

2 of 77



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

SELECCION HIDRAULICA DE LAS BOMBAS PARA EL ACUEDUCTO EL TEJAR-BOCA DEL RIO

T E S I S

Que para obtener el Título de INGENIERO CIVIL

Presenta

Miguel Rogelio Hernández Bazaldúa



Director de Tesis:

M. I. Lázaro Aguilar Moreno

México, D. F.

1989

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	<i>Pdg.</i>
<i>I .- INTRODUCCION</i>	<i>1</i>
<i>II .- FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO</i>	<i>4</i>
<i>III .- DETERMINACION DEL PUNTO DE OPERACION REAL DE UNA BOMBA</i>	<i>12</i>
<i>IV .- APLICACION AL ACUEDUCTO EL TEJAR-BOCA DEL RIO</i>	<i>20</i>
<i>V .- CONCLUSIONES</i>	<i>35</i>
<i>VI .- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</i>	<i>37</i>

1.- INTRODUCCION

El desarrollo de proyectos para suministro de agua a ciudades, industrias y al campo tienen cada vez mayor importancia si se considera, por un lado, la creciente demanda del vital líquido y la ubicación de las posibles fuentes de captación en relación con los sitios donde se requiere el agua y, por el otro, la energía empleada en los sistemas de suministro de agua -- así como el costo de dicha energía.

En el caso de un proyecto de suministro de agua en el que se requiera de un sistema de bombeo, es claro que el mejor diseño de la planta de bombeo, asociado a una operación económica del sistema, se logrará en la medida en que los costos de las partes electromecánicas (motor eléctrico, bomba, -- válvulas y dispositivos de protección para el control del golpe de ariete) y los costos relacionados con los trabajos de ingeniería civil (caminos de acceso, instalación de la tubería y demás estructuras requeridas para el sistema de bombeo) puedan ser optimizados. Debe observarse que ambos -- aspectos, electromecánico y civil, dependen fuertemente uno del otro; ade-

mas, los costos de la obra electromecánica y civil están muy relacionados con las condiciones locales del sitio donde se desarrolle el proyecto para suministro de agua.

Para determinadas condiciones de operación requeridas de una bomba pueden tenerse varios tipos de bomba que cumplan los requisitos de operación; sin embargo, el tipo seleccionado de bomba tiene una influencia significativa en la eficiencia, en el costo del conjunto motor-bomba, y en general en la planta de bombeo, incluyendo los trabajos de ingeniería civil. Asimismo, los aspectos relacionados con la facilidad del mantenimiento y costos de las refacciones de la bomba tienen una influencia muy importante en la elección del tipo de bomba. De esta manera, cuando se proyecta una planta de bombeo para suministro de agua, el diseño óptimo sólo puede obtenerse mediante una cooperación directa entre el fabricante de la bomba, el fabricante del motor eléctrico y el ingeniero civil responsable de la planta. Desde luego, las condiciones de flujo transitorio (golpe de ariete) - deben tomarse en cuenta también, ya que tienen relación directa con las dimensiones de la tubería.

Así, la finalidad del presente trabajo es señalar varios aspectos de interés relacionados con la selección hidráulica de las bombas para el acueducto El Tejar-Boca del Río. Para ello, en el capítulo dos se expone la descripción de las principales curvas características de una bomba y asimismo se explica la operación hidráulica de bombas en serie y en paralelo. Luego, en el capítulo tres se indica la forma de determinar el punto de operación real de una bomba en relación con el sistema de conducción en el cual se instalará la bomba, y se comentan algunos problemas relativos a las bombas operando en paralelo. Posteriormente, en el capítulo cuatro se realiza una aplicación del acueducto El Tejar-Boca del Río en relación

con la selección de las bombas y se analiza la operación a gasto parcial de este sistema de bombeo.

Finalmente, en el capítulo cinco se indican los aspectos de mayor interés relacionados con el desarrollo del presente trabajo.

2.- FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO

Una bomba es una máquina hidráulica que sirve para intercambiar energía entre un medio líquido en movimiento y un sistema mecánico.

En este capítulo se tratará la descripción de las principales curvas características de una bomba, y asimismo, la operación hidráulica de bombas en serie y en paralelo.

2.1 Curva característica de una bomba

Hay cuatro tipos de curvas características utilizadas para la selección y aplicación de una bomba en un sistema de bombas, que a continuación se detallan. Es importante señalar que las curvas características reales de una bomba que en seguida se describirán, se obtiene con base en pruebas de laboratorio.

2.1.1 Curva carga-gasto ($H-Q$)

Relaciona la carga dinámica total (H) proporcionada por la bomba en función del gasto (Q) que atraviesa el impulsor. Esta curva es importante para la predicción de la operación de la bomba cuando son introducidos cambios en el sistema de conducción.

2.1.2 Curva potencia al freno-gasto (P_f-Q)

La P_f representa la potencia mecánica requerida para proporcionar la energía necesaria para conducir un fluido de un punto a otro y además, la energía requerida para vencer las pérdidas tanto por fricción como locales del sistema de conducción. La P_f puede calcularse para cada punto de operación de la curva ($H-Q$) mediante la relación.

$$P_f = \frac{\gamma Q H}{\eta}$$

donde η es la eficiencia de la bomba y γ el peso específico del fluido.

2.1.3 Curva eficiencia-gasto ($\eta - Q$)

La eficiencia para cada punto sobre la curva ($H-Q$) representa la relación de la energía impartida por la bomba al fluido a la energía suministrada a la bomba en la flecha motriz. La eficiencia es también un indicador de la energía perdida en la bomba, ya que mientras más alta es la eficiencia menores son las pérdidas.

2.1.4 Curva carga neta positiva en la succión-gasto (CHPSR-Q)

Esta curva relacionada la carga neta positiva en la succión requerida para

una bomba, para evitar el problema de cavitación en función del gasto suministrado por la bomba.

Es importante mencionar que las curvas antes descritas varían dependiendo del tipo de bomba que se trate. A continuación se muestran los tipos de curvas para bombas de flujo radial (centrífugas), (fig. 2.1), del flujo mixto (fig. 2.2) y de flujo axial (fig. 2.3).

El conocimiento de la forma de las curvas características asociada a los distintos tipos de bombas es útil, por ejemplo, para la secuencia de arranque de la bomba.

Así, se observa que la curva (P_f-Q) de una bomba de flujo axial tiene un valor máximo de P_f cuando el gasto es nulo, entonces para no sobrecargar el motor eléctrico de la bomba debe este tipo de bomba arrancarse con la válvula de la descarga completamente abierta. En cambio, la bomba de flujo radial tiene un valor mínimo de P_f cuando el gasto es nulo y por consiguiente se arranca con la válvula completamente cerrada.

2.2. Operación de bombas en serie

El funcionamiento de bombas en serie tiene como único fin la elevación de la carga dinámica total; también se puede utilizar el funcionamiento de bombas en serie, para servicios de bombeo bajo elevada carga cuando el comportamiento de la bomba principal puede ser mejorado, en la medida que se requiera, utilizando una bomba elevadora más pequeña en circuito en serie.

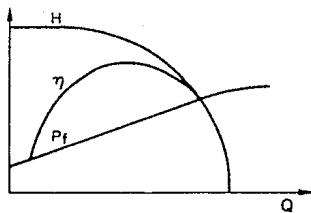


Fig 2.1 Curvas típicas H-Q, η -Q y P_f -Q para bombas de flujo radial

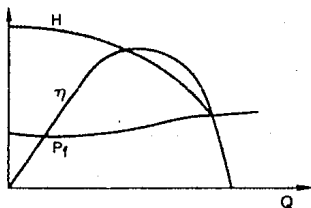


Fig 2.2 Curvas típicas H-Q, η -Q y P_f -Q para bombas de flujo mixto

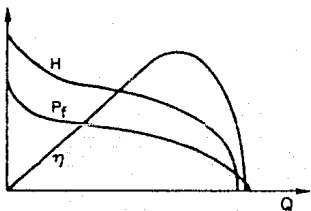


Fig 2.3 Curvas típicas H-Q, η -Q y P_f -Q para bombas de flujo axial

2.2.1 Obtención de la curva equivalente para bombas del mismo tipo funcionando en serie

La curva equivalente de bombas del mismo tipo operando en serie, queda determinado en este caso sumando las correspondientes cargas dinámicas totales para el mismo gasto. Así en el caso de dos bombas del mismo tipo se puede trazar la curva equivalente sin más que duplicar la ordenada de carga dinámica total para cada valor de gasto considerado como se muestra en la figura 2.4

2.2.2 Obtención de la curva equivalente para bombas diferentes funcionando en serie

Cuando las características $H-Q$ son diferentes la curva equivalente se obtiene sumando las respectivas cargas dinámicas para cada valor del gasto (fig. 2.5). De ello se sigue que el gasto debe ser el mismo, pero las cargas dinámicas totales de trabajo de cada una de las bombas son diferentes. Es decir, la determinación de las cargas dinámicas totales generadas por cada bomba puede efectuarse por simple análisis gráfico es decir, a partir de los puntos de funcionamiento de las bombas individuales.

2.3 Operación de bombas en paralelo

La aplicación más común de bombas en paralelo es para aportar un método eficaz de regulación del gasto total cuando se han de emplear bombas centrífugas y la demanda es variable. Así, cuando la demanda es pequeña funciona una sola bomba y las otra, en número conveniente, se van poniendo -

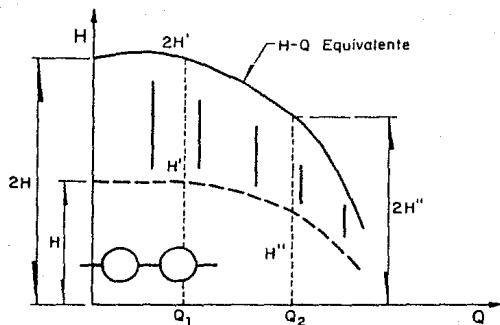


Fig 2.4 Obtención de la curva equivalente para bombas del mismo tipo funcionando en serie

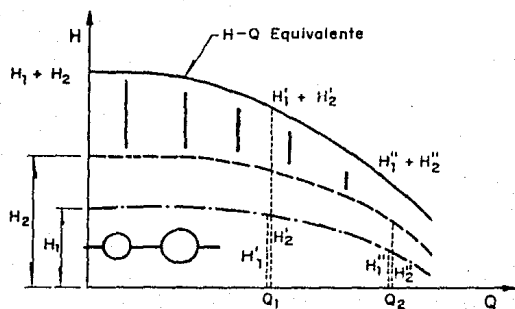


Fig 2.5 Obtención de la curva equivalente para bombas diferentes funcionando en serie

en marcha a medida que aumenta la demanda. Este procedimiento es considerablemente más eficiente y da lugar a un mayor rendimiento en caso de funcionamiento de las bombas a velocidad constante que la regulación de la descarga de una bomba (o bombas funcionando en paralelo) por estrangulación en la descarga.

2.3.1 Obtención de la curva equivalente para bombas del mismo tipo funcionando en paralelo

Cuando dos o más bombas han de funcionar en paralelo se puede encontrar la curva equivalente sumando los gastos suministrados para cada una de dichas bombas a la misma carga dinámica total. Así, en el caso de dos bombas del mismo tipo, la curva equivalente se obtiene duplicando el gasto para cada carga dinámica total (fig. 2.6)

2.3.2 Obtención de la curva equivalente para bombas diferentes funcionando en paralelo

Cuando las bombas son de diferente tipo la curva equivalente se obtiene sumando los respectivos gastos individuales para las mismas cargas dinámicas totales (fig. 2.7)

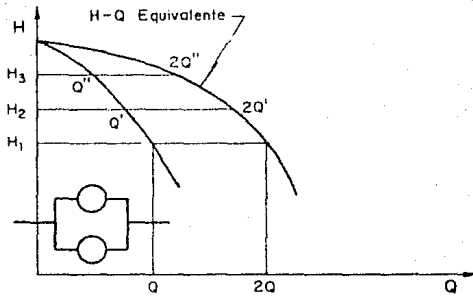


Fig 2.6 Obtención de la curva equivalente para bombas del mismo tipo funcionando en paralelo

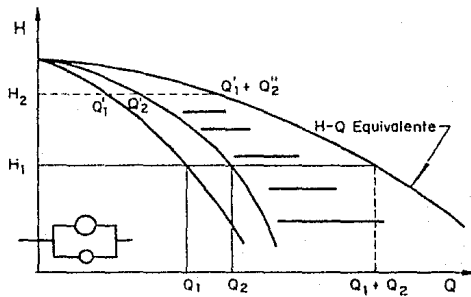


Fig 2.7 Obtención de la curva equivalente para bombas de diferente tipo funcionando en paralelo

3.- DETERMINACION DEL PUNTO DE OPERACION REAL DE UNA BOMBA

En este capítulo se expone la forma de determinar el punto de operación real de una bomba en relación con el sistema de conducción en el cual se instalará la bomba. Asimismo, se comentan algunos problemas relativos a las bombas operando en paralelo.

3.1 Curva de fricción del sistema de conducción

Se sabe que cuando en un sistema de bombeo se conduce cierto gasto, se tiene una determinada resistencia al flujo, que produce pérdidas de energía tanto por fricción como locales. Además, en general en un sistema de bombeo se tendrá un desnivel estático entre el cárcamo de succión y el tanque de entrega del agua bombeada (figura 3.1). Por tanto, la presión necesaria requerida al inicio de la tubería de descarga para conducir un gasto determinado, se obtiene mediante la expresión.

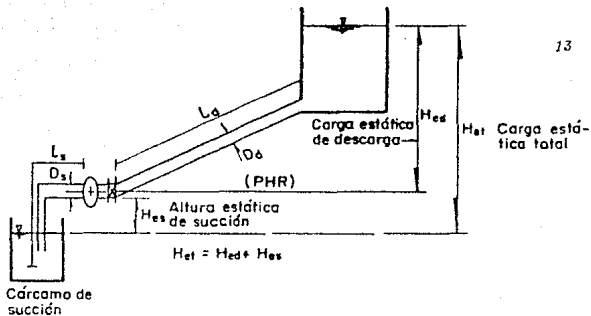


Fig 3.1 Esquema simplificado de un sistema de bombeo y nomenclatura usual

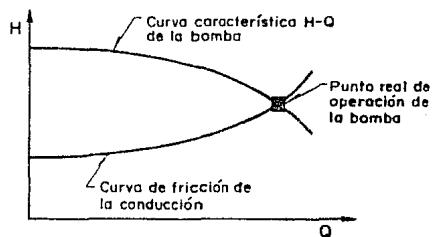


Fig 3.2 Determinación del punto real de operación de la bomba

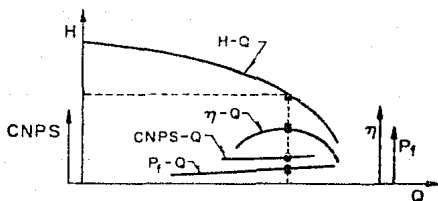


Fig 3.3 Obtención de los valores de η , CNPS y P_f correspondientes al punto real de operación de la bomba

$$H = H_{et} + KQ^2 \quad (3.1)$$

donde

H - presión requerida al inicio de la tubería (m)

H_{et} - carga estática total (m)

Q - gasto (m^3/s)

k - coeficiente global de pérdidas (s^2/m^5)

El coeficiente global de pérdidas puede calcularse de la siguiente forma

$$k = \frac{\sum k_{l_s}}{2g A_s^5} + \frac{f_s l_s}{2g D_s A_s^5} + \frac{\sum k_{l_d}}{2g A_d^5} + \frac{f_d l_d}{2g D_d A_d^5} \quad (3.2)$$

siendo

$\sum k_{l_s}$ - suma de los coeficientes de pérdida local en la succión (-)

A_s - área de la tubería de succión (m^2)

D_s - diámetro de la tubería de succión (m)

f_s - factor de fricción de Darcy-Weisbach asociado a la tubería de succión (-)

l_s - longitud de la tubería de succión (m)

$\sum k_{l_d}$ - suma de los coeficientes de pérdida local en la descarga (-)

A_d - área de la tubería de descarga (m^2)

D_d - diámetro de la tubería de descarga (m)

f_d - factor de fricción de Darcy-Weisbach asociado a la tubería de descarga (-)

l_d - longitud de la tubería de descarga (m)

g - aceleración debida a la gravedad (m/s^2)

La ecuación (3.1) se denomina curva de fricción del sistema de conducción y es importante señalar que en general el coeficiente global de pérdidas se calcula asociado a la válvula en la descarga de la bomba completamente abierta.

3.2. Punto real de operación de la bomba

Cuando la bomba es empleada para un sistema de bombeo particular su punto real de operación estará en función de las características de resistencia al flujo en el sistema hidráulico. En la figura 3.2 se muestra la curva característica $H-Q$ de una bomba y también la curva de fricción de la conducción en la que se instalará la bomba. Entonces, el punto de operación real de la bomba corresponde al punto de intersección de ambas curvas; -- asimismo, debe hacerse énfasis en que ambas curvas que aparecen en la figura 3.2. deben superponerse siempre a la misma escala.

Por otra parte, asociado a este punto de operación real se tendrán los correspondientes valores de la potencia al freno (P_f), eficiencia (η) y carga neta positiva en la succión requerida por la bomba (CNPS/R) según -- puede verse en la figura 3.3.

3.3. Desplazamiento del punto de operación de las bombas según el número de ellas en operación

La carga dinámica de la bomba H puede descomponerse en el trabajo específico H_f que se emplea en vencer las pérdidas por fricción que implica la conducción y en el trabajo específico H_{et} que se emplea en elevar el --

fluido desde el cárcamo de succión hacia el tanque de entrega (figura 3.4). La relación entre H_f , H_{gt} y H depende de las características de cada sistema de conducción.

Con base en la figura 3.5 puede verse que los puntos de operación real de un sistema que se diseña para operar en el punto de máxima eficiencia de las bombas para el gasto máximo, al operar con gastos parciales (en el ejemplo con 2 y 1 bombas), los puntos reales de trabajo se apartan considerablemente de los puntos de máxima eficiencia. Si ahora se examina este desplazamiento en las curvas CNPS y η correspondientes a una bomba (figura 3.6), se observa que la CNPS requerida aumenta y η disminuye. Esto puede implicar que el sistema de bombeo está imposibilitado de trabajar con una sola bomba, por carecerse de la CNPS requerida para la operación en esas condiciones ya que lo habitual es que en el diseño no se tenga en cuenta y se proyecte la CNPS para la operación a gasto máximo.

Si una situación de este tipo se presentase, debe tratarse de corregirse desde el diseño, pues el arranque debe realizarse bomba por bomba y esto implicaría condiciones perjudiciales de operación de las primeras bombas que se arranquen. Asimismo, implicaría la imposibilidad de trabajar a gasto parcial. La solución de este problema puede realizarse de varias formas. En cada caso debe elegirse la más conveniente. Ellas son:

- Seleccionando bombas con curvas CNPS y η más planas. Esto es, curvas CNPS y η que para el mismo ΔH den lugar a una variación más pequeña de la CNPS requerida y de la eficiencia.
- Disminuyendo la relación H_f/H . Esto implica aumentar el diámetro de la conducción calculado como diámetro óptimo. Al reducir H_f/H se reduce

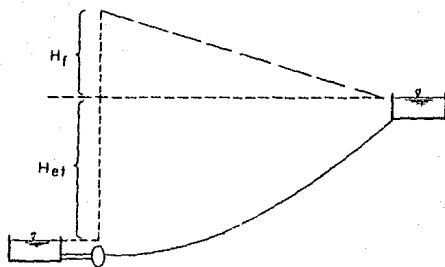


Fig 3.4 Trabajo específico de fricción y trabajo específico de elevación

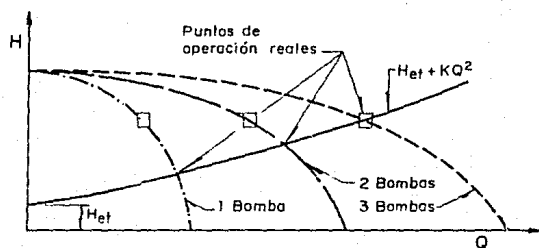


Fig 3.5 Puntos de operación real de una bomba

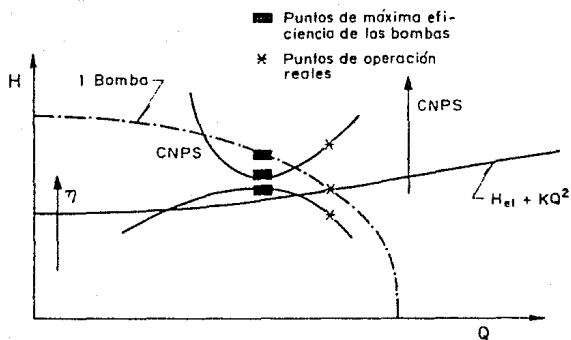


Fig 3.6 Desplazamiento del punto de operación de máxima eficiencia para gastos parciales

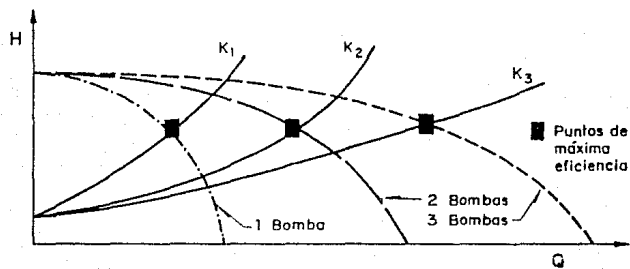


Fig 3.7 Puntos de operación con K variable

K y por tanto se tendrá menor desplazamiento de los puntos de operación al trabajar con un gasto parcial.

- Incorporando al sistema de conducción una pérdida de carga adicional - que se agregue en forma controlada al operar con gasto parcial. Ello significa poder controlar a voluntad el valor de K. En la figura 3.7 se muestra cómo al variar K se puede lograr siempre la operación en los puntos de máxima eficiencia de las bombas. Sin embargo, para lograr esto debe incorporarse disipación al sistema de conducción. Esto puede obtenerse mediante orificios disipadores o por válvulas de regulación de gasto adecuadamente seleccionadas. En consecuencia, la eficiencia global del sistema descenderá aunque las bombas trabajen en el punto de máxima eficiencia.

El orden en que deben considerarse estas correcciones es el expuesto. Lo más sencillo es elegir bombas que cumplan las condiciones que impone la conducción. Si ello no fue posible, debe examinarse la posibilidad de revisar la elección del diámetro óptimo con el fin de facilitar las condiciones de operación a gasto parcial. Si de esta revisión se concluyera que no es posible por razones económicas aumentar el diámetro óptimo, se procedería entonces a castigar la eficiencia global del sistema incorporando dispositivos que introduzcan pérdida de energía.

4.- APLICACION AL ACUEDUCTO EL TEJAR-BOCA DEL RIO

En el presente capítulo se exponen los análisis realizados en el acueducto El Tejar-Boca del Río en relación con la selección de las bombas; asimismo, se plantea la manera de efectuar la operación de las bombas para el caso de trabajar con gastos parciales.

4.1 Descripción del acueducto

El acueducto El Tejar-Boca del Río tiene como finalidad abastecer de agua a las ciudades de Boca del Río y Veracruz, en el estado de Veracruz. La fuente de abastecimiento es el río Jamapa desde el cual, con base en la presa derivadora El Tejar, el agua es conducida hasta la planta potabilizadora El Tejar. Una vez que el agua es tratada, pasa al efecto de succión de donde se bombea hasta dos tanques reguladores denominados tanque Morro y tanque Pocitos (figura 4.1).

$l_1 = 4772.45 \text{ m}$	$l_2 = 8058.25 \text{ m}$	$l_3 = 4641.00 \text{ m}$	$l_4 = 729.00 \text{ m}$
$D_1 = 1.067 \text{ m}$	$D_2 = 0.90 \text{ m}$	$D_3 = 0.61 \text{ m}$	$D_4 = 0.51 \text{ m}$
$f_1 = 0.013$	$f_2 = 0.014$	$f_3 = 0.015$	$f_4 = 0.015$

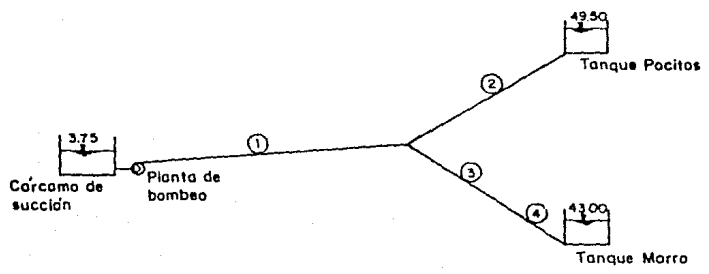


Fig. 4.1 Esquema del sistema de conducción del acueducto El Tejar - Boca del Río

La longitud del acueducto desde la planta de bombeo hasta el tanque Morro es de 10 150 m. y desde la planta de bombeo hasta el tanque Pocitos es de 12 850 m. El gasto de diseño es de $1.56 \text{ m}^3/\text{s}$ y se tiene una carga total - de bombeo de 73 m. proporcionada por solamente una planta de bombeo; el diámetro de la conducción es variable según se indica en el esquema de la figura 4.1.

4.2 Curvas carga-gasto del sistema de conducción

En esta sección se presentan las curvas $H-Q$ del sistema de conducción determinadas para los siguientes casos:

- Sistema de conducción completo, es decir, se considera que el bombeo se realiza simultáneamente a los tanques Morro y Pocitos.
- Sistema de conducción planta de bombeo-tanque Morro, esto es, el bombeo se efectúa solamente hacia el tanque Morro.
- Sistema de conducción planta de bombeo-tanque Pocitos. Aquí el bombeo es solamente hacia el tanque Pocitos.

Así, la figura 4.2 muestra la curva $H-Q$ para el sistema de conducción completo; también aparecen en esta figura las curvas $H-Q$ para cada uno de los ramales, desde la bifurcación hasta el respectivo tanque, y para ambos ramales funcionando simultáneamente dada una cierta presión en el nudo. Esta última curva se construye sumando los respectivos gastos por cada uno de los ramales para un valor determinado de la presión en el nudo. Hallada esta curva, la determinación de la curva $H-Q$ para el sistema de conducción completo se obtiene, para un gasto dado en la conducción, sumando las presiones de las curvas $H-Q$ de ambos ramales y la correspondiente al tramo planta de bombeo-inicio de la bifurcación.

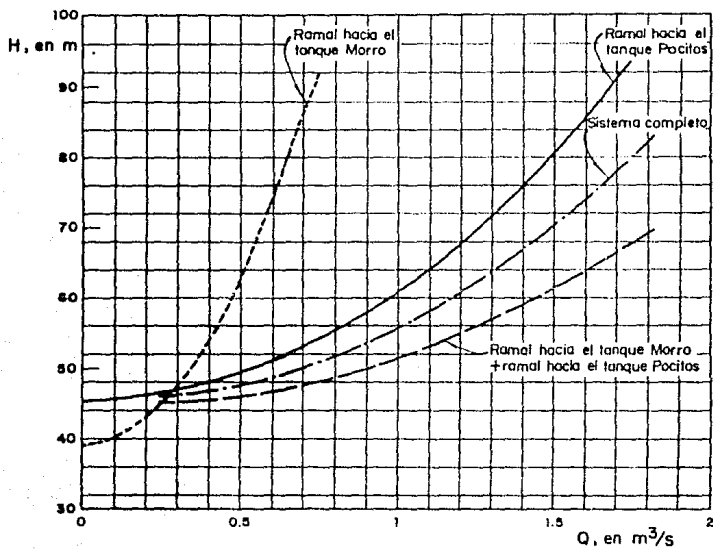


Fig 4.2 Curva carga-gasto del sistema de conducción completo

Las curvas H-Q para los casos del sistema de conducción planta de bombeo --
tanque Morro y planta de bombeo-tanque Pocitos se muestran en la figura 4.3.

4.3 Curva: carga-gasto de las bombas funcionando en paralelo

La curva característica carga-gasto de las bombas seleccionadas en el proyecto hidráulico de este acueducto está reproducida en la figura 4.4. Las bombas son de tipo centrífuga horizontal de doble succión y un solo impulsor, y para el gasto de diseño del acueducto $Q=1.66 \text{ m}^3/\text{s}$ se eligieron seis bombas trabajando en paralelo, es decir, las seis bombas descargan a la tubería de conducción.

La obtención de las curvas H-Q de las bombas funcionando en paralelo se --
efectúa sumando el gasto por bomba, de cada una de las que se consideren --
trabajando en paralelo, para una presión dada de operación de la bomba. Así,
en la figura 4.5 se presentan las curvas H-Q determinadas para las bombas
del acueducto El Tejar-Boca del Río.

4.4 Posibilidades en relación con la operación en flujo establecido del -- acueducto

Debido a las condiciones de operación propias que se tendrán en la planta
potabilizadora del acueducto, las posibilidades de operación de la planta
de bombeo compatibles con la potabilizadora consideran los casos de bom--
bear con dos, cuatro ó seis equipos simultáneamente a los tanques Morro y
Pocitos. Adicionalmente también se está considerando la condición de bom--
bear con dos equipos solamente al tanque Morro, y bombear con seis equipos
solo hacia el tanque Pocitos. De esta manera resultan cinco posibilidades
de operación del acueducto en flujo establecido.

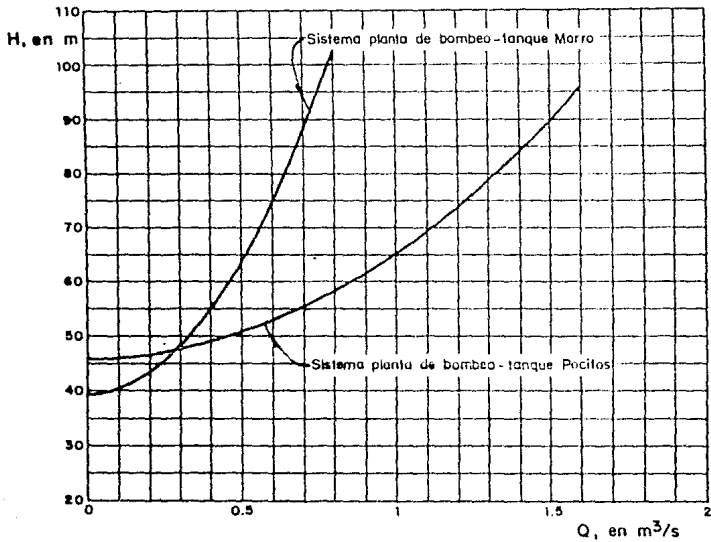


Fig 4.3 Curvas carga-gasto para los sistemas de conducción planta de bombeo-tanque Morro y planta de bombeo-tanque Pocitos

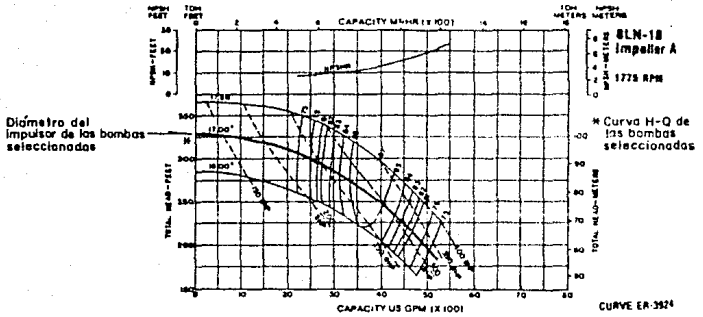


Fig 4.4 Curva característica carga-gasto de las bombas del acueducto El Tejar-Boca del Río

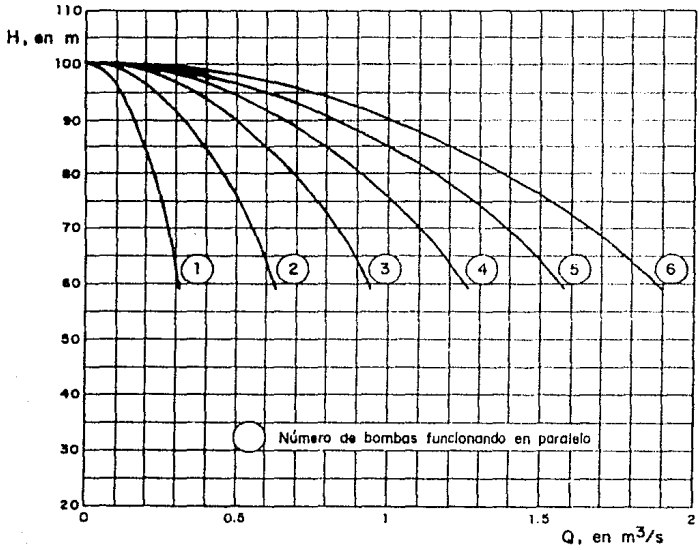


Fig 4.5 Curvas carga-gasto de las bombas funcionando en paralelo

En la figura 4.5 se presentan las curvas $H-Q$ de las bombas funcionando en paralelo (figura 4.5) y la curva $H-Q$ para el sistema de conducción completo (figura 4.2). Se observa en tal figura que para los casos de operación del acueducto con cuatro y dos equipos las bombas trabajan fuera del punto de operación para el cual se seleccionaron; por consiguiente, para que las bombas trabajen en su punto de operación es necesario introducir una pérdida de carga local, de tal manera de modificar la curva $H-Q$ para el sistema de conducción completo según se ilustra en la figura 4.6. La pérdida de carga local requerida en cada caso se provocará con una serie de orificios -- quebracarga (instalados en un ramal paralelo a la línea principal de conducción) de los cuales su diseño se expone en la siguiente sección.

Asimismo, en la figura 4.7 y 4.8 se muestran respectivamente ambas curvas $H-Q$ para los casos de bombear con dos equipos al tanque Morro y bombear con seis equipos al tanque Positos. En estos dos casos puede observarse en las figuras respectivas que la operación del acueducto es posible sin requerirse la introducción de una pérdida de carga local, es decir, las condiciones de bombeo en cualquiera de estos dos casos deben efectuarse por la línea -- principal de conducción del acueducto.

4.6 Dimensionamiento de los orificios quebracarga

En la sección precedente quedó manifiesta la necesidad de introducir una -- pérdida de carga local mediante orificios quebracarga para el caso de la operación con gastos parciales (dos y cuatro equipos) en el sistema de --

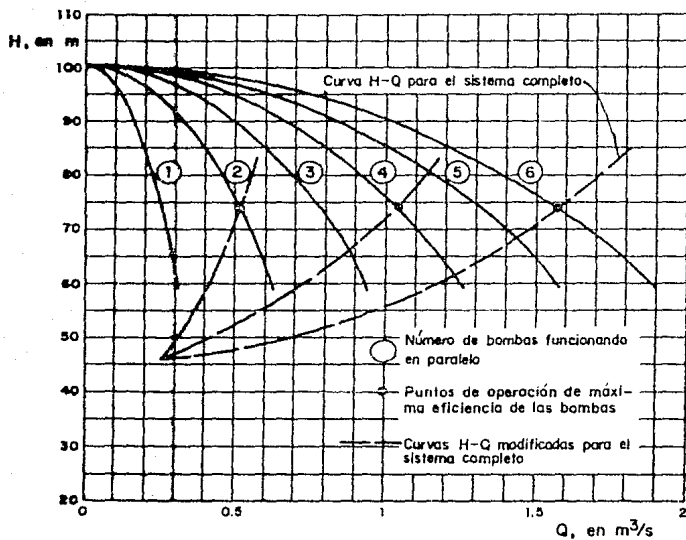


Fig 4.6 Determinación de los puntos de operación de las bombas para el sistema de conducción completo

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

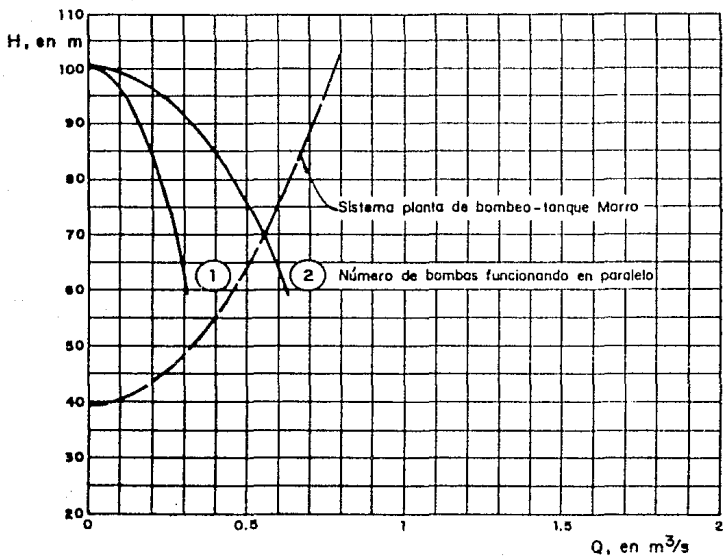


Fig 4.7 Determinación de los puntos de operación de las bombas para el sistema planta de bombeo-tanque Morro

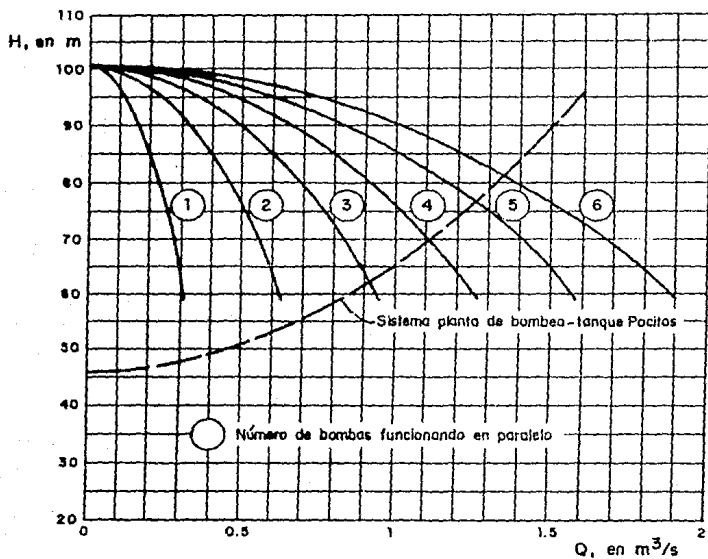


Fig 4.8 Determinación de los puntos de operación de las bombas para el sistema planta de bombeo-tanque Pocitos

conducción completo. Así, con base en la figura 4.1 la pérdida de carga local requerida para los gastos de operación con dos y cuatro equipos se presenta en la tabla 4.1

TABLA 4.1

Gasto de operación (m ³ /s)	pérdida de presión requerida (m)
0.515	28.5
1.020	19.5

Luego, de acuerdo con la ecuación del orificio

$$Q = \alpha \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g} \sqrt{\frac{1 + \alpha \beta^2}{1 - \alpha \beta^2}} \sqrt{\Delta w_{orif}} \quad (4.1)$$

en la cual

Q - gasto (m³/s)

α - Coeficiente de gasto

d - diámetro del orificio (m)

β - relación de diámetros ($\beta = \frac{d}{D}$)

D - diámetro interior de la tubería (m)

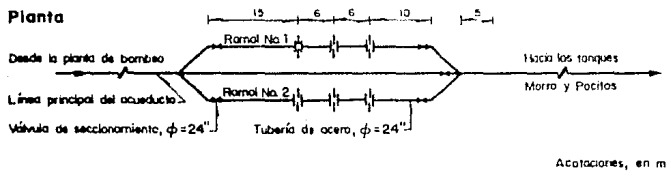
Δw_{orif} - pérdida de presión introducida por el orificio (m)

se tiene que para $\alpha=0.5$ y $D=0.60$ m el número y diámetro de los orificios - quiebracarga requeridos en cada caso son los que aparecen en la tabla 4.2

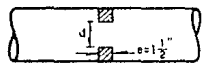
TABLA 4.2

Q (m^3/s)	A_w total (m)	número de orificios (-)	A_w orif (m)	d (m)
0.515	28.5	3	9.5	0.267
1.020	19.5	3	6.5	0.336

Por tanto, en la figura 4.3 está indicado el arreglo propuesto de orificios quebracarga requeridos. Debe observarse en dicha figura que el ramal No. 1 es para la operación a gasto parcial con dos bombas, el ramal No. 2 es para la operación a gasto parcial con cuatro bombas y por la línea principal del acueducto es la operación para seis bombas.



Orificios para el ramal No. 1, $d = 0.267$ m (operación a gasto parcial con 2 bombas)
 Orificios para el ramal No. 2, $d = 0.386$ m (operación a gasto parcial con 4 bombas)



Esquema tipo de la placa orificio

Fig 4.9 Esquema del arreglo propuesto de los orificios quiebracarga

5.- CONCLUSIONES

Con base en el desarrollo del presente trabajo pueden establecerse las siguientes conclusiones.

- A) La selección óptima del tipo de bomba más conveniente para un sistema de bombeo debe contemplar de manera conjunta los aspectos electromecánicos, los de ingeniería civil y las condiciones de flujo transitorio (golpe de ariete).
- B) Además, la elección óptima del tipo de bomba debe considerar la operación del sistema de bombeo tanto con el gasto de diseño como con gastos parciales, a fin de evitar que con la operación a gastos parciales tenga que introducirse pérdida de presión en la conducción para lograr que las bombas puedan funcionar ade-

cuadamente, ya que esta manera de operación es ineficiente debido al costo de la energía desaprovechada. Por tanto, debe tratarse de que la eficiencia global del sistema de bombeo sea la mayor posible y no solamente concretarse a optimizar la eficiencia de la bomba.

6.- BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, L. et al., "Acueducto El Tejar-Soca del Rfo. Revisión del Diseño Hidráulico", INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM, 1986

GUARGA, R. et al., "Diseño y Operación Hidráulicos de Conducción de Agua a Presión"(FASCICULO II), INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM, 1985

KARASSIK, I y CARTER, R., "Bombas Centrífugas", CECJA, 1980

SOTELO AVILA, G., "Hidráulica General", LIMUSA, 1961

WARRING, R.J., "Selección de Bombas. Sistemas y Aplicaciones", LABOR, 1977