA MP-1. Inmediatamente abajo, en el centro de la forma, se pondrán el o los números y nombres de los grupos a que pertenezca el equipo por mantener.

2.- En la primera columna de la izquierda se pondrá la periodicidad con que deben ejecutarse las labores de mantenimiento del referido equipo, la cual puede ser: 1 día, 1 semana, 1 mes, 3 meses, 6 meses - ó 1 año; hasta 2 años en ciertos casos.

3.- En la segunda columna se pondrá el nombre iniciales, firma, o cualquiera otra manera breve de identificar al ejecutante del trabajo que se especificará en la siguiente columna.

4.- En esta columna central, se consignarán todos los trabajos que deban realizarse, según sean el o los grupos a que se refiera la forma (punto 2.)

5.- En la columna extrema derecha se listarán como su encabezado indica, los nombres de los materiales, repuestos y lubricantes necesarios para la ejecución de los trabajos consignados en la columna central

6.- Como ya se dijo, salvo la identificación de los ejecutantes, (segunda columna), los datos por consignar en las columnas primeras, central y cuarta son, para cada grupo, los mismos que se especifican en el capítulo segundo.

Calendario de Mantenimiento Preventivo.- Forma DGOSAPA MP-5

Definición y Objeto.- La formación del calendario de mantenimiento comprende la fijación de fechas en que se va a ejecutar el trabajo, las rutas por recorrer el personal que va a ejecutarlo, los equipos a los que se va a dar mantenimiento y la periodicidad de esa labor, la forma DGOSAPA MP-5 permite asentar ordenadamente en ella los datos anteriores.

Manera de Llenar la Forma DGOSAPA MP-5

1.- En el rectángulo superior izquierdo se asentará la clase de sistema y el Estado que comprende el programa; en el superior derecho, además de los nombres que la forma indica, se pondrá en el último renglón la fecha en que se formuló el calendario. Abajo, al centro, se indicará el año correspondiente.

2.- Dejando libre todo el primer renglón de forma, en las dos columnas de la izquierda, se indicarán progresivamente las fechas en que se realizarán los trabajos.

3.- En el primer renglón de la tercera columna se especificarán, numerándolas, la ruta que seguirán los trabajos y la brigada que los ejecutará. En los siguientes renglones se listarán los nombres de las localidades y de los lugares que integran la ruta donde se encuentran los equipos a los que va a dar mantenimiento.

4.- En la cuarta columna se asentarán los números de identificación de los respectivos equipos, según aparezcan en alguna de las columnas numeradas 1 a XXIII de la forma DGOSAPA MP-3, en correspondencia de las localidades y lugares que figuran en su primera columna, que deben ser los mismos que integran la ruta y se encuentran listados en la tercera columna de esta forma.

Por lo anterior puede apreciarse que esta forma permite presentar un calendario de mantenimiento preventivo anual completo, aprovechando las normas de mantenimiento y otros elementos de programación desarrollados en el capítulo segundo, y la información sistemáticamente acumulada en las anteriores formas DGOSAPA MP-1 a MP-4.

Control de Mantenimiento Preventivo y de Reparación de Daños.

Forma DGOSAPA MP-6

Objeto.- Esta forma tiene por objeto verificar la correcta ejecución de los trabajos de mantenimiento y de reparación de daños, según consten en las formas DGOSAPA MP-4 y MP-5, controlando la calidad del trabajo realizado, el personal que lo realizó, el tiempo y los repuestos que empleó, y el personal que revisó dichos trabajos.

Manera de Llenar la Forma DGOSAPA MP-6.

1.- Los dos rectángulos superiores se llenarán como los de la forma DGOSAPA MP-5. La fecha que se pondrá será la de aprobación de lo que consta en la forma. Abajo, al centro, se indicará el año correspondiente.

2.- Las columnas se llenarán como lo indican sus encabezados.

Nota.- Si se desea que esta forma sea de tamaño carta para las columnas segunda y penúltima, en muchos casos, habrá que usar alguna especie de clave para designar en forma compacta los trabajos que se realizaron y los repuestos que se usaron. De otra manera, habrá que extender la longitud de la forma en concordancia con lo prescrito en el capítulo segundo.

EJEMPLO ILUSTRADO.

Para una mejor comprensión del método presentado para programación e implantación del mantenimiento preventivo a equipos electromecánicos, se incluye un ejemplo hipotético que ilustrará el uso correcto de las formas que se emplean.

JEFATURA DE OPERACION DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO EN EL ESTADO DE JALISCO.

LOCALIDAD	SISTEMA	MUNICIPIO	ORGANISMO OPERADOR	NUM. DE EQUIPOS
RUTA NUM. 1				
TONALA		M/N	J.F.A.P.	1
VALLE DE GUADALUPE		M/N	J.F.A.P.	1
SAN MIGUEL EL ALTO		M/N	J.F.A.P.	1

NOTA:

El listado de los Sistemas se organizó en el mismo orden de la ruta que seguirá la brigada de mantenimiento preventivo en su recorrido por las instalaciones.

Asímismo, en programaciones reales se efectúa una-relación de los Sistemas, colocándolos alfabéticamente, para que de esa manera se ordenen las formas DGOSAPA MP-1, lo -- que facilita su localización.

En el plano, tomado de un Estado de la República, se trazó la ruta que seguiría la brigada de mantenimiento, en la que se consideraron únicamente los equipos electromecánicos de tres sistemas de agua potable. Se hace notar que, aun cuando existen mayor número de sistemas en esa región, estos no se tomaron en cuenta para no hacer demasiado extenso el ejemplo.

Cuando se elabore la programación de un Estado-completo, se señalará en su mapa un número suficiente de rutas que incluya la totalidad de los sistemas, y se integrarán la clase y número de brigadas de acuerdo con las necesidades del servicio.

FORMA DGOSAPA MP-1

Las indicaciones para el correcto llenado de esta forma se señalan en la página No. 1 del Capítulo Tercero.

Los datos vaciados a esta forma fueron tomados de las características de placa de los equipos.

Con el fin de abreviar el ejemplo, se suprimió por las formas DGOSAPA MP-1, relativas a los equipos electromecánicos correspondientes a los sistemas de Valle de Guadalupe y San Miguel el Alto, Jal.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB-SECRETARIA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA D 003 A P R-1

SISTEMA DE ACUA POTABLE <small>AGUA POTABLE Y DE ALCANTARILLADO</small> DE TOLALA, JALISCO <small>LOCALIDAD Y ESTADO</small>		FORMULO: _____ REVISO: _____ APROBO: _____ FECHA: _____	
INVENTARIO E IDENTIFICACION DE INSTALACIONES Y EQUIPOS			
NOMBRE DE LA INSTALACION O EQUIPO: BOMBA VERTICAL			
LUGAR EN EL QUE ESTA INSTALADO: MANANTIAL "AGUA CALIENTE"			
NUMERO DE IDENTIFICACION: 11			
FABRICANTE: WORTHINGTON DE MEXICO, S.A. <small>AV. FONTE 140 Y CAYLAN, COL. INDUSTRIAL VALLEJO</small>			
DIRECCION POSTAL: _____ <small>TELS. 597-51-00 y 567-53-69</small>			
PLACA DE IDENTIFICACION Y DATOS TECNICOS ADICIONALES			
MARCA: WORTHINGTON			
GASTO: 17 L.P.S.			
EFICIENCIA: 73%			
MODELO DEL IMPULSOR: 8 h-38			
TIPO DE IMPULSOR: SEMI-ABIERTO			
N° DE TAZONES: 13			
COLADOR TIPO: CONICO			
CARGA DINAMICA TOTAL: 95 M.			
DIAMETRO DE AUENE: 12"			
DIAMETRO DE COLUMNA: 6"			
DIAMETRO DE ELECHA: 1 3/16"			
LONGITUD DE COLUMNA: 60 M.			
LUBRICACION: AGUA			
VELOCIDAD: 1760 R.P.M.			
SERIE: T-7413			
_____ _____ _____			
Informacion del Fabricante		Adjunta	No Existe
Manual Descriptivo y de Montaje		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de Operacion		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de Mantenimiento		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lista de Partes		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOTA: Si no existe la informacion del fabricante hay que solicitarla y adjuntarla a este formulario			

Hoja n° 1 de 5

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

FORMA DEBEPAA No.

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE Toluca, JALISCO INVENTARIO E IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES Y EQUIPOS		FORMULO REVISÓ APROBO FECHA
NOMBRE DE LA INSTALACION O EQUIPO MOTOR ELECTRICO VERTICAL LUGAR EN EL QUE ESTÁ INSTALADO MASANTIAL "AGUA CALIENTE" NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN VII ₁ FABRICANTE INDUSTRIA ELECTRICA DE MEXICO, S.A. DIRECCIÓN POSTAL CMO. EL MEXICO; T.L. 505-07-00		
PLACA DE IDENTIFICACIÓN Y DATOS TÉCNICOS ADICIONALES		
MARCA:	LEN	
POTENCIA:	75 H.P.	
VOLTS:	440/220	
FRECUENCIA:	50/60 C.P.S.	
SERIE:	7611655	
ANILLO:	445 S.	
FASES:	3	
NUMERO:	115 - 267	
LIBRO:	NENA 3	
SISTEMA:	U	
T.M.P. CARGA MAXIMA:	130%	
CLAVE:	J	
AÑOS:	100/83	
FACION DE SERVICIO:	1.15	
RODAMIENTO SUPERIOR:	7412	
RODAMIENTO INFERIOR:	6311 22	
VELOCIDAD:	1790 R.P.M.	
Información del Fabricante	Adjunto	No Existe
Manual Descriptivo y de Montaje		X
Manual de Operación		X
Manual de Mantenimiento		X
Lista de Partes		X
NOTA Si no existe la información del fabricante hay que solicitarla y adjunlarla a este formulario		

Hoja nº 2 de 5

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

FORMA DEBEPAA No.

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE Toluca, JALISCO INVENTARIO E IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES Y EQUIPOS		FORMULO REVISÓ APROBO FECHA
NOMBRE DE LA INSTALACION O EQUIPO ARRANCADOR LUGAR EN EL QUE ESTÁ INSTALADO MASANTIAL "AGUA CALIENTE" NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN XIII ₄ FABRICANTE SQUARE "D" DE MEXICO, S.A. DIRECCIÓN POSTAL CALZADA DEL NOROCCIDENTE NUM. 270, IXTAPALAPA MEXICO 13, D.F., TEL. 552-70-83		
PLACA DE IDENTIFICACIÓN Y DATOS TÉCNICOS ADICIONALES		
MARCA:	SQUARE "D"	
VOLTS:	440	
FASES:	3	
FRECUENCIA:	60 C.P.S.	
CLASE:	8606	
TIPO:	FG-1	
CAPACIDAD:	60/75 H.P.	
ELEMENTOS TERMICOS:	CC. 112	
CORRIENTE A PLENA CARGA:	76.8 - 83.1	
TIPO DE CAJA:	NENA 1	
Información del Fabricante	Adjunto	No Existe
Manual Descriptivo y de Montaje		X
Manual de Operación		X
Manual de Mantenimiento		X
Lista de Partes		X
NOTA Si no existe la información del fabricante hay que solicitarla y adjunlarla a este formulario		

Hoja nº 3 de 5

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

FORMA 0003 A PA 80

SISTEMA DE AGUA POTABLE (AGUA POTABLE Y DE ALCANTARILLADO)		FORMULO	
DE TONALA, JALISCO		REVISÓ	
INVENTARIO E IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES Y EQUIPOS.		APROBÓ	
		FECHA	
NOMBRE DE LA INSTALACIÓN O EQUIPO <u>INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO</u>			
LUGAR EN EL QUE ESTÁ INSTALADO <u>MANANTIAL "AGUA CALIENTE"</u>			
NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN <u>XV</u>			
FABRICANTE <u>SQUARE "D" DE MEXICO, S.A.</u>			
DIRECCIÓN POSTAL <u>CALLE DEL MORAL NUM. 270, IXTAPALAPA, MEXICO</u>			
DIRECCIÓN POSTAL <u>13, D.F., TEL. 552-70-88</u>			
PLACA DE IDENTIFICACIÓN Y DATOS TÉCNICOS ADICIONALES			
MARCA: <u>SQUARE "D"</u>			
CAPACIDAD: <u>600 V.C.A.</u>			
VOLT. EN ALTA: <u>125 - 250 V.C.C.</u>			
VOLT. EN BAJA: <u>225</u>			
FASES: <u>3</u>			
FRECUCENCIA: <u>ML 37275</u>			
TIPO: <u></u>			
SERIE: <u></u>			
VOL. DE ACEITE: <u></u>			
PELO APROXIMADO: <u></u>			
IMPEDANCIA A 75°C: <u></u>			
AUM. DE TEMP. DEL CU.: <u></u>			
A.S.N.M.: <u></u>			
CONEXIÓN: <u></u>			
Información del fabricante		Adjunto	No Existe
Manual Descriptivo y de Montaje			X
Manual de Operación			X
Manual de Mantenimiento			X
Lista de Partes			X
NOTA Si no existe la información del fabricante hay que solicitarla y adjuntarla a este formulario			

Noje nº 4 de 5

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

FORMA 0003 A PA 80

SISTEMA DE AGUA POTABLE (AGUA POTABLE Y DE ALCANTARILLADO)		FORMULO	
DE TONALA, JALISCO		REVISÓ	
INVENTARIO E IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES Y EQUIPOS		APROBÓ	
		FECHA	
NOMBRE DE LA INSTALACIÓN O EQUIPO <u>SUBESTACION ELECTRIJCA</u>			
LUGAR EN EL QUE ESTÁ INSTALADO <u>MANANTIAL "AGUA CALIENTE"</u>			
NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN <u>XVII</u>			
FABRICANTE <u>MECSA</u>			
DIRECCIÓN POSTAL <u>REVILLAGIGEDO 100, MEXICO 1, D.F. TEL. 518-22-51</u>			
PLACA DE IDENTIFICACIÓN Y DATOS TÉCNICOS ADICIONALES			
MARCA: <u>MECSA</u>			
CAPACIDAD: <u>75 K.V.A.</u>			
VOLT. EN ALTA: <u>13 200 VOLTS.</u>			
VOLT. EN BAJA: <u>440/220 VOLTS.</u>			
FASES: <u>3</u>			
FRECUCENCIA: <u>60 C.P.S.</u>			
TIPO: <u>0A</u>			
SERIE: <u>425d - T868</u>			
VOL. DE ACEITE: <u>158 LTS.</u>			
PELO APROXIMADO: <u>631 KG.</u>			
IMPEDANCIA A 75°C: <u>3.1%</u>			
AUM. DE TEMP. DEL CU.: <u>55°C.</u>			
A.S.N.M.: <u>2 000 M.</u>			
CONEXIÓN: <u>DELTA - ESTRELLA</u>			
Información del fabricante		Adjunto	No Existe
Manual Descriptivo y de Montaje			X
Manual de Operación			X
Manual de Mantenimiento			X
Lista de Partes			X
NOTA Si no existe la información del fabricante hay que solicitarla y adjuntarla a este formulario			

Noje nº 5 de 5

FORMA DGOSAPA 1.P-2

Las indicaciones para el correcto llenado de esta forma se señalan en la página No. 3 del Capítulo Ter -
cero.

Para el llenado de esta forma se utilizaron los datos completos de los 3 sistemas considerados.

FORMA DGOSAPA MP_3

Las indicaciones para el correcto llenado de esta forma se señalan en la página No. 4 del Capítulo Terce - ro.

Para el llenado de esta forma se utilizaron los datos completos de los 3 sistemas considerados.

TITULO DE CATEGORIA
CENTRO GENERAL

MOTORES DE COMBUSTION INTERNA			UNIDADES DE ARMAZONAJE		MATERIALES PROCESADOS			MATERIALES DE ALMACENAMIENTO		MATERIALES DE CONSTRUCCION		
TRACOLINA	DIESEL	TRACOLINA	MANUAL	AUTOMÁTICO	TERMO. MAGNETICOS	DE INYECTORES	CON FUSIBLES	CONSTRUCION ELECTRONICA	DE ALMACENAMIENTO	DE CONSTRUCCION	DE CONSTRUCCION	DE CONSTRUCCION
XX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI
				XII ₁		XV ₁		XVII ₁				
				XII ₂		XV ₂		XVII ₂				
				XII ₃		XV ₃		XVII ₃				XXI ₁

FORMA DGOSAPA MP-4

Las indicaciones para el correcto llenado de esta forma se señalan en la página No. 5 del Capítulo Tercero.

La periodicidad de los trabajos de mantenimiento puede ser modificada de acuerdo con las condiciones de temperatura ambiente, humedad, calidad del agua, equipos de repuesto en existencia, etc.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB-SECRETARIA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA 001004 01

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE JALISCO
 FORMULA
 REVISADO
 APROBADO
 FECHA

NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

GRUPO I BOMBAS CENTRIFUGAS DE EJE VERTICAL LUBRICADAS POR ACEITE
 II BOMBAS CENTRIFUGAS DE EJE VERTICAL LUBRICADAS POR AGUA

PERIODO DE MANTENIMIENTO	EJECUTANTE	TRABAJO A REALIZARSE	MATERIALES PROPUESTOS Y LUBRIFICANTES NECESARIOS
1 día		Reporte de nivel estático y nivel dinámico, según el caso, y presiones de carga. Control del prensa-estopa y ajuste. Control del nivel de aceite y goteo en las bombas lubricadas por aceite. Control del tanque de pre-lubricación en las bombas lubricadas por agua (cuando exista). Reporte de vibraciones o estabilidad durante el funcionamiento del equipo y de sus condiciones generales de trabajo.	-Aceite. -Formulaciones especiales. -Estopa.
1 año		Limpieza total del equipo y limpieza de todas sus partes. Lubricación de todos los ejes de fricción con el eje en la cámara y en la bomba, y cambio de las partes afectadas. Cambio de los sellos de aceite en las bombas lubricadas por aceite. Revisión de los empaquetados y de sus anillos de fricción, y cambio de las partes dañadas. Revisión de las tomas y cambio, si fuere necesario. Limpieza del colector y cerradura de succión. Revisión de las llaves de entrada, salida y check, y reparaciones si fuere necesario. Verificación de que el equipo está y trabaja en las condiciones de acuerdo con su diseño y características.	-Aceite. -Anillos de desgaste. -Bushings de caucho y de bronce. -Compuertas de válvulas. -Cuerpos. -Ejes. -Empaquetaduras de válvulas. -Impulsores. -Pernos y tuercas. -Prensa-estopa. -Sellos de aceite. -Tornillos. -Tubería de descarga, con uniones. -Vástagos. -Estopa.

Hoja N° 1 de 21

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB-SECRETARIA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA 001004 01

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE JALISCO
 FORMULA
 REVISADO
 APROBADO
 FECHA

NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

GRUPO III BOMBAS CENTRIFUGAS DE EJE HORIZONTAL

PERIODO DE MANTENIMIENTO	EJECUTANTE	TRABAJO A REALIZARSE	MATERIALES PROPUESTOS Y LUBRIFICANTES NECESARIOS
1 día		Reporte de presiones de descarga. Chequeo del prensa-estopa y ajuste. Control externo y lubricación de cojinetes y bearings con aceite o grasa, según el tipo. Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento. Funcionamiento del equipo y condiciones generales de trabajo.	-Aceite. -Grasa. -Estopa. -Formulaciones.
6 meses		Cambio de grasa de los respectivos cojinetes o bearings, sin desmontaje, lubricando por presión de un engrasador tipo pistola. Toda la grasa sobrante. Cambio de aceite de los respectivos cojinetes, usando el aceite usado y llenándolo con aceite nuevo. Alineamiento de la unidad bomba-motor y reajuste de los pernos de ajuste. Chequeo del prensa-estopa y cambio de empaquetaduras, si fuere necesario.	-Grasa. -Estopa. -Aceite. -Llaves para nivelación. -Tuercas.
1 año		Desmontaje completo de la bomba. Limpieza y limpieza completa de todas sus partes. Cambio del alineamiento y del desgaste de ejes y reparaciones o cambios si fuere necesario. Chequeo de impulsores, difusores, bushings, ballones y demás elementos sujetos al desgaste. Reparación de las partes dañadas, o cambio si fuere necesario. Montaje, alineamiento y prueba completa de la unidad. Control de válvulas de entrada, salida, check, y reparaciones si fueren necesarias. Verificación de que el equipo está y trabaja en	-Aceite. -Pernos. -Bushings. -Compuertas de válvulas. -Impulsores. -Empaquetaduras de prensa-estopa. -Formulaciones de lubricación. -Grasa. -Impulsores. -Llaves para nivelación. -Tuercas y otros accesorios.

Hoja N° 2 de 21

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIONES DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACION Y REPARACIONES

SISTEMA DE ...	PERMISO
DE ...	REVISADO
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	APROBADO

GRUPO VII MOTORES ELÉCTRICOS DE EJE VERTICAL

PERIODO DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES	TRABAJOS A REALIZAR	MATERIALES PROPUESTOS Y LUBRICANTES NECESARIOS
1 día		<ul style="list-style-type: none"> Verificación de voltaje, amperaje y potencia. Verificación visual de niveles de aceite de los baleros. Monitoreo de vibraciones no estabilizadas en el funcionamiento del equipo, y condiciones generales de trabajo. 	-Formulario.
6 meses		<ul style="list-style-type: none"> Desmontaje completo del motor sacando los baleros y el motor. Limpieza de los baleros, inspección de los ejes y cambio de aceite 3/0 grado, o cambio de baleros si fuera necesario. Inspección eléctrica de las bobinas, limpieza exterior con aire comprimido y solve la industria, si este necesario, reemplazamiento con los de dieléctricos. Prueba, realimentación y prueba completa. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aceite. -Baleros. -Barniz dieléctrico. -Cables y terminales eléctricos. -Cinta aislante eléctrica. -Grasa. -Solvente industrial.

Hoja nº 2 de 21

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIONES DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACION Y REPARACIONES

SUBSISTEMA DE ...	PERMISO
DE ...	REVISADO
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	APROBADO

GRUPO VIII MOTORES ELÉCTRICOS DE TIPO ...

PERIODO DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES	TRABAJOS A REALIZAR	MATERIALES PROPUESTOS Y LUBRICANTES NECESARIOS
1 día		<ul style="list-style-type: none"> Verificación de voltaje, amperaje y potencia. 	
6 meses		<ul style="list-style-type: none"> Desmontaje completo del motor y desacople de los baleros. Inspección de los baleros y baleros, o cambio si fuera necesario. Inspección del platillo de mantenimiento del motor o cambio si fuera necesario. Inspección del sistema de lubricación del motor y limpieza del filtro, o cambio si fuera necesario. Verificación eléctrica del rotor y del estator. Montaje, realimentación y prueba completa. Inspección del aislamiento de cable del motor. Reemplazo de los bobinas-motor. Inspección de los checks de los ejes, y reemplazo si fuera necesario. 	

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLES Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA DE SERVICIO No. 1

SISTEMA DE AGUA POTABLE	FORMULA
DE JALISCO	REVISO
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	APROBO
	FECHA

GRUPO IX MOTORES DE COMBUSTION INTERNA PARA GASOLINA

PERIODO DE MANTENIMIENTO	EJECUTANTE	TRABAJO A REALIZARSE	MATERIALES PROPUESTOS Y LUBRICANTES NECESARIOS
1 día		Verificación de niveles de agua, aceite y combustible, antes de arrancar el equipo. Registro de lecturas de presión de aceite, temperatura, rpm, y revoluciones por minuto, durante el período de trabajo. Verificación de las condiciones generales de trabajo del equipo. Cálculo del número de horas de trabajo a partir del último cambio de aceite, y cambio de aceite y filtro cuando se acumulen 150 horas de trabajo, siempre y cuando no se indique un número diferente para un motor en particular, en cuyo caso el cambio se registrará por éste número.	-Aceite. -Filtro de aceite. -Formulaciones.
1 mes		Limpieza de las bujías sin alterar su calibración, drenaje y reposición del agua del radiador con el motor frío, lavado del filtro de aire, si lo hay.	-Agujas de los carburadores y su asiento. -Bujías. -Cables de la ignición.
3 meses		Limpieza y calibración de bujías, asentada y calibración de los platinos, limpieza, chequeo y calibración del carburador, regulación y afinamiento del motor, y cambio de todas las partes que fueren necesario a juicio del mecánico. Nota: Siempre que se cambien los platinos se cambiará el condensador. Verificación total del sistema eléctrico.	-Condensador. -Conjunto de juntas y sellos. -Perratex. -Platinos. -Terminales de los cables. -Conjunto de la bomba de agua.
1 año		Inspección y reparación completa de la máquina y cambio de todas las partes que el mecánico reparador considere necesario.	-Escobillas del generador eléctrico. -Jos. de anillos. -Jos. de bujías p/la bujía. -Jos. de cojinetes de bancada y biela. -Jos. de juntas de los carburadores.

Hoja No. 9 de 21

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLES Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA DE SERVICIO No. 1

SISTEMA DE AGUA POTABLE	FORMULA
DE JALISCO	REVISO
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	APROBO
	FECHA

GRUPO V MOTORES DE COMBUSTION INTERNA PARA GASOLINA

PERIODO DE MANTENIMIENTO	EJECUTANTE	TRABAJO A REALIZARSE	MATERIALES PROPUESTOS Y LUBRICANTES NECESARIOS
1 día		Verificación de niveles de agua, aceite y combustible antes de arrancar el equipo. Lubricación de los puntos de engrase. Registro de lecturas de presión de aceite, temperatura, rpm y revoluciones por minuto, durante el período de trabajo. Verificación de las condiciones generales de trabajo del equipo. Cálculo del número de horas de trabajo a partir del último cambio de aceite, y cambio del aceite y filtro cuando se acumule el número de horas que se especifique para cada unidad.	
1 semana		Limpieza y lavado del filtro de aire.	
1 mes		Drenaje y lavado del tanque de combustible, drenaje y reposición del agua del radiador con el motor en frío, cuando fuera del tipo de refrigeración por agua, lavado de filtros de combustible, cuando sean de tipo metálico. Verificación de la tensión de la banda del ventilador.	
3 meses		Limpieza y calibración de inyectores y válvulas. Cambio de filtros de combustible. Limpieza de los purificadores de aire. Revisión del sistema de escape. Revisión del sistema auxiliar de arranque, ajuste de pernos y tuercas del motor.	
1 año		Mantenimiento de tres meses, además: Escobillado de las válvulas. Descarbonización de los cilindros y platinos. Chequeo del cilindro, limpieza de los orificios.	

Hoja No. 9 de 21

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB SECRETARIA DE OPERACIONES
 DIRECCION GENERAL DE OPERACIONES DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

SISTEMA DE AGUA POTABLE	FORMULARIO
DE JALISCO	REVISADO
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	APROBADO
	FECHA

GRUPO X MOTORES DE COMBUSTION INTERNA PARA DIESEL

REVISOR	REVISADO	TRABAJOS A REALIZAR	MATERIALES, PRECIOS Y ALTERNATIVAS NECESARIAS
		de lubricación del motor y cambio de aceites - si fuese necesario a juicio del mecánico reparador.	
		Revisión y revisión del sistema de embrague.	
		Adquisición o cambio del conjunto de la bomba de agua.	
		Inspección y reparación completa de la máquina y cambio de las partes que el mecánico reparador considere necesarias.	<ul style="list-style-type: none"> - Aceite. - Agua destilada. - Caja de bolas del embrague. - Ciglo, tal nuevo o rectificación si fuese necesario. - Laminas de los embragues. - C/ conjunto de la bomba de agua. - Conjunto de juntas y sellos. - Conjunto para bomba de agua. - Disco del embrague. - Filtros de aceite. - Filtros de combustible. - Grasa. - Juego de anillos. - Juego de cables y terminales. - Juego de bujías para los cilindros. - Juego de cojinetes del eje de la bomba. - Juego de bujías para...

11 de 21

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 SUB SECRETARIA DE OPERACIONES
 DIRECCION GENERAL DE OPERACIONES DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

SISTEMA DE AGUA POTABLE	FORMULARIO
DE JALISCO	REVISADO
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	APROBADO
	FECHA

GRUPO X MOTORES DE COMBUSTION INTERNA PARA DIESEL

REVISOR	REVISADO	TRABAJOS A REALIZAR	MATERIALES, PRECIOS Y ALTERNATIVAS NECESARIAS

FORMA DGOSAPA MP-5

Las indicaciones para el correcto llenado de esta forma se señalan en la página No. 6 del Capítulo Termino,

En la forma se programaron los trabajos de los equipos electromecánicos de los 3 sistemas considerados.

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACION

FORMULA 360349A No. 1

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE JALISCO LOCALIDAD ESTACIÓN	FORMULO
CALENDARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	REVISÓ
	APROBÓ
	FECHA

AÑO 1975

DÍA	MES	RUTA I BRIGADA I	NUMEROS DE IDENTIFICACION	PERIODO
<u>VALLE DE GUADALUPE</u>				
6	ENERO	MANANTIAL "AGUA CALIENTE"	II ₁	1 AÑO
7	"	"	VII ₁	6 MESES
8	"	"	XIII ₁	6 MESES
9	"	"	XVI ₁	6 MESES
10	"	"	XVII ₁	6 MESES
<u>VALLE DE GUADALUPE</u>				
13	ENERO	POZO N° 1 "LA PROVINCIA"	VIII ₁	6 MESES
14	"	"	XIII ₁	6 MESES
15	"	"	XVI ₁	6 MESES
16	"	"	XVII ₁	6 MESES
<u>SAN MIGUEL EL ALTO</u>				
17	ENERO	POZO N° 1 "EL AGUA CALIENTE"	II ₂	1 AÑO
20	"	"	VII ₂	6 MESES
21	"	"	XIII ₂	6 MESES
22	"	"	XVI ₂	6 MESES
23	"	"	XVII ₂	6 MESES
24	"	"	XI ₁	6 MESES

FORMA GOBERN. 1946

Las indicaciones para el correcto llenado de esta forma se señalan en la página No. 7 del Capítulo Tercero.

Para simplificación del ejemplo, únicamente se incluyeron los reportes de los trabajos efectuados en el sistema de Tonalá, Jal.

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLA D
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA OGOSAPA MP-6

SISTEMA DE AGUA POTABLE
 (AGUA POTABLE Y DE ALCANTARILLADO)
 DE TONALA, JALISCO
 (LOCALIDAD Y ESTADO)

CONTROL DE MANTENIMIENTO
 PREVENTIVO Y DE REPARACION DE DAÑOS

FORMULO _____
 REVISO _____
 APROBO _____
 FECHA _____

AÑO 1975

FECHAS	TRABAJO REALIZADO	PERSONAL QUE LO REALIZO	TIEMPO EMPLEADO		REPUESTOS QUE SE USARON	REVISADO POR
			Días	Hrs.		
6 ENERO	BOMBA Se realizó el desmontaje integral del equipo y limpieza de todas las partes, así como la inspección de todos los elementos de fricción con el eje, del eje en la columna en la bomba y cambio de las partes defectuosas. Se cambiaron los sellos de aceite en la bomba. Se revisaron los impulsores y anillos de fricción de los mismos y cambio de las partes dañadas. Se efectuó la revisión de los tornillos. Limpieza del condensador o secadora de succión. Se realizó el control de las válvulas de entrada, salida y check y finalmente se chequeó las condi-	BRIGADA 1	1		Sellos de aceite, anillos de desgate, empaquetadura de válvulas.	

Hoja No 1 de 9

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACION
 DIRECCION GENERAL DE OPERACION DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLA D
 DIRECCION DE CONSERVACION Y OPERACION

FORMA OGOSAPA MP-6

SISTEMA DE AGUA POTABLE
 (AGUA POTABLE Y DE ALCANTARILLADO)
 DE TONALA, JALISCO
 (LOCALIDAD Y ESTADO)

CONTROL DE MANTENIMIENTO
 PREVENTIVO Y DE REPARACION DE DAÑOS

FORMULO _____
 REVISO _____
 APROBO _____
 FECHA _____

AÑO 1975

FECHAS	TRABAJO REALIZADO	PERSONAL QUE LO REALIZO	TIEMPO EMPLEADO		REPUESTOS QUE SE USARON	REVISADO POR
			Días	Hrs.		
7 ENERO	MOTOR ELECTRICO Se desmontó totalmente el motor sacando los baleros y el rotor, se efectuó un lavado en los baleros, inspección de los mismos y cambio de aceite. Se realizó una comprobación eléctrica de las bobinas, limpieza exterior con aire comprimido y solvente industrial y recubrimiento con barniz dieléctrico y finalmente se realizó el montaje, realineamiento y pruebas completas.	BRIGADA 1	1			Aceite Solvente Industrial Barniz dieléctrico Grasa 1 Solero Cinta aislante eléctrica

Hoja No 3 de 6

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

FORMA 000896 09-6

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE TONALA, JALISCO (LOCALIDAD Y ESTADO)	FORMULÓ _____ REVISÓ _____ APROBÓ _____ FECHA _____
---	--

AÑO 1975

FECHAS	TRABAJO REALIZADO	PERSONAL QUE LO REALIZÓ	TIEMPO EMPLEADO (Días, Hrs)	REPUESTOS QUE SE USARON	REVISADO POR
ENERO	INTERRUPCIÓN Se realizó la limpieza de sulfatación de terminales. Se aplicó una película de grasa a las cuchillas. Se realizó el ajuste mecánico de accionamiento y cambio de fusibles.	BRIGADA 1	1	Grasa Lijas Fusibles	

Hoja No 5 de 6

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 SUB-SECRETARÍA DE OPERACIÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS
 DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

FORMA 000896 09-6

SISTEMA DE AGUA POTABLE DE TONALA, JALISCO (LOCALIDAD Y ESTADO)	FORMULÓ _____ REVISÓ _____ APROBÓ _____ FECHA _____
---	--

AÑO 1975

FECHAS	TRABAJO REALIZADO	PERSONAL QUE LO REALIZÓ	TIEMPO EMPLEADO (Días, Hrs)	REPUESTOS QUE SE USARON	REVISADO POR
10 ENERO	SUBESTACION LLEGRICA Se efectuó la comprobación dieléctrica del aceite. Se hizo conexión a tierra. Revisión de los ductos de conexión y limpieza y prueba de aislamiento del transformador. revisión y limpieza de los pararrayos, revisión y limpieza de la línea de transmisión eléctrica, revisión los cortacircuitos y sus fusibles revisión de los apartarrayos y cambio de aceite dieléctrico.	BRIGADA 1	1	Acete de transformador Puntas de pararrayos Fusibles	

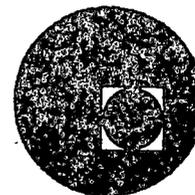
Hoja No 6 de 6

LIBROS DE CONSULTA:

- 1.- Hicks, Tyler G. Bombas su selección y aplicación.
- 2.- Carter, Roy y Colaboradores: Pump Questions and Answers New York, Mc Graw-Hill- 1949.
- 3.- Hydraulic Handbook Fairbanks Morse & Co.
- 4.- Manual de Mantenimiento Preventivo, Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- 5.- Apuntes del Curso Intensivo Bombas para Agua Potable, Organización Panamericana de la Salud 1966.
- 6.- Revistas Técnicas y Catálogos de fabricantes de bombas.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



CONTROL DE FILTRACIONES EN EXCAVACIONES BAJO EL NIVEL FREÁTICO



ENRIQUE TAMEZ GONZALEZ

VICEPRESIDENTE TECNICO

ABRIL 1970

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY



1954

CHICAGO, ILL. 60637

UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS



UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
530 N. DEARBORN AVENUE
CHICAGO, ILL. 60610



UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
530 N. DEARBORN AVENUE
CHICAGO, ILL. 60610

CONTROL DE FILTRACIONES EN
EXCAVACIONES BAJO EL NIVEL FREÁTICO

Ing. Enrique Tamez G.

Con frecuencia es necesario excavar a profundidades abajo del nivel freático para construir una cimentación; cuando esto sucede el agua freática fluye hacia la zona excavada y es entonces indispensable conducirla por zanjas colectoras hasta cárcamos de bombeo, como muestra el esquema de la fig. 1. Esta forma de abatimiento del nivel freático puede ser tolerable en algunos casos, cuando el gasto que fluye hacia el interior de la excavación es relativamente pequeño, es decir 5 a 10 lt/seg, y no se produce el arrastre de partículas de suelo por el agua. Tales condiciones se presentan cuando se excava en suelos cohesivos como arcillas, limos arcillosos, arenas arcillosas, gravas arcillosas; es decir, todos aquellos suelos con algún contenido de arcilla que produce cierta cohesión entre las partículas y ofrece cierta resistencia a la erosión. Sin embargo, en cualquiera de estos casos las filtraciones que se generan hacia la excavación producen fuerzas de filtración que tienden a provocar el deslizamiento de los taludes, lo que obliga a construirlos con pendientes muy tendidas.

Por el contrario, cuando se excava con este procedimiento en suelos no cohesivos, tales como los limos no plásticos, las arenas limosas y las arenas finas, se produce el deslizamiento y la erosión de los taludes y del fondo de la excavación, aun cuando la profundidad sea apenas de uno o dos metros bajo el nivel freático. Además, las filtraciones ascendentes en el fondo de la excavación, al tratar de levantar las partículas de suelo, aflojan su estructura y lo convierten en un material suelto, con lo cual se reduce importantemente la capacidad de carga y se aumenta la compresibilidad del suelo que queda bajo el fondo de la excavación. Si el gradiente hidráulico a la salida de las filtraciones del fondo es cercano a la unidad, las partículas del suelo no cohesivo entran en ebullición; es decir, se produce la condición de una arena movediza. Este fenómeno es mas evidente en el caso de la excavación para una pila de puente que se muestra en el esquema No. 2; las fuerzas de filtración ascendentes provocan el levantamiento del material del fondo comprendido entre las tablaestacas, lo cual puede anular el empuje pasivo que actúa en el empotramiento, dando por resultado la falla de las tablaestacas

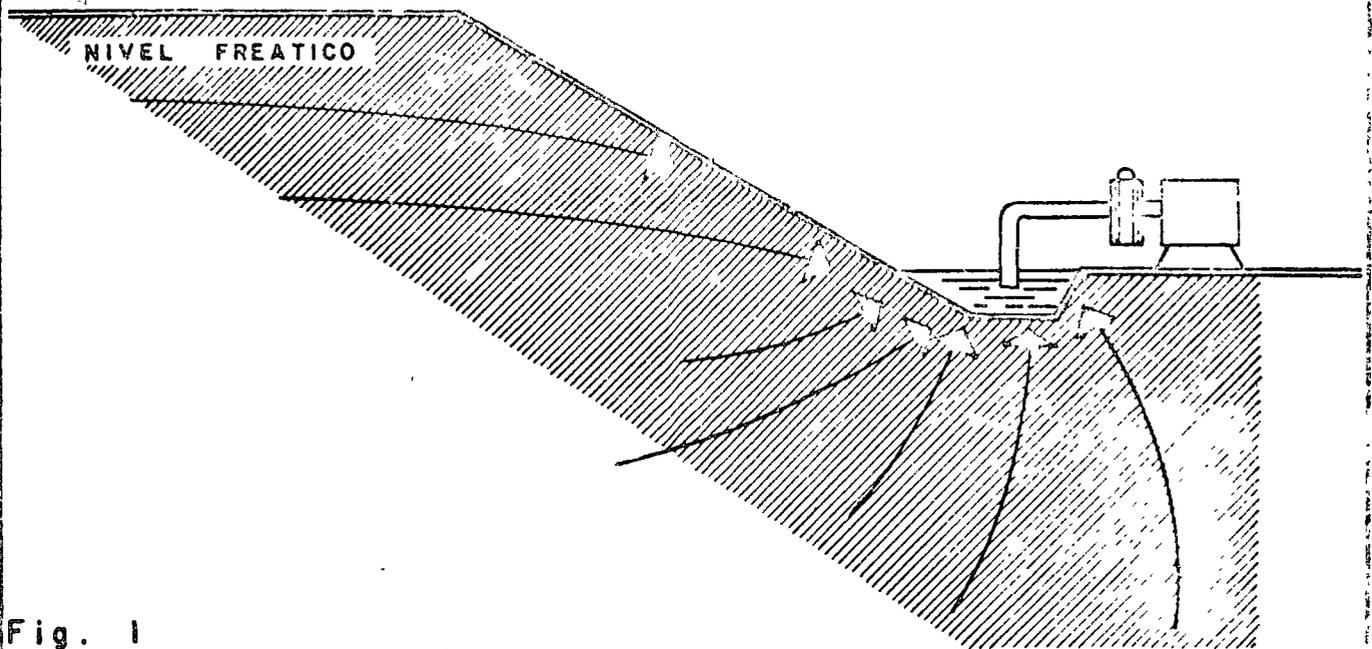


Fig. 1
 FILTRACIONES HACIA EL INTERIOR
 DE UNA EXCAVACION EN TALUD.

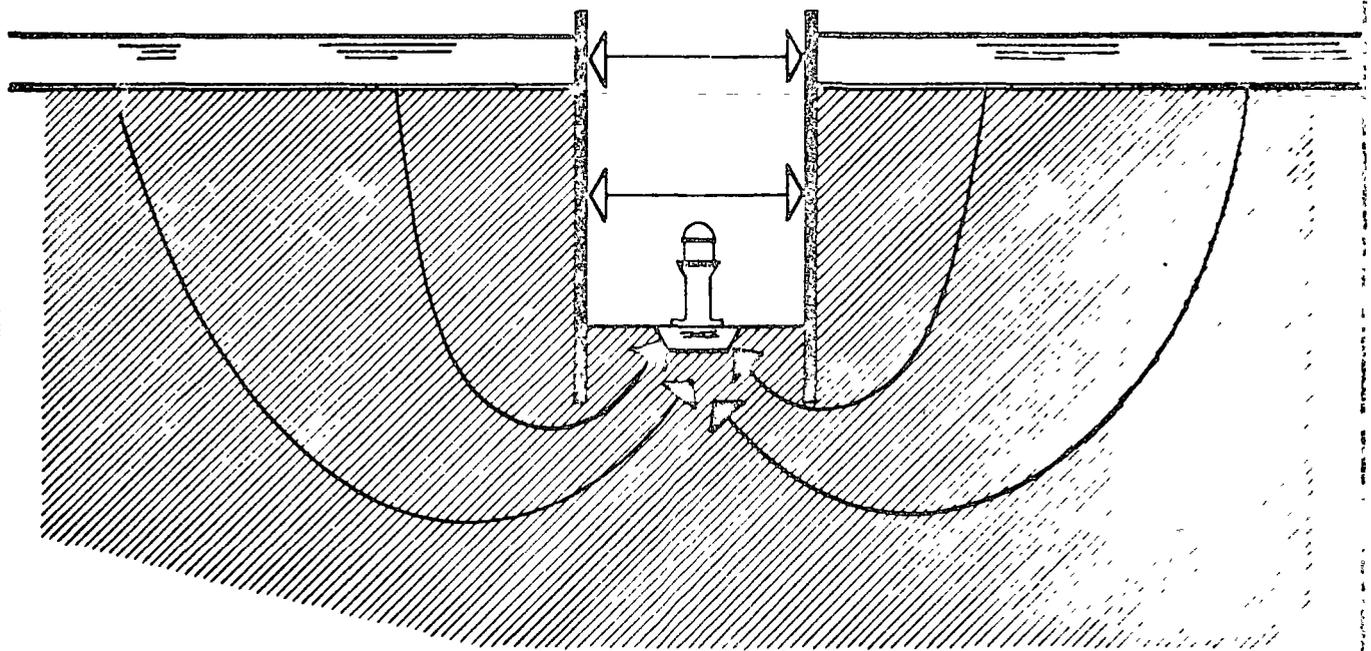


Fig. 2
 FILTRACIONES EN UNA EXCAVACION
 EN TRINCHERA ADEMADA.

por "pateo". Si la excavación se hace en suelos de alta permeabilidad, como las gravas y las arenas gruesas, el gasto de filtración se vuelve tan grande que se convierte en un serio inconveniente para la seguridad y la buena ejecución de la obra. De aquí, la necesidad de controlar - en todos estos casos las filtraciones, a fin de eliminar los efectos de inestabilidad, de ebullición o de arrastre de los suelos durante la excavación.

Los procedimientos de que se dispone actualmente para el control de las filtraciones actúan sobre éstas en dos formas diferentes:

En unos casos se conducen las filtraciones mediante instalaciones convenientes de bombeo, extrayéndolas del suelo antes de que lleguen al sitio de la excavación; éstos son los llamados "métodos de drenaje" y permiten abatir el nivel freático, en forma local, en el sitio en que se excava, previamente a la ejecución de la excavación.

Otros procedimientos evitan la llegada del agua al sitio de la excavación interceptándola mediante pantallas impermeables que rodean al sitio de la construcción y, en ocasiones, forman también un fondo impermeable, cuando no existen en forma natural estratos impermeables que impidan la filtración por el fondo; a éstos se les llama "métodos de impermeabilización".

DRENAJE. - (1)

A continuación se enumeran los diversos tipos de instalación para el abatimiento del nivel freático antes de la excavación:

- a) Sistemas que actúan por gravedad:
 - Pozos-punta
 - Pozos profundos
- b) Sistema combinado de gravedad y vacío.
- c) Sistema combinado de bombeo y electrósmosis.

Pozos-punta.- El esquema de la Fig. 3 muestra este sistema que consiste en una serie de tubos verticales de unos 6 m de longitud y diámetro de 1 1/2" a 2", en cuyo extremo se acopla un tubo especial formado

(1) Ver referencias al final de este escrito.

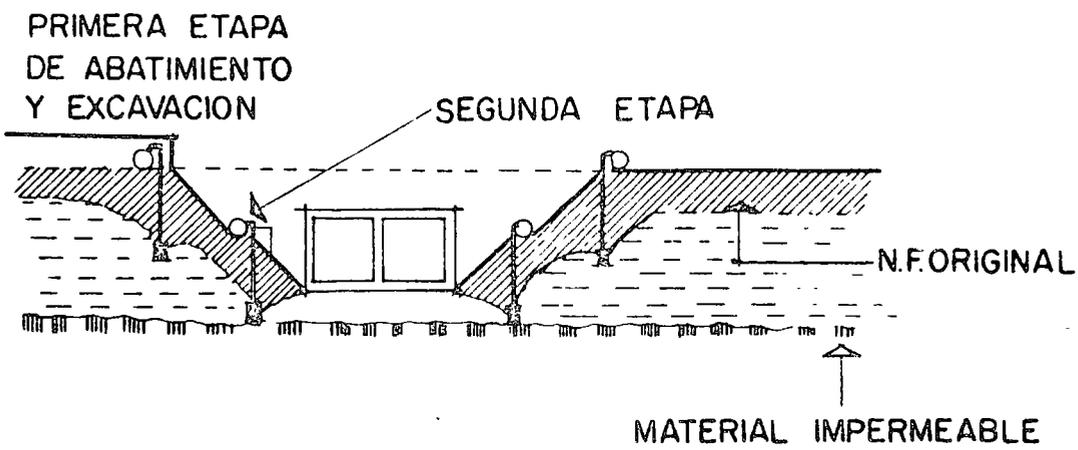
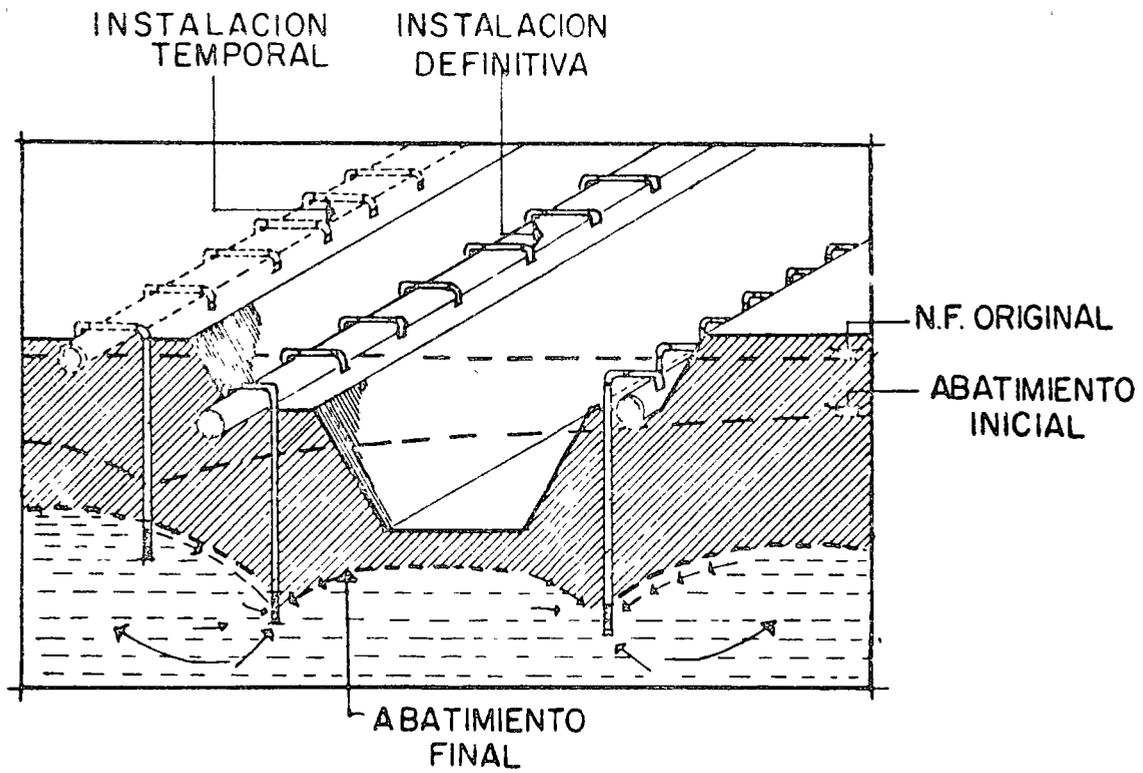


FIG. 3

ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO
 MEDIANTE POZOS - PUNTA

por una fina malla metálica o de plástico, en cuyo interior se aloja un tubo perforado; esta última parte tiene unos 0.60 m de longitud y en su extremo inferior está provista de una válvula de pié. Estos tubos se instalan en el terreno hincándolos con el auxilio de un chiflón de agua que circula por el propio tubo y sale por el extremo inferior alrededor de la válvula de pié, como muestra el esquema No. 4; dichos "tubos-punta" se colocan en líneas alrededor de la excavación, con separaciones entre una y otra "punta", que varían de 0.5 a 2 m; excepcionalmente esa separación llega a ser de 3 m. El extremo superior de cada uno de los tubos se conecta a una tubería con diámetro de 8" a 10", la cual a su vez conecta al extremo de succión de una bomba centrífuga de impulsor abierto, provista de una trampa de aire; una bomba de vacío conectada también en la tubería de succión, complementa el sistema. Al crear el vacío en la tubería de succión, la válvula de pié de las puntas, cierra el extremo inferior de éstas y el agua del suelo pasa solamente a través del cedazo con lo cual se evita el arrastre de partículas de arena y limo.

Cada una de estas puntas es capaz de succionar un gasto de 0.5 a 1.0 lt/seg, dependiendo de su diámetro; así pues, la separación de las puntas dependerá del gasto que haya de bombear por metro lineal de perímetro del sistema, el cual está relacionado con la permeabilidad del suelo, de manera que si se conoce ésta, se puede estimar el gasto por unidad de longitud, así como el diámetro de las puntas y su separación. Para fines de orientación a este respecto, puede decirse que, en arenas de tamaño medio a fino, cuya permeabilidad es del orden de 10^{-2} cm/seg, pueden requerirse puntas de 2" con una separación de 0.50 m, mientras que, en arenas finas limosas con permeabilidad del orden de 10^{-3} cm/seg, bastarán puntas de 1 1/2" con separación de unos 2 m.

El sistema de pozos-punta solo permite abatir el nivel freático hasta unos 6 m de profundidad, por lo que, si se requiere mayor profundidad de abatimiento, es necesario instalar varios circuitos de puntas escalonados como indica el croquis de la fig. 5.

Pozos-profundos.- Como una alternativa a la instalación de puntas escalonadas, se recurre al uso de pozos profundos que se instalan en un solo circuito perimetral a la excavación, según se ve en el croquis 6. Las bombas de pozo profundo se fabrican en una amplia gama de capacida-

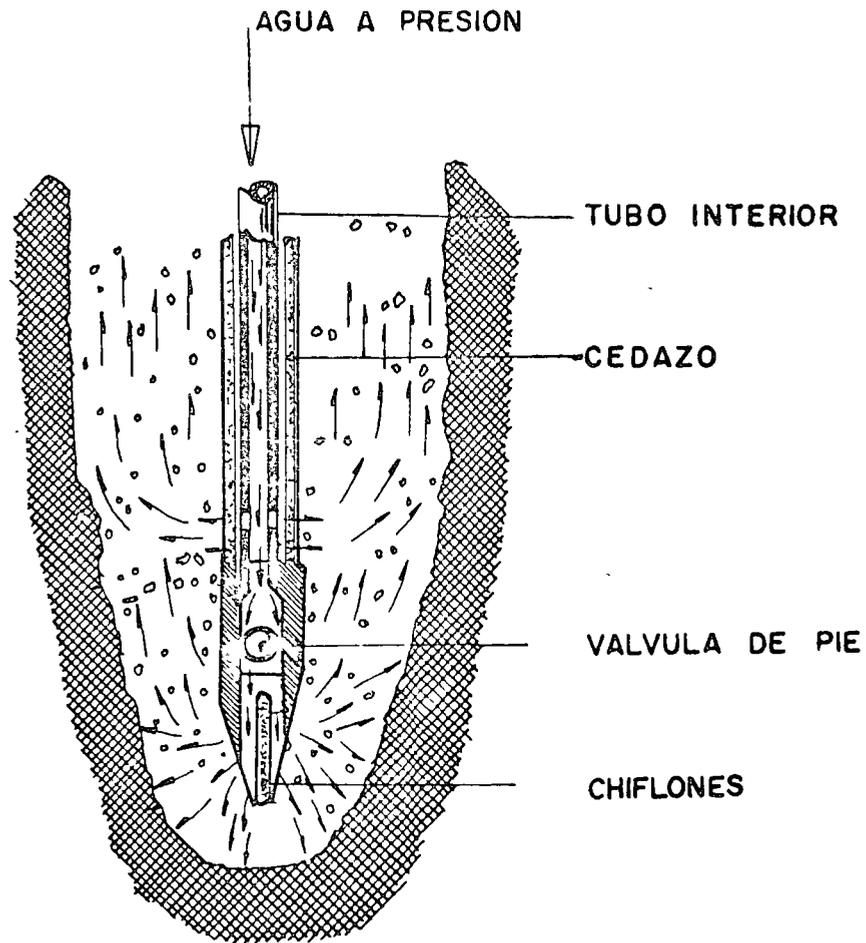


FIG. 4

**HINCADO DE LA PUNTA POR MEDIO
DE CHIFLON DE AGUA**

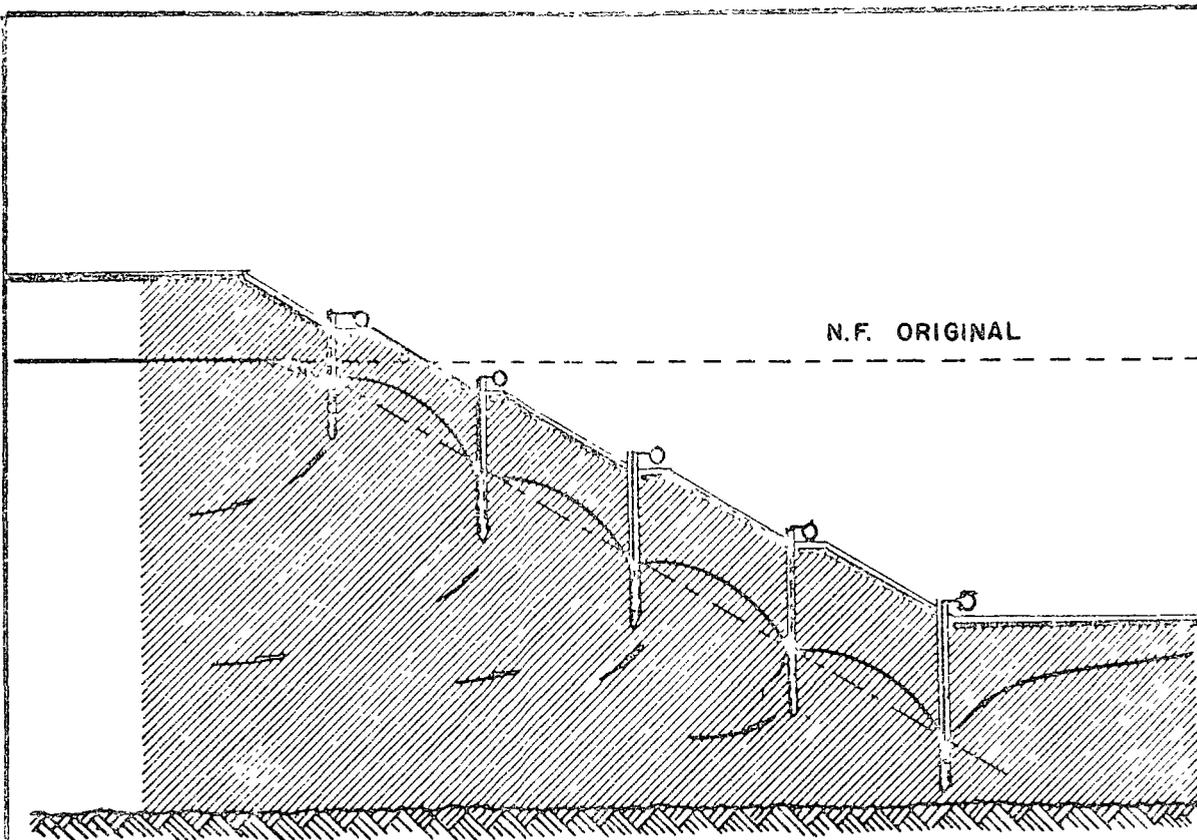


FIG. 5
 ABATIMIENTO MEDIANTE VARIAS
 ETAPAS ESCALONADAS

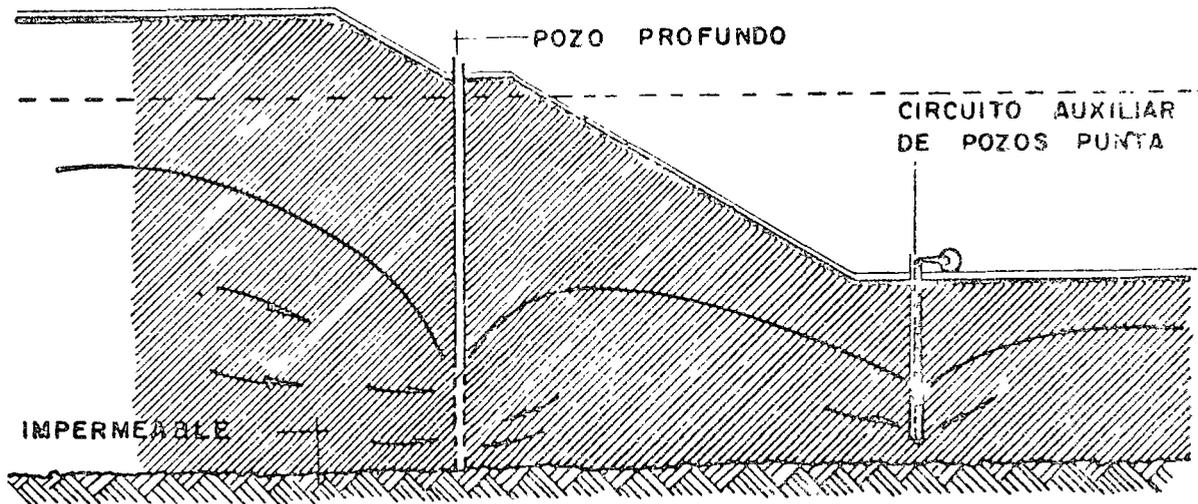


FIG. 6
 ABATIMIENTO DE N.F. MEDIANTE
 POZOS PROFUNDOS

des que va desde unos 5 a 10 lt/seg, hasta gastos mayores de 100 lt/seg, lo cual permitiría diseñar una instalación que lograra controlar cualquier gasto de filtración y a cualquier profundidad que pudiera requerirse en la práctica, aun tratándose de excavaciones de gran profundidad en depósitos de grava y arena gruesa y limpia, cuya permeabilidad sea mayor de 10-1 cm/seg; bastaría para ello conocer la permeabilidad media y la estratigrafía del depósito para determinar, mediante el trazo de una red de flujo, el gasto por metro lineal que se obtendrá a lo largo de la línea de bombeo. Puesto que es indispensable que los conos de abatimiento de cada uno de los pozos a lo largo de la línea de bombeo se traslapen completamente, es necesario que la separación entre pozos no sea mayor que la mitad de la profundidad de abatimiento requerida y que el espejo del agua abatida en cada pozo de bombeo se encuentre de 2 a 3 m abajo de la profundidad de abatimiento deseada en la excavación. Sobre estas bases se puede elegir la capacidad y número de las bombas que se requiera. Sin embargo, cuando se trata de permeabilidades de 10-1 cm/seg, o mayores (gravas y arenas limpias), los gastos que se bombean llegan a ser tan grandes que requieren de fuertes inversiones en equipo y costo de operación; en tales circunstancias puede justificarse mejor, desde un punto de vista económico, evitar las filtraciones mediante métodos de impermeabilización que se discutirán más adelante.

Bombeo y vacío combinados.- Cuando se tienen depósitos de limos o limos arenosos cuya permeabilidad varía entre 10-3 y 10-5 cm/seg, los sistemas de bombeo de gravedad por sí solos pueden requerir de un tiempo de bombeo demasiado prolongado, o bien ser totalmente ineficientes para los limos menos permeables; en tales condiciones se recurre al auxilio de un sistema de vacío que, combinado con el equipo de bombeo produce un vacío que actúa en las paredes del pozo, a través del filtro, según se muestra en el esquema 7; este sistema aumenta el gradiente de las filtraciones hacia el pozo y desarrolla un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que, a su vez, se traduce en un aumento de la presión intergranular y, por lo tanto, de la resistencia al corte del suelo. De esta manera, no solamente se logra la eliminación de las fuerzas de filtración, sino que además, el estado de tensión creado en el agua mejora notablemente las condiciones de estabilidad de los taludes de una excavación, lo que permite aumentar el ángulo del talud y reducir el volumen de tierra excavada.

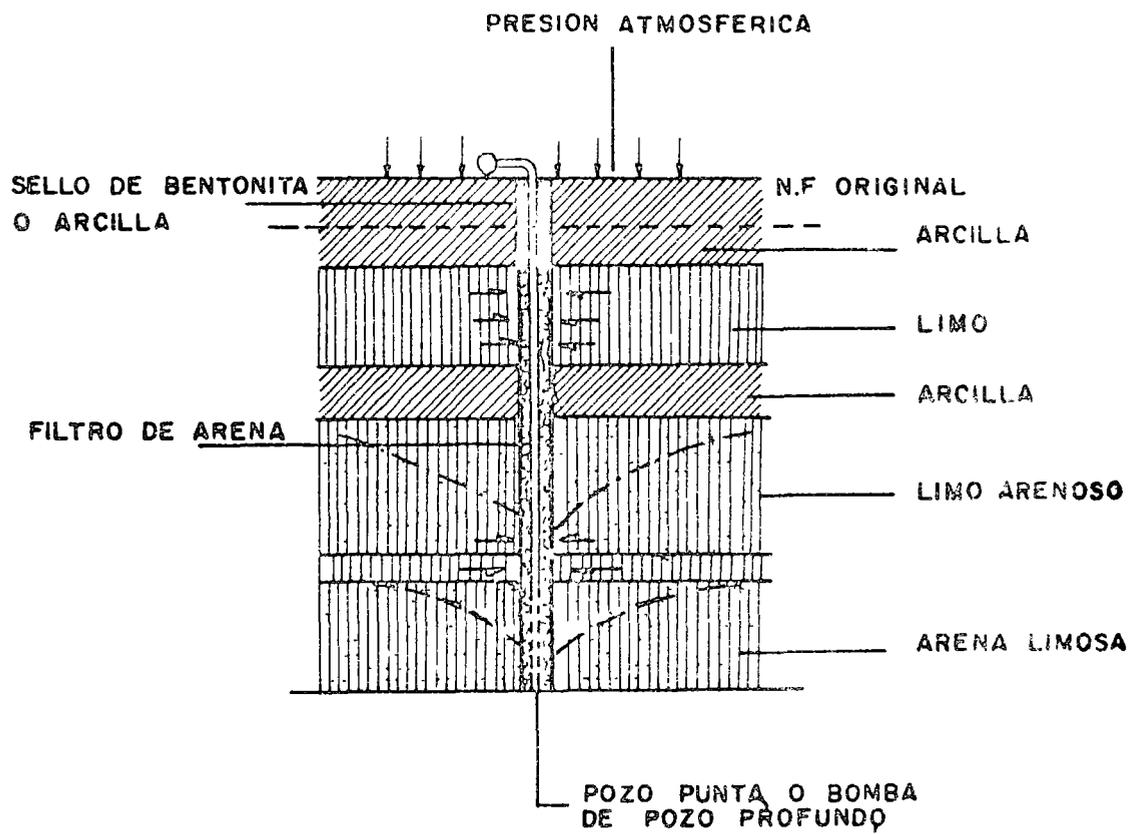


FIG. 7
BOMBEO Y VACIO COMBINADOS

En el caso de suelos estratificados que contienen capas alternadas de muy diferente permeabilidad, arenas, limos y arcillas, se requiere del empleo de pozos con filtro en toda la profundidad, independientemente del sistema de bombeo que se utilice, tal como lo muestra el esquema 8.

Bombeo combinado y electrósmosis.- (2) Cuando se trata de suelos de baja permeabilidad como las arenas arcillosas, los limos arcillosos y las arcillas de mediana o alta plasticidad, cuyo coeficiente de permeabilidad es del orden de 10^{-6} cm/seg o menor, la aplicación del sistema de vacío es insuficiente para lograr el abatimiento rápido del nivel freático; en estos casos el bombeo puede auxiliarse con la aplicación de un gradiente de potencial eléctrico que acelera el flujo del agua a través de los poros del suelo y desarrolla, de manera semejante al sistema de vacío, un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que incrementa temporalmente la resistencia al corte, efecto que unido a la eliminación de las fuerzas de filtración, estabiliza los taludes.

Ya se ha dicho que en este tipo de suelos, dada su baja permeabilidad, se producen gastos de filtración muy pequeños que son fáciles de manejar desde el interior de la excavación; además, por ser suelos cohesivos no son fácilmente erosionables y puede excavarlos en ellos hasta profundidades razonables sin necesidad de abatimiento previo del nivel freático. Sin embargo, cuando la profundidad de la excavación va más allá de los límites de la estabilidad de los taludes, el empleo de la electrósmosis y el bombeo combinados es conveniente para mejorar las condiciones de estabilidad de los taludes y alcanzar con toda seguridad la profundidad de excavación final.

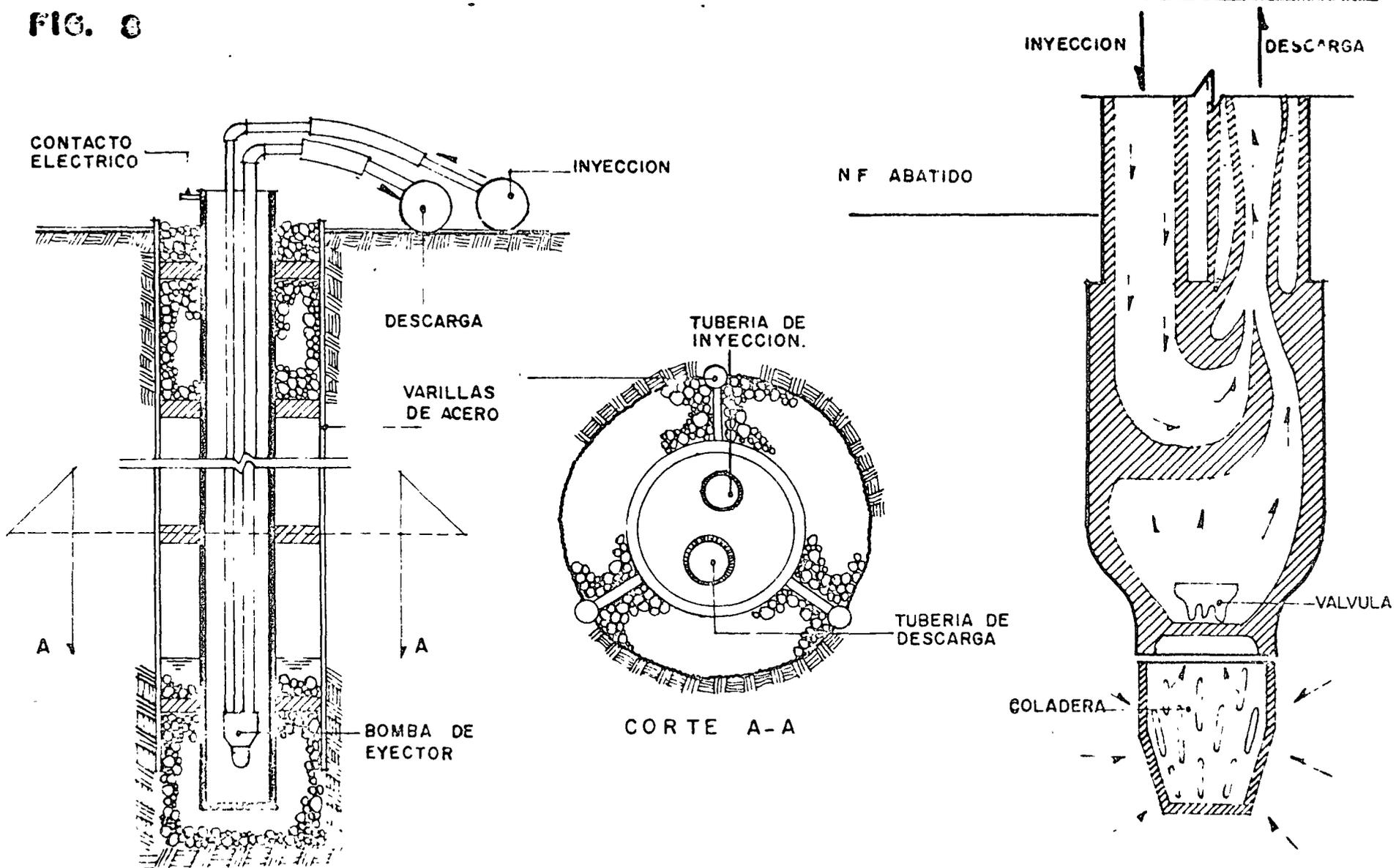
En el caso de excavaciones en arcillas blandas y expansivas, como las del Valle de México, se producen expansiones del fondo de la excavación, como consecuencia de la descarga que sufren los suelos que quedan bajo el nivel del fondo, al retirar la tierra que se encuentra arriba de ese nivel. En excavaciones realizadas en estos suelos, a profundidades de 6 a 8 m, se han registrado expansiones mayores de 60 cm, las cuales se recuperan en forma de asentamientos al volver a cargar las arcillas con el peso de la estructura. En esta forma, una cimentación totalmente compensada que, teóricamente no debería sufrir asentamientos se hunde una cantidad igual a la expansión provocada durante el proceso de excavación. En estos casos el abatimiento local del nivel freático, previo a la excavación, produce una sobrecarga lo

cal de igual magnitud que la descarga que provocará posteriormente la excavación. Es bien conocido que el abatimiento local del nivel freático produce hundimientos por consolidación de la arcilla, cuya magnitud es función del tiempo que actúa la sobrecarga producida por el abatimiento. Si el abatimiento se logra en un tiempo corto, alrededor de una semana, los hundimientos locales no exceden de unos 10 cm. Este abatimiento rápido se consigue con el auxilio de la electrósmosis. Al ejecutar la excavación después de haber abatido el nivel freático, pueden excavar grandes áreas, produciéndose expansiones de magnitud muy semejante a los asentamientos provocados previamente durante la etapa de abatimiento del nivel freático. Los esquemas 8 y 9, ilustran la instalación de este sistema en el que se emplean pozos de bombeo cuyo ademe metálico está diseñado para servir también como electrodo negativo hacia el cual fluye el agua del suelo impulsada por el potencial eléctrico creado en el terreno mediante la instalación de varillas de acero colocadas entre los pozos, las cuales sirven de electrodos positivos. Los pozos-cátodo (-) y las varillas-ánodo (+), se conectan a los bornes correspondientes de un generador de corriente continua, creándose así el gradiente de potencial eléctrico, cuyo valor se mantiene entre 0.1 y 0.3 volts/cm de separación entre electrodos. El agua es extraída del interior del ademe mediante una pequeña bomba de pozo profundo, del tipo eyector (trompa de vacío) operada por un chiflón de agua producido por una bomba centrífuga de alta presión; el agua inyectada en el eyector, junto con la extraída del suelo, fluyen por una tubería de retorno que regresa hasta el cárcamo de la bomba centrífuga que se encuentra en la superficie, desde donde es recirculada y reinyectada para la operación continua de los eyectores.

En arcillas de alta compresibilidad la distribución de los electrodos en el área de la excavación y el gradiente de potencial aplicado se diseñan de manera tal que se reduzcan al mínimo los asentamientos de la corona de los taludes y de la zona vecina a la excavación, con el fin de evitar daños a estructuras vecinas y prevenir el agrietamiento de los taludes, lo cual empeoraría su estabilidad.

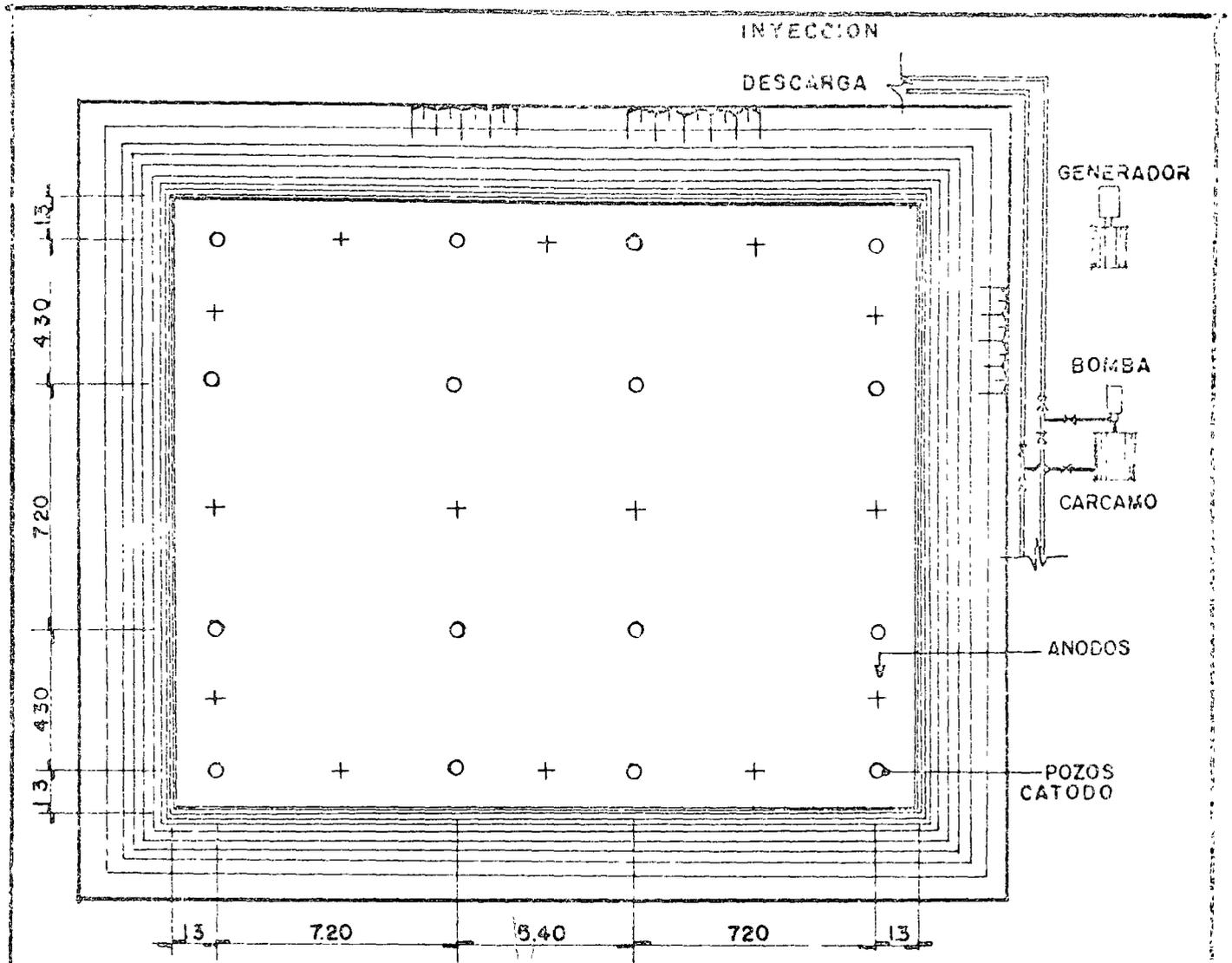
La fig. 10 muestra los rangos de granulometría de suelos dentro de los cuales son aplicables los distintos métodos de abatimiento antes mencionados. En ello puede observarse que para aquellos depósitos de grava y arena cuyas partículas son de tamaños mayores que los correspondientes

FIG. 8

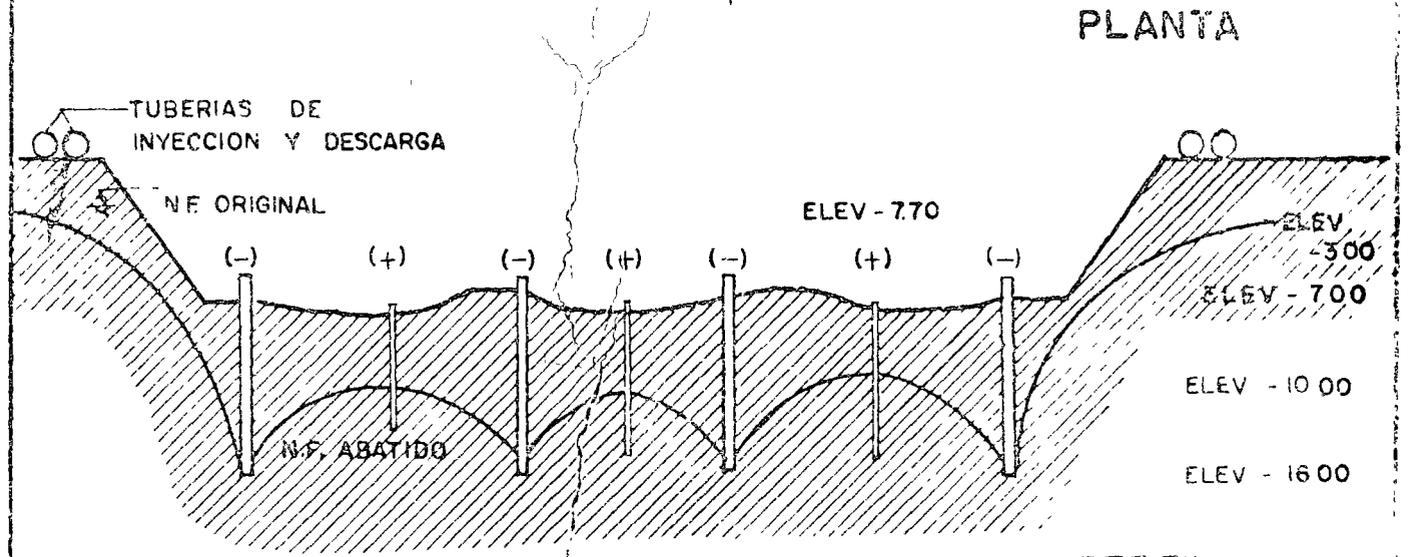


INSTALACION DE UN POZO CATODO

DETALLE DE LA BOMBA DE EYECTOR



PLANTA



PERFIL

FIG. 9

INSTALACION PARA ABATIMIENTO ELECTROSMOTICO EN ARCILLAS

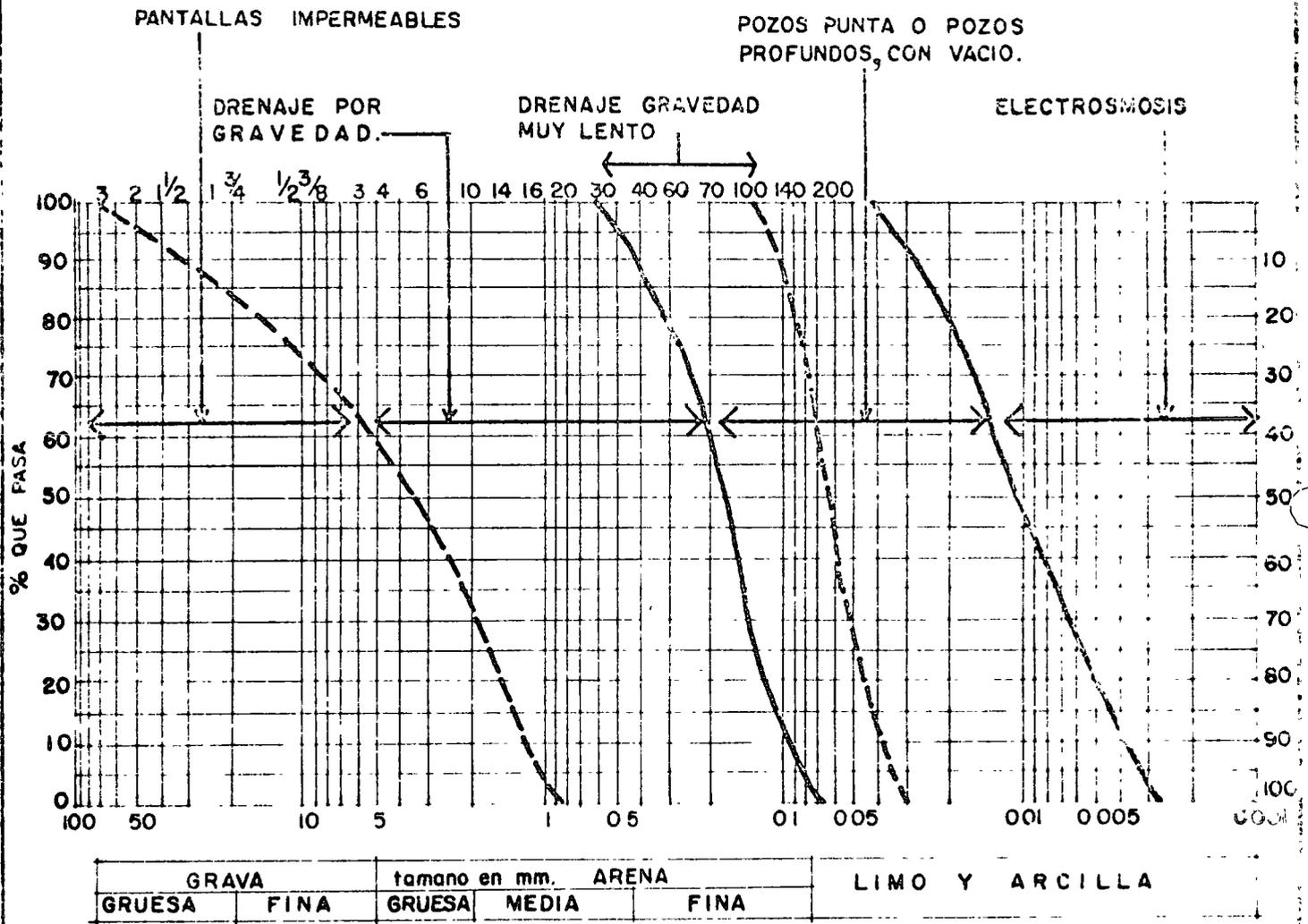


FIG 10

RANGOS DE APLICACION DE DIFERENTES SISTEMAS DE DRENAJE PARA ABATIR EL NIVEL FREATICO

a las arenas gruesas, los métodos de arenaje por gravedad no son recomendables, pues aunque es posible lograr buenos resultados, los grandes gastos de bombeo y el alto costo de las instalaciones de los pozos hacen el procedimiento antieconómico. En estos casos es preferible recurrir a los métodos de impermeabilización.

IMPERMEABILIZACION.

Para construir barreras o pantallas impermeables capaces de interceptar las filtraciones hacia el interior de la excavación, se dispone de los siguientes procedimientos:

- Pilotes secantes de concreto.
- Tableros de concreto.
- Trincheras flexibles.
- Pantallas de inyección

Pilotes secantes de concreto.-

Las pantallas de pilotes secantes se forman mediante pilotes de concreto colados insitu, dentro de una perforación estabilizada con lodo bentonítico; el concreto se coloca dentro de la perforación con el auxilio de una trompa de colado o tubo Tremie que deposita el concreto de alto revenimiento, mayor de 15 cm, en el fondo de la perforación, de manera que el concreto vaya desplazando a la bentonita hasta sustituirla completamente. El trabajo se hace en dos etapas, fig. 11: En la primera se cuelan pilotes alternados a lo largo de la hilera que formará posteriormente la pantalla, y en la siguiente se cuelan los pilotes intermedios. Los pilotes tienen un diámetro de 50 a 60 cm y la longitud suficiente para que su extremo inferior empotre en un estrato impermeable. Si no existe un estrato de estas características dentro de una profundidad razonable, se puede formar artificialmente mediante la inyección de lechadas de bentonita y cemento, o de productos químicos, a fin de impedir la entrada de las filtraciones por el fondo de la excavación.

Tableros de concreto. (3)

La ejecución de perforaciones en depósitos fluviales con alto contenido de cantos rodados, presenta serias dificultades por la necesidad de triturar dichos cantos rodados para que sean extraídos por el lodo bentoní

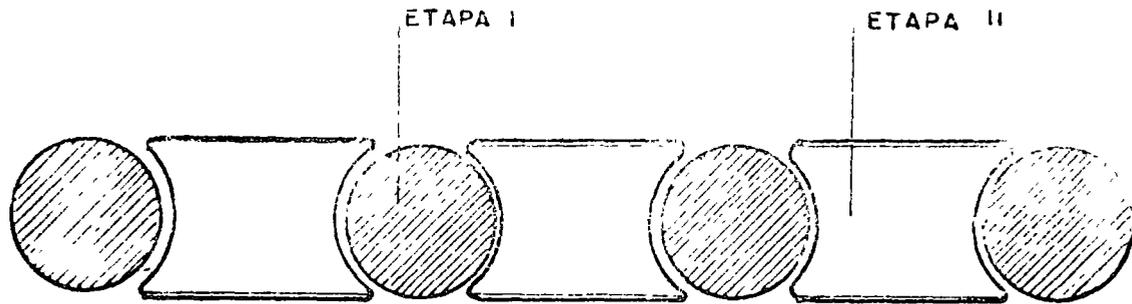


FIG. 11

PILOTES SECANTES

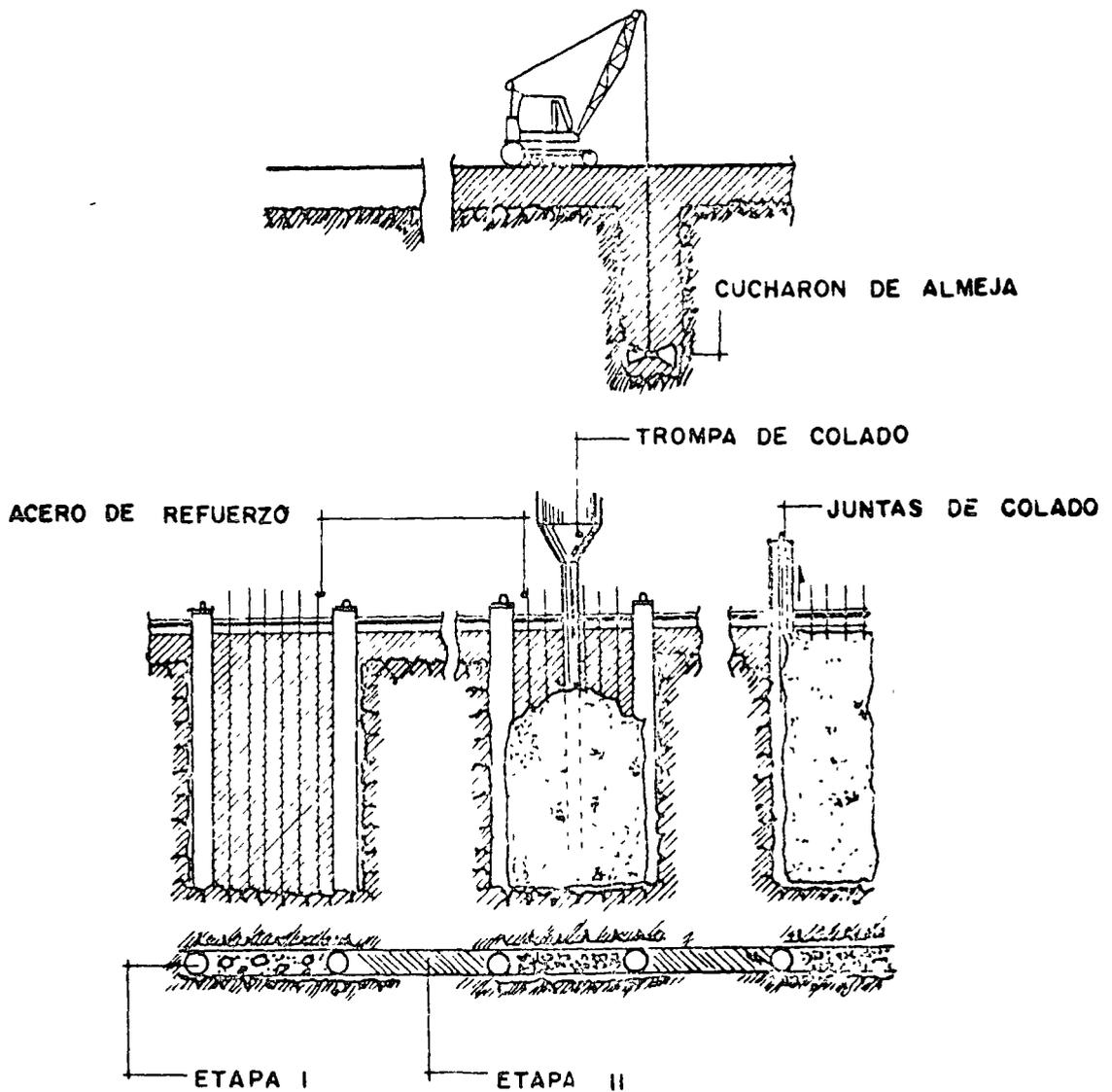


FIG. 12

TABLEROS DE CONCRETO
COLADO IN SITU.

tico en circulación en el pozo; esta operación hace muy lento el proceso constructivo de la pantalla de pilotes. En estos materiales resulta ventajoso hacer la excavación en tableros de planta rectangular de 3 a 6 m de longitud y 50 a 80 cm de ancho, fig. 12, utilizando para ello un cucharón de almeja especialmente diseñado para este objeto. A medida que la excavación se va profundizando, se mantiene llena de lodo bentonítico, el cual ejerce una presión contra las paredes de la zanja y las estabiliza, evitando el derrumbe de los materiales del depósito hacia el interior de la excavación. Una vez alcanzada la profundidad deseada, la zanja se rellena de concreto de alto revenimiento (mayor de 20 cm), depositándolo con trompa de colado, hasta desplazar toda la bentonita y formar un tablero de concreto. De manera semejante al caso de la pantalla de pilotes, los tableros se cueñan alternadamente en dos etapas. La máxima profundidad alcanzada hasta ahora con este procedimiento es de unos 90 m, en la pantalla impermeable de la presa "La Villita". En la construcción de cimentaciones, estos muros de concreto se construyen frecuentemente con refuerzos de acero, de tal manera que, además de funcionar como pantallas impermeables sirven como estructuras de contención durante la excavación y se integran después a la propia estructura de la cimentación.

Trincheras Flexibles.-

Cuando el objeto de la pantalla es exclusivamente el de impedir las filtraciones, las zanjas estabilizadas con lodo bentonítico pueden rellenasarse con una mezcla de grava y arena bien graduada a la que se agrega un 20 a 25%, en peso, de arcilla de mediana o alta plasticidad, a esta mezcla se adiciona agua hasta darle un revenimiento mayor de 20 cm y se coloca en la zanja de igual manera que el concreto del caso anterior. Obviamente esta solución representa alguna economía en relación con los tableros de concreto del caso anterior. La excavación de la zanja puede hacerse con el mismo cucharón de almeja que se emplea en el caso anterior o bien puede utilizarse una draga con bote de arrastre, una retroexcavadora o una zanjadora, dependiendo de la profundidad de la pantalla y del equipo disponible, como ilustra la fig. 13. El relleno de la zanja puede también hacerse desde el extremo opuesto a aquel en que avanza la excavación, utilizando para ello un bulldozer que va empujando la mezcla y haciéndola deslizarse dentro de la excavación, con lo --

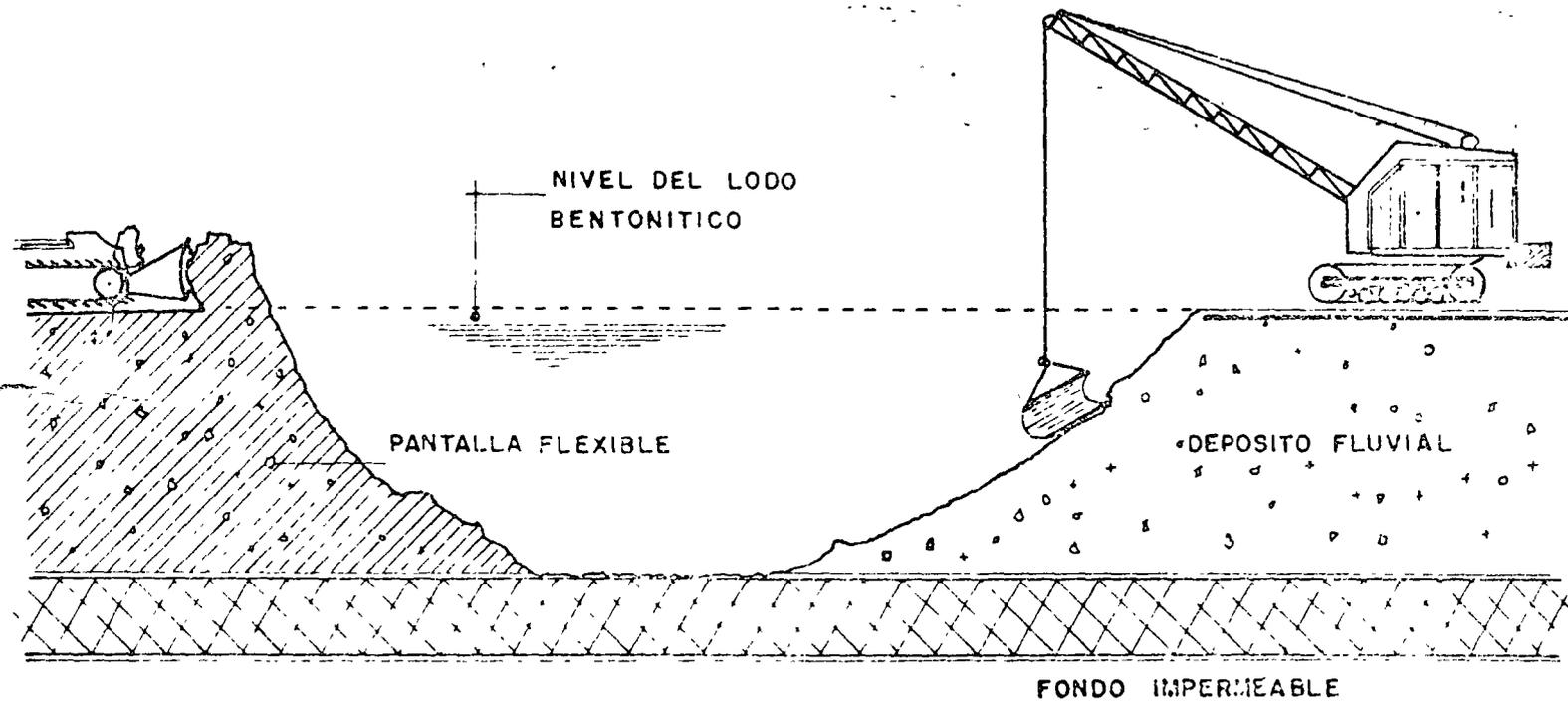


FIG. 13

PANTALLA FLEXIBLE

cuál se va desalojando el lodo bentonítico que estabiliza las paredes de la zanja. Se han construido pantallas flexibles de este tipo, hasta profundidades de 30 m, para interceptar depósitos fluviales de arena, grava y cantos rodados, utilizando draga de arrastre y buidozer.

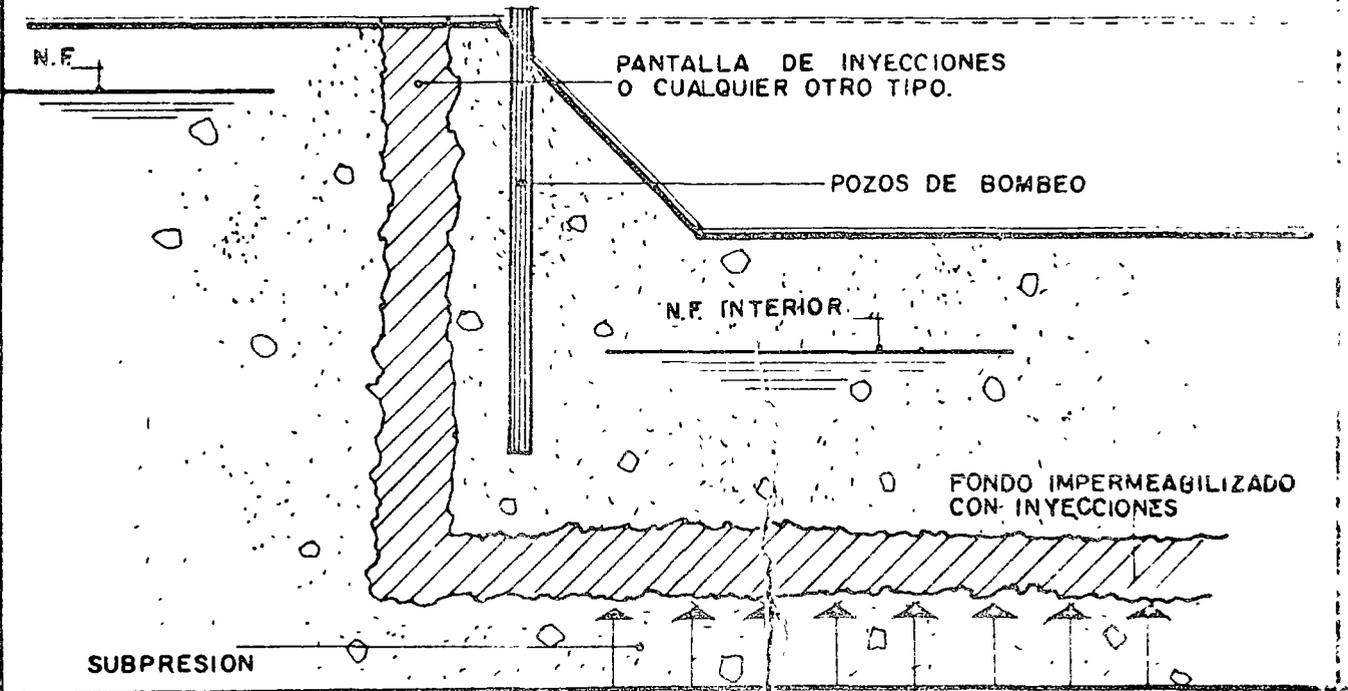
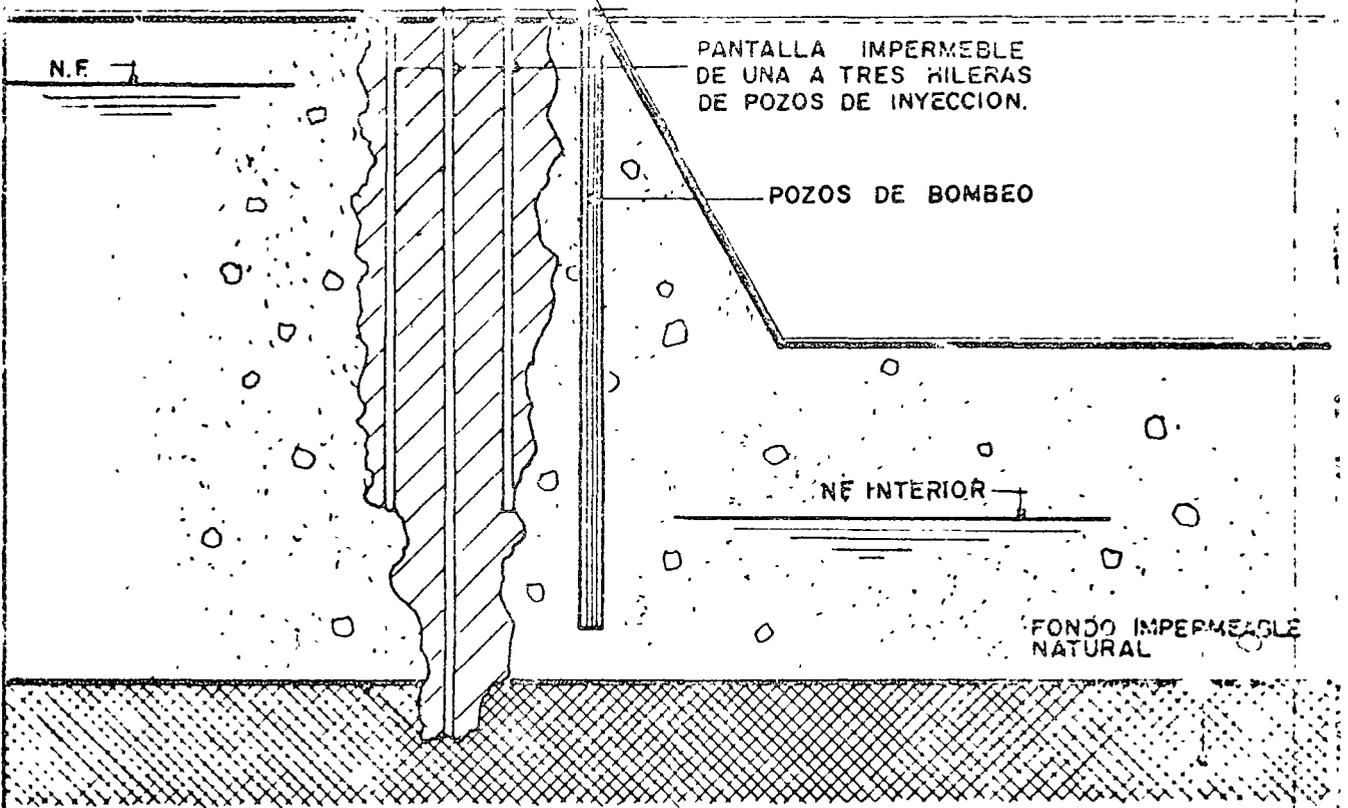
Pantallas de inyección.- Fig. 14 (4)

Se han utilizado con éxito pantallas impermeables formadas mediante la inyección de lechadas de bentonita, de bentonita con cemento, o bien de productos químicos como el silicato de sodio con alcohol isopropílico, o con cloruro de calcio, resinas de lignosulfonato de cromo u otras resinas comerciales. Las lechadas a base de bentonita penetran en depósitos que tienen poros grandes como las arenas gruesas y las gravas, cuya permeabilidad es mayor de 10-1 cm/seg. En las arenas medianas de menor permeabilidad las partículas de bentonita y cemento no son capaces de penetrar a través de los poros y se hace necesario entonces recurrir al empleo de productos químicos.

Las lechadas o los productos químicos se inyectan en el terreno a través de una o varias hileras paralelas de perforaciones separadas entre sí una distancia variable de 1.50 a 2.00 m, de manera que la zona de influencia de cada uno de los pozos de inyección se traslape con la de los pozos vecinos y forme así una pantalla impermeable. Como es frecuente encontrar depósitos formados por capas o lentes de distinta permeabilidad, es común que las pantallas de inyección se formen utilizando lechadas de bentonita para los estratos o lentes de mayor permeabilidad y productos químicos para los menos permeables. Cuando no existe una capa impermeable en la cual se apoye el extremo de la pantalla se recurre a formar dicha capa artificialmente mediante la inyección, a la profundidad requerida, a través de una retícula de agujeros distribuidos dentro del área por excavar. La profundidad de esta capa impermeable horizontal debe ser tal que la fuerza de subpresión sea equilibrada por el peso del material que quede entre el fondo de la excavación y la capa impermeable, para evitar que ésta sea levantada por la subpresión. La elección de cualquiera de éstos métodos para interceptar las filtraciones es una cuestión económica y de disponibilidad de equipo.

FIG. 14

PANTALLA DE INYECCION



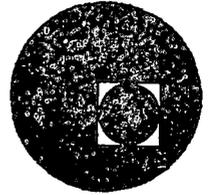
REFERENCIAS.

- 1) Leonards - "Foundation Engineering".
Capítulo sobre el abatimiento del Nivel Freático (Dewatering).
(J. Wiley).
- 2) La Electrólisis y Fenómenos Conexos - Leo Casagrande .- Revis
ta de Ingeniería.- Abril 1962.
- 3) G. Schneebeli - "Le Parois Moulees dan Le Sol", (Eyrolles).
- 4) H. Cambert.- "Injections des Sols.- (Eyrolles).





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO



- 11. GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS DE BOMBEO
 - 11.1 Teoría General
 - 11.2 Aplicación a sistemas de bombeo
 - 11.3 Control de golpe de ariete y dispositivos de alivio
 - 11.4 Ejemplos numéricos

M. EN I. GILBERTO SOTELO AVILA

MARZO DE 1976.

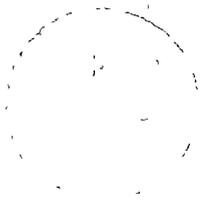
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY



THE UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY



THE UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY
COPY OF ELECTRONIC RECORDS



GOLPE DE ARIETE

I. INTRODUCCION

Se conoce con el nombre genérico de golpe de ariete a la serie de perturbaciones producidas en un conducto a presión por efecto de cambios bruscos de la velocidad del flujo y que consisten en variaciones violentas de la presión interior en la forma de ondas elásticas, que viajan a lo largo de la tubería modificando el estado de flujo permanente original. Las variaciones de la velocidad del flujo en un sistema hidráulico se deben a cambios del gasto como resultado de las maniobras en los órganos de cierre. En otros casos, el golpe de ariete se puede presentar aún cuando efectivamente no se opere un órgano de control del flujo en el sistema, si bien la alteración que se produzca llega a conducir al mismo resultado.

En la operación de una planta hidroeléctrica es usual que ocurran perturbaciones del flujo establecido en sus conductos de alimentación y desfogue. Esto se debe a las variaciones de gasto en las máquinas por efecto de la demanda o rechazo de la energía suministrada a la red eléctrica de consumo, o bien por el arranque o paro lento o brusco de las mismas perturbaciones semejantes se pueden presentar en los conductos de descarga de un sistema de bombeo por diversas condiciones de operación. La interrupción brusca del flujo de líquido puede ocurrir por efecto del cierre o apertura bruscos de las válvulas o por la interrupción repentina de energía eléctrica al motor o hasta por un desperfecto mecánico en el motor, en la bomba o en el grupo de bombas que integran el sistema.

Las maniobras en los órganos de control del flujo pueden ocasionar inicialmente ondas de presión positivas que producen aumentos de presión; las de apertura pueden ocasionar inicialmente ondas de presión de signo contrario; esto es, descensos de presión que después pueden combinarse. Las ondas de presión nacen en los puntos del sistema donde se produce la maniobra y se propagan a lo largo del conducto hasta el otro extremo, bifurcación o cambio de sección, donde se reflejan total o parcialmente. La onda reflejada puede conservar o cambiar el signo de acuerdo con la frontera donde se refleje, produciéndose después combinaciones.

En una sección, como la entrada a una tubería alimentada por un recipiente, o donde la misma tubería se conecta a un pozo de oscilación, la reflexión se produce conservando su magnitud pero con signo contrario. En el extremo muerto de una tubería, esto es, donde hay una tapa ciega o una válvula totalmente cerrada, la onda de presión se refleja totalmente sin cambiar de signo.

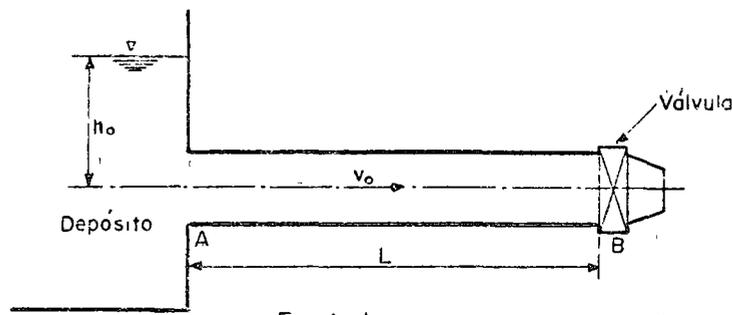


Fig 1.1

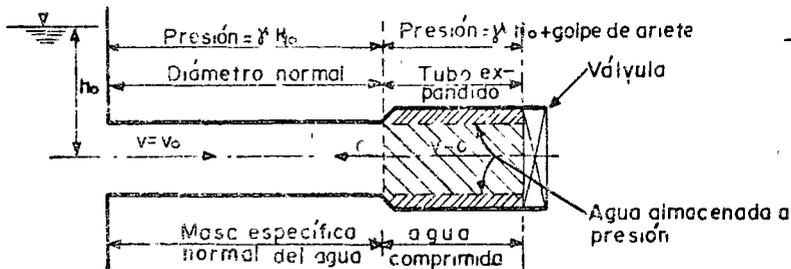


Fig 1.2 - Fase directa Frente de onda positiva hacia el depósito.

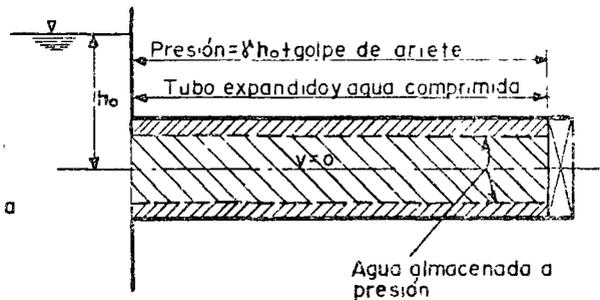


Fig 1.3 - Fase directa Frente de onda positiva llegando al depósito, $t = \frac{L}{a}$

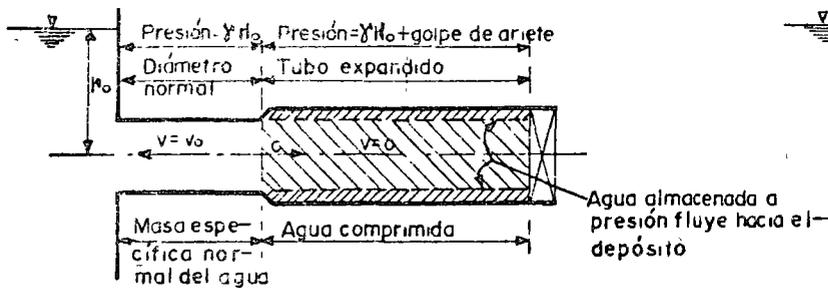


Fig 1.4 - Fase directa Frente de onda negativa hacia la válvula.

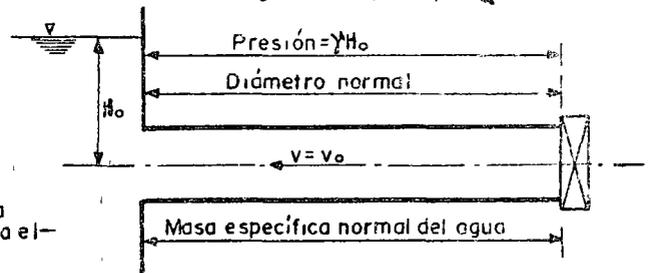


Fig 1.5 - Fase directa Frente de onda negativa llegando a la válvula $t = \frac{2L}{a}$

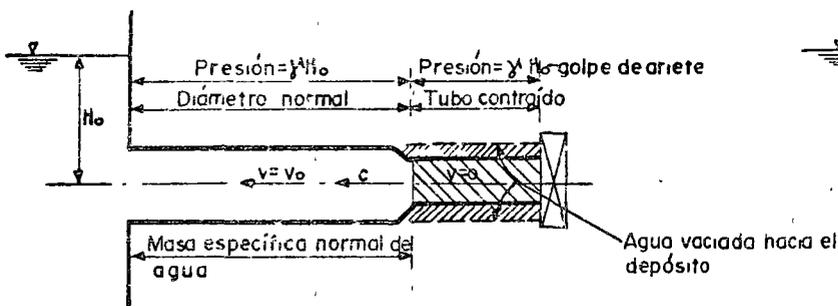


Fig 1.6 - Fase inversa Frente de onda negativa hacia el depósito

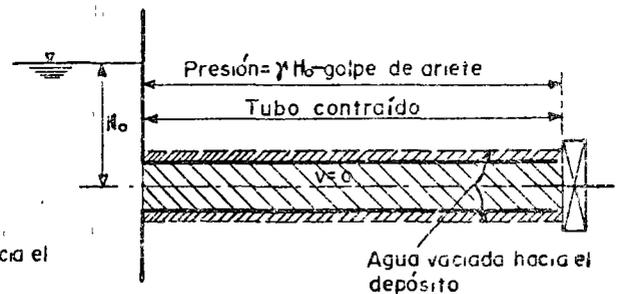


Fig 1.7 - Fase inversa Frente de onda negativa llegando al depósito $t = \frac{3L}{a}$

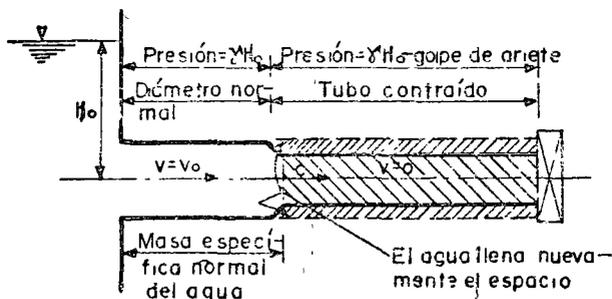


Fig 1.8 - Fase inversa Frente de onda positiva llegando a la válvula

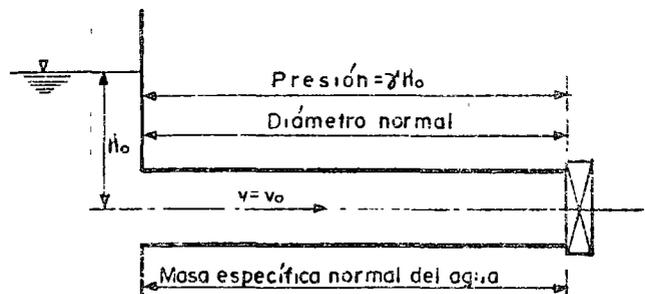


Fig 1.9 - Fase inversa Frente de onda positiva llegando a la válvula $t = \frac{4L}{a}$

En los problemas hidráulicos es común considerar al flujo como permanente, esto es, que la velocidad media en cualquier sección transversal es la misma para cualquier instante. En el flujo no permanente la velocidad varía a lo largo del conducto y en cada instante. El golpe de ariete es un caso típico de este tipo de flujo, al cual también se le llama transitorio, debido a que se trata de una situación de flujo no permanente que ocurre durante el cambio de un estado permanente a otro permanente.

Descripción del fenómeno. Considere una tubería de sección y espesor constantes, de longitud L y que es alimentada por un recipiente que contiene una gran masa de agua (fig. 1). Para modificar el régimen del escurrimiento, se recurre a la operación de la válvula colocada en el extremo inferior de la tubería; sin embargo, el cambio de régimen no se realiza con la misma rapidez de la operación si no en forma gradual. Esto produce fuertes cambios de la velocidad y de la presión del líquido fluyente, los cuales tratan de ajustarse a las condiciones del nuevo régimen.

Si se realiza el cierre instantáneo total de la válvula, la energía cinética del agua en la sección B es rechazada y transformada bruscamente en energía potencial, lo cual se traduce en un incremento de la presión hidrostática original que existe en el conducto para el régimen establecido. A su vez, esta energía potencial se transforma en trabajo elástico de deformación de las paredes del conducto y del líquido en la vecindad de la sección B. La conversión de energía cinética a energía elástica de deformación crea una onda de presión positiva que se transmite hacia el depósito con una celeridad "a" próxima a la del sonido.

En la zona del conducto, aguas abajo del frente de onda, se modifican totalmente las condiciones originales. Por efecto del aumento de presión, las paredes del conducto se deforman y el líquido ocupa el espacio libre a gran presión; la porción líquida se comprime, con el consecuente incremento de su masa específica, y por último, su velocidad se reduce a cero (fig. 2). La porción de agua comprendida entre el depósito y el frente de onda posee todavía las características originales del escurrimiento, velocidad V_0 y carga de presión hidrostática H_0 .

Este estado de deformación se extiende a lo largo del tubo con la misma celeridad del frente de onda. En el instante en que este llega al depósito, la totalidad de la tubería se encuentra deformada y llena de líquido en reposo, bajo una carga de presión adicional uniforme a lo largo del tubo (fig. 3).

Si el nivel del agua en el depósito permanece constante, el frente de onda no puede modificar la presión más allá de la sección A de entrada a la tubería, de modo que un manómetro instalado en ella registraría, en cualquier instante, la presión correspondiente a la carga H_0 . El líquido contenido en el

depósito actúa a manera de pantalla que refleja íntegramente la onda de presión y el líquido, almacenado en el espacio producido por la deformación de las paredes del tubo, empieza a expandirse por efecto de la subpresión producida por el frente de onda y fluye hacia el depósito con una velocidad V_0 idéntica a la original pero en dirección opuesta. Esto alivia las presiones nuevamente a los valores de la carga hidrostática H_0 con la misma rapidez con que se desplaza el frente de onda ahora en dirección a la válvula, facilitando el retorno de las paredes del conducto a su estado original (fig. 4).

En el instante $t = \frac{2L}{a}$ en que el frente de onda llega a la válvula, el

tubo se encuentra nuevamente bajo la carga de presión hidrostática H_0 y el líquido se mueve con velocidad V_0 hacia el depósito (fig. 5). Esta primera serie de eventos se llama fase directa o golpe directo.

El líquido continúa fluyendo hacia el depósito con la consecuente caída de la carga de presión por debajo de la hidrostática H_0 y con una magnitud igual a la producida al iniciarse el fenómeno. Esto ocasiona una onda de presión, ahora de carácter negativo, que se transmite hacia el depósito con la misma rapidez que la positiva y que contrae las paredes del conducto anulando la velocidad del líquido en la zona aguas abajo del frente de onda (fig. 6).

En el instante $t = \frac{3L}{a}$ en que el frente de onda negativa alcanza el

depósito, las presiones en la totalidad del conducto se encuentran por debajo de la hidrostática, el conducto se ha contraído a menos del diámetro inicial y el agua se ha expandido con densidad menor que la original (fig. 7) y con velocidad igual a cero.

Cuando se ha producido la reflexión de la onda en el depósito, el líquido trata de recuperar nuevamente el espacio ocupado por las paredes del tubo en su nuevo estado de deformación y fluye del depósito a la válvula con velocidad V_0 . Esto alivia las presiones nuevamente al valor de b_0 con la misma rapidez con que se desplaza el frente de onda en dirección a la válvula, retornando las paredes del conducto a su estado original (fig. 8).

En el instante $t = \frac{4L}{a}$ en que el frente de onda llega a la válvula, el

tubo se encuentra con las mismas características antes de realizarse el cierre de la misma (fig. 9). A esta segunda serie de eventos se le llama fase inversa o contragolpe.

El fenómeno se repite nuevamente con la misma secuencia de eventos antes descrita y de no ser por la disipación de energía en la forma de calor producida por la fricción en el conducto, el ciclo observado continuaría por tiempo indefinido. Obsérvese que la duración de las fases directa o inversa es idén

tica e igual al intervalo de tiempo $T = \frac{2L}{a}$. Este intervalo de tiempo se usa

en la literatura técnica indistintamente con los términos: "período del tubo", "tiempo crítico", "un intervalo de tiempo" o "tiempo de reflexión". En adelante se usará el último término.

Una secuencia de eventos similar se observaría al cerrar la válvula A del sistema de bombeo mostrado en la figura 10, contra el flujo proporcionado por la bomba con velocidad de rotación constante. La primera onda de presión generada viaja de la válvula A hacia la bomba.

Si en el sistema hidráulico mostrado en la fig. 1 se abre la válvula B, se observa una serie de eventos semejantes pero con una secuencia distinta; es decir, primero se genera una onda de presión negativa que se transmite hacia el depósito y que trata de ajustar las condiciones al nuevo régimen, para continuar con una onda de presión positiva.

Con el cierre de la válvula B del sistema hidráulico mostrado en la fig. 10 se observa una serie de disturbios que se inician con la formación de una onda de presión que viaja de la válvula al depósito y produce la serie de disturbios que se inician con la formación de una onda de presión que viaja de la válvula al depósito y produce la serie de perturbaciones ilustradas en las figs. 6 a 9. De este modo, se invierte el orden de los eventos con respecto a los ocurridos al cerrar la válvula del sistema hidráulico de la fig. 1 ya que el fenómeno se inicia con la fase inversa para continuar con la fase directa.

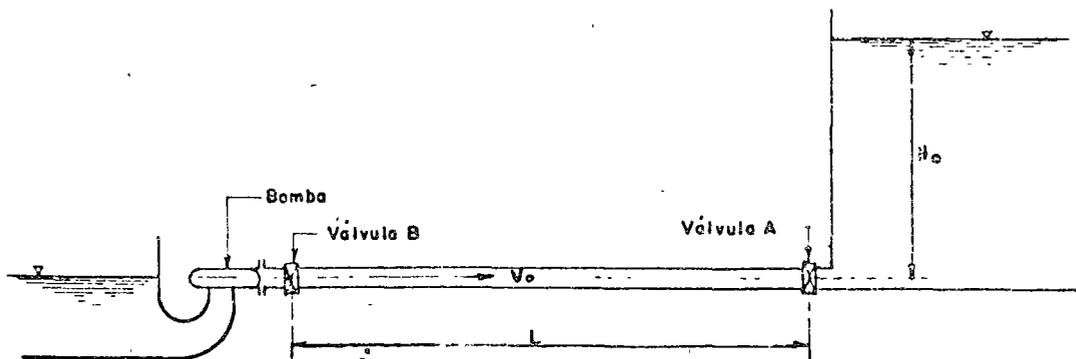


Fig. 1.10. Sistema de bombeo.

2. GOLPE DE ARIETE EN LAS LINEAS DE DESCARGA DE ESTACIONES DE BOMBEO.

2.1 Descripción del problema

Generalidades. El golpe de ariete en las estaciones de bombeo puede presentarse al ocurrir diversas condiciones de operación capaces de producir cambios sustanciales de la presión en los conductos de descarga. La interrupción brusca o gradual del flujo de líquido puede ocurrir por efecto de procesos rápidos de regulación o por la interrupción repentina de la energía eléctrica al motor y, eventualmente, aún por un desperfecto mecánico en la bomba o grupo de bombas que integran el sistema. La fig. 2.1 muestra las fluctuaciones, en el tiempo, de la presión, gasto y velocidad de rotación en una instalación de bombeo, producida por la falla de potencia en los motores de las bombas.

Una de las condiciones críticas más frecuentes es la interrupción repentina de la alimentación de energía eléctrica o el paro brusco de cualquier otro motor que proporcione la potencia a la bomba. Cuando esto sucede, la única energía que permite girar a la bomba en su sentido original de rotación es la energía cinética de los elementos rotatorios del conjunto bomba-motor y del agua contenida en la bomba. Puesto que esta energía es muy pequeña en comparación con la requerida para mantener el flujo contra la altura de descarga, la velocidad angular de la bomba decrece rápidamente, con lo cual el gasto en la tubería también decrece, generándose ondas de presión que, --partiendo de la bomba, viajan por la tubería hasta la salida, en donde se reflejan.

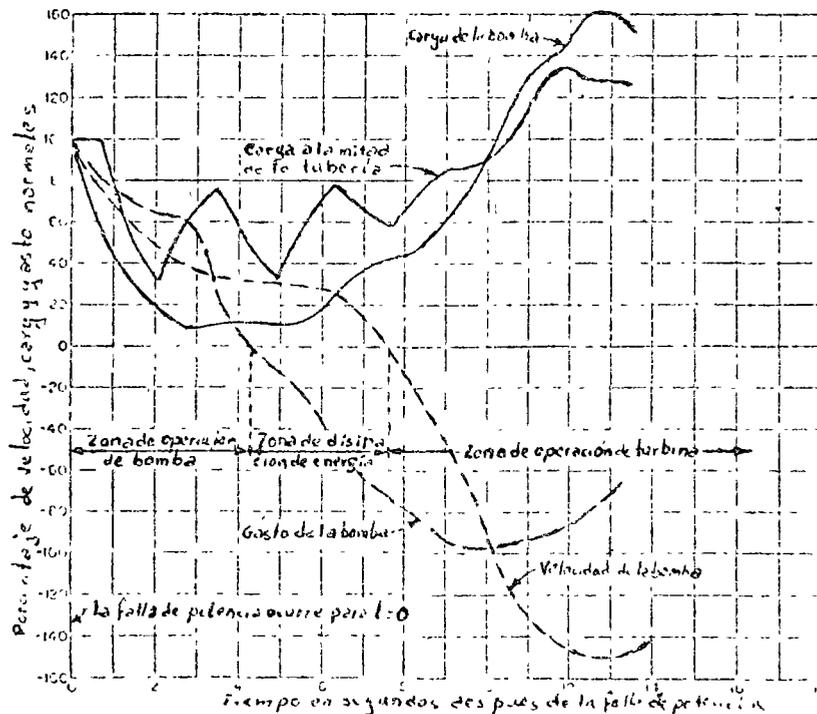


Fig. 2.1 Condiciones transitorias que siguen a la falla de potencia en una bomba

La disminución de la velocidad angular de la bomba llega hasta un límite en que ya no puede seguir alimentando el líquido contra la carga existente de modo que, de no tenerse una válvula de control en la bomba, el flujo a través de ella cambia de sentido aunque ésta todavía gire en el sentido original, iniciándose con ello la llamada "zona de disipación de energía". A partir de este instante, la velocidad de la bomba cae más rápidamente y pasa a través de la velocidad cero, terminando con ello la zona de disipación de energía e iniciándose la "zona de operación de turbina". A medida que la velocidad de rotación de la bomba se aproxima a la de desboque, el flujo invertido a través de ella se reduce rápidamente y produce un nuevo incremento de presión en la bomba y a lo largo de la tubería.

La magnitud de las oscilaciones de presión engendradas en el curso de este proceso dependen de la inercia del motor y de la bomba, pues en el caso de que ésta sea muy pequeña o despreciable, se puede considerar la anulación instantánea del gasto, incrementando considerablemente la magnitud de las oscilaciones de presión.

Otras condiciones de operación, que también pueden producir golpe de ariete en las líneas de descarga de las estaciones de bombeo, son por ejemplo: el cambio en la carga de bombeo, la operación de válvulas de control y el arranque y parada de las bombas.

Para la determinación de las condiciones hidráulicas transitorias a que están sujetas la bomba y la tubería de descarga - después de ocurrir la falla en la potencia del motor de la bomba - es necesario considerar tres efectos importantes que son:

- a) El fenómeno del golpe de ariete en la tubería de descarga
- b) La inercia del conjunto bomba-motor
- c) Las características carga-gasto y parmotor para diferentes velocidades de operación

Los efectos del golpe de ariete se obtienen de las ecuaciones correspondientes. Estas definen las relaciones entre la carga y el gasto en la tubería durante las condiciones de flujo transitorio bajo la acción de las ondas de golpe de ariete, cuya celeridad se puede calcular de la fórmula general indicada en el apéndice. El efecto de la inercia de la bomba y el motor se obtiene de la ecuación de inercia, la cual define la relación entre la velocidad de rotación de la bomba y parmotor en un instante dado, en términos de la energía cinética del sistema rotatorio. Las características de la bomba se obtienen de un diagrama completo de características, el cual define la manera en que el parmotor y velocidad varían con la carga y gasto a través del rango de operación como bomba, de disipación de energía y como turbina.

2.2 Golpe de ariete en la tubería de descarga.

En la fig. 2.2 se muestra un sistema depósito-tubería a presión-bomba, en el cual se considera que el origen de referencias de coordenadas en la tubería se encuentra en la sección B a la entrada de la misma.

De acuerdo con el fenómeno descrito y al ocurrir cualquiera de las -- condiciones de operación, se producen ondas de presión que parten desde la bomba y avanzan hacia el otro extremo del tubo con celeridad "a", cuya magnitud se determina a partir de la fórmula general. En este caso, la dirección de la velocidad del flujo permanente coincide con la dirección de la celeridad de la onda inicial y la ecuación de Allievi aplicable es:

$$\frac{H_i}{H_0} + \frac{H_{i-1}}{H_0} - 2 = \frac{a V_0}{g H_0} \left(\frac{V_i}{V_0} - \frac{V_{i-1}}{V_0} \right) \quad (2.1)$$

que permite determinar la carga de presión H_i en el punto B de la tubería y en el instante i , en función de la carga en el mismo punto en el instante $i - 1$ y de las velocidades en el tubo V_i y V_{i-1} y las condiciones en el instante cero en que se inicia el fenómeno. Los valores de la velocidad $V_i = Q_i/A$ dependen de la ley con que se modifique el gasto en la tubería con el tiempo.

Los instantes i en esta ecuación resultan de utilizar el intervalo de tiempo $T = 2L/a$ como unidad de medida del tiempo t ; esto es:

$$i = \frac{t_i}{T} ; t_i = iT ; i - 1 = \frac{t_i}{T} - 1$$

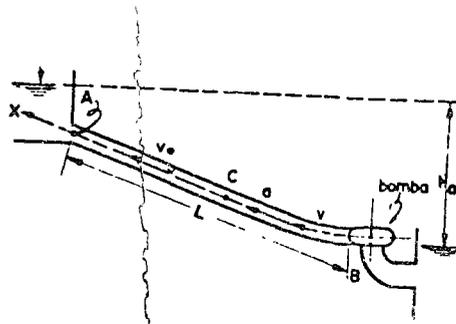


Fig. 2.2. Golpe de ariete en la tubería de descarga de una bomba.

2.3 Ecuación de inercia del conjunto bomba - motor.

Cuando ocurre la interrupción brusca de potencia en la bomba, ésta sigue -- efectuando trabajo en detrimento de su impulso, con una velocidad angular ω que disminuye gradualmente. Su desaceleración, en cualquier instante, depende del efecto volante de las partes rotatorias del conjunto bomba - motor y la potencia instantánea ejercida por el impulsor de la bomba. Para un sistema rotatorio el par motor de aceleración es igual al producto del momento de inercia ($i = WR^2/g$) de la masa del sistema rotatorio y la aceleración angular. Después de una falla en la potencia del motor de la bomba, el par motor de desaceleración en el sistema rotatorio corresponde al par motor de la bomba. Si el par motor de desaceleración se considera positivo, éste vale:

$$T = - i \frac{d\omega}{dt} = - \frac{WR^2}{g} \frac{d\omega}{dt}$$

donde W es el peso de las partes rotatorias del conjunto bomba - motor y R - el radio de giro de las mismas.

Para un intervalo de tiempo pequeño: $\Delta t = t_i - t_{i-1}$, esta ecuación se escribe de manera aproximada como sigue:

$$\frac{T_i + T_{i-1}}{2} = - \frac{WR^2}{g} \frac{(\omega_i - \omega_{i-1})}{\Delta t}$$

o bien, si n representa la velocidad angular de rotación en rpm y $\omega = 2\pi n/60$ (en rad/seg), la ecuación anterior se escribe también:

$$\frac{T_i + T_{i-1}}{2} = \frac{2\pi}{60} \frac{WR^2}{g} \frac{n_{i-1} - n_i}{\Delta t}$$

Siendo n_0 la velocidad angular de la bomba y T_0 el par motor de la misma, - ambas para las condiciones normales de operación (antes de la falla de potencia), se llamará por α y β a las relaciones: $\alpha = n/n_0$, $\beta = T/T_0$.

La ecuación anterior resulta:

$$\alpha_{i-1} - \alpha_i = \frac{15}{\pi} \frac{g}{WR^2} \frac{T_0}{n_0} (\beta_i + \beta_{i-1}) \Delta t \quad (2.2)$$

El par motor desacelerante correspondiente a la carga y velocidad de operación de la bomba vale:

$$T_0 = \frac{60 \delta Q_0 H_0}{2 \pi n_0 \eta_0} \quad (2.3)$$

donde η_0 representa la eficiencia nominal de la bomba.

La ec (2.2) resulta entonces:

$$\alpha_{i-1} - \alpha_i = \frac{15}{\pi} \frac{g}{WR^2} \frac{1}{n_o} \frac{60 \delta Q_o H_o}{2 \pi n_o \eta_o} (\beta_{i+} + \beta_{i-1}) \Delta t$$

o bien, simplificando:

$$\alpha_{i-1} - \alpha_i = \frac{450 g \delta H_o Q_o}{\pi^2 WR^2 \eta_o n_o^2} (\beta_{i+} + \beta_{i-1}) \Delta t$$

haciendo que la constante K sea:

$$K = \frac{450 g \delta H_o Q_o}{\pi^2 WR^2 \eta_o n_o^2} = \frac{447\ 261}{WR^2 \eta_o n_o^2} H_o Q_o \quad (2.4)$$

resulta finalmente

$$\alpha_{i-1} - \alpha_i = K (\beta_{i+} + \beta_{i-1}) \Delta t \quad (2.5)$$

la ec (2.5) permite calcular la velocidad angular de la bomba en el instante i , si se conocen las correspondientes velocidad y parmotor en el instante anterior ($i-1$) y el parmotor en el propio instante. Con el fin de evitar una solución por tanteos y facilitar el cálculo, se puede suponer que el promedio de β de los dos instantes sea igual al correspondiente al instante anterior; esto es:

$$\beta_{i-1} \approx \frac{\beta_{i-1} + \beta_i}{2}$$

quedando finalmente la ec (2.5) como sigue:

$$\alpha_{i-1} - \alpha_i = 2 K \Delta t \beta_{i-1} \quad (2.6)$$

para utilizar el método de cálculo del golpe de ariete producido por una interrupción brusca de energía se resolverá después un problema.

2.4 Curvas características de la bomba

Estas curvas deben ser proporcionadas por los fabricantes; para la velocidad de operación normal, tienen la forma típica mostrada en la fig. 2.3 y son: la curva carga-gasto, potencia-gasto y eficiencia-gasto, para la velocidad de operación normal de la bomba. En el caso de la curva carga-gasto, ésta también se puede presentar con coordenadas de tipo adimensional, si las correspondientes a cada punto de la curva en la fig. 2.3 se dividen: las abscisas entre Q_o y las ordenadas entre H_o ; donde Q_o y H_o corresponden al gasto y carga nominales respectivamente y con las cuales opera normalmente la bomba (fig. 2.4; curva para $\alpha = 1$); éstas corresponden usualmente a la condición de máxima eficiencia.

De esta manera, las curvas para $\alpha = 1$ y $\beta = 1$ pasan por el punto

$\frac{Q}{Q_0} = \frac{H}{H_0} = 1$. Otros valores de β sobre la curva $\alpha = 1$ se determinan mediante el cálculo de $\frac{Q}{Q_0}$ y $\frac{H}{H_0}$ a partir de la curva de potencia de la

fig. 2.3.

Para la solución, es necesario además tener las curvas características para velocidades de operación α menores que la normal y además las curvas β de relaciones de parmotor, contra los distintos pares de valores de Q/Q_0 y H/H_0 . Estas curvas se pueden obtener a partir de las curvas características de la bomba para la velocidad de operación normal (fig. 2.4), utilizando las leyes de similitud de las máquinas hidráulicas, como sigue:

Para una bomba dada con velocidad de rotación n , se satisfacen las siguientes condiciones.

$$\frac{Q}{Q_0} = k_1 \left(\frac{n}{n_0} \right)$$

$$\frac{H}{H_0} = k_2 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2$$

$$\frac{T}{T_0} = k_3 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2$$

Para usar estas relaciones, sobre el diagrama $\frac{Q}{Q_0}$, $\frac{H}{H_0}$ se traza una parábola del tipo $\frac{H}{H_0} = K \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^2$ por un punto conocido, tal como se muestra

en la fig. 2.5 en $\alpha = 1$, $\beta = 0.8$. La distancia vertical $H/H_0 = 1.1$ en este punto, se divide en ocho partes iguales y los puntos correspondientes a $\beta = 0.7$, 0.6 , etc. se localizan sobre la parábola con ordenadas de valor $H/H_0 = \frac{7}{8}(1.10)$, $\frac{6}{8}(1.10)$, etc. De manera similar, los puntos correspondientes a $\alpha = 0.9$ y 0.8 se localizan sobre la misma parábola para valores $\frac{H}{H_0} = 1.10(0.9)^2$ y $1.10(0.8)^2$.

De esta manera, se dibuja una curva que una los puntos correspondientes a cada valor de α y β , sobre diferentes parábolas trazadas. La fig. 2.6 muestra las familias de curvas de parmotor y velocidad de rotación que se obtienen de esta manera y que representan el funcionamiento de la bomba para la zona de operación normal de bomba. Cuando ocurre la falla de potencia en el motor de la bomba, estas características son adecuadas para determinar las presiones transitorias mínimas en todos los puntos de la línea de descarga y para determinar la posibilidad de separación

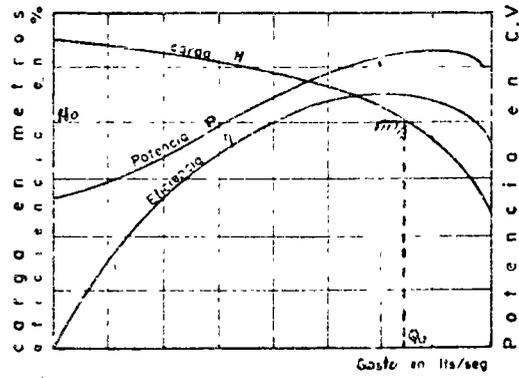


Fig. 2.3 Curvas características de una bomba.

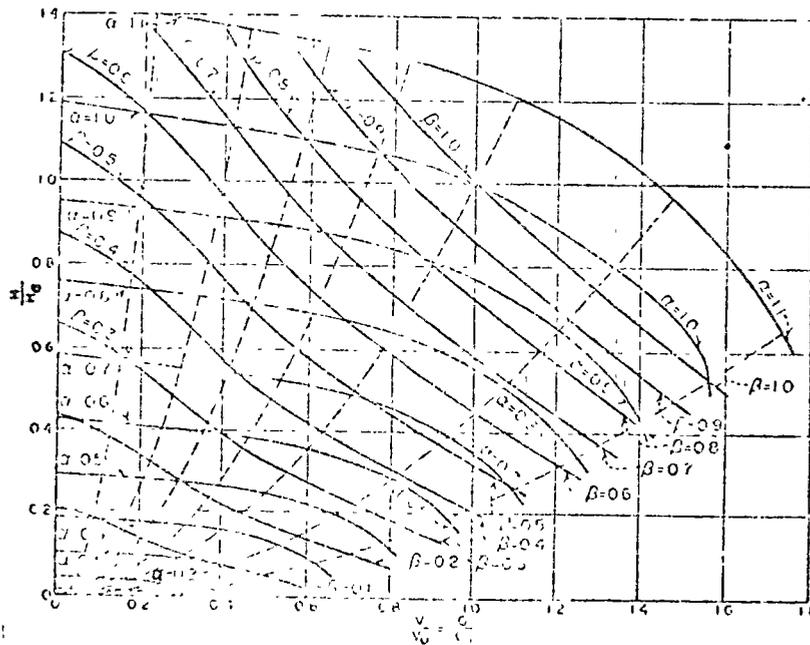


Fig. 2.4 Diagrama de características para la región de operación normal de bomba.

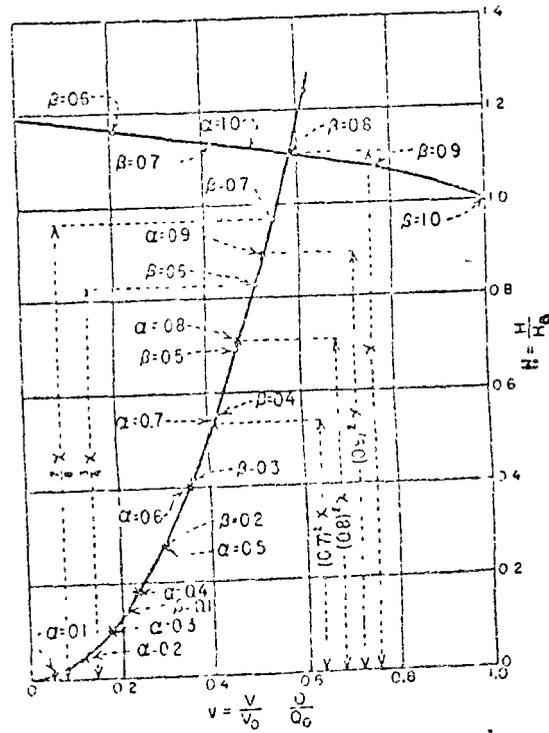


Fig. 2.5. Procedimiento para obtener las curvas características Q-h de una bomba para velocidades de operación distintas de la normal.

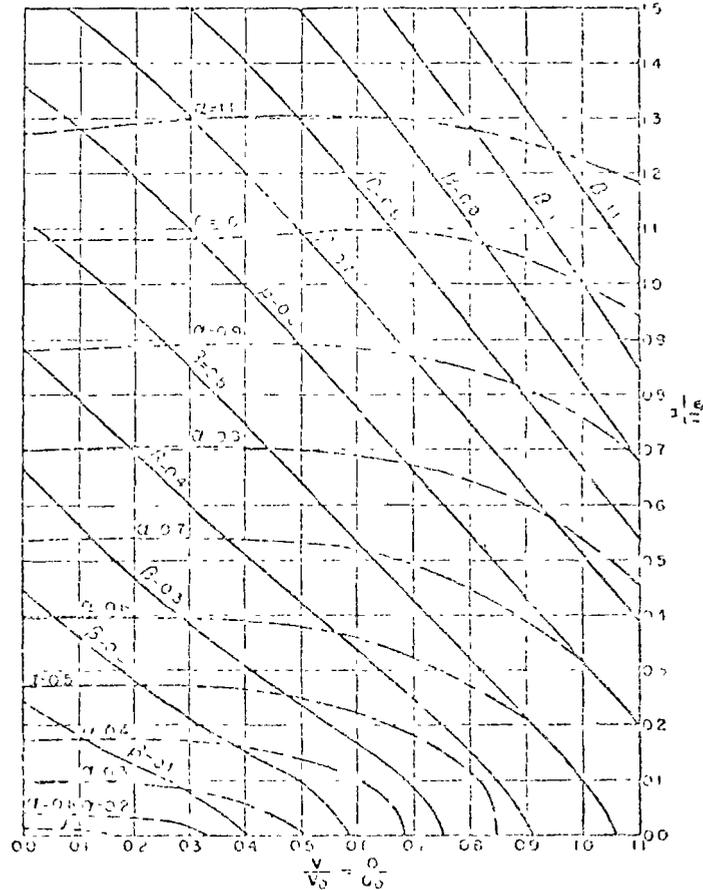


Fig. 2.6.a Diagrama de características de la bomba para la zona de operación normal

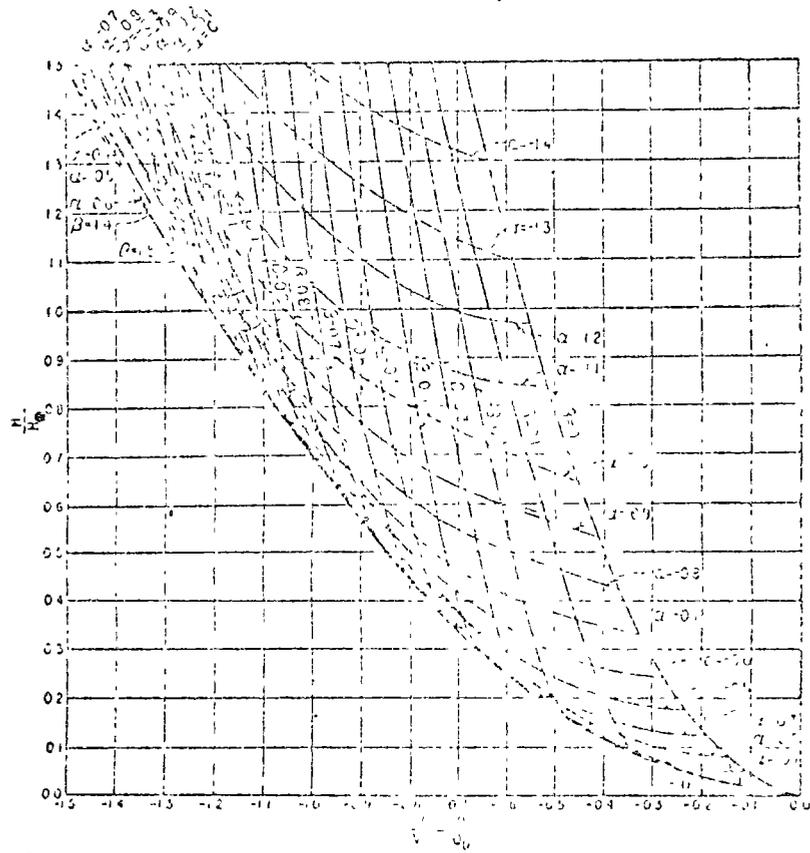


Fig. 2.6.a Diagrama de características de la bomba para la zona de operación de turbina.

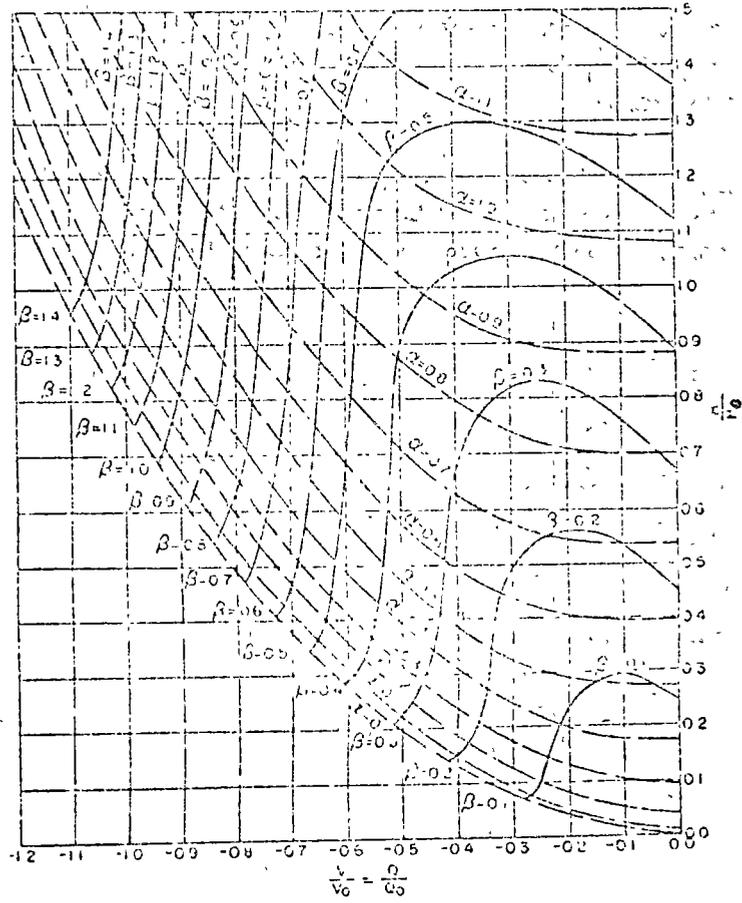


Fig. 2.6.b Diagrama de características de la bomba para la zona de disipación de energía.

de la columna de agua. Sin embargo, después de la inversión del flujo a través de la bomba, se requieren características de la bomba adicionales para la zona de disipación de energía, en la cual, la bomba está girando todavía en el sentido normal pero con el flujo invertido y para la zona de operación como turbina en la cual, tanto el flujo a través de la bomba como su sentido de rotación, se han invertido. Estas curvas características tienen el aspecto mostrado en las figs. 2.6 b y c y sólo pueden ser obtenidas a partir de pruebas reales de la bomba en laboratorio.

Ejemplo 2.1 Consideremos la planta de bombeo esquematizada en la fig. 2.7, constituida por un sistema de tres bombas y que ocurre una falla de la energía eléctrica abastecida a la planta. Se consideran los siguientes datos:

$$H_0 = 67.10 \text{ m}$$

$$L = 1201.70 \text{ m}$$

$$D = 0.813 \text{ m}$$

$$e = 4.76 \text{ mm (3/16 pulg)}$$

$$a = 860 \text{ m/seg}$$

$$V_0 = 1.772 \text{ m/seg para las 3 bombas}$$

$$A = 0.5405 \text{ m}^2$$

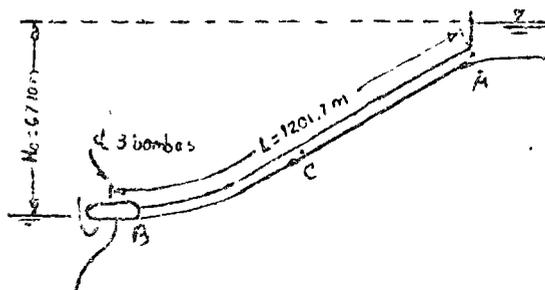


Fig. 2.7 Instalación de bombeo del ejemplo 2.1

$Q_0 = 0,956 \text{ m}^3/\text{seg}$ (para las 3 bombas)
 potencia proporcionada a la flecha
 de la bomba = 400 HP por cada bomba y motor
 WR^2 de las partes rotatorias = 16,256 kg m²
 por cada bomba y motor
 Veloc. de la bomba $n_0 = 1760 \text{ rpm.}$
 Eficiencia de la bomba $\eta_0 = 84,7$ por ciento
 $\frac{L}{a} = 1,397 \text{ seg}$

Solución. La característica de la tubería vale

$$\epsilon = \frac{a V_0}{2g H_0} = \frac{860 \times 1,772}{2 \times 9,8 \times 67,10} = 1,155$$

y la inercia de las partes rotatorias es:

$$WR^2 = 3 \times 16,256 = 48,768 \text{ kg m}^2$$

La constante K de la ec (2.5) dada por la ec (2.4) vale:

$$K = \frac{450 \times 9,8 \times 1000 \times 67,10 \times 0,956}{\pi^2 \times 48,768 \times 0,847 \times 1760^2} = 0,224$$

El tiempo de recorrido es:

$$T = \frac{2L}{a} = 2,794 \text{ seg}$$

y para un intervalo de tiempo

$$\Delta t = \frac{T}{8} = \frac{L}{4a} = 0,349 \text{ seg}$$

o bien: $i - (i - 1) = 0,349/2,794 = 0,125$

La ec (2.6) resultará ser :

$$\alpha_{i-1} - \alpha_i = 2 \times 0,224 \times 0,349 \beta_{i-1} = 0,1564 \beta_{i-1}$$

La solución gráfica simultánea de las ecuaciones del golpe de ariete y de las ecuaciones de inercia sobre el diagrama de características de la bomba se presenta en la fig 2.8. Las características completas de la bomba usadas en esta solución son las mostradas en la fig 2.6. El punto de partida en la solución correspondiente a A_0 se localiza sobre la curva no para las coordenadas $Q/Q_0 = H/H_0 = 1$ y representa las condiciones normales de operación.

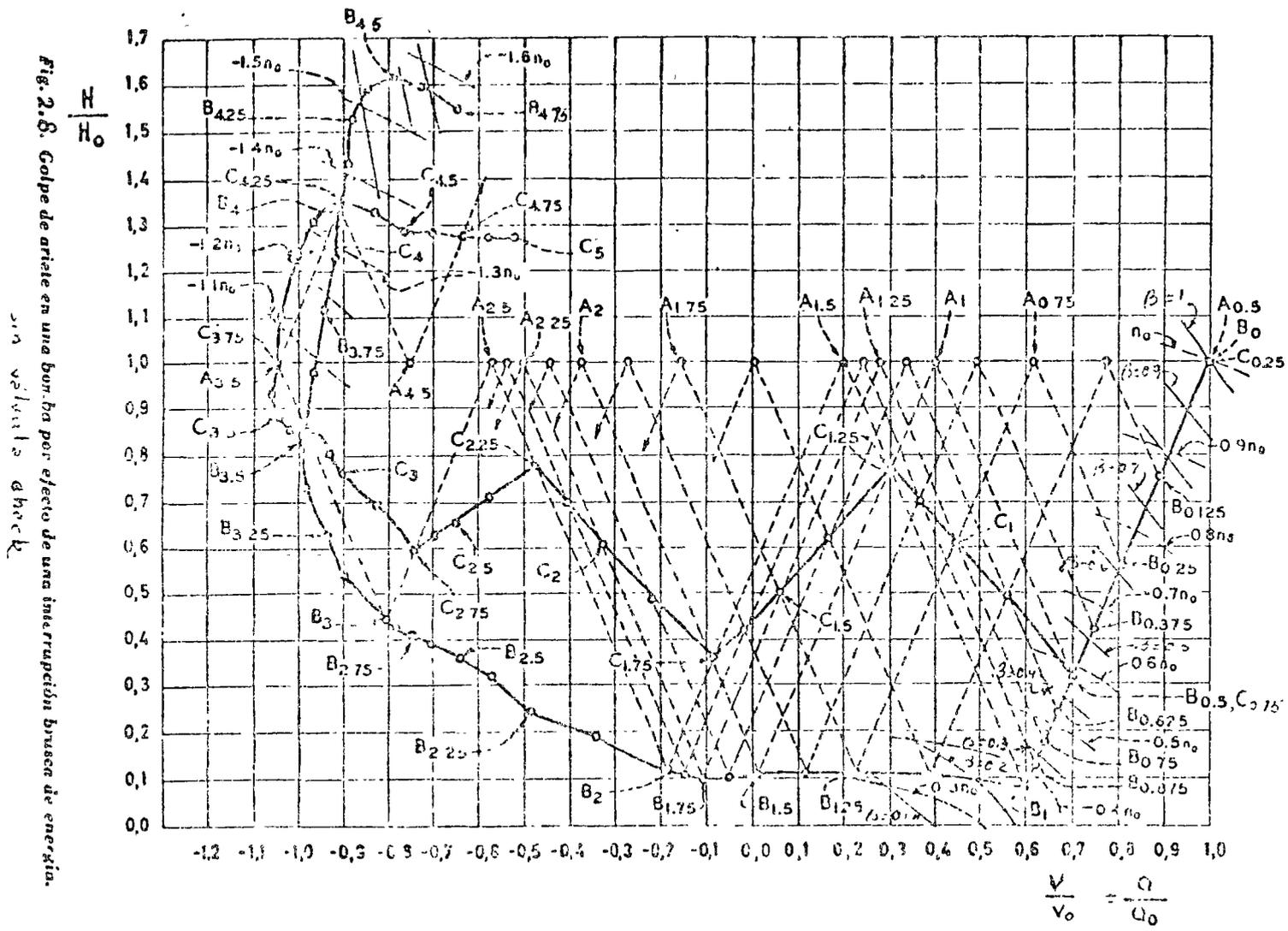
El punto $B_{0.125}$ se localiza sobre una recta de pendiente $2\epsilon = +2.31$ apoyada en B_0 de la siguiente manera: inicialmente se estima la localización de $B_{0.125}$ y los valores de $\alpha_{0.125}$ y $\beta_{0.125}$ se leen de las curvas características de la bomba. Este valor de $\beta_{0.125}$ se usa en la ecuación anterior para calcular $\alpha_{0.125}$. Si el valor calculado de $\alpha_{0.125}$ no concuerda con el valor -- $\alpha_{0.125}$ sobre las curvas, el punto para $B_{0.125}$ se corre sobre la recta de pendiente $+2\epsilon$ hasta que concuerda dicho valor de $\alpha_{0.125}$. Este punto particular se encuentra localizado a un valor de $\beta = 0.760$ y $\alpha = 0.863$. Otros puntos para $B_{0.25}$, $B_{0.375}$, etc., se determinan de manera similar. Los valores para varios de estos puntos se muestran en la tabla siguiente y la solución del golpe de ariete se completa como se muestra en la fig 2.8, de la cual se leen los siguientes valores límites:

- Decremento máximo de carga en la bomba (B) = $0.92 H_0 = 61.73$ m
- Decremento máximo de carga a la mitad del tubo = $0.69 H_0 = 46.30$ m
- Incremento máximo de carga en la bomba (B) = $0.61 H_0 = 40.93$ m
- Incremento máximo de carga a la mitad del tubo = $0.35 H_0 = 23.49$ m

Relaciones de velocidad de la bomba y parmotor

Punto	β	α	$\alpha_i - \alpha_j$ (de las curvas)	$\alpha_i - \alpha_j$ (de la ec. 2.5)
A_0	1.000	1.000	0	0
$A_{0.125}$	0.760	0.863	0.137	0.138
$A_{0.25}$	0.610	0.755	0.108	0.107
$A_{0.375}$	0.520	0.668	0.087	0.088
$A_{0.5}$	0.440	0.592	0.076	0.075
$A_{0.625}$	0.380	0.528	0.064	0.064
$A_{0.75}$	0.325	0.472	0.056	0.055
$A_{0.875}$	0.285	0.425	0.047	0.047
A_1	0.250	0.383	0.042	0.042
$A_{1.125}$	0.170	0.350	0.033	0.033

En la fig 2.8 se esquematiza la solución gráfica antes indicada. La fig 2.9 presenta la curva de cargas de presión (en m) contra tiempo y de gasto-tiempo para los puntos B, junto a la bomba y C, a la mitad de la tubería.



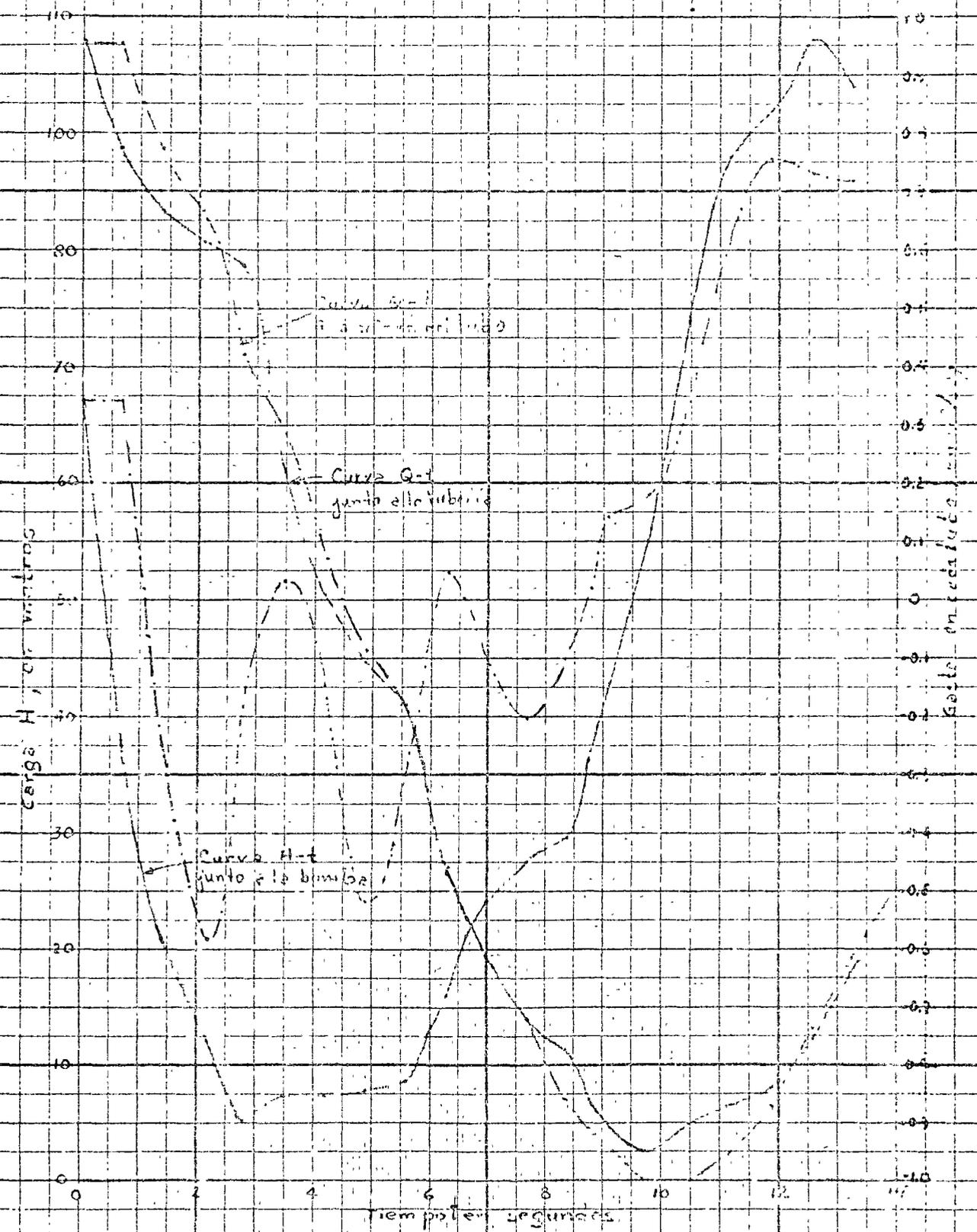
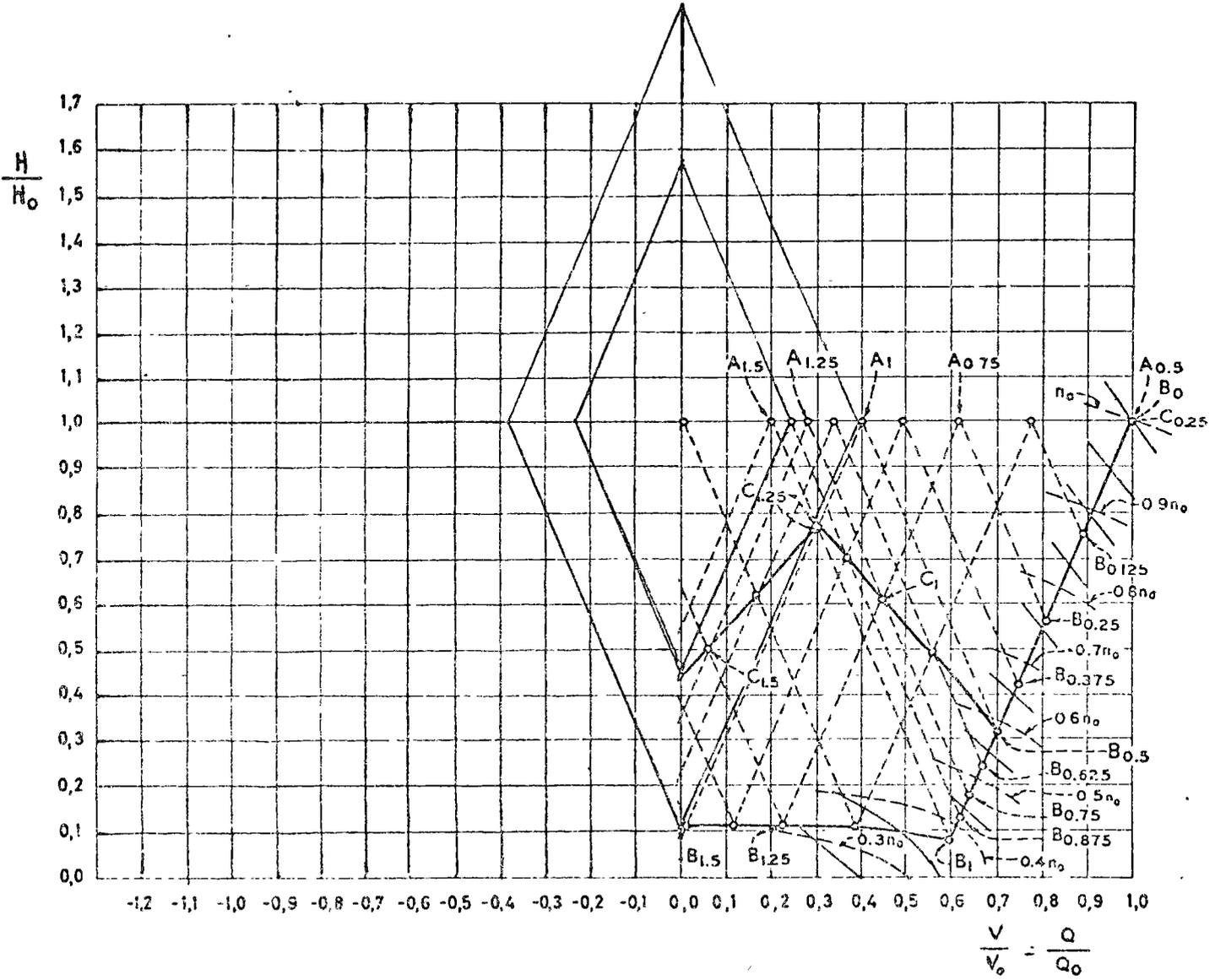


Fig. 2.9. Curvas A-t, Q-t y S-t de la bomba y la turbina.

Fig. 2.10 Golpe de ariete en una bomba por efecto de una interrupción brusca de energía,
con valores de check.



Ejemplo 2.2

Considere la planta de bombeo del ejemplo anterior con los mismos datos, pero con la diferencia de que existe válvula check en la tubería.

Solución. La diferencia respecto de la solución del ejemplo anterior consiste en que al llegar a tener un gasto igual a cero en la tubería, a partir de ese instante se cierra la válvula check y el fenómeno entra en el movimiento pendular.

La figura 2.10 presenta la solución antes indicada y para ello conviene aclarar que ésta solución será válida siempre que la válvula check cierre en el instante en que se invierta el flujo en el tubo. Esto no siempre es posible debido a la inercia que normalmente tiene la válvula check.

2.5 Golpe de ariete sin incluir el efecto de inercia de la bomba, con válvula check en la tubería.

En el caso de que la inercia del conjunto bomba-motor sea de importancia secundaria, la solución gráfica del golpe de ariete con válvula check en la tubería se simplifica todavía más a la forma mostrada en la fig. 2.11.

En este caso, la recta del golpe de ariete que parte de B_0 en la fig. 2.11, intersecta antes al eje vertical H que a la curva α^2 , lo cual significa que el tiempo τ necesario para que la válvula check se cierre y deje de influir la inercia de la bomba, es menor que el período T . Dicho punto de intersección corresponde al punto B_1 que señala el instante en que la dirección del escurrimiento se invierte, se cierra la válvula check y la presión vuelve a incrementarse a lo largo de las rectas de pendiente negativa y positiva, con lo cual se determina la presión máxima H_2 . Dependiendo fundamentalmente de la inclinación de la recta $B_0 - B_1$, ésta puede intersectar el eje de los gastos antes que el eje de las cargas (fig. 2.12). Esto significa que la presión empezará a descender por debajo de la atmosférica, permaneciendo abierta la válvula check y el flujo persistiendo a través de la bomba. Al final del primer intervalo T solo una parte ΔQ del gasto original ha disminuido y el flujo continua con un gasto Q_1 en la misma dirección y también la válvula check abierta.

La construcción del resto del diagrama se presenta en la fig. 2.12. Observe que se obtendrá un incremento de presión mayor si la bomba opera con un gasto original Q_0 más bajo, ocurriendo el máximo si el punto B_1 coincide con el original. En este caso, el problema de presiones inferiores a la atmosférica puede llegar a ser muy grande y producir el colapso de la tubería.

2.6 Cierre de una válvula contra la carga de bombeo.

Pueden presentarse dos casos: Uno para el cual la válvula se encuentra colocada en la vecindad de la bomba, del lado de la descarga, y otro en el que la válvula se encuentra en la vecindad del depósito, al final de la tubería.

Se empezará con el primer caso, para el cual se supone una válvula como en la fig. 2.13. Dicha válvula trabajará en cualquier instante, con la carga H contra la que puede suministrar el gasto Q , para la velocidad normal de operación y que se obtiene de la curva característica de la bomba.

De este modo, en un instante cualquiera se tendrá que:

$$V_i = C_d i A_i \sqrt{2g (H_i - h_i)}$$

o bien:

$$\frac{V_i}{V_o} = \frac{C_d i A_i}{C_d o A_o} \sqrt{\frac{H_i - h_i}{H_o}}$$

y finalmente

$$\frac{V_i}{V_o} = Z_i \sqrt{\frac{H_i - h_i}{H_o}} \tag{2.7}$$

donde Z_i representa el factor de cierre de la válvula.

Conociendo la ley de cierre se pueden trazar las curvas restantes de la ec. (2.7) y aplicar el método gráfico como se indica en la fig. 2.14.

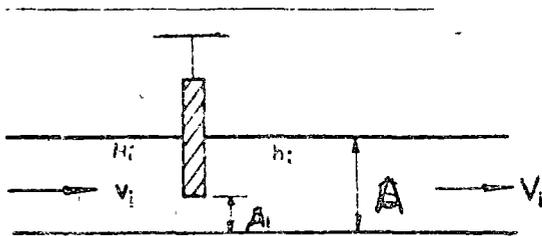


Fig. 2.13 Válvula de control en la tubería.

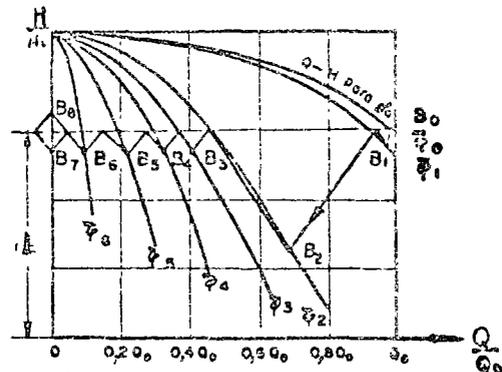


Fig. 2.14. Golpe de ariete por efecto del cierre de una válvula a la entrada de la tubería de descarga de una bomba.

En el caso de que la válvula se encuentre en el extremo aguas abajo de la tubería, las curvas son de forma parabólica. Considere, por ejemplo, que la válvula C es cerrada en un tiempo $\bar{c} = 3T$ contra la carga de bombeo, mientras la bomba sigue trabajando (fig. 2.15). Las características del sistema para el punto C con la válvula cerrada en los intervalos de tiempo $T, 2T, 3T$, son ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 , respectivamente. Las características de las oscilaciones de presión $A_{0.5}, C_1, A_{1.5}, C_2, A_{2.5}, C_3$, se dibuja de la manera usual, presentándose la máxima presión en C_3 .

En un instante se cierra la válvula de control en A y se inicia el movimiento pendular. Si la válvula en C en un tiempo $\bar{c} \leq T$, las características de las oscilaciones serán $A_{0.5}, C_1, A_{1.5}, C_2$, que se muestran con líneas de puntos.

2.7 Arranque de una bomba.

Los efectos del golpe de ariete debidos al arranque normal de una bomba, generalmente son despreciables. Sin embargo, estos efectos pueden ser disminuidos usando válvulas de control apropiadas o equipo especial de arranque, asegurándose que todo el aire de las líneas de descarga sea removido. Si hay una válvula de control sobre el lado de la descarga, la bomba se arranca hasta que alcance la velocidad normal de operación, todavía con la válvula

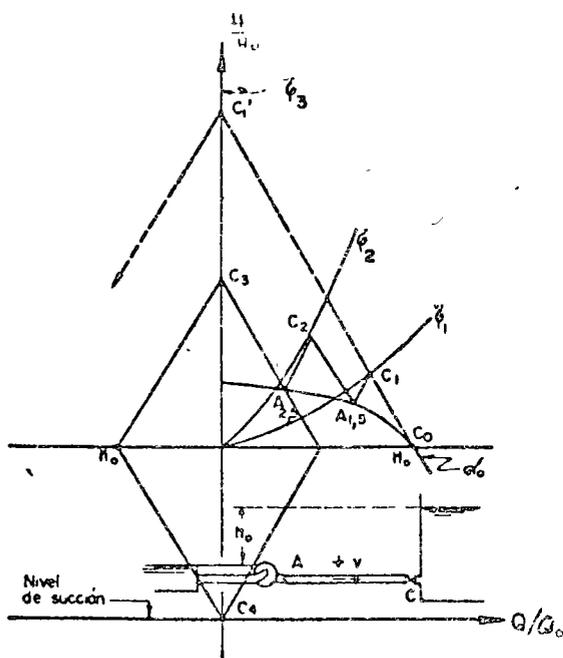


Fig. 2.15. Golpe de ariete por efecto del cierre de una válvula a la salida de la tubería de descarga de una bomba.

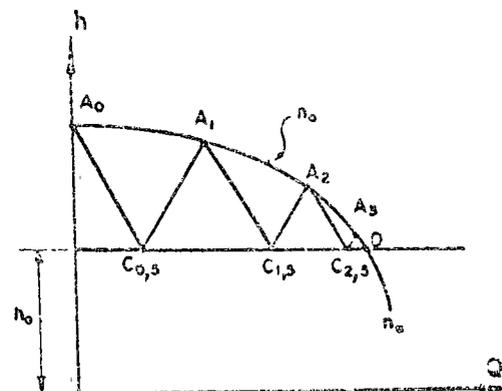


Fig. 2.16. Arranque de una bomba.

cerrada, y posteriormente se abre. Si la apertura es gradual, los efectos del golpe de ariete resultan despreciables; por el contrario, si ésta es brusca -- (como en el caso de una válvula de retroceso), es decir, con $t < T$, ocurre una sobrepresión si las bombas arrancan bruscamente. Este efecto se muestra en la fig. 2.16.

2.8 Golpe de ariete en la tubería de succión.

En todos los ejemplos anteriores se ha concentrado la atención al golpe de ariete exclusivamente en la tubería de descarga. Sin embargo, cualquier cambio de gasto en la tubería de descarga se presenta también en la tubería de succión y consecuentemente golpe de ariete en esta tubería y en la carcasa de la bomba, que mecánicamente son las partes más vulnerables de toda la instalación. Por otra parte, dada la longitud generalmente corta de la tubería de succión, los efectos del golpe de ariete resultan despreciables y es poco frecuente que ocurra una falla en ellos.

En aquellos casos en que la longitud de la tubería de succión sea grande, se pueden hacer los mismos estudios del golpe de ariete de una tubería de descarga cualquiera, cuyas condiciones de frontera son fijadas por las características del sistema, las cuales son comunes a la tubería de descarga de la bomba.

Evidentemente, si el objeto del estudio es la determinación del máximo incremento de presión, no hay necesidad de dibujar un diagrama del golpe de ariete para la tubería de succión. Este máximo será igual al que se presente en la tubería de descarga, reducido tan sólo por la pérdida de carga a través de la carcasa de la bomba, en el caso de que no se haya previsto una válvula check.

2.9 Solución del golpe de ariete por medio de gráficas, en el caso de interrupción brusca de energía y que no exista válvula check.

Gráficas de Parmakian

Con el fin de determinar en forma aproximada las depresiones y sobrepresiones máximas que ocurren en una bomba, en el caso de falla de potencia y de no tener válvula de control, Parmakian preparó una serie de gráficas que se reproducen en las figuras 2.17 a, b, c, d, e, f, g, h. Estas gráficas representan el resultado de un gran número de soluciones del golpe de ariete para una serie de bombas y proporcionan un método conveniente para obtener las condiciones límites transitorias en la bomba y en el centro de la tubería.

Aunque dichas gráficas son teóricamente aplicables a un tipo particular de bombas (operando con su carga estática antes de fallar la potencia), son útiles para obtener los efectos aproximados del golpe de ariete en cualquier línea de descarga en un sistema de bombeo. La elaboración de estas gráficas fué posible debido a que en el fenómeno del golpe de ariete intervienen sólo 3 parámetros adimensionales.

El incremento de presión por encima de la carga normal y la caída de presión por debajo de la misma están dadas en por ciento de la carga normal en términos de dos parámetros 2ϵ y K adimensionales, que son:

$$2\epsilon = \frac{a V_0}{g H_0} \quad (2.8)$$

en que V_0 es la velocidad original de la tubería y H_0 la carga estática de bombeo,

$$K = \frac{450 g \gamma H_0 Q_0}{\pi^2 W R^2 \eta_0 n_0^2} \quad (2.9)$$

en que $W R^2$ es el momento de inercia del conjunto bomba-motor expresado en $\text{kgm} \cdot \text{seg}^2$, n_0 la velocidad angular normal de la bomba en rpm y

$$T = \frac{2L}{a} \text{ en seg.}$$

Conviene recordar que en los anteriores resultados no se ha incluido el efecto de fricción en la tubería y que las oscilaciones de presión, calculadas para puntos distintos del de la bomba, corresponden al caso de una tubería de eje horizontal. Para obtener el valor correcto de la carga de presión en cada instante, deberá restarse la diferencia de niveles entre la bomba y el punto en cuestión.

Gráficas de Kinno y Kennedy.

Estas gráficas son más completas que las de Parmakian; toman en cuenta cuatro parámetros adimensionales y la velocidad específica de la bomba, para definir el comportamiento transitorio de un sistema de bombas centrífugas, incluyendo además la fricción en la tubería y la eficiencia de la bomba. Estas gráficas son aplicables a bombas con velocidades específicas menores que 2700 (rpm, gpm, ft) y no se pueden extrapolar a sistemas en que haya cierre de válvulas durante el fenómeno transitorio, ni a sistemas que tengan dispositivos de control de golpe de ariete, con excepción de grandes tanques de oscilación.

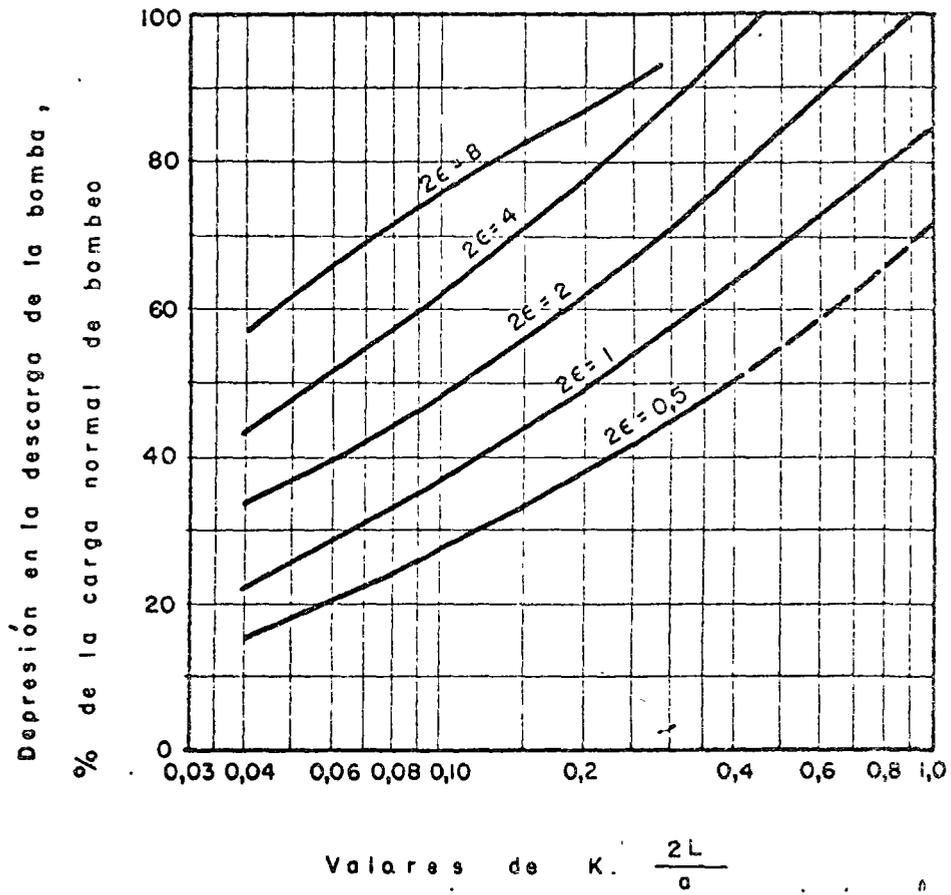
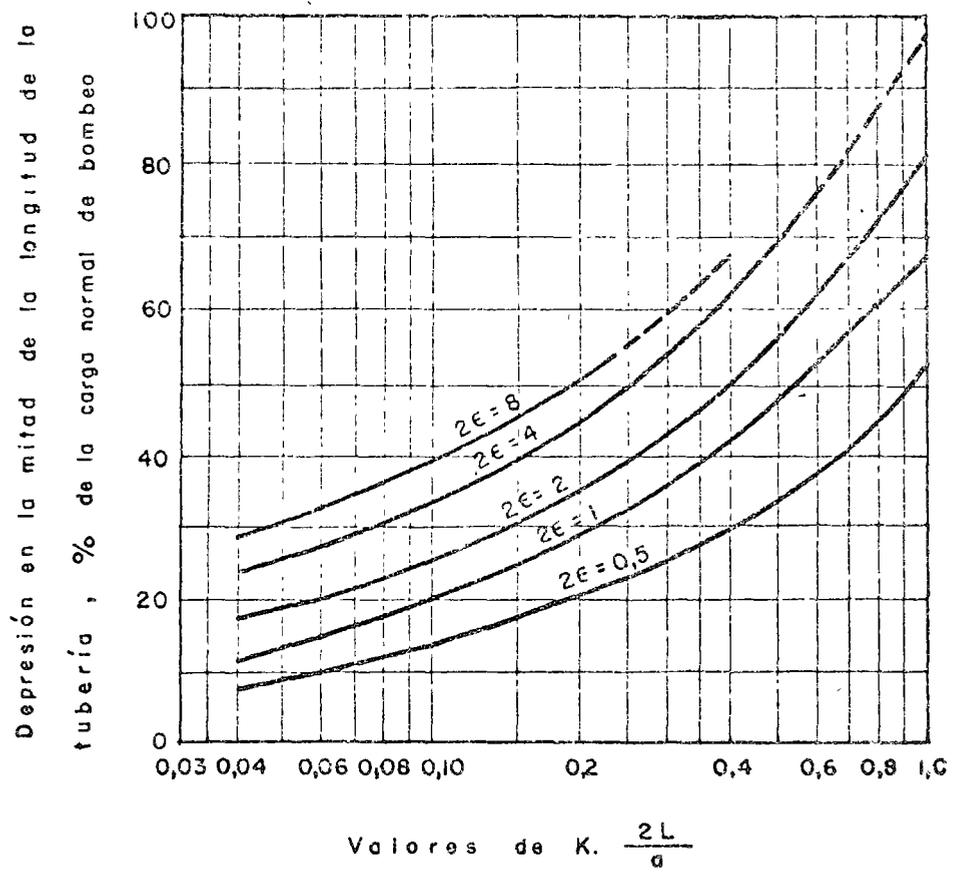


Fig. 2.17a. Depresión en la descarga de la bomba.



(b)

Fig. 2.17b. Depresión en la mitad de la longitud de la tubería.

Sobrepresión en la descarga de la bomba,
% de la carga normal de bombeo

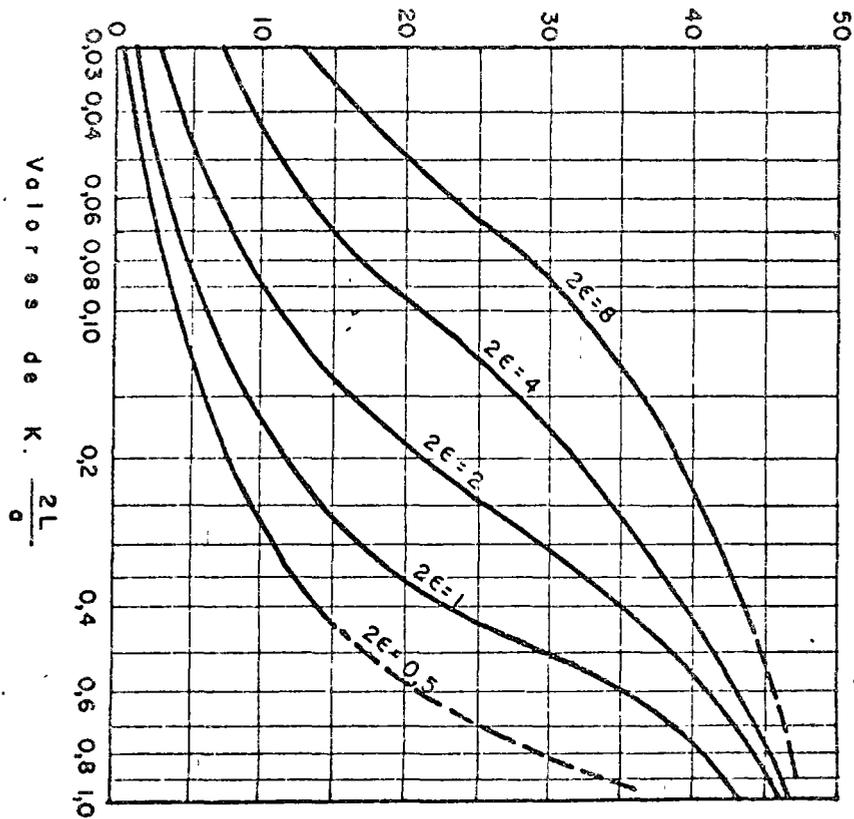
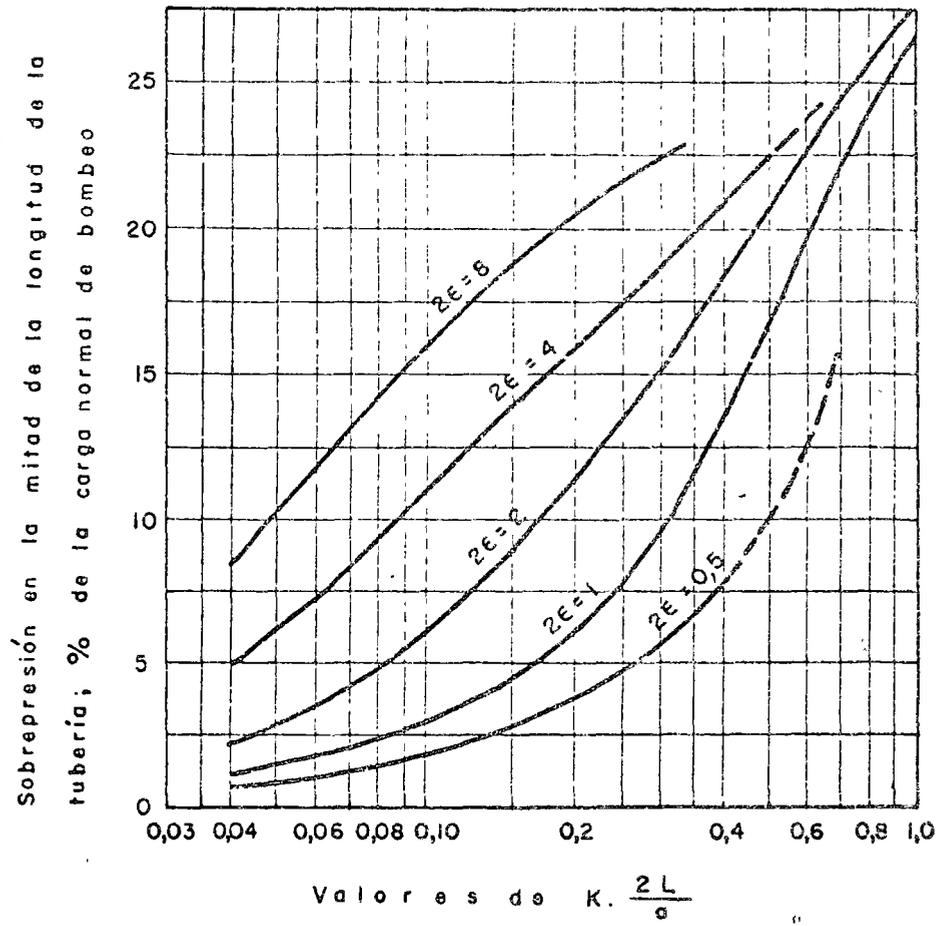


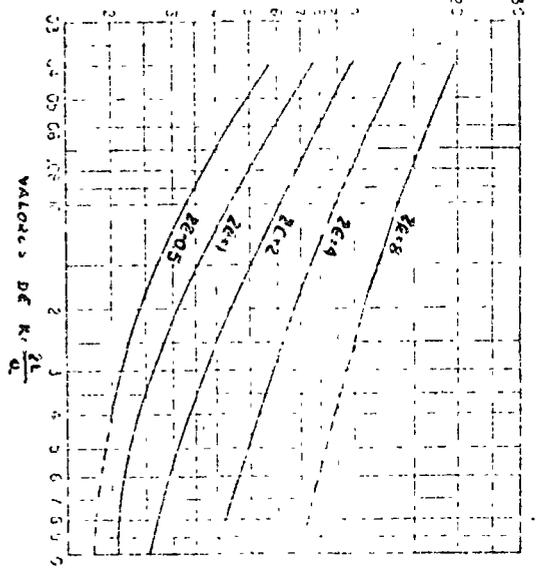
Fig. 2.17c. Sobrepresión en la descarga de la bomba.



(d)

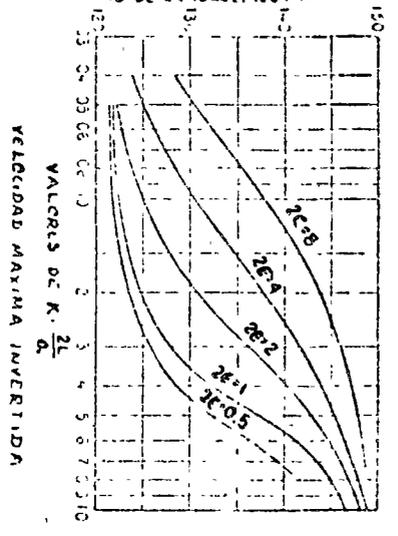
Fig.2-17d. Sobrepresión en la mitad de la longitud de la tubería.

TIEMPO PARA LA INVERSIÓN DEL FLUJO EN LA BOMBA
INTERVALOS L/D DESPUÉS DE LA FALLA DE ENERGÍA

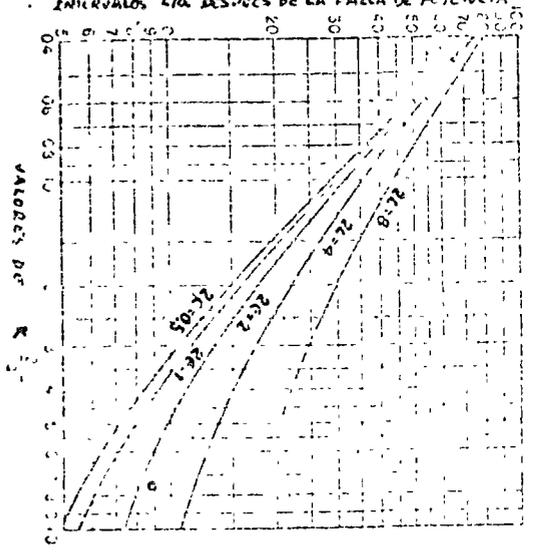


TIEMPO PARA LA INVERSIÓN DEL FLUJO EN LA BOMBA
Fig. 2.17 a/f

VELOCIDAD MÁXIMA INVERTIDA
% DE LA VELOC. NORMAL

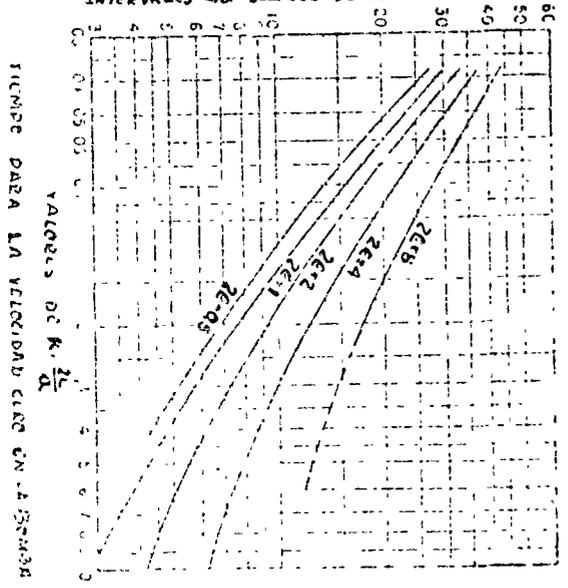


TIEMPO PARA LA VELOCIDAD MÁXIMA INVERTIDA
INTERVALOS L/D DESPUÉS DE LA FALLA DE POTENCIA



TIEMPO PARA LA VELOCIDAD MÁXIMA INVERTIDA EN LA BOMBA
Fig. 2.17 b/f

TIEMPO PARA LA VELOCIDAD CERO DE LA BOMBA
INTERVALOS L/D DESPUÉS DE LA FALLA DE POTENCIA



Los parámetros usados en este caso son :

- 1) La constante de la tubería $\rho = \epsilon$ definida por la ec. (2.8)
- 2) La constante $K_I = 2 K_f$, donde K es la constante de la bomba definida por la ec. (2.9)
- 3) El tiempo T característico del sistema : $2L/a$ en que L es la longitud del tubo.
- 4) La relación h_f de la carga de fricción en la tubería H_f a la carga nominal de la bomba H_0 (que es la suma de la carga estática de bombeo más la de fricción en el tubo H_f).

$$h_f = \frac{H_f}{H_0}$$

- 5) Las características completas de la bomba. Se incluye la combinación de las constantes K_I y T , a través de la nueva constante

$$\zeta = \frac{1}{K_I \frac{2L}{a}}$$

La fig 2.18 presenta la carga mínima después de la falla de potencia para el punto en la tubería cerca de la bomba y a la mitad de la tubería. - Las líneas llenas de la fig 2.18a proporcionan la relación de la carga mínima en el lado de descarga de la bomba (medida a partir de la elevación de la superficie libre del agua en el pozo de succión) entre carga nominal de bombeo H_0 . La abscisa es $\zeta = 1/(K_I)(2L/a)$ y los parámetros son la constante del tubo ϵ y la carga de fricción adimensional $h_f = H_f/H_0$. Las líneas discontinuas dan la carga mínima en el instante en que se invierte el flujo (cuando $Q=0$).

Si una línea llena tiene un valor más pequeño de h_d que la línea de puntos para los mismos valores de ρ , h_f y ζ , la carga mínima en la bomba ocurre en el instante $2L/a$ después de la falla de potencia. En la fig - 2.18, la línea de punto y raya para $\epsilon = 0.25$ indica que la carga mínima - ocurre durante la inversión del flujo.

La fig 2.18b proporciona la relación h_m , de la carga mínima H_m a la mitad de la longitud de la tubería entre la carga nominal; como antes, la carga se mide a partir de la elevación de la superficie libre del agua en el pozo de succión entre la carga nominal H_0 . En este diagrama, las líneas discontinuas pertenecen a la familia de curvas $\rho = 2$.

Las figuras 2.19a y 2.19b proporcionan la carga mínima en la bomba y a la mitad de la tubería para el caso en que $h_f = 0$. El parámetro de las líneas indican el instante en que ocurre la presión mínima. Las líneas gruesas significan que la presión mínima ocurre para $Q = 0$; las líneas delgadas indican que la presión mínima ocurre en el instante $2L/a$ después de la falta de energía y las líneas discontinuas representan la presión mínima que ocurre durante el flujo invertido. Estas figuras son más convenientes de usar que las figuras 2.18, debido a que no existe interpolación entre valores muy separados de ρ .

Si h_f debe considerarse, la figura 2.19 se puede usar si las cargas mínimas H_d y H_m se toman como $H_d = h_d H_s$; $H_m = h_m H_s$; donde $H_s = (1 - h_f) H_0$. Estas aproximaciones se pueden considerar solamente si $H_d \geq 0$.

La fig. 2.20 permite determinar el tiempo t_0 (como ~~antes~~ múltiplos de $2L/a$) a partir del instante de la falla de energía hasta aquel en que se invierta el flujo en la bomba. Este dato se requiere con frecuencia para programar el cierre de válvulas check.

Si la válvula no causa un incremento importante en la magnitud del descenso de presión, la apertura de la válvula, antes de la inversión del flujo, sería tal que la caída de presión a través de la válvula, en cualquier instante, sea despreciable en comparación con la carga total en la bomba en ese instante.

De los análisis realizados se ha observado que si $h_f = H_f/H_0$, es mayor que aproximadamente 0.18 a 0.2, la carga máxima en la bomba y a la mitad de la tubería no excede a la carga inicial de bombeo H_0 , en el supuesto de que no exista cierre de válvulas.

Las gráficas proporcionan el aumento de presión $h_r = H_r/H_0$ en la bomba, como se muestra en la fig. 2.21. En este caso, la eficiencia de la bomba tiene un efecto marcado sobre la magnitud del ascenso de presión, por lo cual se presentan dos figuras: la fig. 2.21a para $\eta_0 = 0.8$ y la fig. 2.21b para $\eta_0 = 0.9$. En la fig. 2.21a, las líneas discontinuas representan extrapolaciones para los datos numéricos en la región en que h_r no es sensible a cambios de ρ y ξ , en la cual no fué posible localizar los contornos con precisión.

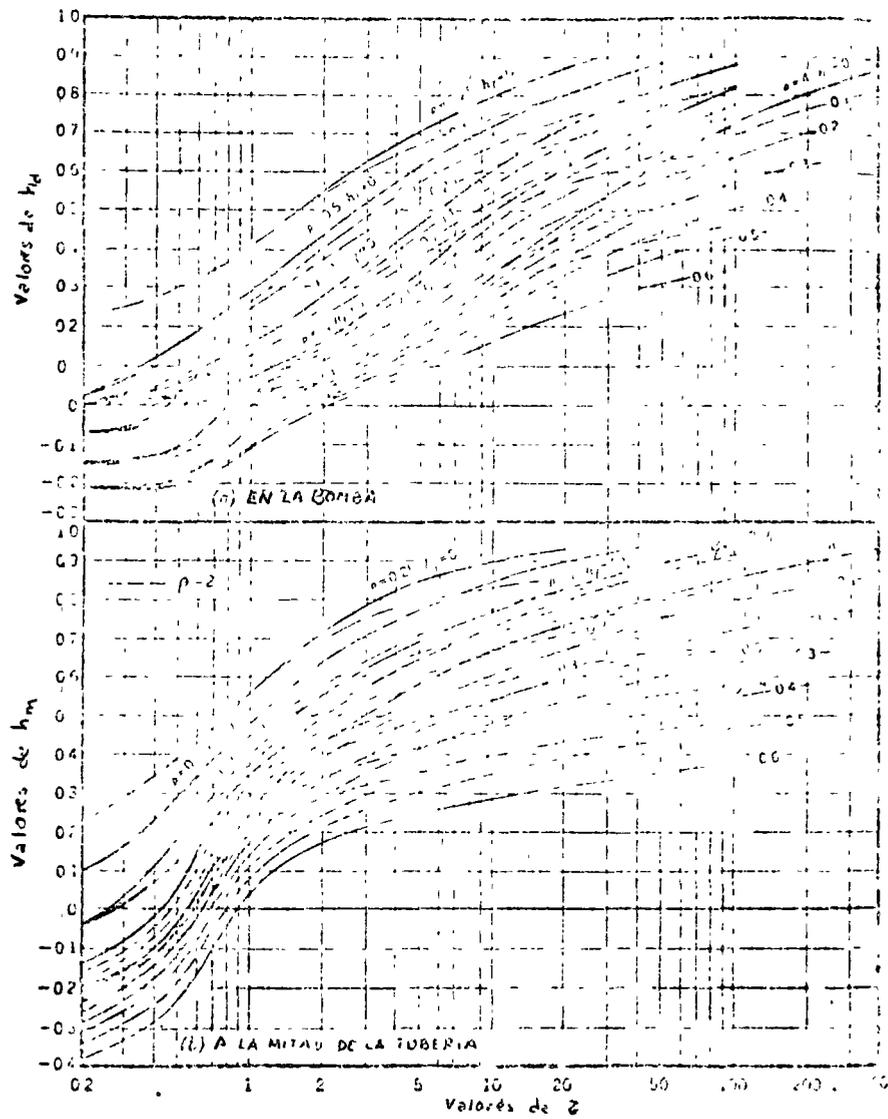


Fig. 2.18. Carga mínima después de la falla de energía.

May. 1965

HYC

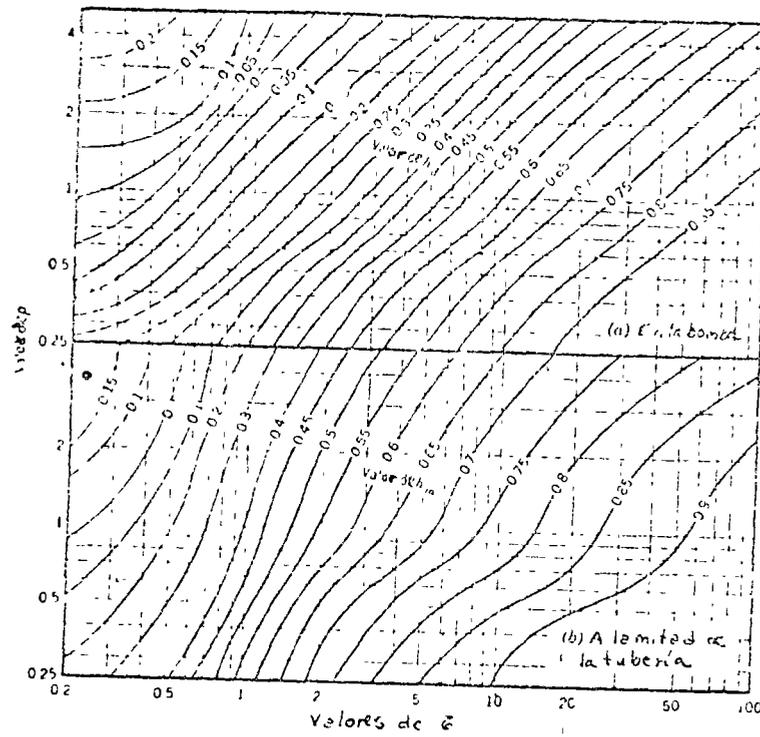


Fig. 2.19. Carga mínima después de la falla de energía para sistemas con pérdida de fricción despreciable.

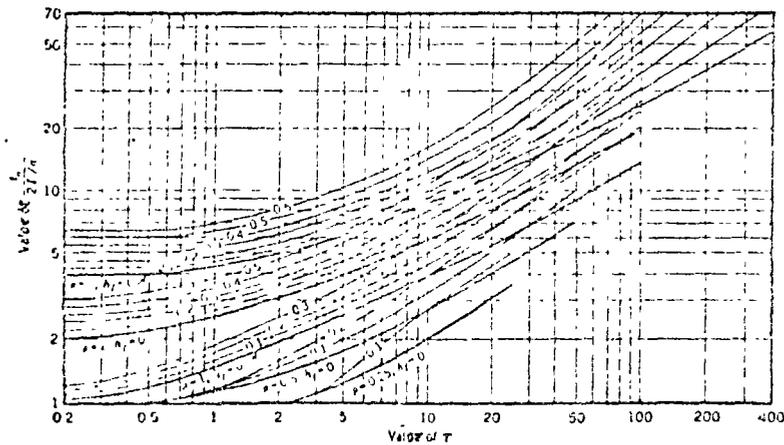


Fig. 2.20. Tiempo para la inversión del flujo en la bomba.

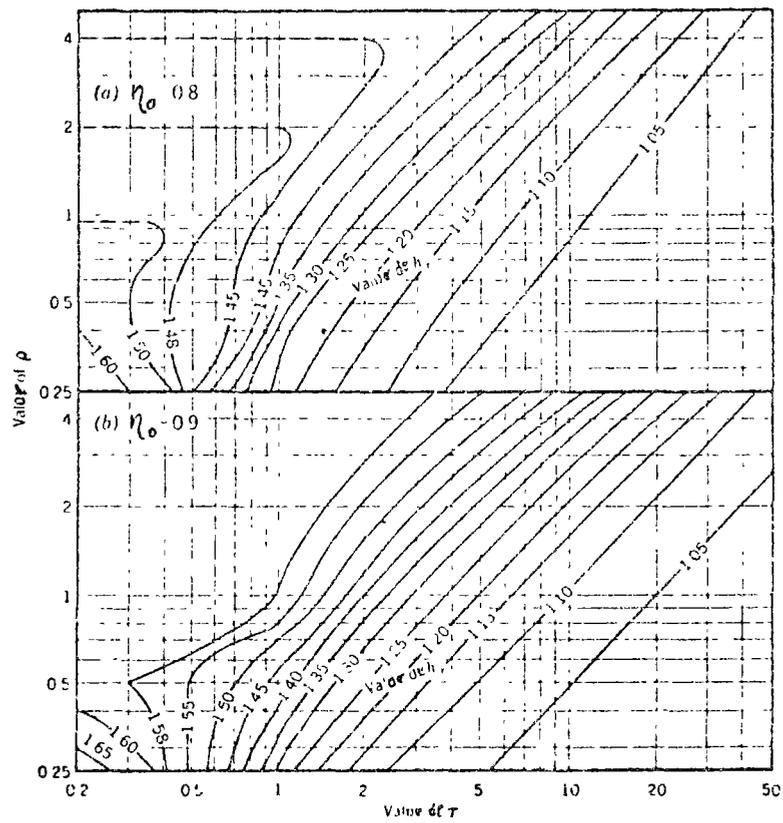


Fig. 2.21. Carga máxima en la bomba después de la falla de energía.

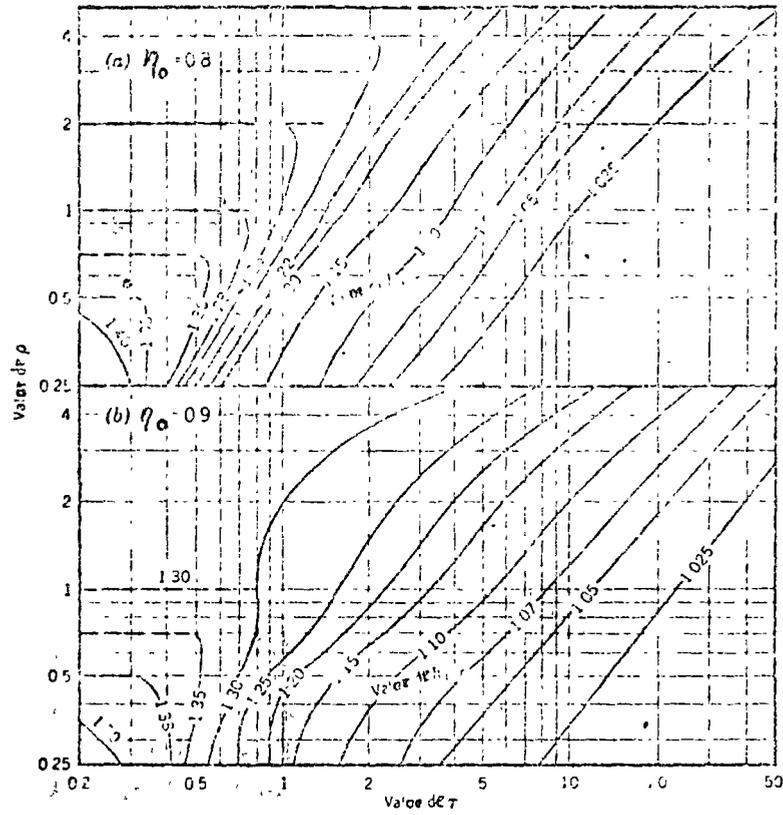


Fig. 2.22. Carga máxima a la mitad de la tubería.

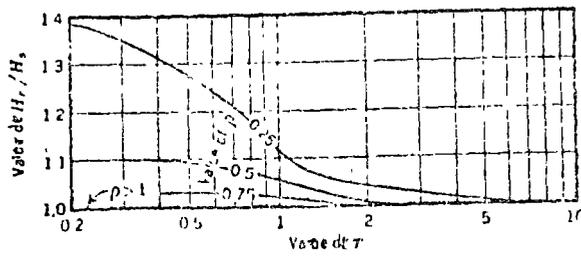


Fig. 2.23. Carga máxima en la bomba si se evita la rotación invertida en la bomba.

Las figuras 2.22a, 2.22b dan el ascenso de presión a la mitad de la tubería, con similares explicaciones de las dos figuras anteriores. Las cargas H_r y H_{mr} se refieren a la carga en el pozo de succión.

También se encontró que si $h_f < 0.2$, la carga máxima en la bomba y a la mitad de la tubería, se pueden expresar a través de las ecuaciones siguientes respectivamente:

$$H_r = \left[1 + \frac{(0.2 - h_f)(h_r - 1)}{0.2} \right] H_0$$

$$H_{mr} = \left[1 + \frac{(0.2 - h_f)(h_{m0} - 1)}{0.2} \right] \left(H_0 - \frac{H_f}{2} \right)$$

Si se evita la rotación invertida de la bomba, la fig. 2.23 permite calcular la carga máxima H_r entre la carga estática de bombeo, H_s . En este caso, no existe incremento de presión por arriba de la carga estática, si $h_f \geq 0.1$, aún para el caso $f = 0.25$.

2.10 Separación de la columna de agua.

Los cambios positivos y negativos de presión, obtenidos de las soluciones del golpe de ariete antes estudiadas, se pueden dibujar sobre el perfil de la línea de descarga, como se muestra en la fig. 2.24 con lo cual se determinan las presiones límites para las cuales deberá diseñarse la tubería. Puede ocurrir que la presión mínima, en algún punto a lo largo de la línea de descarga de la bomba, alcance la presión de vaporización del agua. En ese caso, la solución del golpe de ariete obtenida ya no es válida, pues si la condición de presión por debajo de la atmosférica dentro del tubo persiste por un período suficiente, las partículas líquidas de la columna se separan por la inclusión de vapor.

Esta separación de la columna ocurrirá sólo en aquellos instantes en que se presentan oscilaciones negativas de presión y deberá evitarse mediante el empleo de cámaras de aire, válvulas de alivio o momentos de inercia mayores en el conjunto bomba-motor, ya que pueden crear altas presiones cuando el fenómeno se invierte.

2.11 Dispositivos de alivio del golpe de ariete.

Los efectos del golpe de ariete en las líneas de descarga de sistemas de bombeo sólo pueden disminuirse mediante una reducción gradual de la velocidad dentro del tubo, lo que puede lograrse por cualquiera de los medios siguientes :

- a) Mediante el diseño de sistemas de tuberías con velocidades originales bajas.
- b) Con válvulas controladas positivamente, que combinen las funciones de una válvula de control y una check.

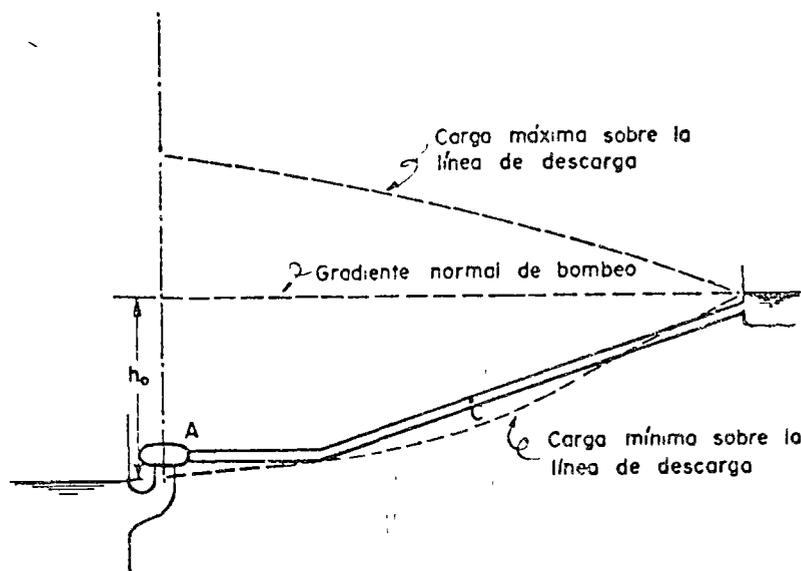


Fig. 2.24 Separación de la columna de agua en un sistema de bombeo.

- c) Con válvulas de alivio que, en el caso de que se manejen con un control positivo, se conocen con el nombre de supresores de oscilación.
- d) Por válvulas check especiales, o con una válvula de paso alrededor de estas, que pueda ser cerrada lentamente (manual o automáticamente) después que se haya cerrado la válvula check.
- e) Por el uso de dispositivos especiales como las cámaras de aire, acumuladores o tanques de oscilación. Estos últimos son generalmente los más caros y sólo se justifican en circunstancias especiales.
- f) Cuando la separación de la columna de agua dentro de la tubería es inevitable, es necesario instalar válvulas que permitan la entrada de aire al interior del tubo para amortiguar el choque en el momento en que ocurra el fenómeno.

2.12 Golpe de ariete con supresor de oscilación en la tubería.

Un supresor de oscilación típico consiste en una válvula operada por medio de piloto que abre después de la interrupción de energía, mediante la pérdida de energía a un solenoide, o por la reducción brusca de la presión en el supresor de oscilación, proporcionando de esta manera una válvula abierta para aliviar la inversión del flujo de agua en la tubería. La válvula se cierra posteriormente de manera lenta por la acción de

El supresor de oscilación se coloca aguas abajo de la válvula check y en la proximidad de la misma para controlar el aumento de presión.

El aumento de presión que podría ocurrir con válvulas check simples y sin separación de la columna de agua es aproximadamente igual a la caída de presión inicial en las bombas, con un máximo aproximadamente igual a la carga estática. Si no se utilizan válvulas check y si el flujo invertido se permitiera pasar a través de las bombas, la presión podría aumentar a un máximo de aproximadamente 50 por ciento de la carga de bombeo, dependiendo esto de la inercia de la columna de agua, la inercia rotacional de las unidades de bombeo y las características de la bomba.

Un supresor de oscilación puede reducir el aumento de presión a un valor por debajo de los máximos justamente dados. Los supresores de oscilación puede también ser usado ventajosamente en algunos casos donde ocurre la separación de la columna de agua.

El manejo del supresor de oscilación puede ser hidráulico, mecánico o eléctrico y un método de operación se ilustra en la fig. 2.25 con el diagrama del golpe de ariete con válvulas check y supresor de oscilación.

La curva característica del supresor de oscilación corresponde a la parábola V que tiene por ecuación

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_s}{Q_0} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{1/2}$$

donde Q_s es la capacidad del supresor de oscilación basada en la carga inicial.

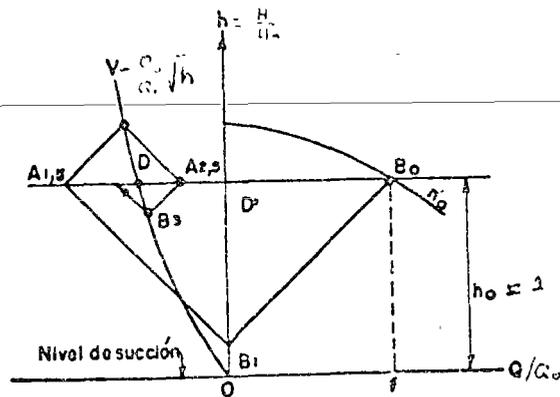


Fig. 2.25 Golpe de ariete con válvula de alivio en la tubería de descarga de una bomba.

El supresor se abre en un instante entre T y $1.5 T$. La oscilación de presión de B_0 a B_1 se traza de la manera normal correspondiendo a la falla de energía con inercia despreciable en el sistema.

Los puntos B_2 y B_3 se determinan con las intersecciones de rectas de pendiente negativa y positiva apoyadas sobre la parábola V . De este modo, el incremento de presión es eliminado prácticamente y una vez que éste se ha amortiguado totalmente en el punto D , el supresor de oscilación se cierra lentamente de modo que el punto final del sistema se mueve de D a D' .

Los resultados de una serie de soluciones gráficas como la indicada en la fig. 2.25 se muestran en las figs. 2.26, 2.27, 2.28 y 2.29. Estas figuras indican las capacidades de flujo requeridas en el supresor de oscilación a fin de limitar el aumento máximo de carga en la estación de bombeo a cero, 10, 20 o 30 por ciento de la carga inicial.

Estas figuras fueron obtenidas sobre la base de que no ocurre separación de la columna. Esto significa que la presión no debe caer abajo de la presión de vaporización del agua en ninguna parte de la tubería.

Ejemplo 2.3 Con el fin de ejemplificar el uso de estas gráficas, consideraremos los mismos datos del ejemplo 2.1.

Súpongamos $H_f = 0.1 \times 67.10 = 6.71$ m. y que no existe separación de la columna de agua tal como se mostró en el ejemplo 2.1.

Se desea determinar el tamaño del supresor de oscilación que limite el aumento de carga en la bomba a cero por ciento. De la figura 2.26 $Q_s/Q_0 = 0.43$. De esta manera el supresor de oscilación debe tener una capacidad de flujo del 43 por ciento del gasto inicial de la estación de bombeo.

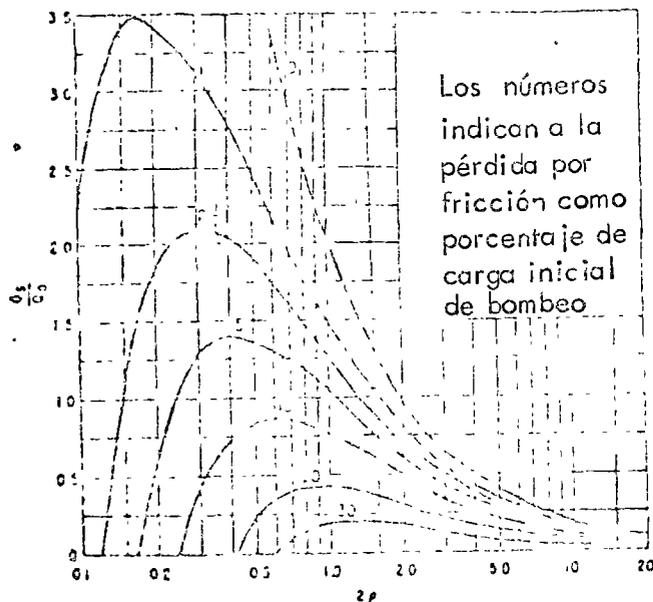


Fig. 2.26 Capacidad del supresor de oscilación para un aumento del cero porciento de la carga en la estación de bombeo.

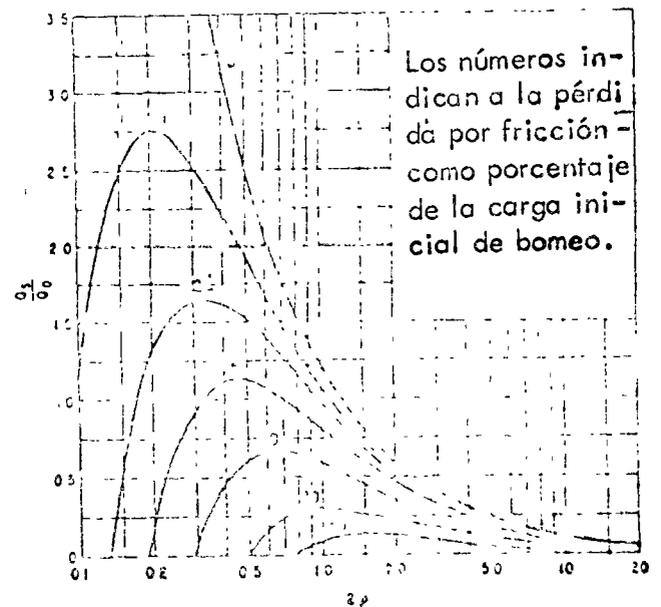


Fig. 2.27 Capacidad del supresor de oscilación para un aumento del 10 porciento de la carga en la estación de bombeo.

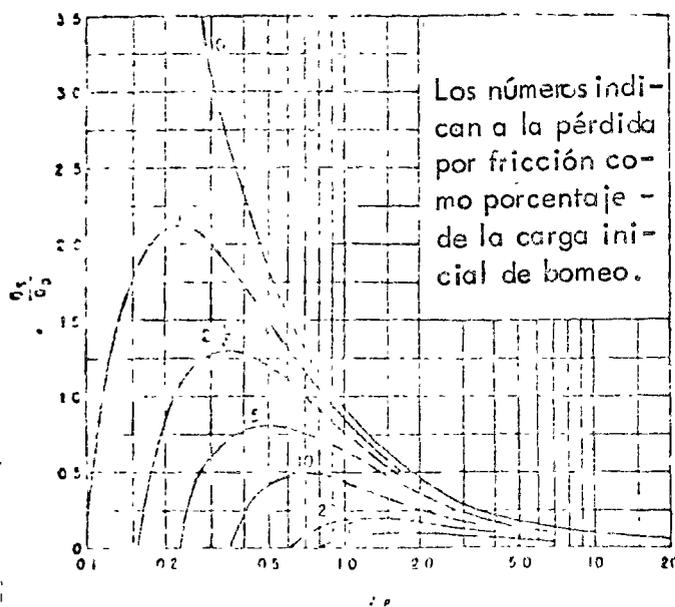


Fig. 2.28 Capacidad del supresor de oscilación para un aumento del 20 porciento de la carga en la estación de bombeo.

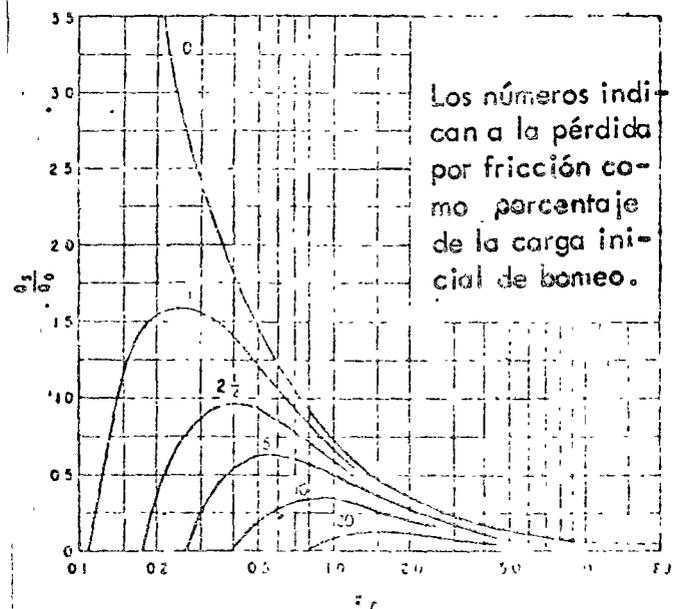


Fig. 2.29 Capacidad del supresor de oscilación para un aumento del 30 porciento de la carga en la estación de bombeo.

se reducen los cambios de velocidad y los efectos del golpe de ariete en la línea de descarga.

Cuando la bomba funciona normalmente el contenido de aire en la cámara se comprime bajo la presión de trabajo y almacena energía en forma análoga a lo que acontece con un resorte comprimido.

Cuando falla la energía, la presión disminuye y el aire comprimido se expande, presionando gradualmente el contenido de agua de la cámara, la cual fluye hacia el exterior y alimenta así a la tubería. Con esto, el escurrimiento en la tubería decrece paulatinamente y el ritmo de la caída de presión disminuye.

Una vez que la velocidad angular de la bomba disminuye hasta el punto en que ya no puede mantener el flujo contra la altura de descarga, la válvula de retención colocada del lado de la descarga se cierra, con lo cual el paro de la bomba es más lento y el flujo en la tubería de descarga y en la cámara se invierte en dirección al depósito y al interior de la cámara. Por lo cual el volumen de aire nuevamente disminuye, presentándose un incremento positivo de presión.

Las cámaras de aire deben ser constantemente abastecidas con pequeñas cantidades de aire comprimido que reemplacen al que se disuelve en el agua. Para hacer que estas tengan un funcionamiento más efectivo es necesario una estrangulación como la que se muestra en la figura 2.20.

Esta estrangulación es del tipo llamado orificio diferencial y, para el flujo de la tubería a

Cámara de aire. Un dispositivo que puede controlar efectivamente las oscilaciones de presión en la línea de descarga de una instalación de bombeo es la llamada cámara de aire, como la que se muestra en la figura 2.19, que generalmente se instala aguas abajo de la bomba.

La porción inferior de la cámara contiene agua, mientras que la superior contiene aire a presión. Cuando ocurre la falla de potencia, tanto la carga desarrollada por la bomba como el gasto decrecen rápidamente, lo cual permite que el aire comprimido dentro de la cámara desaloje el agua hacia la tubería a través del orificio en el fondo de la cámara. De esa forma

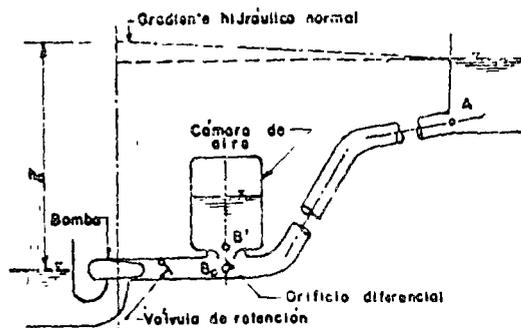


Fig. 2.19 Instalación de bombeo con cámara de aire.

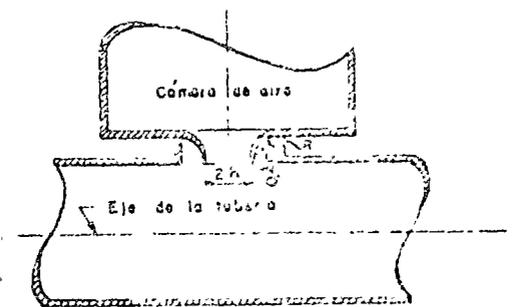


Fig. 2.20 Forma del estrangulamiento recomendado para una cámara de aire.

la cámara, proporciona una pérdida de carga 2,5 veces mayor que para el flujo de la cámara a la tubería y produce así una mejor amortiguación

La ecuación de la pérdida de carga producida por el estrangulamiento es semejante a la ~~(11.77)~~ ya utilizada anteriormente:

$$h_e = C_e Q_i^2 \quad (11.78)$$

en que C_e es el coeficiente de pérdida por estrangulamiento, el cual depende de su forma

Una vez que ocurre la interrupción de potencia al motor de la bomba, la carga de presión en el lado de la descarga es mantenida inicialmente por la cámara de aire, mientras que la velocidad de la bomba y el gasto caen rápidamente. Esto hace que la válvula de retención cierre casi inmediatamente después de la falla de la energía, por lo cual se puede suponer que esto sucede simultáneamente y que el flujo en la tubería sólo es proporcionado por la cámara de aire. Con esta suposición se eliminan las características de la bomba de los cálculos del golpe de ariete, pero introduce una onda de presión brusca correspondiente a la caída instantánea de la carga a través del orificio de estrangulación en la base de la cámara

El fenómeno de compresión y expansión del volumen de aire contenido en la cámara se puede suponer (según Parmakian), como un término medio entre un proceso adiabático y un isotérmico. Es decir, en cualquier instante se cumple que:

$$H_i V_i^{1.2} = H_0 V_0^{1.2} = \text{Constante} \quad (66)$$

en que H_i representa la carga de presión absoluta en el instante i , o sea:

$$H_i = h_i + \frac{P_{atm}}{\gamma} \quad (67)$$

y V_i el volumen de aire en la cámara en el instante i , o bien, si se expresa ~~(67)~~ en los términos adimensionales siguientes:

$$H_i^* = \frac{H_i}{H_0} \text{ y } V_i^* = \frac{V_i}{V_0} \quad (68)$$

se puede escribir:

$$H_i^* V_i^{1.2} = 1 \quad (69)$$

La ecuación ~~(69)~~ se representa por la gráfica mostrada en la figura ~~3361~~.

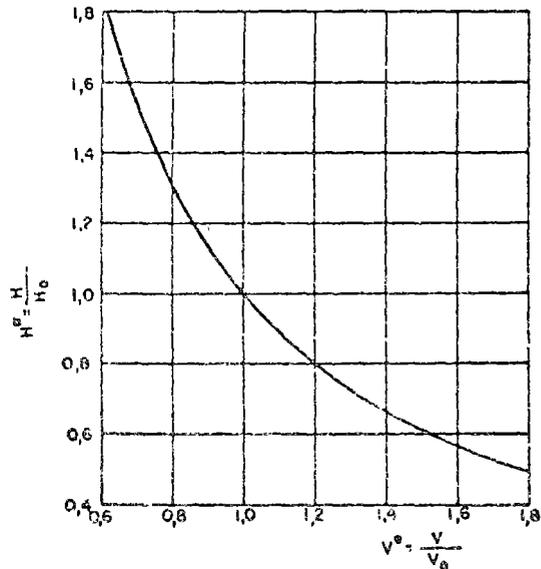


Fig. 2.21 Ley del proceso de expansión del aire en la cámara.

El volumen de aire en cualquier instante i , en términos del volumen en el instante $t-t$, es:

$$V_i = V_{i-1} - \int_{i-1}^i Q dt \quad (70)$$

en que A es el área de la sección transversal de la cámara

Para intervalos de tiempo pequeños, la variación del gasto Q puede suponerse lineal, por lo que el volumen de aire en la cámara es entonces:

$$V_i = V_{i-1} - \left(\frac{Q_{i-1} + Q_i}{2} \right) \Delta t \quad (71)$$

en que el intervalo de tiempo $t = t_i - t_{i-1}$. Por comodidad en el uso del método gráfico del golpe de ariete, es conveniente elegir Δt como una fracción del tiempo de reflexión de la onda

T ; o sea que $\Delta t = \frac{2L}{a} \delta$. Así, si se sustituye en ~~(71)~~, esta se puede escribir:

$$\frac{V_i}{V_0} = \frac{V_{i-1}}{V_0} - \frac{(Q_{i-1} + Q_i)}{2 V_0 Q_0} Q_0 \frac{2L\delta}{a} \quad (72)$$

y con el parámetro adimensional $Q_i^* = \frac{Q_i}{Q_0}$, se puede escribir:

$$V_i = V_{i-1} - \frac{(Q_{i-1}^* + Q_i^*) 2L}{2 V_0 a} Q_0 \delta \quad (73)$$

En esta ecuación el término $\frac{2V_0 a}{Q_0 L}$ es también adimensional como puede observarse fácilmente. Toda vez que los cambios del volumen de aire en la cámara se definen en términos de presiones absolutas, es preferible definir la característica de la tubería en términos de cargas de presión absoluta, esto es:

$$\epsilon^* = \frac{aV_0}{2gH_0} \quad (74)$$

Esta característica de la tubería representa además la pendiente de las rectas del golpe de ariete en un plano $Q^* - H^*$, siendo por supuesto válidos los métodos de solución antes descritos.

El procedimiento gráfico para la solución del problema de la cámara de aire es como sigue:

Sobre un plano coordenado $Q^* - H^*$ se dibuja la parábola de pérdida por estrangulamiento. El punto de coordenadas $Q^* = 1$, $H^* = 1$, representa al punto B_0 . B_0 y A_1 (véase figs. 2.2.1 y 2.2.2) es el punto de partida.

La suposición del cierre instantáneo de la válvula de retención causa un cambio del gasto

en la tubería, que sigue la recta de pendiente positiva ϵ^* . La posición del punto B_1 se puede calcular por tanteos y para esto se supone un primer valor de Q_1^* y con la fórmula (73) se calcula el volumen para el instante 1, para $\delta = 1$ con la fórmula:

$$V_1^* = V_0^* - \frac{2(Q_0^* + Q_1^*)}{2 \frac{V_0 a}{Q_0 L}} = V_0^* - \frac{(1 + Q_1^*)}{\frac{V_0 a}{Q_0 L}}$$

en que V_0^* tiene que ser inicialmente supuesto o fijado de antemano. Con V_1^* se obtiene de la gráfica de la figura 2.2.1 el valor de H^* que tendrá que ser el mismo supuesto para el punto en cuestión, de lo contrario se repite el mismo procedimiento.

Para calcular el punto B_2 se repite el procedimiento por tanteos y así sucesivamente.

Para puntos correspondientes a instantes intermedios, δ será igual al valor del instante para el que se desea calcular. Por ejemplo, si $\delta = 0.5$ (o sea el punto $B_{0.5}$), entonces $\delta = 0.5$.

Los valores de la carga de presión en el punto B^* de la base de la cámara se pueden calcular en cada instante, restando la magnitud

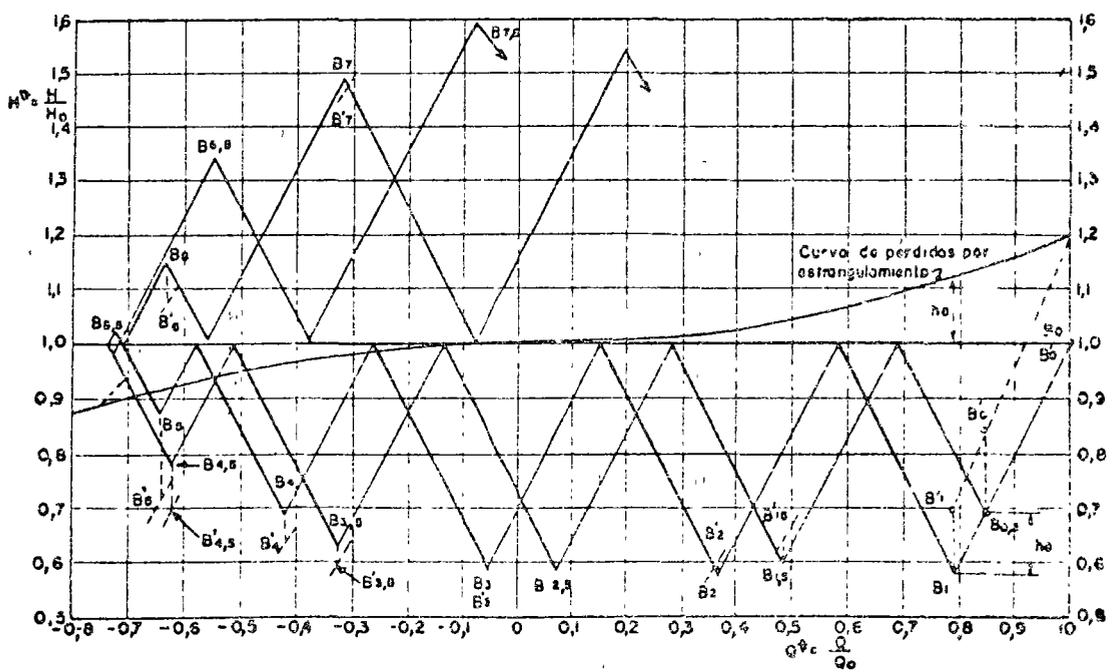


Fig. 2.2.2 Golpe de ariete en una planta de bombeo con cámara de aire.

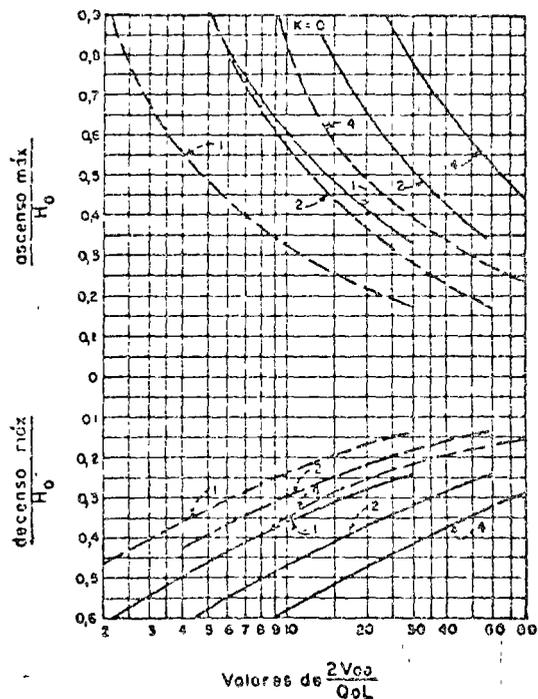
de la pérdida por estrangulamiento Δh_e , correspondiente al gasto Q , del instante en cuestión (línea de puntos)

Por otra parte, de las ecuaciones (73) y (74) se observa que existen dos parámetros básicos en la determinación del golpe de ariete en una línea de descarga con cámara de aire y que son $2\epsilon^*$ y $\frac{2V_0 a}{Q_0 L}$

Los resultados de un gran número de soluciones de cámaras de aire se muestran en la figura 63 a, b, c, d. En estas figuras, las oscilaciones de presión en la línea de descarga adyacente a la cámara y en la mitad de la tubería, se han dibujado contra los parámetros básicos antes mencionados.

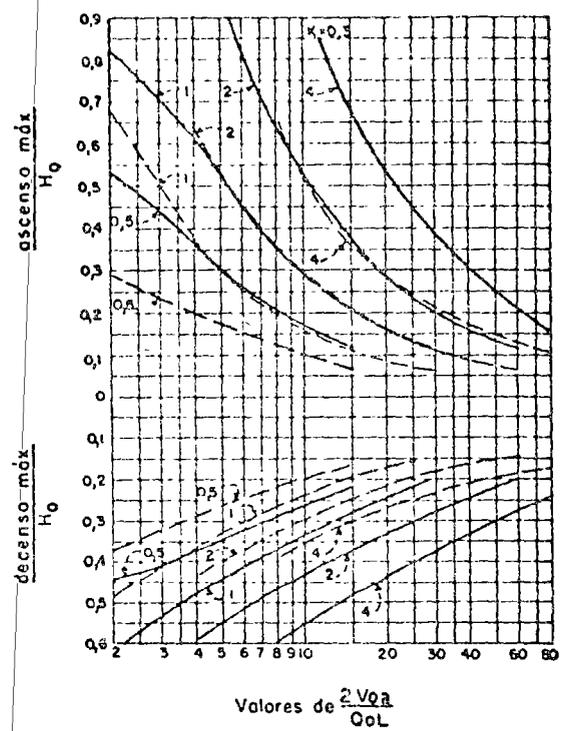
Para los valores mostrados en estos diagramas, dados por Parmakian, se han hecho las siguientes suposiciones:

- a) La cámara de aire está localizada cerca de la bomba.
- b) La válvula de retención en la bomba cierra inmediatamente después de la falla de potencia
- c) La relación presión-volumen para el aire comprimido en la cámara de aire, es, $H^* V^{*1.2} = cte.$
- d) La relación de la pérdida de carga total para el mismo gasto entrando o saliendo de la cámara es 2,5:1: $K H_0^*$ es la suma de las pérdidas de carga por fricción en la tubería y por estrangulamiento en el orificio diferencial



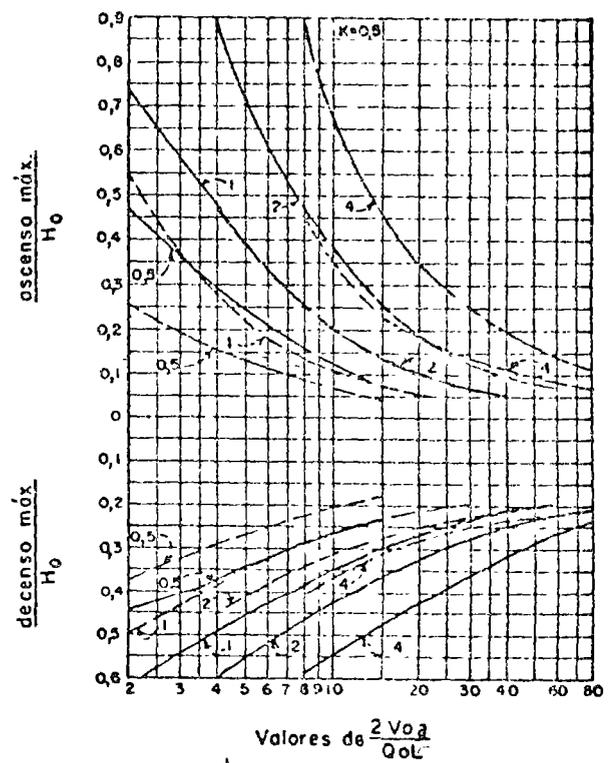
Los números sobre las curvas son valores de $2\epsilon^*$
 ————— adyacente a la bomba
 - - - - - en el centro de la tubería

Fig. 63-a. Variaciones de presión en la tubería de descarga para $K=0$.



Los números sobre las curvas son valores de $2\epsilon\phi$
 ————— adyacente a la bomba
 - - - - - en el centro de la tubería

Fig. 63 b. Variaciones de presión en la tubería de descarga para $K = 0,3$.



Los números sobre las curvas son valores de $2\epsilon\phi$
 ————— adyacente a la bomba
 - - - - - en el centro de la tubería

Fig. 63 c. Variaciones de presión en la tubería de descarga para $K = 0,5$.

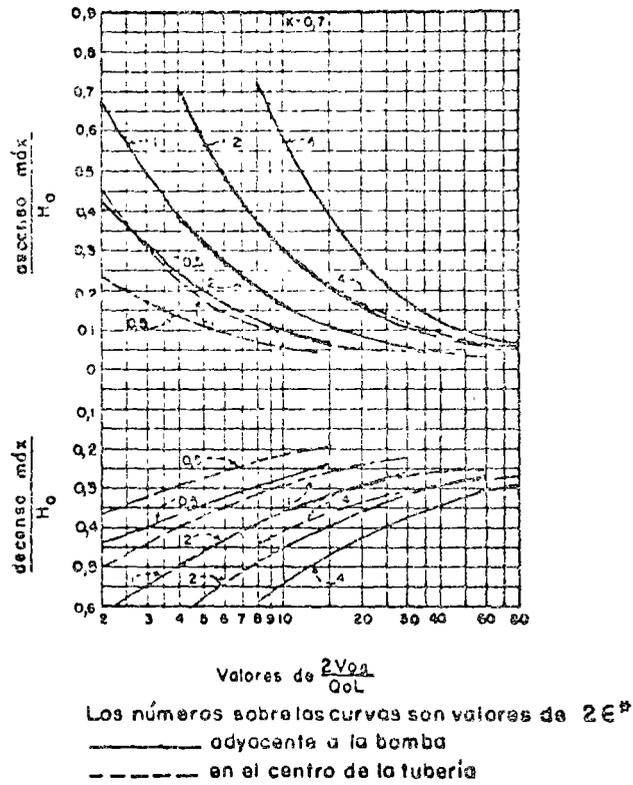


Fig. 63d. Variaciones de presión en la tubería de descarga para $K = 0,7$.

cuando un flujo invertido igual a Q_0 pase al interior de la cámara.

Para asegurar que el aire no entre a la línea de descarga cuando ocurra la oscilación mínima, el volumen total que deberá tener la cámara de aire deberá ser mayor que V' dado por la siguiente expresión:

$$V' = v_0 \left(\frac{H_0^*}{H_{\min}} \right)^{1/2} \doteq \frac{v_0 H_0^*}{H^*_{\min}} \quad (75)$$

en que $H^*_{\min} = H_0^*$ menos la mínima oscilación adyacente a la bomba.

Cámara de aire. Considérese una instalación de bombeo como la mostrada en la figura 280 para la cual se desea determinar el tamaño de una cámara de aire tal, que impida que la sobrepresión máxima en la tubería de descarga adyacente a la bomba exceda a $0,43 H_o^*$ y además, que la depresión máxima en el centro del tubo no exceda a $0,21 H_o^*$.

Los datos del problema son:

$$\begin{aligned} h_{rt} &= 60 \text{ m} \\ h_r &= 0,920 \text{ m} \\ h_o &= 60,92 \text{ m} \\ Q_o &= 2,86 \text{ m}^3/\text{s} \\ S &= 1,84 \text{ m}^2 \\ v_o &= 1,55 \text{ m/s} \\ a &= 900 \text{ m/s} \\ H_o &= 60,92 + 10,33 = 71,25 \text{ m} \\ 2\epsilon^* &= 2 \\ L &= 610 \text{ m} \end{aligned}$$

Diferencia entre el nivel de succión y el punto medio de la tubería = 53,5 m.

De las gráficas mostradas en la figura 280 se encuentra que las condiciones de presión antes señaladas se satisfacen con $K=0,3$ y para:

$$2 \frac{V_o a}{Q_o L} = 21$$

como se puede comprobar fácilmente de la figura 280. De esta figura se obtiene que la sobrepresión máxima en la tubería de descarga

adyacente a la bomba es de $0,27 H_o^*$, la máxima depresión en el centro del tubo es de $0,21 H_o^*$ y la máxima depresión adyacente a la bomba es $0,32 H_o^*$.

Para la instalación mostrada, la pérdida por fricción para el gasto normal de bombeo Q_o , asciende a $0,92 \text{ m}$. El orificio diferencial requerido en la cámara de aire debe entonces proporcionar para un flujo Q_o contra la carga, una pérdida que deberá ser:

$$h_e = K H_o - h_r = 0,3 \times 71,25 - 0,92 = 20,46 \text{ m}$$

Además, con $2 \frac{V_o a}{Q_o L} = 21$ se puede calcular

$$V_o = \frac{21 \times 2,86 \times 610}{900 \times 2} = 20,3 \text{ m}^3$$

el volumen inicial de aire comprimido dentro de la cámara y que es:

y el volumen mínimo que deberá poseer la cámara de aire V' , se puede determinar de la ecuación (11.89)

$$V' = \frac{V_o H_o^*}{H_o^* \min} = \frac{V_o H_o^*}{(1+0,32) H_o^*} = \frac{20,3}{0,68} = 29,7 \text{ m}^3$$

Libros de consulta

1. Brown, John G.: *Hydroelectric engineering practice*, Vol. 1. *Civil Engineering*. Londres: Blackie & Son, 1958 1189 págs
2. Bergeron, L.: *Du Coup de Bellier en Hydrau-*

lique au Coup de Foudre en Electricite. Paris: Dunod, 1950 336 págs.

3 Jaeger, Charles *Engineering fluid mechanics*. Londres Blackie & Son, 1956. 329 páginas.

4 Kozeny, J.: *Hydraulik*. Viena: Springer, 1953 588 págs.

5 Moreno, A.: "Algunos efectos del golpe de ariete en sistemas de bombeo". Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1960.

6 Parmakian, John: *Waterhammer Analysis*. Nueva York: Dover Publications, Inc., 1963. 161 páginas.

7. Rich, George Rollo: *Hydraulic Transients*. 2ª edición. Nueva York: Dover Publications, Inc, 1963 409 páginas.

8 Rouse, Hunter. *Engineering Hydraulics* Proceedings of the Fourth Hydraulics Conference. Iowa Institute of Hydraulic Research. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 1950. 1039 páginas

9. Schlag, A.: *Hydraulique Générale*. Paris: Dunod, 1957 243 págs.

10 Sánchez, J. L.: "Teoría del golpe de ariete". *Ingeniería Civil*. México, 1955.

11. Stepanoff, Alexey J.: *Centrifugal and axial flow pumps; theory, design and application*. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 1948. 428 páginas.

12. Stucky, A.: *Druckwasserschlosser von Wasserkraftanlagen*. Berlín: Springer, 1962. 181 págs.

13. Voik, W.: *Abspeirorgane in Rohrleitungen*. Berlín Springer, 1959 178 págs

14. Wechmann: *Hydraulik*. Berlín: Technic, 1959. 306 págs.

A P E N D I C E

8.4 Celeridad de las ondas de presión

La celeridad de las ondas de presión en una tubería depende principalmente de las características elásticas del líquido y del material con que está construida así como, en forma secundaria, de su estructuración.

Las tuberías de material no homogéneo se pueden asimilar a tuberías equivalentes de material homogéneo.

El valor normal de la celeridad en tuberías de acero de pared delgada es de 1 000 m/seg y el valor máximo que puede alcanzar es de 1 425 m/seg en un tubo rígido. En tubos de goma la celeridad disminuye hasta valores comprendidos entre 19 y 27 m/seg.

Se consideran tuberías elásticas de pared gruesa aquellas en que la relación del diámetro interior a su espesor es mayor que veinticinco. Por esta razón, se supone que el esfuerzo en la pared no tiene una distribución uniforme. La restricción de los apoyos tiene poco efecto en el valor de la celeridad de la onda y, a medida que el espesor disminuye, dicho valor se aproxima al de la tubería de pared delgada.

La ecuación para túneles circulares sin revestimiento se aplica a túneles perforados en roca sana o a través de un macizo de concreto.

En una galería circular, revestida y con blindaje, la camisa de acero en contacto con el material del túnel incrementa la celeridad con respecto a la que se presentaría si no existiera dicho blindaje.

Es de interés el cálculo de la celeridad en tuberías metálicas descubiertas, reforzadas con anillos transversales de acero. La única fórmula a este respecto es la de Arradi, que permite el cálculo transformando la tubería en una equivalente metálica sencilla.

También en el caso de tuberías de concreto armado, se hace la misma consideración de una tubería equivalente homogénea.

8.4.1 Ecuación general

La celeridad de las ondas de presión en un conducto sencillo, descubierta y poco deformable está dada por la expresión

$$a = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{E_w} + \frac{k}{E_t} \frac{D}{e}\right) \frac{\gamma}{g}}}$$

donde

- a celeridad de las ondas de presión, en m/seg
- E_t módulo de elasticidad del material con que está construido el tubo, en kg/m^2
- E_w módulo de elasticidad del líquido, en kg/m^2
- e espesor de las paredes del tubo, en m
- k coeficiente que depende del tipo de apoyo del tubo

8.4.2 Tuberías de pared delgada

De acuerdo con el tipo de soporte de la tubería, los valores de k de la ecuación general son

$k = 5/4 - n$ para un tubo soportado en el extremo superior de entrada y un
juntas de expansión

$k = 1 - n^2$ para un tubo anclado contra movimiento axial en toda su longitud

$k = 1 - n/2$ para un tubo con juntas de expansión, sin existir cambios en su longitud

En que n representa el módulo de Poisson de la tubería. Se suele considerar que para el acero vale 0.3.

El módulo volumétrico del agua y de elasticidad de los materiales más usuales se indican en la siguiente tabla

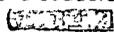
MATERIAL	E (kg/m ²)
agua	2.07 x 10 ⁸
acero	2.1 x 10 ¹⁰
hierro fundido	6 x 10 ⁹
aluminio	7.2 x 10 ⁹
cobre	1.3 x 10 ¹⁰
asbesto-cemento	2.4 x 10 ⁹

Para el agua, se tiene

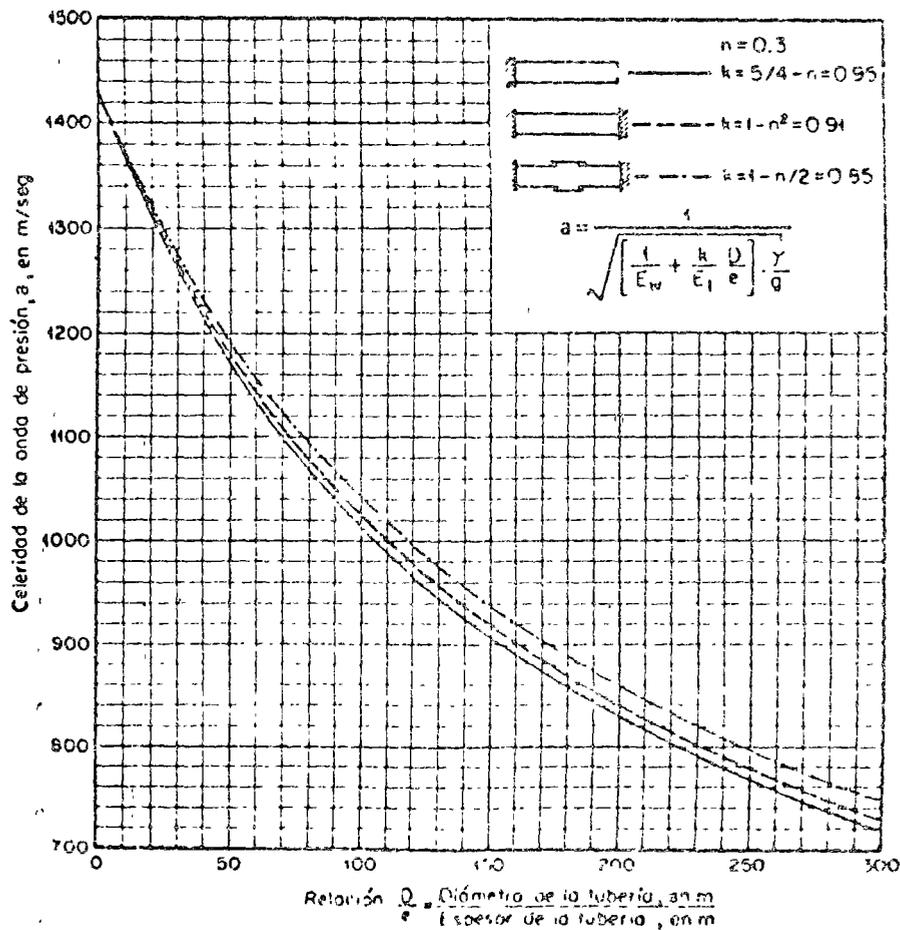
$$\frac{\gamma}{g} = \frac{1000}{9.81} = 102 \text{ kg seg}^2/\text{m}^4$$

Si el tubo es de acero y el líquido circulante es agua, la ecuación general se simplifica a la forma aproximada siguiente

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48 + 0.5 k \frac{D}{e}}}, \text{ en m/seg}$$

b) En la fig 2 se presentan las gráficas de la ecuación anterior para tuberías de acero con agua y los diferentes tipos de apoyo .

En la fig 3 se presentan las gráficas de celeridad de la onda de presión para tubos sencillos, descubiertos, de hierro fundido y de asbesto cemento, con agua, y anclado contra movimiento longitudinal en toda su longitud.



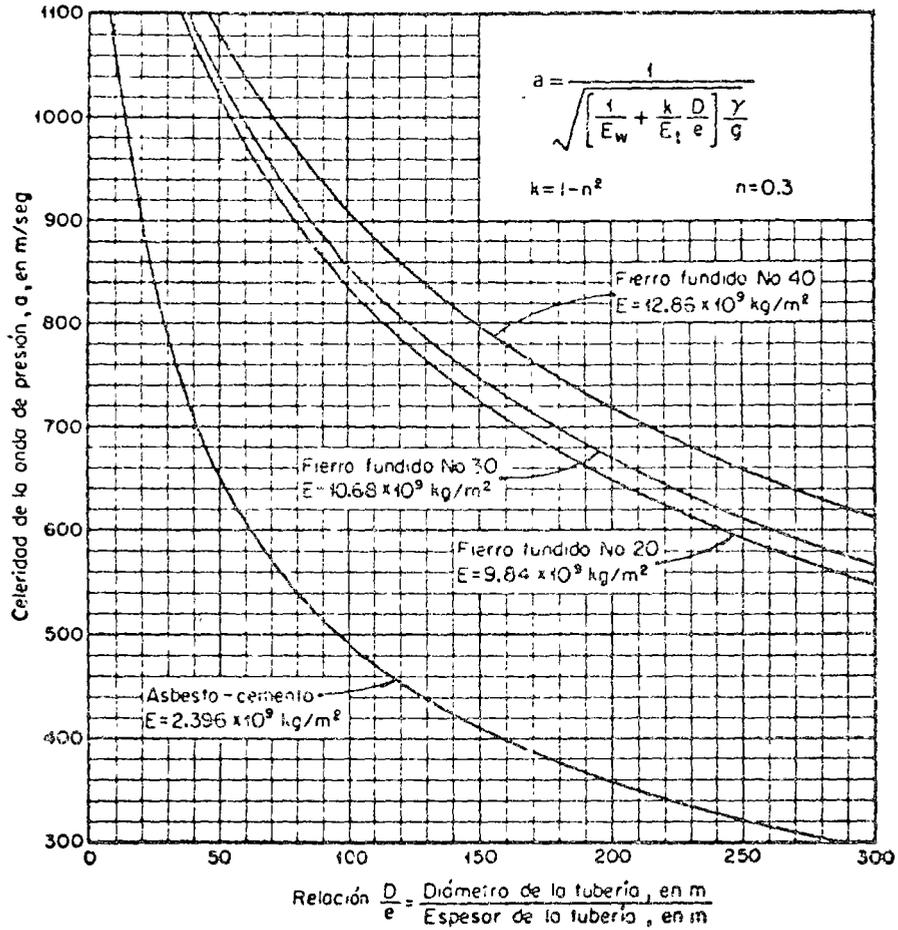


Fig 3 Celeridad de la onda de presión en una tubería al descubierto

8.4.3 Tuberías elásticas de pared gruesa

Considerando los mismos tipos de soporte que en las tuberías de pared delgada, los valores de k de la ecuación general son, respectivamente (ref 8.8):

$$k = \frac{2e}{D} (1 + n) + \frac{D}{D + e} \left(\frac{5}{4} - n \right)$$

$$k = \frac{2e}{D} (1 + n) + \frac{D(1 - n^2)}{D + e}$$

$$k = \frac{2e}{D} (1 + n) + \frac{D}{D + e}$$

8.4.4 Túneles circulares sin revestimiento

La celeridad en este caso vale

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{g} \left[\frac{1}{E_w} + \frac{2}{E_r} (1 + n) \right]}}$$

donde E_r representa el módulo de elasticidad de la roca o del macizo de concreto en kg/m², y n su módulo de Poisson.

8.4.5 Galerías revestidas y con blindaje

Para una galería revestida de concreto con una camisa interior de acero (fig 4), la celeridad en m/seg se puede calcular con la fórmula de Jaeger (ref 8.3)

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{g} \left[\frac{1}{E_w} + \frac{2 R_1}{E_s e} (1 - K) \right]}}$$

en que

$$K = \frac{R_1/e}{\frac{R_1}{e} + \frac{E_s}{E_c} \frac{R_2^2 - R_1^2}{2 R_1 R_2} + \frac{E_s}{E_r} (1 + n)}$$

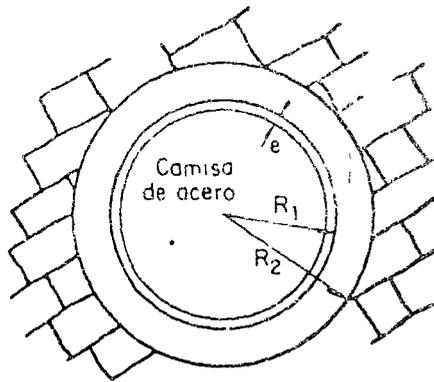


Fig (4)

en que

- E_c módulo de elasticidad del concreto, en kg/m^2
- E_r módulo de elasticidad de la roca, en kg/m^2
- E_s módulo de elasticidad de la camisa, en kg/m^2
- e espesor de la camisa de acero, en m
- n módulo de Poisson de la roca
- R_1 y R_2 radios interior y exterior del revestimiento de concreto, en m.

8.4.6 Tuberías metálicas con anillos de acero

Cuando una tubería metálica tiene costillas transversales de acero (fig 5), según Arredi (ref 8.4), la celeridad se puede calcular con una tubería de espesor equivalente, el cual está dado por la ecuación

$$e_{eq} = \frac{e}{A}$$

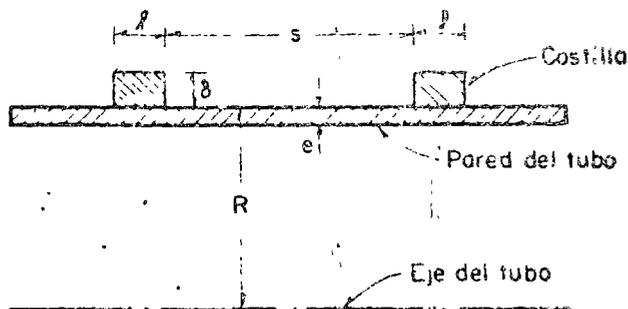


Fig (5)

donde e representa el espesor de la pared del tubo y A (sin dimensiones) está dada por la ecuación:

$$A = 5$$

$$A = \frac{1}{1 + \frac{s}{l}} \frac{\kappa}{1 + \kappa} \left[1 + \frac{s}{l} \frac{1}{\kappa} (1 + \kappa - \mu) \right]$$

en que κ es un parámetro sin dimensiones que vale

$$\kappa = \frac{E}{E_1} \frac{e}{\delta} \left(1 + \mu \frac{s}{l} \right) \alpha$$

donde α no tiene dimensiones y es

$$\alpha = \frac{1 + \frac{\delta}{R} + \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{R^2}}{1 + \frac{1}{2} \frac{\delta}{R}}$$

Un parámetro adicional (sin dimensiones) necesario para la solución es

$$\phi = \frac{\sqrt[4]{3(1-n^2)}}{2} \frac{s}{\sqrt{R e}}$$

μ depende del parámetro ϕ como se muestra en la siguiente tabla.

En estas ecuaciones

- E módulo de elasticidad de la pared del tubo, en kg/m²
- E₁ módulo de elasticidad de las costillas, en kg/m²
- e espesor de la pared del tubo, en m
- l ancho de la costilla, en m
- n módulo de Poisson (sin dimensiones) de las costillas
- R radio exterior de la tubería, en m
- s distancia libre entre las costillas, en m
- δ espesor de la costilla, en m.

Los parámetros adimensionales μ para las fórmulas de Arredi son como sigue:

ϕ	μ	ϕ	μ	ϕ	μ
0	1.0	0.7	0.979289	1.4	0.770247
0.1	0.999950	0.8	0.965391	1.5	0.725640
0.2	0.999867	0.9	0.946165	1.6	0.681278
0.3	0.999280	1.0	0.921119	1.7	0.638450
0.4	0.997732	1.1	0.890239	1.8	0.598106
0.5	0.994488	1.2	0.854045	1.9	0.560077
0.6	0.988667	1.3	0.813576	2.0	0.524078

8.4.7 Tuberías de concreto armado

Se considera un tubo de acero equivalente con un espesor ficticio (ref B.5)

$$e = e_s + \frac{e_c}{n}$$

donde

- e_c espesor del tubo real de concreto, en m
- e_s espesor de un tubo continuo de acero, con un espesor tal que dé un área equivalente al refuerzo de acero transversal, en m
- n relación del módulo de elasticidad del acero de refuerzo con el del concreto

Los valores de n varían entre los límites 9 y 15. Sin embargo, en estas tuberías se presentan invariablemente agrietamientos que hacen que n aumente hasta valores de 20.



DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE
BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 -
DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|--|--|
| 1. SR. OSCAR AGUILAR CAMACHO
Pachuca No. 56
Valle Ceylan
Tlalpan, México
Tel: 390-1937 | SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULI-
COS
Paseo de la Reforma No. 69
México 1, D. F.
Tel: 591-18-37 |
| 2. ING. FRANCISCO A. AGUILAR VALDES
Fray Servando T. M. Ret.27 No.9
Col. Jardín Balbuena
México 9, D. F.
Tel: 5-71-55-63 | MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE,
S. A.
Río Lerma No. 108
Fraccionamiento Industrial
Tlanepantla, México
Tel: 5-65-16-00 |
| 3. SR. ARTURO AGUIÑAGA ORTUÑO
División del Norte 1364-6
Col. Vertiz Narvarte
México 13, D. F.
Tel: 5-75-78-99 | SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULI-
COS
Paseo de la Reforma No. 69-18o.P.
México 1, D. F.
Tel: 5-35-09-57 |
| 4. SR. DAVID ALMERALLA GARCIA
Ahorro Postal No. 63-106
Col. Postal
México 13, D. F.
Tel: 5-75-41-24 | VENT. INDUSTRIAL, S. A.
Centeno No. 686
Granjas, México |
| 5. ING. GUSTAVO ALLEGRE OCHOA
Murillo No. 15 Casa "B"
Col. Mixcoac
México 19, D. F.
Tel: 5-98-17-65 | MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE,
S.A.
Av. Cuauhtémoc 1338-2o. Piso
Col. Portales
México 13, D. F.
Tel: 5-59-12-33 |
| 6. SR. SALOMON ARELLANO MIRANDA
Av. Faisan No. 178
Lomas Verdes
Edo. de México
Tel: 5-72-54-16 | CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO,
S. A.
Melchor Ocampo No. 171
México, D. F.
Tel: 5-92-06-34 |

8 - 7

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2o. DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
7. SR. EMILIO ARIAS Av. Universidad 1810-A-7 Col. Romero de Terreros México 21, D. F.	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Av. Cuauhtémoc 1338-2o. Piso Col. Portales México 13, D. F. Tel: 5-59-12-33
8. ING. LUIS M. ARREDONDO SANCHEZ Norte 25 No. 133 Col. Moctezuma México 9, D. F. Tel: 5-71-53-95	INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR Insurgentes Sur No. 1079 Col. Nochebuena México 18, D. F. Tel: 5-63-71-00
9. SR. SERGIO O. ARROYAVE GUTIERREZ Av. San Fernando 329-D Tlalpan México 22, D. F. Tel: 5-73-29-34	CIA. DE LAS FABRICAS DE PAPEL DE SAN RAFAEL Y ANEXAS Manuel María Contreras 133-3o. Piso Col. San Rafael México, D. F. Tel: 5-66-44-66 Ext. 281
10. ING. ANGEL AZCONA Quintana Roo 52-3 Col. Roma Sur México 7, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Atenas 30-1er. Piso Col. Juárez México 1, D. F. Tel: 5-91-14-61
11. SR. CARLOS E. BRAVO PEREZ Av. 1o. de Mayo No. 231 San Pedro de los Pinos México 18, D. F. Tel: 5-15-40-19	COMITE DE UNIFICACION DE FRECUENCIA Thiers No. 251-1er. Piso Col. Anzures México 5, D. F. Tel: 5-31-93-25
12. ING. PEDRO CAMACHO OCAÑA Francisco I. Madero No. 9 Cuautitlan Edo. de México Tel: 2-09-50	SOLUM, S. A. Minería No. 145 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 2-77-28-72

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL-DE 1976) (GRUPO "A")

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|---|---|
| 13. SR. FRANCISCO X. CAMPOS SANTIBANEZ
Av. Revolución No. 405
San Pedro de los Pinos
México 18, D. F.
Tel: 5-15-40-51 | COMITE DE UNIFICACION DE FRECUENCIA
Thiers No. 251-1er. Piso
Col. Anzures
México 5, D. F.
Tel: 5-31-93-25 |
| 14. ING. JORGE CARBAJAL BRIBIESCA
Morelia No. 610
Col. Independencia
Toluca, Edo. de México
Tel: 5-29-34 | DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
Amomolulco
Edo. de México
Tel: 2-00-41 |
| 15. ING. ALFONSO CARDEÑA RAMIREZ
Nápoles No. 128
Fraccionamiento Valle Dorado
Tlanepantla
Edo. de México | INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA
NUCLEAR
Av. Insurgentes Sur No. 1079
Col. Nápoles
México 18, D. F.
Tel: 5-63-71-00 |
| 16. ING. ROBERTO CARRILLO MEADE
Cholula No. 49-8
Col. Condesa
México 11, D. F.
Tel: 5-25-29-39 | CONSTRUCCIONES ESTUDIOS Y PROYECTOS, S. A.
Baja California No. 67
Col. Roma Sur
México 7, D. F.
Tel: 5-84-38-97 |
| 17. ING. LEONEL F. CONTRERAS RIVERA
Sector 1-A Manzana 9 Lote 10
U. El Rosario
Azcapotzalco
México 16, D. F. | SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
Paseo de la Reforma No. 77
México 1, D. F.
Tel: 5-35-50-75 |
| 18. SR. ROBERTO CORONADO PEREZ
Av. 499 No. 129
6a. Sección
U. San J. de Aragón
México 14, D. F.
Tel: 5-51-99-34 | CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S. A.
Melchor Ocampo No. 171
México, D. F.
Tel: 5-92-06-34 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE
BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2-
DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|--|--|
| 19. SR. J. REFUGIO CORTES LOPEZ
Hortelanos No. 200-3
Col. 20 de Noviembre
México 2, D. F.
Tel: 5-29-69-73 | DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
San Antonio Abad 231-8o. Piso
Col. Obrera
México, D. F. |
| 20. SR. LUCIANO DE LA ROSA ARELLANO
Plaza de la Perdiz No. 28
Lomas Verdes
Naucalpan, Edo. de México
Tel: 5-72-14-68 | CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO,
S. A.
Melchor Ocampo No. 171
México 17, D. F.
Tel: 5-18-00-80 |
| 21. ING. OCTAVIO DE LA TORRE BIAVA
Heriberto Frias No. 842
Col. del Valle
México 12, D. F.
Tel: 5-43-93-41 | COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE
MEXICO
Balderas No. 55
México, D. F.
Tel: 5-85-50-66-403 |
| 22. ING. ANTONIO DELGADO LOPEZ
Andador 22
del Temoluco 7-3
Acueducto de Guadalupe
México 14, D. F.
Tel: 5-86-95-01 | FICCOIA-STIASRM
Plaza de la Republica No. 30-3er.P.
México 1, D. F.
Tel: 5-46-21-72 |
| 23. ING. SERGIO DIAZ ORTIZ
Boulevard Popocatepetl No. 580
Lomas Valle Dorado
Sección Balcones
Tlalnepantla
Edo. de México | MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A.
Río Lerma No. 108
Tlalnepantla
Edo. de México
Tel: 5-65-16-00 |
| 24. ING. HUMBERTO FIGUEROA LOPEZ
Calle Ochoa No. 145-2
Col. Vertiz Narvarte
México 13, D. F.
Tel: 6-72-04-73 | MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A.
Av. Cuauhtémoc No. 1338-2o. Piso
México 13, D. F.
Tel: 5-59-12-33 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2o. DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
25. ING. HECTOR FLORES CASTREJON Circuito Pintores No. 25 Ciudad Satélite Edo. de México Tel: 5-62-61-87	MANUFACTURERA HECEL, S. A. Poniente 54 No. 3811 Col. Popular México 16, D. F. Tel: 3-99-09-21
26. ING. JOSE R. FLORES GOYCOOCHEA Niños Héroe No. 169- Pte. Hermosillo, Son. Tel: 3-86-95	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Juárez y Yucatán México, D. F.
27. ING. SALOMON GARCIA SALINAS Calle Oriente 229-83 Col. A. Oriental México 9, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 136-9o. Piso México, D. F. Tel: 5-35-16-98
28. SR. PORFIRIO GOMEZ DURAN Zacualpan No. 27 Col. Vallegomez México 2, D. F. Tel: 5-17-05-09	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 51-1er. Piso México 1, D. F. Tel: 5-66-92-60.
29. ING. OSCAR F. GOMEZ Y SERNA Edificio H-22 Entrada 4 Depto. 12 Unidad Lomas de Plateros México 19, D. F. Tel: 5-98-01-94	COMITE DE UNIFICACION DE FRECUENCIA Thiers 251-1er. Piso Col. Anzures México 5, D. F. Tel: 5-31-93-25
30. ING. JUAN C. GONZALEZ MAYA Yacatas No. 403 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-23-46-53	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Abraham González No. 3 Col. Juárez México 4, D. F. Tel: 5-66-26-64
31. SR. CARLOS GONZALEZ MORALES Sur 101-B No. 296-12 Col. Héroe de Churubusco México 13, D. F. Tel: 5-90-19-28	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. Melchor Ocampo No. 171 México, D. F. Tel: 5-30-19-86

8

v

○

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE
BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2
DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
32. SR. ISAIAS GONZALEZ Plutarco Elias Calles No. 1105 Col. Portales México, D. F. Tel: 5-32-54-37	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 51-1er. Piso México 1, D. F. Tel: 5-66-92-60
33. ING. JAVIER GUTIERREZ NEGRETE Av. Presidente Plutarco Elias Calles No. 806 Granjas México México 9, D. F. Tel: 5-52-69-07	INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLE AR Insurgentes Sur No. 1079 Col. Noche Buena México, D. F. Tel: 5-63-71-00
34. ING. FEDERICO HERNANDEZ GONZALEZ México, D. F.	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. Melchor Ocampo No. 171 México, D. F.
35. ING. G. SALVADOR HENRIQUEZ AYBAR Cerro de la Silla 27-2 Col. Campestre Churubusco México 21, D. F.	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA Av. San Pablo Azcapotzalco México, D. F. Tel: 5-61-94-00
36. ING. JOSE IBARRA PALLARES Sur 77 No. 4218 Dep. 2 Col. Viaducto Piedad México 13, D. F. Tel: 5-19-58-97	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO Melchor Ocampo No. 171 Col. Anáhuac México 17, D. F. Tel: 5-30-19-56
37. ING. ALBERTO JIMENEZ DE LA CUESTA Gob. J. Guadalupe Covarrubias No. 12 San Miguel Chapultepec México 18, D. F.	CIEPS, s.c. Cordova No. 127 Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-74-74-41
38. ING. DEMETRIO KESSEL ARAGON Av. Revolución No. 405 San Pedro de los Pinos México 18, D. F. Tel: 5-15-40-51	COMITE DE UNIFICACION DE FRECUENCIA Thiers No. 251-1er. Piso Col. Anzures México 5, D. F. Tel: 5-31-93-25

○

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2o. DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
39. FRANCISCO G. LOMELI DE LOS REYES Marcelino Davalos 80-2 Col. Algarin México 8, D. F. Tel: 5-19-10-44	DESPACHO ING. FRANCISCO GARZA MALDONADO Cuauhtémoc No. 1458 México, D. F.
40. ING. SAMUEL MACKELLIGAN 1a. Privada de Camelia No. 9 Col. Florida México 20, D. F. Tel: 5-24-29-21	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Av. Cuauhtémoc 1338-2o. Piso Col. Portales México 13, D. F. Tel: 5-59-14-23
41. ING. SERGIO MARTINEZ ENCISO Valle del Mexquital No. 26-A Valle de Aragón Edo. de México	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Av. Cuauhtémoc No. 1338 Col. Portales México, D. F. Tel: 5-59-12-33
42. VICENTE MARQUEZ CAMPOS Tolvaneras 2-1 Inf. Istacalco México 8, D. F.	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Av. Cuauhtémoc No. 1338 Col. Santa Cruz México 13, D. F. Tel: 5-59-12-33
43. ING. JOAQUIN MARTINEZ MALPICA Colina No. 74 Lomas de Bellavista Atizapan, Edo. de México Tel: 5-72-53-50	DRESSER INTERNATIONAL, S. A. Paseo de la Reforma No. 95-1101 México 1, D. F. Tel: 5-35-36-08
44. JAVIER RAMIREZ GONZALEZ Tipografia No. 94 Col. 20 de Noviembre México 2, D. F. Tel: 5-26-59-44	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Abraham González No. 3-4o. Piso México 6, D. F. Tel: 5-66-18-59
45. ROBERTO RODRIGUEZ HERRERA Mixcalco No. 21 México 1, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Abraham González No. 3 Col. Juárez México 6, D. F. Tel: 5-35-09-57

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE
BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2
DE ABRIL DE 1976 (GRUPO "A")

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

46. ING. JESUS SANTOS GARNICA
Victoria No. 110-202
México 1, D. F.
Tel: 5-35-04-57

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULI-
COS
Col. Juárez
México 6, D. F.
Tel: 5-66-18-59

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 16. DE MARZO AL 2 DE ABRIL- DE 1976 GRUPO "B")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ING. JOAQUIN CARDOSO FRIAS Oscar Wilde 29-203 Col. Polanco México 5, D. F. Tel: 5-45-76-52	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Av. San Bernabe 549 San Jerónimo Lidice México 20, D. F. Tel: 5-95-23-22
2. SR. FLORENCIO S. GONZALEZ FLORES Magnolias No. 36-2 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-75-68-85	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S. A. Cuauhtémoc No. 1338-2o. Piso México 13, D. F. Tel: 5-59-12-33
3. ING. RAUL GUERRERO BRAVO Marquez de Aguayo No. 7 Cto. Fundadores Cd. Satélite Edo. de México Tel: 5-62-66-93	PETROLEOS MEXICANOS Av. Marina Nacional No. 329 México 10, D. F. Tel: 5-31-72-22
4. ING. GABRIEL HERNANDEZ BRAVO Prosperidad No. 79-Depto.10 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-33-98	COMISION CONSTRUCTORA E INGENIE- Durango No. 81-2o. Piso Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-14-18-56
5. ING. HUGO HERRERA LOPEZ Rodríguez Saro No. 604 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-24-62-23	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICO. Abraham González No. 3 México 6, D. F. Tel: 5-35-85-23
6. ING. JOEL MENDOZA PEREZ Av. Montes No. 41 Col. Portales México 13, D. F. Tel: 5-32-84-40	BANCO NACIONAL DE OBRAS Y SERVI- CIOS PUBLICOS, S. A. Insurgentes Norte 423 Col. Guerrero México 3, D. F. Tel: 5-83-15-68
7. JUAN MONTERO México, D. F.	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S. A. Cuauhtémoc No.1338-2o.Piso México, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL-DE 1976 GRUPO "B")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
8. ING. MANUEL RAUL MONTES CRUZ Calle J. No. 373-9 Col. Liberación México 15, D. F. Tel: 5-56-76-20	VENTILACION INDUSTRIAL, S. A. Centeno 686 Col. Granjas México México 8, D. F. Tel: 5-57-04-11
9. SALVADOR F. MONTIEL GARCIA Torno 145-A-102 Col. Sevilla México 8, D. F. Tel: 5-27-77-17	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULI- COS Av. San Bernabe 549 San Jerónimo Lidice México 20, D. F. Tel: 5-95-24-55
10. SR. ROBERTO MUÑOZ VAZQUEZ Gral. Raúl Herrera No. 22 San Miguel Iztapalapa México 13, D. F. Tel: 5-82-54-39	INGENIERIA Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE, S. A. Av. Torres Quintero No. 36 San Miguel Iztapalapa México 13, D. F. Tel: 5-82-53-33
11. ING. ALBERTO NAVARRETE ALARCON México, D. F.	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S. A. Melchor Ocampo No. 171 México, D. F.
12. ING. RAFAEL NEGRETE GUTIERREZ R. Palmerín No. 122 Col. Guadalupe Inn. México 20, D. F. Tel: 5-48-29-40	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA Av. San Pablo Azcapotzalco México 16, D. F. Tel: 5-61-37-33
13. ING. CESAR NUÑEZ GARDUÑO México, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULI- COS Paseo de la Reforma No. 77 México 1, D. F. Tel: 5-35-50-75
14. CARMELO OCOTOXTLE MEDINA 3 Marte 1604-6 Puebla, Pue. Tel: 46-60-01	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULI- COS GERENCIA PUEBLA 3 Sur 3704-2o. Piso Puebla, Pue. Tel: 43-28-20

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL- DE 1976 GRUPO "B")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
15. ING. ENRIQUE OLVERA RODRIGUEZ Retorno 45 de Cecilio Robelo No. 35-K Col. Jardín Baibuena México, D. F. Tel: 5-71-19-02	BANCO NACIONAL DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS, S. A. Insurgentes Norte No. 423 Nonoalco Tlatelolco México 6, D. F. Tel: 5-82-00-22
16. JORGE H. ORTIZ GROVAS Av. Popocatepetl No. 443 Edf. "D" No. 4 Col. General Anaya México, D. F. Tel: 5-24-72-66	CARTON Y PAPEL DE MEXICO, S. A. Km. 16 1/2 Puente de Vigas Tlanepantla Edo. de México Tel: 5-65-65-22
17. ARQ. ENRIQUE PACHECO CANO Retorno Cerro Tuera No. 19 Oxtupulco Universidad México 20, D. F. Tel: 5-48-43-12	MAQUINARIA BOMBAS Y EQUIPOS, S.A. Av. Morelos No. 24-C México 1, D. F. Tel: 5- 2-05-22
18. ING. ANTONIO PANIAGUA SALAZAR Valle de Luces No. 31 Valle de Aragón México, D. F.	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Av. Cuauhtémoc No. 1338 Col. Portales México 13, D. F. Tel: 5-59-12-33
19. ING. SILVINO PICON LUGO Guanajuato No. 49 Tizapán México 20, D. F. Tel: 5-50-07-75	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 69-19 México 6, D. F. Tel: 5-35-89-63
20. ALFONSO QUEVEDO SANCHEZ Valle de San Francisco No. 88 Valle de Aragón México, D. F.	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO México 20, D. F. Tel: 5-50-52-15

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL-DE 1976 GRUPO "B")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
21. ING. RAFAEL QUINTERO RODRIGUEZ Sur 67 No. 3112 Viaducto Piedad México 13, D. F. Tel: 5-38-40-29	RIEGOS MODERNOS, S. A. Boulevard Toluca No. 33 Naucalpan de Juárez Edo. de México Tel: 5-76-19-56
22. MANUEL QUIROZ CARRILLO Callejón de la Luna No. 10 No. 1 México 3, D. F.	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Rto Lerma No. 108 Fraccionamiento Industrial Tlalnepantla, Edo. de México Tel: 5-65-16-00
23. ING. ROBERTO RAMIREZ CASTILLO Unión 11-8 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-93-75	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Ródano No. 14 México 5, D. F. Tel: 5-53-71-33 Ext.2642
24. EUSEBIO REYES TREJO Calle 47 No. 35 Dep. 5 Ignacio Zaragoza México 9, D. F. Tel: 5-14-84-40	
25. RAFAEL RAMIREZ NORGADO Calle 8-A No. 19 Depto. 8 Col. Vertiz Narvarte México 13, D. F. Tel: 551-06-51	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Cuauhtémoc No. 1338-2o. Piso Santa Cruz A. México 13, D. F. Tel: 5-59-12-33
26. ING. ANGEL RIOJA M. Torres de Mixcoac A-6-803 Col. Mixcoac México 19, D. F. Tel: 5-93-34-88	SERVICIOS HIDRAULICOS Y MANTENI- MIENTOS, S. A. Geranio No. 329 Sta. Ma. Insurgentes México 4, D. F. Tel: 5-97-45-62
27. ING. FRANCISCO RIVERA VELAZQUEZ Palenque 87-303 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-38-02-56	MANUFACTURERA FAIRBANKS MORSE, S.A. Cuauhtémoc 1338-2o. Piso Col. Portales México 13, D. F. Tel: 5-59-14-64

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL DE 1976 GRUPO "B")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
28. ING. JOSE LUIS ROSALES G. México, D. F.	RUBIO, S. A. México, D. F.
29. BENIGNO RODRIGUEZ MARTINEZ Calle "B" No. 24 Manz. 10 Col. Educación México 21, D. F.	BANCO DE LONDRES Y MEXICO, S. A. Bolivar No. 27-1er. Piso México 1, D. F. Tel: 5-18-19-20 Ext. 227
30. ING. MANUEL ROSAS PEREZ La Quemada 249 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-90-23-59	BANCO NACIONAL DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS, S. A. Insurgentes Norte No. 423 Nonoalco México 12, D. F. Tel: 5-83-15-68
31. ING. JAIME RUIZ ELIZONDO Anaxagoras No. 1325 Col. Vertiz Narvarte México 13, D. F. Tel: 5-75-07-54	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO S.R.H. Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
32. JAIME SANCHEZ SALAMANCA Lago Espejo No. 19-6 Ampliación Granada México 17, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 51-1er.P. México 1, D. F. Tel: 5-66-92-60
33. BURJHARD SPARR FABER Tlacoquemecatl No. 324-8 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-59-12-06	GALIMEX INDUSTRIAL, S. A. Tanana No. 26-201 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-36-25-40
34. RIGOBERTO SUAREZ MONJARAS Felipe Villanueva No. 138-6 Ex-Hipodromo de Peralvillo México 2, D. F. Tel: 5-61-78-93	DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL Av. 22 de Febrero y Castillo Azcapotzalco México 18, D. F. Tel: 5-61-94-06

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL- DE 1976 GRUPO "B")

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
35. ING. ANGEL I. TINOCO R. Av. de la Escollera 16-A-102 Unidad Acueducto de Guadalupe México 14, D. F.	ATLANTIDA MEXICO, S. A. Fernando Alva Ixtlixochitl 44-16 Col. Obrera México 8, D. F. Tel: 5-78-48-44
36. ROSENDO TOBON BERNAL Aroya 708 Col. Lindavista México 14, D. F. Tel: 5-86-10-30	COMITE DE UNIFICACION DE FRECUENCIA Thiers 251 Col. Anzures México 5, D. F. Tel: 5-31-93-25
37. ING. RUBEN TORRES FARIAS Edif. 4-C-105 U. Juan de Dios Batiz Col. Lindavista México 14, D. F. Tel: 5-86-04-32	COMITE DE UNIFICACION DE FRECUENCIA Thiers No. 251 Col. Anzures México 5, D. F. Tel: 5-31-66-62
38. ING. FAUSTO VAZQUEZ RODRIGUEZ Itzopan No. 77 Cd. Azteca Ecatepec Edo. de México	CARTON Y PAPEL DE MEXICO, S. A. Carr. Atzacapotzalco Tlalnepantla Km. 16.5 Tel: 5-65-65-22
39. ING. PEDRO VEGA MUÑOZ Prof. Rubí No. 32-A Col. Estrella México, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO S.R.H. Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
40. ING. SALVADOR VELASCO DIAZ Calle 20 No. 32-8 San Pedro de los Pinos México 18, D. F. Tel: 5-77-29-86	BANCO DE LONDRES Y MEXICO, S. A. Bolivar No. 27-1er. Piso México 1, D. F. Tel: 5-18-19-20 Ext. 227
41. ING. ARMANDO VERA VELAZQUEZ México, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 77 México 1, D. F. Tel: 5-35-50-75

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO (DEL 1o. DE MARZO AL 2 DE ABRIL- DE 1976 GRUPO "B")

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

42. LIC. ROBERTO VILLANUEVA V.
Edif. 16-B-203
U. Juan de Dios Batiz
Zacatenco
México 14, D. F.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
San Juan de Aragón No. 285
Granjas Modernas
México 14, D. F.
Tel: 5-77-39-05

43. ING. J. CESAR YLLAN ACOSTA
Interior Ingenio

INGENIO DE OACALCO, S. A.
Apdo. Postal No. 10
Oacalco, Mor.

44. ING. JESUS ZUÑIGA RUIZ
Adolfo Prieto
Col. del Valle
México 12, D. F.

COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE
MEXICO - S.R.H.
Balderas No. 55
México 1, D. F.
Tel: 5-85-50-66 - 401



DIRECTORIO DE PROFESORES

SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS DE AGUA Y SISTEMAS DE BOMBEO

Del 1° de marzo al 2 de abril

Ing. JORGE ARREDONDO GARCIA
Jefe de la Ofna. Electromecánica
Dirección Gral. de Obras Hidráulicas
Departamento del Distrito Federal
Calzada México-Tacuba # 589-2° Piso
México, D. F.
Telf.: 399-09-06

ING. FRANCISCO DEL CASTILLO TOLEDO
Proyectista en trabajos de
Ingeniería Eléctrica y Mecánica
Dirección de Proyectos de Obras
Hidráulicas para el Desarrollo Rural
Secretaría de Recursos Hidráulicos
Plaza de la República # 31- 6° P.
México, D. F.
Tel: 546-52-75

ING. ENRIQUE HERAS HERRERA
PROFESOR,
Facultad de Ingeniería
Universidad Abierta
U. N. A. M.
Palacio de Minería
Tacuba # 5
México 1, D. F.
Tel: 512-80-94

ING. RAUL LOPEZ CALVILLO
Coordinador General de
Seguridad Industrial en las
Obras de Construcción del
Sistema de Drenaje Profundo
de la Ciudad de México
I. C. A.
V. Miguel Alemán # 184
México 18, D. F.
Tel: 516-04-60 ext. 318

ING. JUAN MARTINEZ GARCIA
Gerente de Ventas División Gobierno
Worthington
Tel: 567-51-00

ING. JAIME REVILLA FAJARDO
Fairbanks Morse
Ave. Cuauhtémoc # 1338
México 13, D. F.
Tel: 559-12-33

ING. JUAN JACOBO SCHMITTER
Ingeniero Consultor
Solum, S. A.
Minería 145, edif."C" P. B.
México, D. F.
516-04-60 ext. 366 y 365

ING. GILBERTO SOTELO AVILA
Jefe del Departamento de
Ingeniería Civil, Topográfica y Geodesia
Facultad de Ingeniería
Ciudad Universitaria
México 20, D. F.
548_96-69

ING. OCTAVIO VELASCO SANCHEZ
Jefe del Departamento de Derivaciones
de la Dirección de Proyectos de obras
hidráulicas para el desarrollo rural
Secretaría de Recursos Hidráulicos
Plaza de la República 31-6°
México, D. F.
546-52-75

ING. MANUEL VIEJO ZUBICARAY
Gerente General
Consortio Manufacturero, S. A.
Czda. San Mateo # 17
Antes Atizapán de Zaragoza
Edo. de México
Tel. 397.30.55 y 397.31.44

DR. CARLOS FARIAS DE LA GARZA
GERENTE
PICSA BOMBAS Y SISTEMAS
BLVD. Manuel Avila Camacho # 495
Apdo. Postal # 195
Naucalpan de Juárez, Edo. de México
Tel.: 576-14-67