

CAPÍTULO 8

Estaciones de bombeo para acueductos

Mauricio Angulo, Cecilia Lucino y Sergio Liscia

Regulación del caudal en un acueducto

Si bien el diámetro de un acueducto se define en función del caudal máximo (afectado de un coeficiente de mayoración que podrá ser del orden de 1,20), la definición del equipo de bombeo debe tener en cuenta la necesidad de atender adecuadamente el crecimiento de la demanda a lo largo de la vida útil, llegando a su máxima capacidad al final de esta. En efecto, la demanda al inicio de la vida útil (es decir: al momento de puesta en marcha del acueducto) puede ser varias veces menor que la estimada a los 20 años, que es el período más usualmente considerado; acueductos de grandes dimensiones pueden admitir vidas útiles del orden de 30 años; menores, de alrededor de 10 años.

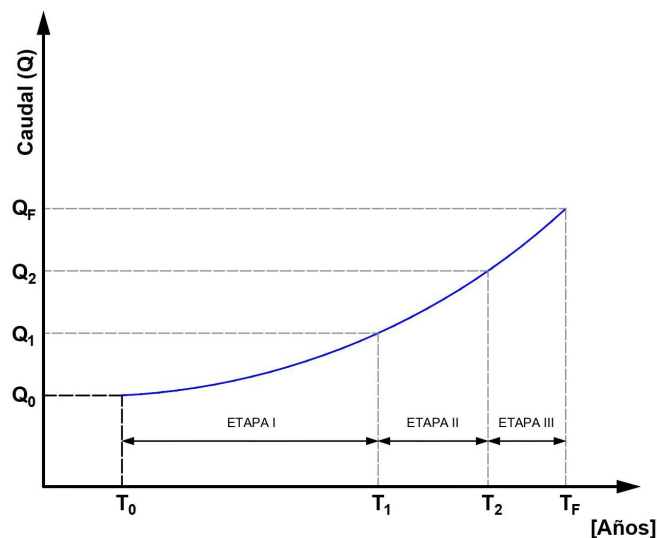


Figura 8.1: Caudal medio diario anual, modulado en 3 etapas, vs. tiempo

Esto lleva a plantear alternativas de disposición de bombas en paralelo, en serie, cambios de rodetes, cambios de las bombas o combinación de estas opciones, a fin de incrementar la capacidad de bombeo en períodos del orden de 5 a 10 años (o los intervalos que se justifiquen como los más convenientes, también más asociados a los cambios de caudal que al tiempo en sí mismo). La Fig. 8.1 muestra una separación en 3 etapas de actualización de los caudales a proveer, tomando como criterio que se aumente el caudal en un orden similar y considerando el desfase en los períodos de cambios de etapas que eso implica.

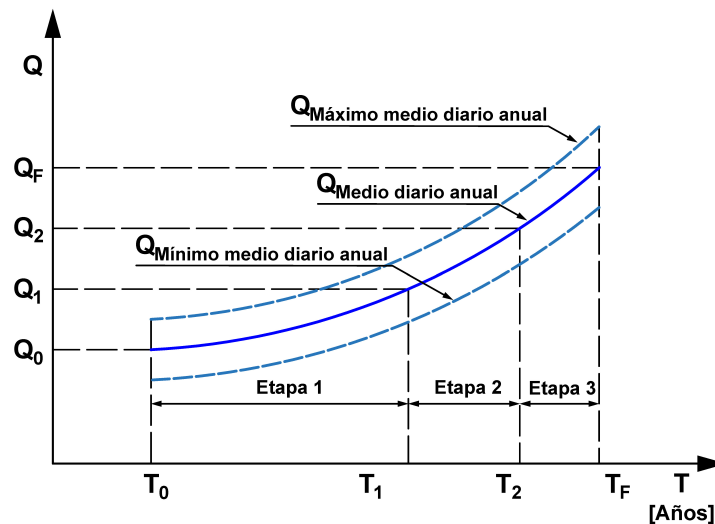


Figura 8.2: Caudal mínimo, medio y máximo diario anual, modulado en 3 etapas, vs. tiempo

En este capítulo se analizarán, en primer lugar, las alternativas de que se dispone para ajustar el caudal entregado para equiparar oferta y demanda, es decir, distintas maneras de regular el caudal que es bombeado cuando la demanda varía en el tiempo. La base de tiempo que se considera para la curva de consumo es el año, de modo que el caudal de referencia es el medio anual aunque, desde el punto de vista del uso, el caudal sea una variable tanto a escala horaria como estacional. La variabilidad horaria estará absorbida por el tanque elevado de cada localidad, e inclusive el residencial. No obstante que, para los grandes acueductos, el diseño principal está gobernado por el caudal medio anual, vemos en las curvas de demanda que también existen máximos temporales del día de mayor demanda y del día de menor demanda (Fig.8.2). Conocer esto es de utilidad, debido a que las variables de operación de un acueducto suelen tener una integración diaria que involucre caudales medios diarios y oscilaciones de las cisternas. En general, la experiencia indica que, antes de llegar al caudal máximo (al final de la vida útil), solo con el factor de utilización se llega a cubrir los máximos caudales medios estacionales. Su verificación, sin embargo, siempre es prudente.

Para explicar las distintas alternativas de regular el caudal, se puede utilizar el esquema que se muestra en la Fig. 8.3, en el que se representa un acueducto con la estación de bombeo y un sistema de regulación dado por una válvula reguladora de caudal. La demanda está indicada en coincidencia con los caudales, pero representada en función del tiempo, mientras que las curvas de la bomba y del sistema están en función de la energía por unidad de peso, H . Es decir, un único eje de caudales se relaciona con el tiempo (demanda) y con la energía específica (transporte). Al ubicar la curva del sistema en la cota de entrega, al final del acueducto, el desnivel topográfico queda indicado respecto de la cota de la cisterna de toma de las bombas.

Primer caso: caudal regulado por una válvula al final del acueducto

En este caso, en todo momento el caudal bombeado es igual al caudal demandado. Este ajuste se logra operando (es decir: abriendo o cerrando) la válvula reguladora de caudal ubicada

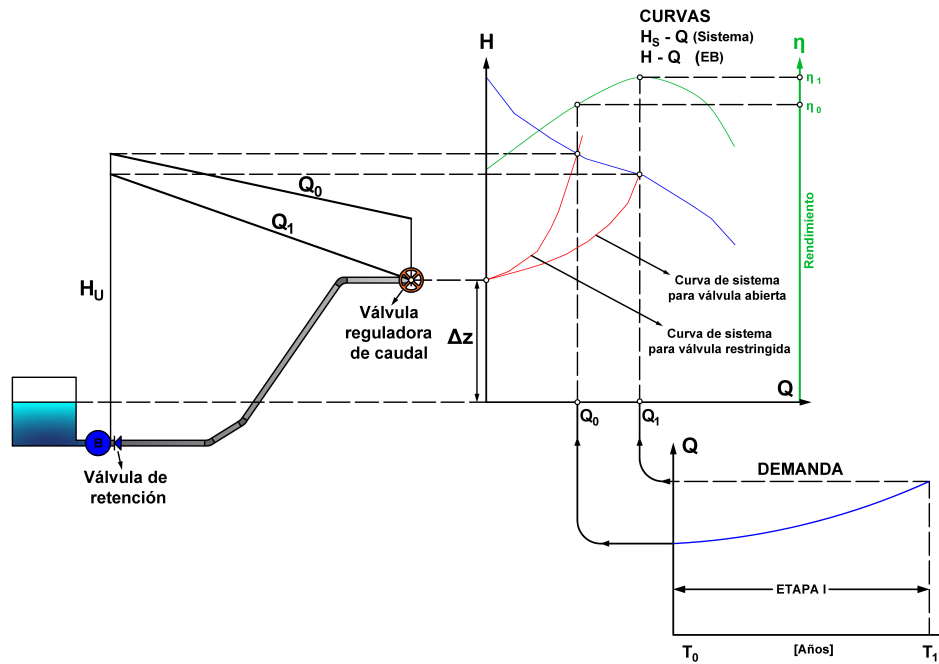


Figura 8.3: Relación entre la demanda y el sistema de bombeo y conducción

al final del acueducto. En la Fig. 8.4 se ha representado la curva característica de una estación de bombeo, que debe satisfacer el rango de caudales demandado de Q_0 a Q_1 , extremos mínimo y máximo, de la demanda planteada, suponiendo que pertenece a una etapa del sistema de abastecimiento. Para cada caudal, se representa la línea de energía total en la conducción. Puede verse cómo aumenta la pendiente con el aumento de caudal y cuánta energía se debe consumir localmente en la válvula para encontrar el equilibrio entre la energía específica entregada por la bomba (H_u) y la consumida por el sistema (altura estática, Δz , más las pérdidas de carga).

La presión a la que estará sometido el acueducto variará de acuerdo a la forma que tenga la curva característica de la bomba: será mayor para los mínimos caudales operativos y máxima para el caudal nulo. Si la forma de la curva es como la que se ve en la Fig. 8.4 (Caso 1. a), lo cual es usual en bombas axiales y multietapas, puede verse que las presiones internas de la conducción serán mayores a medida que el caudal de operación disminuye y máximas cuando es nulo. El hecho de utilizar la regulación con la pérdida localizada en la válvula al final de la conducción impone a esta la máxima presión por la impulsión de la bomba, lo cual, en general, no es recomendable. En general, estos esquemas presentan desventajas, pues la regulación se hace a expensas de disipar la energía que previamente entregó la bomba. Las bombas que disminuyen la presión para caudal nulo reducen considerablemente este problema, como puede apreciarse en la Fig. 8.4 (Caso 1.b).

Segundo caso: caudal regulado por una válvula al inicio del acueducto

Con el mismo principio de adaptación (caudal bombeado igual al caudal demandado) logrado por la disipación en la válvula, si esta es colocada inmediatamente aguas abajo de la(s) bomba(s), se logra una disminución en las presiones máximas alcanzadas en la conducción, ya que la

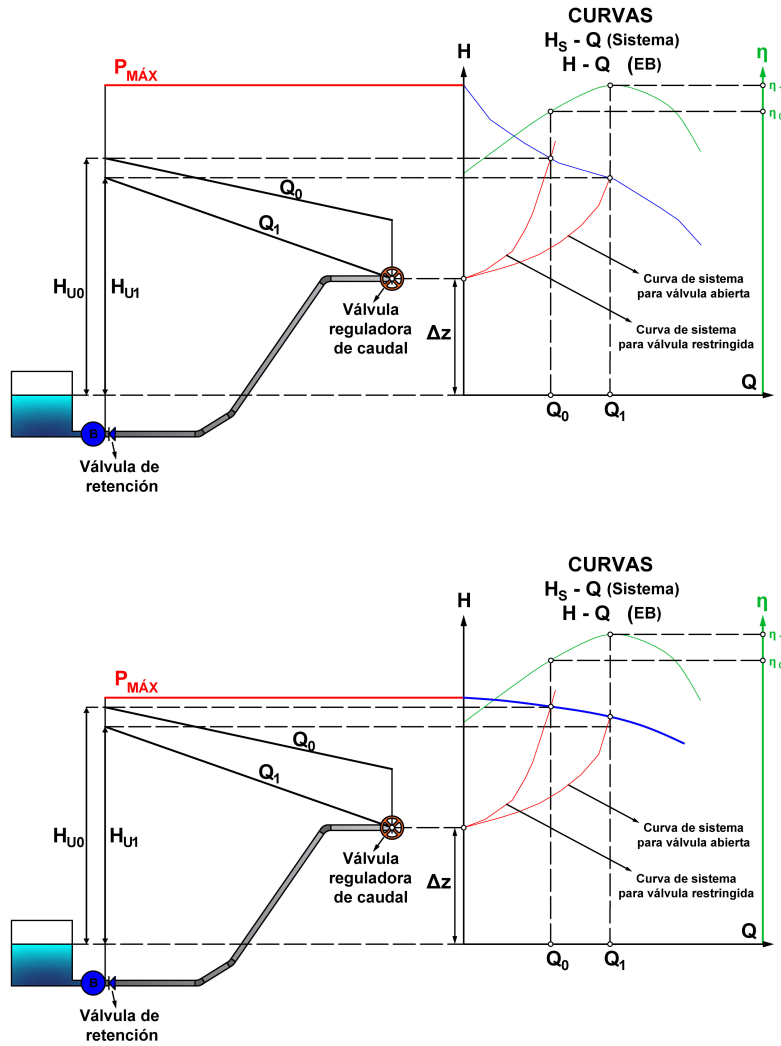


Figura 8.4: Caso 1: Caudal regulado por una válvula en el extremo de aguas abajo del acueducto: Caso 1a (arriba); Caso 1b (abajo)

pérdida de energía en la válvula se produce antes de que el flujo la atraviese (Fig. 8.5). Todo ello no previene, sin embargo, que la energía entregada por la bomba no sea disipada, además de que las máximas sollicitaciones se dan para caudal nulo, pero los efectos de la mayor presión impacta solo al tramo de la conducción aguas arriba de la válvula y deberá ser considerado para las válvulas ubicadas aguas arriba de la de regulación, usualmente la válvula de retención.

Tercer caso: caudal regulado por variación de la velocidad de giro de la bomba

En este caso, el caudal bombeado logra igualarse al demandado por la adaptación de la curva $H - Q$ de la(s) bomba(s), sin necesidad de disipar energía en la válvula. Este recurso resulta más conveniente, pues permite un ajuste exacto al punto de la demanda, lo cual redundará en una optimización de las cisternas y de las clases de las conducciones, y no se disipa energía, al menos de manera tangible. Para utilizar este recurso, por un lado, debe conocerse cuánto puede variarse el número de vueltas (dato del proveedor del equipo motobomba) y debe tenerse en

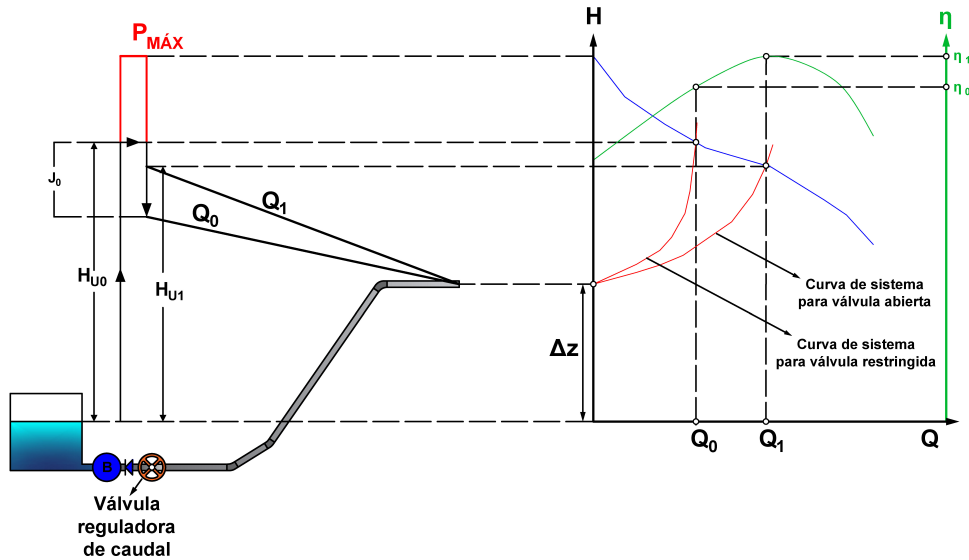


Figura 8.5: Caso 2: Caudal regulado por una válvula en el extremo de aguas arriba del acueducto

cuenta, también, que grandes variaciones de la velocidad conllevan condiciones de operación de menor rendimiento, que es otra forma de disipación de energía. El impacto sobre el rendimiento, en cualquier caso, es menor en esta opción que con la utilización de válvulas, como se explicara en los casos anteriores.

En la Fig. 8.6 se representan los puntos de funcionamiento resultantes de cada curva $H - Q$ de la bomba, obtenida por similitud para números de vueltas menores. También se indican los puntos de operación y la línea que une los puntos de mayor rendimiento de cada curva $H - Q$. Así, puede verse que los puntos de funcionamiento no coinciden con los de máximo rendimiento de cada curva y que se alejan cada vez más de este a medida que el número de vueltas se aparta del nominal o de diseño, tanto para valores mayores como menores a él. Estos sistemas son cada vez más usuales y competitivos.

Cuarto caso: colocación de una cisterna reguladora del caudal

En este caso, se incorpora una cisterna en el extremo de aguas abajo del acueducto, que permite la regulación de los caudales bombeados y demandados gracias a la presencia de un volumen operativo o de regulación. Es decir, ya no es necesario que el caudal bombeado coincida con el demandado en tanto el volumen entregado sea el mismo que el demandado en un cierto lapso. Así, puede activarse el bombeo para llenar la cisterna, cada vez que el nivel de agua en ella llegue a un mínimo operativo definido, y detenerse cuando llegue a su nivel máximo. Aguas abajo de la cisterna, se define un caudal medio constante entregado (Q_d).

Este modo de operación es de bombeo intermitente. Tiene la ventaja de que el caudal de operación de las bombas es poco variable, por lo cual se puede seleccionar con precisión, atendiendo a las condiciones de máximo rendimiento de aquellas. La Fig. 8.7 esquematiza este concepto.

También pueden considerarse opciones que combinen o sumen efectos. Normalmente se utilizan cisternas que, en acueductos de gran longitud, se erigen en localidades que toman parte

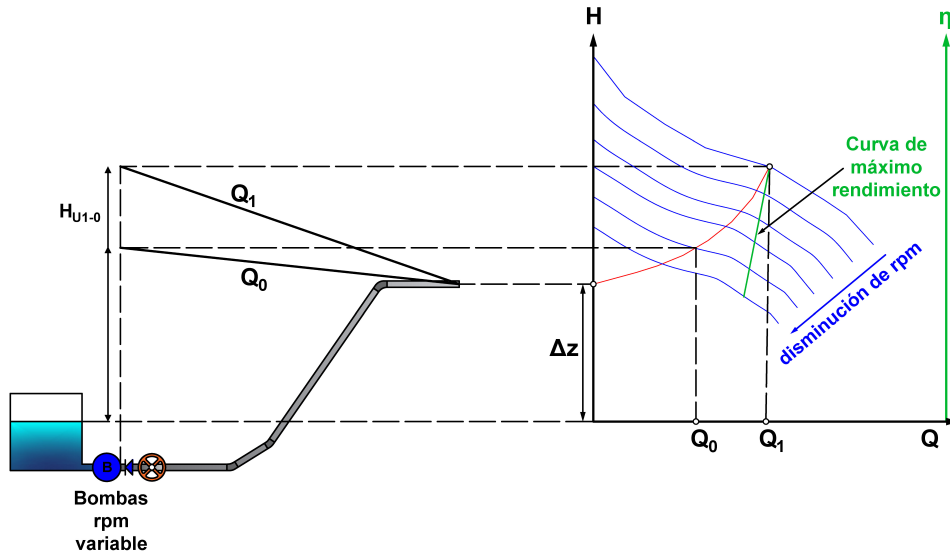


Figura 8.6: Caso 3: Caudal regulado por la variación de la velocidad de giro de la bomba

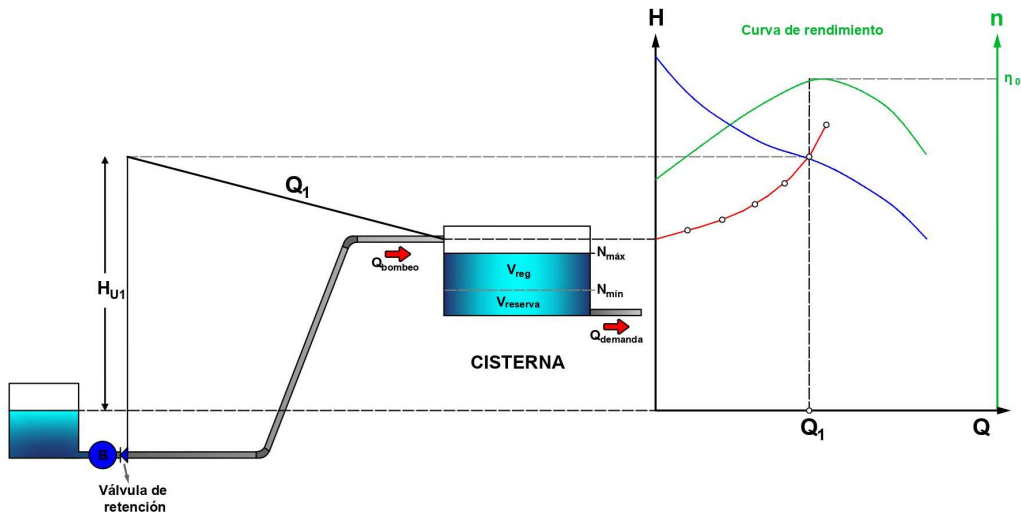


Figura 8.7: Caso 4: Caudal regulado por la interposición de una cisterna

del caudal, de manera que la cisterna resulta necesaria para establecer las derivaciones y colocar válvulas controladoras del caudal para ajustar el caudal a la demanda local. Además permite disponer de volúmenes de reserva que siempre es un bien preciado.

Variables de diseño de la estación de bombeo

La colocación de una cisterna permite cumplir con la función de disponer de un volumen operativo para que las bombas puedan funcionar con un caudal aproximadamente constante durante determinados intervalos de tiempo. Además, permite incorporar un volumen adicional de reserva para eventuales paradas por mantenimiento o reparaciones del sistema. La reserva se ubica por debajo del nivel mínimo operativo y su volumen está ligado al tiempo de maniobras necesarias (habitualmente del orden de una jornada laboral diaria de 8 hs).

Con esta variante de regulación del caudal aparece una variable adicional: el número de

arranques que se permite a la bomba (o bombas) por hora (o por día, según el tamaño de la instalación). Esta variable está ligada al número de bombas que se colocan en la estación de bombeo y al volumen operativo del que se dispone en la cisterna. Por lo tanto, el dimensionado del área de la cisterna y del desnivel operativo estarán relacionados con la cantidad de arranques admisible.

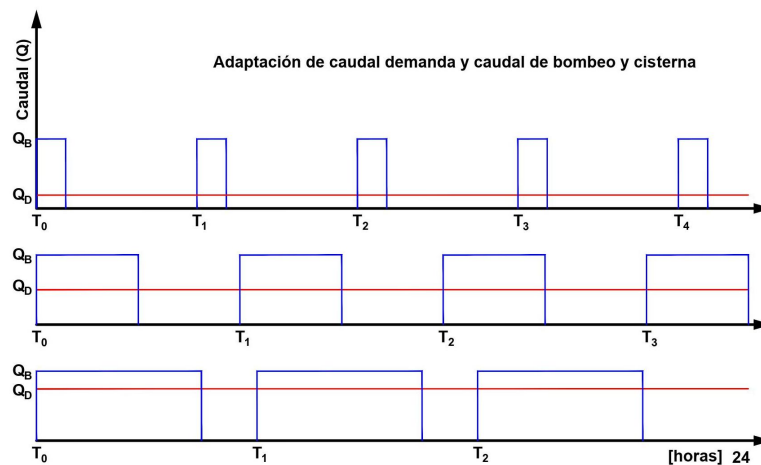


Figura 8.8: Arranques y paradas de las bombas para caudales de demanda crecientes

La frecuencia de arranques depende de la relación entre el caudal bombeado y el que se demanda, de manera que el tiempo de operación de la bomba es quien está regulando el sistema. Los ciclos de encendido y apagado de los equipos electrobombas están determinados por la necesidad de proteger al motor por calentamiento de los componentes eléctricos. La reducción de la temperatura se logra al cabo de un dado tiempo luego del apagado, tras lo cual el equipo está en condiciones de ser encendido nuevamente. Debe tenerse en cuenta, con todo, que el arranque repetido reduce la vida útil del motor, pues las aislaciones térmicas se van deteriorando; en condiciones extremas, los equipos pueden quemarse.

En la Fig. 8.8 se ven tres casos de secuencia de arranque y parada para diferentes consumos, el Q_d aumenta y, con él, las horas de operación de las bombas, de tal manera de equilibrar oferta y demanda. La bomba siempre funciona con el mismo caudal y la demanda es creciente desde el gráfico superior al inferior. Cuando la demanda es del orden de la mitad del caudal de bombeo, se produce el mayor número de arranques y paradas de los equipos de bombeo.

Características de los sistemas de bombas en paralelo

Cuando el acueducto tiene que abastecer una demanda variable y creciente con los años, aparece la necesidad de proyectar el buen funcionamiento de las bombas en todo el período de vida útil considerado. Esto implica contemplar, año a año, los caudales máximos y mínimos anuales con los que van a operar las bombas y cómo se dimensionan los equipos e infraestructura hidroelectromecánica para cubrir la demanda a lo largo de la vida útil.

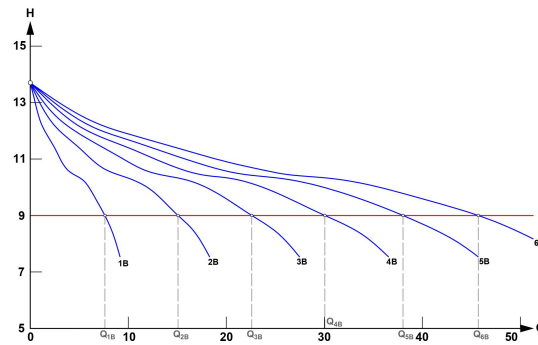


Figura 8.9: Conexión de bombas en paralelo donde no existe una conducción en común en la impulsión

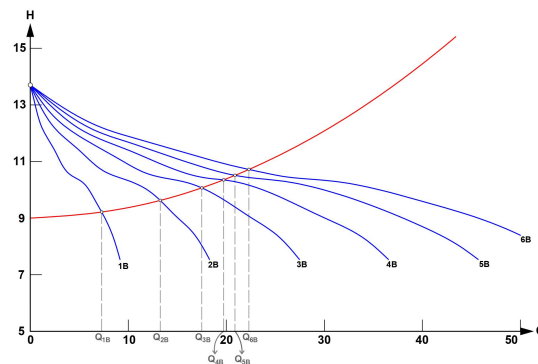


Figura 8.10: Conexión de bombas en paralelo donde hay una conducción en común en la impulsión

Para describir el problema, en primer lugar supondremos una situación extrema: que la estación de bombeo tiene las bombas impulsando a una tubería de longitud nula, tal cual el caso de las estaciones de bombeo para desagües pluviales. En este caso, la curva del sistema es prácticamente una recta, porque las pérdidas de energía no aumentan con el caudal (Fig. 8.9), la incorporación de bombas en paralelo al sistema, permite incorporar incrementos de caudal iguales a medida que se incorporan.

Para el caso de los acueductos, la longitud de la conducción trae aparejada la aparición de pérdidas friccionales que se manifiestan en la forma parabólica de la curva $H-Q$ del sistema. Las pérdidas de carga propias del sistema ocasionan que la capacidad de bombeo incremental se reduzca con el encendido de cada bomba adicional (Fig 8.10). En el extremo, la incorporación de bombas adicionales (con el consiguiente aumento de los costos de la instalación), a partir de una cierta cantidad, deja de tener significancia en términos del caudal. La Fig. 8.11, correspondiente a un proyecto particular, muestra el porcentaje de caudal que incorpora la bomba adicional en relación con la cantidad de bombas del sistema en paralelo. Esta restricción es determinante del límite de la cantidad de bombas en paralelo: una medida habitual consiste en que la última bomba incorpore más del 20 % de su capacidad, pero su definición depende de las situaciones particulares de cada proyecto.

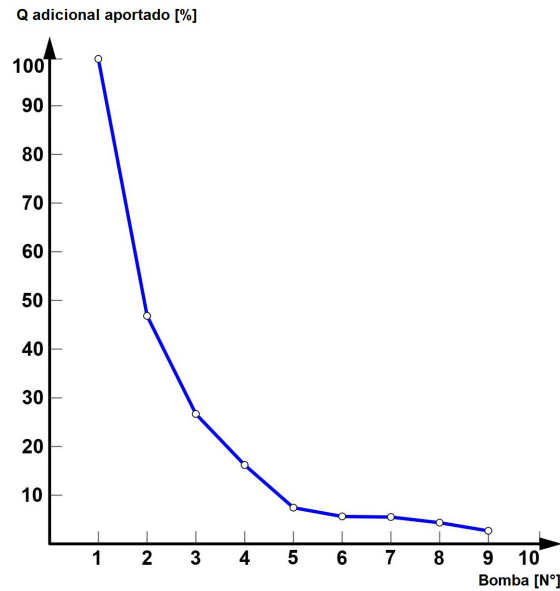


Figura 8.11: Un ejemplo del caudal adicional que incorpora cada nueva bomba en paralelo respecto del caudal aportado por una sola bomba

Características de los sistemas de bombas y/o rodets en serie

Cuando la curva del sistema tiene un crecimiento pronunciado (gran longitud y/o menor diámetro y/o un mayor caudal de bombeo u otros fluidos más viscosos), el sistema en paralelo se vuelve cada vez más ineficiente, y cabe considerar la colocación de las bombas en serie en lugar de en paralelo. En la Fig. 8.12 se pone en evidencia cuán conveniente es la disposición en serie comparada con la disposición en paralelo para un caso de importante pendiente de pérdidas de carga.

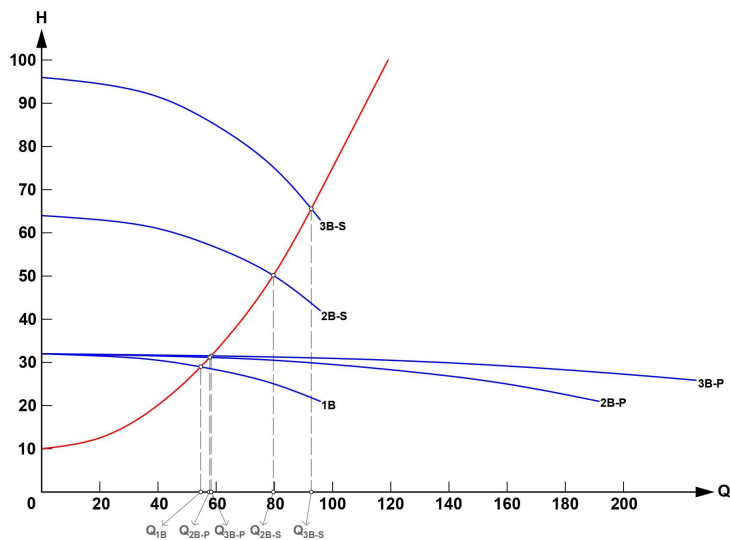


Figura 8.12: Alternativa de disposición en serie comparada con disposición en paralelo de una bomba de iguales características. Se observa que el caudal total bombeado para igual cantidad de bombas es mayor conectando las bombas en serie

La Fig. 8.13 muestra, comparativamente, el aporte porcentual de caudal de una bomba adicional dispuesta en paralelo frente a la disposición en serie. También se muestra que los sistemas

deben trabajar con presiones considerablemente mayores (es uno de los motivos de que estas soluciones se apliquen al bombeo de líquidos con alto valor económico, donde las conducciones son, de por sí, robustas, y no tanto al transporte de agua).

Cambio de rodete

Para llegar a satisfacer la demanda al final de la vida útil del acueducto, Q_{dmax} , la capacidad máxima de la estación de bombeo, Q_{bmax} , debe igualarla o superarla. Analizaremos el caso de instalar dicha capacidad de bombeo con cinco bombas en paralelo (Fig. 8.14). Obsérvese que, para una demanda intermedia, Q_{dE1} , dos bombas con caudal máximo son suficientes y, para caudales de demanda bajos, al inicio de la operación del acueducto, Q_{dmin} , la curva característica de la bomba no interseca la curva del sistema. Esto significa que, si ese caudal circulara por la bomba, superaría el máximo garantizado por el fabricante para ese diseño.

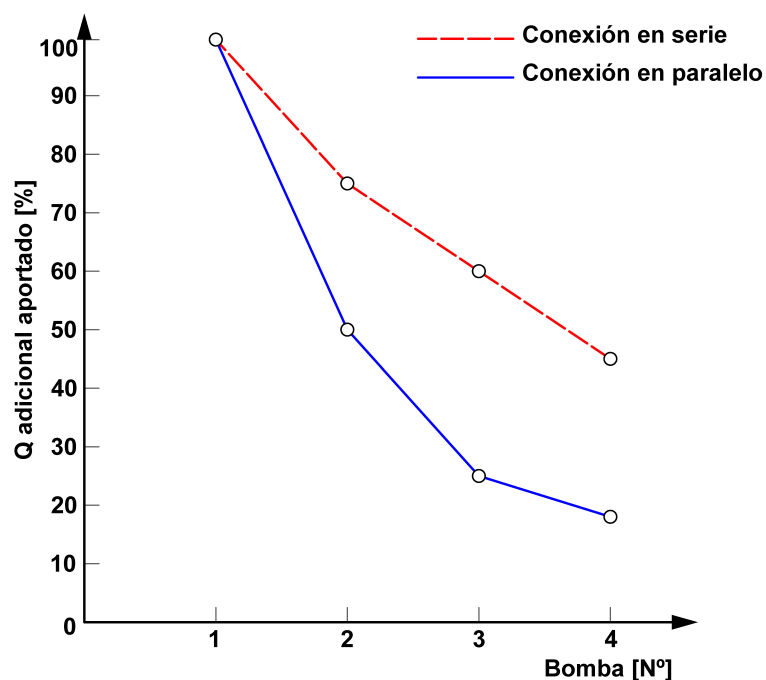


Figura 8.13: Caudal adicional que incorpora cada nueva bomba, tanto para una disposición en paralelo (azul) como para una conexión en serie (rojo)

Para encontrar el punto de funcionamiento, deberíamos extrapolar la curva de la bomba hasta que corte la curva del sistema, lo cual se da para valores muy altos de $ANPA_r$ de la bomba, que pueden llegar a valores del orden del doble o triple del valor requerido para el caudal de diseño, lo cual no es recomendable. Por ejemplo, si para el punto de funcionamiento, Q_{bmax} , que se entrega con cinco bombas en paralelo, resulta en un $ANPA_r$ de 10 m; y para satisfacer el Q_{dmin} , operando con una sola bomba, resulta en un $ANPA_r$ de 18 m, la diferencia de costo debido al aumento de la sumergencia de la estación de bombeo puede ser de una magnitud que resulte prohibitiva desde el punto de vista económico.

Por otra parte, el bombeo de caudales muy altos solo es posible a costa de una caída del rendimiento del entre 10 y 30 puntos porcentuales respecto del caudal de diseño. Esto implica una operación de mayor costo, por consumo de energía adicional. Por lo tanto, deberá considerarse otra alternativa. La opción en cuestión es emplear bombas adaptables a una serie de rodetes de diámetros distintos, D_n , D_1 , D_2 y D_3 (Fig. 8.15), que pueden ser utilizados sin necesidad de cambiar la carcasa ni el motor. Ello permite instalar un rodete de diámetro menor (rodete recortado), que tendrá menor capacidad de bombeo al inicio de la operación del acueducto, para luego ser reemplazado por otro de mayor diámetro cuando los caudales demandados así lo exijan. De modo que el cambio de rodete permitiría funcionar correctamente en los caudales iniciales del acueducto sin necesidad de mayor resguardo para la cavitación y sin necesidad de reemplazar el equipo completo.

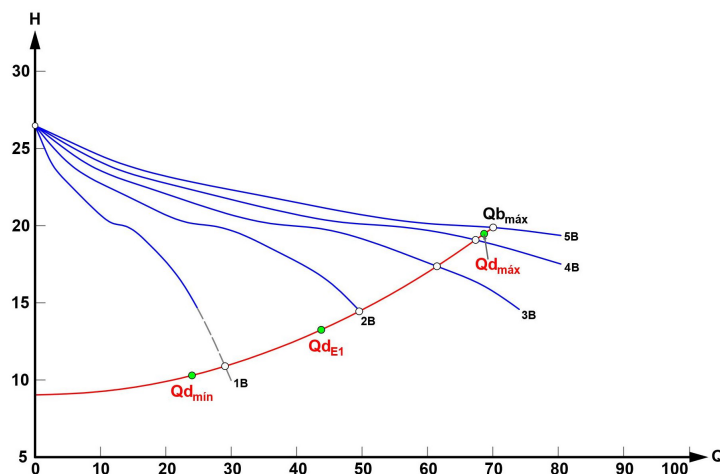


Figura 8.14: El equipamiento seleccionado está sobredimensionado para poder operar con caudales bajos al inicio de la puesta en marcha del acueducto

Un ejemplo de esto se ve en la Fig. 8.15, donde inicialmente se instalan rodetes recortados (menor diámetro, D_1) que permiten llegar hasta un cierto caudal, que supera levemente el Q_{dmin} correspondiente con el inicio operación del acueducto. Para superar este caudal de demanda, deberá reemplazarse el rodete en todas las bombas por uno de mayor diámetro, por ejemplo D_2 , y así sucesivamente, hasta el diámetro nominal o de diseño que entrega el caudal máximo con las bombas dispuestas en paralelo.

Otra opción para abastecer este rango de caudales es cubrir el Q_{dmin} con dos de las cinco bombas en paralelo instalando un diámetro intermedio, D_2 . Esta configuración presenta una ventaja sobre la anterior: cubrir caudales de demanda intermedios entre el mínimo y el máximo pudiendo adaptarse al crecimiento del acueducto; permite, inclusive, cubrir el caudal de demanda para la etapa 1. Sobre la Fig. 8.17 se indican todos los caudales intermedios que pueden cubrirse usando en una primera etapa D_2 y luego D_n .

La Fig. 8.18 muestra la alternativa de utilizar un diámetro mayor D_3 , algo menor que el nominal. Se observa que el caudal de demanda mínimo puede cubrirse con dos bombas en paralelo de diámetro D_3 funcionando a Q_{max} . Luego, para cubrir la demanda de la primera etapa, esta instalación ha de requerir tres bombas en paralelo y, para alcanzar la demanda máxima, deberán instalarse dos bombas más y cambiar todos los rodetes a D_n . La alternativa, usando D_2 , tiene

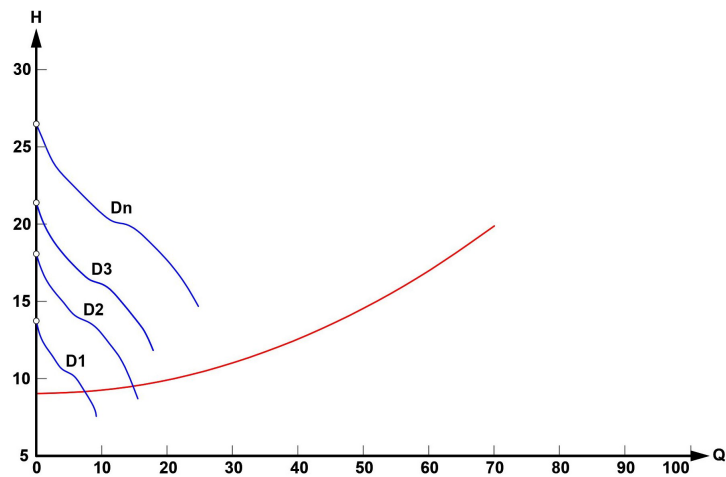


Figura 8.15: Bomba con cuatro rodetes, con igual motor y carcasa. El mayor corresponde con el diámetro nominal y los menores son diámetros recortados

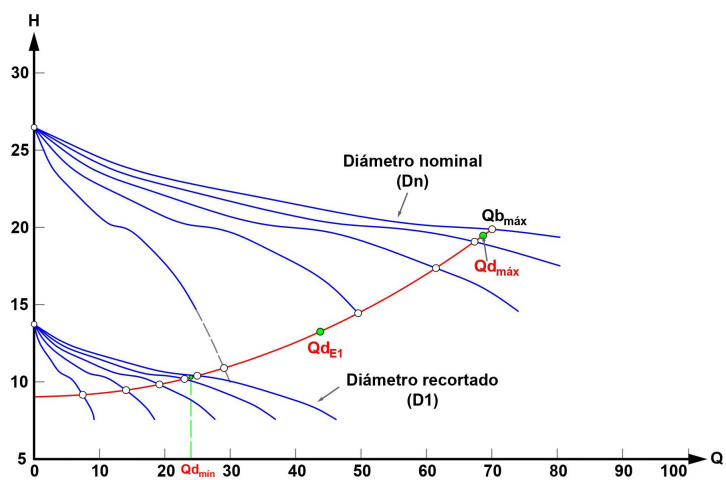


Figura 8.16: El equipamiento se realiza en dos etapas, en la primera se cubre la demanda inicial con rodetes de diámetro D_1 y para la demanda final se cubre cambiando por D_n . Observar que con la alternativa D_1 no se pueden cubrir caudales mayores a Q_{dmin}

una mejor distribución de caudales intermedios para cubrir la primera etapa, la cual la distingue de la anterior. A favor de aquella, sin embargo, pesa que requiere de la instalación de solo tres bombas para alcanzar la primera etapa. La elección entre ambas estará condicionada por la metodología que se utilice para regular el caudal de bombeo.

Aumento de diámetro y de cantidad de etapas

A la posibilidad de funcionar para diferentes caudales con distintos diámetros de rodetes (rodetes recortados) se le agrega una variable: el número de etapas, cuando pueden disponerse rodetes en serie. Este tipo de configuración es común en bombas de tipo vertical sumergibles o multietapa de cámara seca. En general, conviene, en el primer incremento de caudales de bombeo, agregar una etapa, y luego, en los siguientes cambios, aumentar de diámetro de rodete. No existe una combinación ideal *a priori*, de manera que solo un análisis exhaustivo habrá de conducir a la mejor solución.

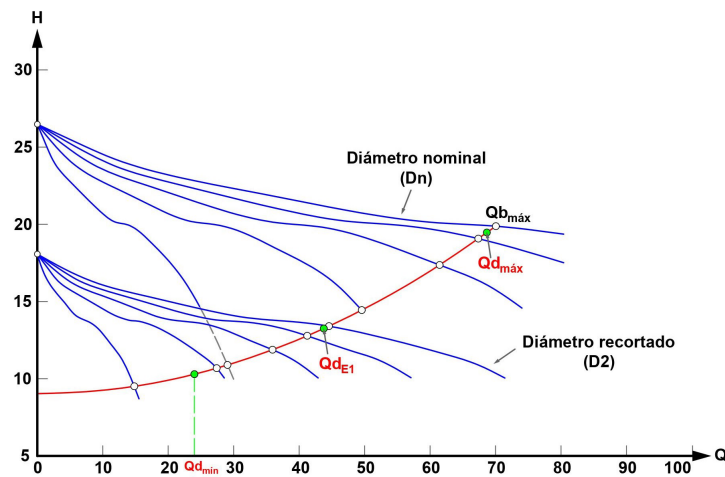


Figura 8.17: El equipamiento utiliza diámetros de rodete D_2 y D_n . En este caso, pueden cubrirse caudales mayores a $Q_{d_{m\acute{m}n}}$ para la primera etapa, inclusive el caudal intermedio $Q_{d_{E1}}$

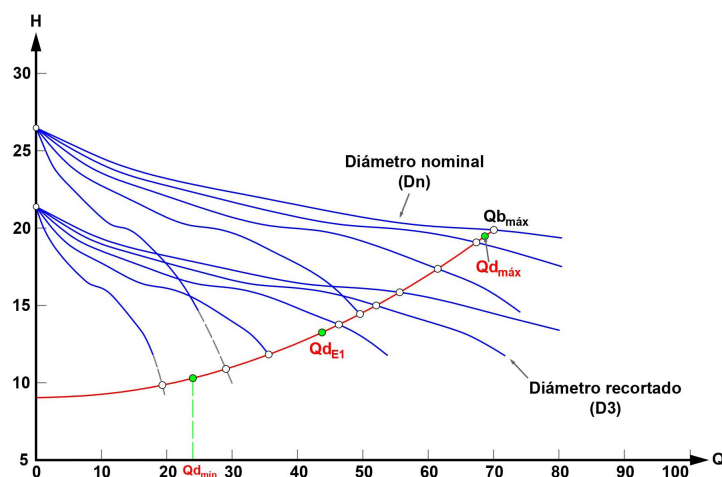


Figura 8.18: El equipamiento utiliza diámetros de rodete D_3 y D_n . En este caso, se cubre $Q_{d_{m\acute{m}n}}$ con dos bombas y $Q_{d_{E1}}$ con solo tres bombas de diámetro D_3

Si bien el caudal es la variable más importante para la selección del tipo de equipamiento a utilizar, en muchas situaciones, las características de las cisternas o los problemas de operación asociados a fenómenos transitorios pueden ser relevantes y dignos de análisis. Si la regulación del caudal de bombeo se realiza mediante una cisterna en el extremo de llegada, su tamaño estará condicionado por la capacidad de la bomba seleccionada, por la cantidad de bombas instaladas y por su tipología. En efecto, la tipología de la bomba tiene un peso fundamental en el proyecto civil de la estación de bombeo.

Disposiciones típicas de bombas en estaciones de bombeo

Cada proyecto de estación de bombeo es único en cuanto a la disposición de los componentes hidromecánicos. Existen, sin embargo, criterios unificadores: exigencias propias de pliegos de licitación o recomendaciones de las guías de referencia. Los proyectistas suelen plantear alternativas de disposición (o *layouts*) que son sometidas a discusión y evaluación técnica y económica. Se mostrarán algunos ejemplos a fin de identificar el conjunto de componentes que se tienen en

cuenta y su rol dentro de la operación del sistema.

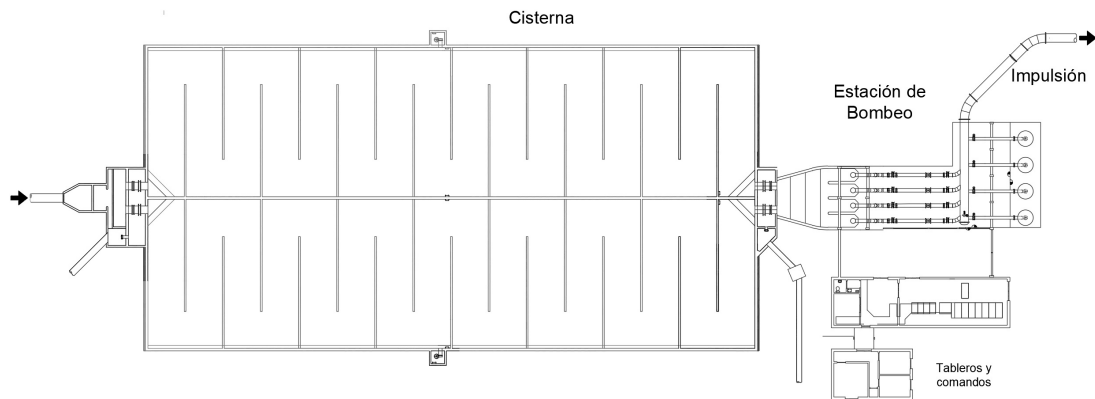


Figura 8.19: Bombas instaladas en paralelo tomando de una cisterna

En el caso de la disposición en paralelo, se muestra el esquema de instalación para el caso de bombeo desde una cisterna (Figs. 8.19 y 8.20). La cisterna se diseña con tabiques internos que guían el recorrido del agua para evitar áreas de estancamiento. Por otra parte, se divide en dos partes para poder acceder a la limpieza y mantenimiento sin interrumpir el suministro.

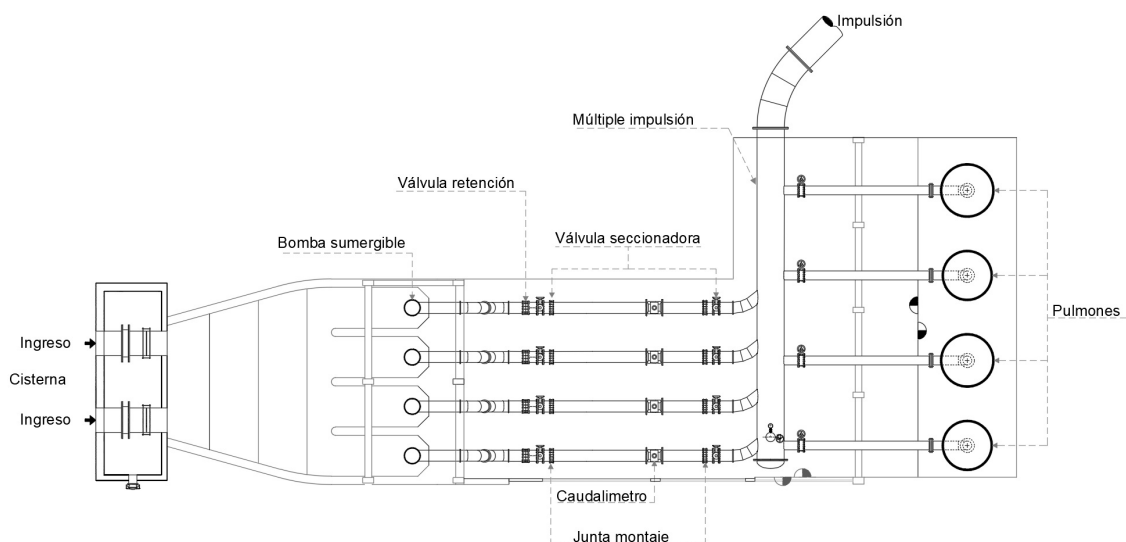


Figura 8.20: Estación de bombeo con bombas en paralelo

Este caso involucra bombas sumergibles multietapas, de modo que se diseña una cámara de aducción con las dársenas que alojan las bombas (Fig. 8.18). La impulsión de cada bomba se conecta al múltiple de impulsión, *manifold*, que es el tramo que las vincula y se conecta a la tubería de impulsión del acueducto. En este diseño, se han colocado pulmones, o tanques hidroneumáticos, dispositivos de protección para golpe de ariete, que previenen los daños que pueden ocasionarse en el acueducto por una parada imprevista de las bombas (por ejemplo, un corte de energía). En los tramos de impulsión de cada bomba, en este caso, se han colocado caudalímetros, además de las válvulas seccionadoras o de corte, para aislar los tramos de conducción.

En la Fig. 8.21 se ve un esquema de instalación en línea de bombas en serie, *booster*. Se denominan así a las estaciones de bombeo que se intercalan en los acueductos para producir

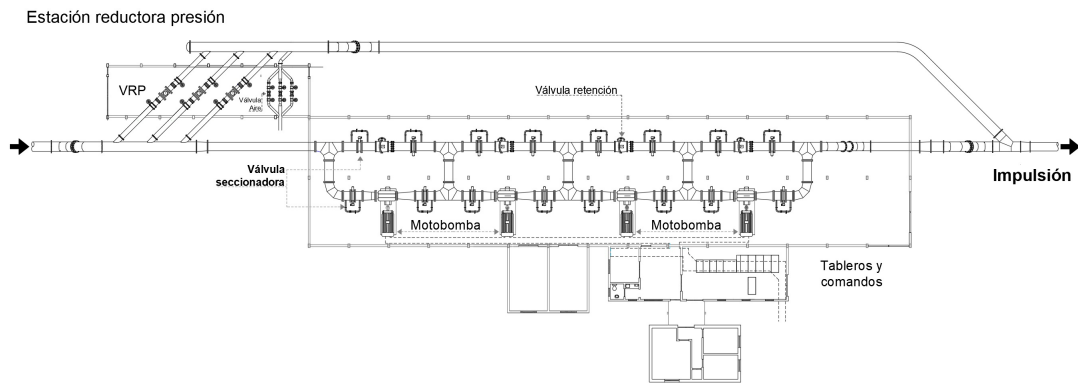


Figura 8.21: Estación de bombeo en línea con bombas en serie

un aumento en la presión sin colocar una cisterna intermedia. La estación de bombeo se diseña como un módulo en *by-pass* de la conducción principal. A su vez, cada bomba es instalada en una derivación lateral, entre válvulas de corte. Sobre la tubería recta se coloca una válvula de retención por cada bomba. El arranque de una bomba hace que se cierre automáticamente la válvula de retención correspondiente, ya que al encender la presión de aguas debajo de la válvula está conectada a la impulsión de la bomba y será mayor que la presión aguas arriba de la válvula, que está conectada con la aspiración de esta, obligando al caudal a pasar sólo a través de la bomba. En sentido inverso, al apagarse una bomba, la válvula se abrirá, evitando que todo el caudal pase por dentro de la bomba detenida. También opera en línea y se va incorporando el caudal de cada bomba en la medida que el crecimiento de la demanda lo requiera. Debe tenerse en cuenta que la predicción del funcionamiento de un sistema en serie o paralelo instalado en línea es una tarea compleja, debido a que, al no contar con cisterna que imponga la presión en el tramo de succión, la presión será variable de acuerdo con el caudal y a la cantidad de bombas que estén operando. Esto requerirá del cálculo de escenarios en todas las condiciones de operación posibles, para verificar el caudal que es entregado y prevenir que se alcancen presiones próximas a la cavitación. En el caso de elegir bombas en cámara seca –tanto la bomba como el motor están fuera del agua–, la bomba se ubica en un pozo con una cota de fondo menor que la cisterna desde donde aspira, de forma tal que la campana de aspiración tenga la sumergencia adecuada para evitar el ingreso de aire aun para el nivel mínimo de la cisterna.

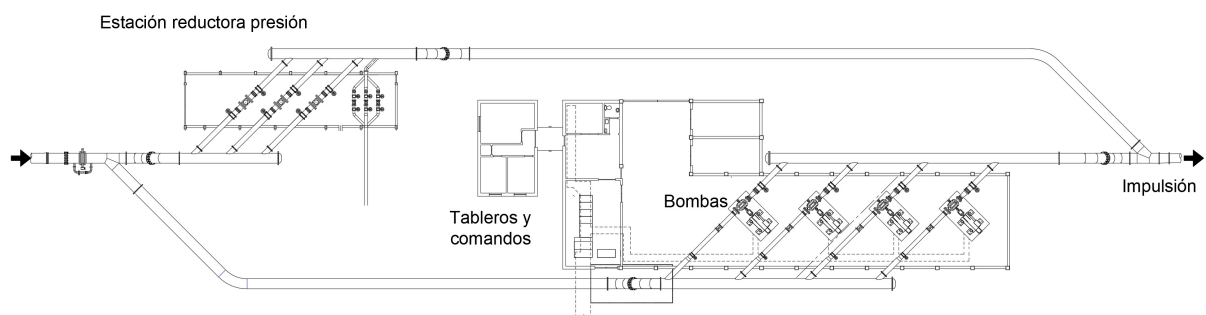
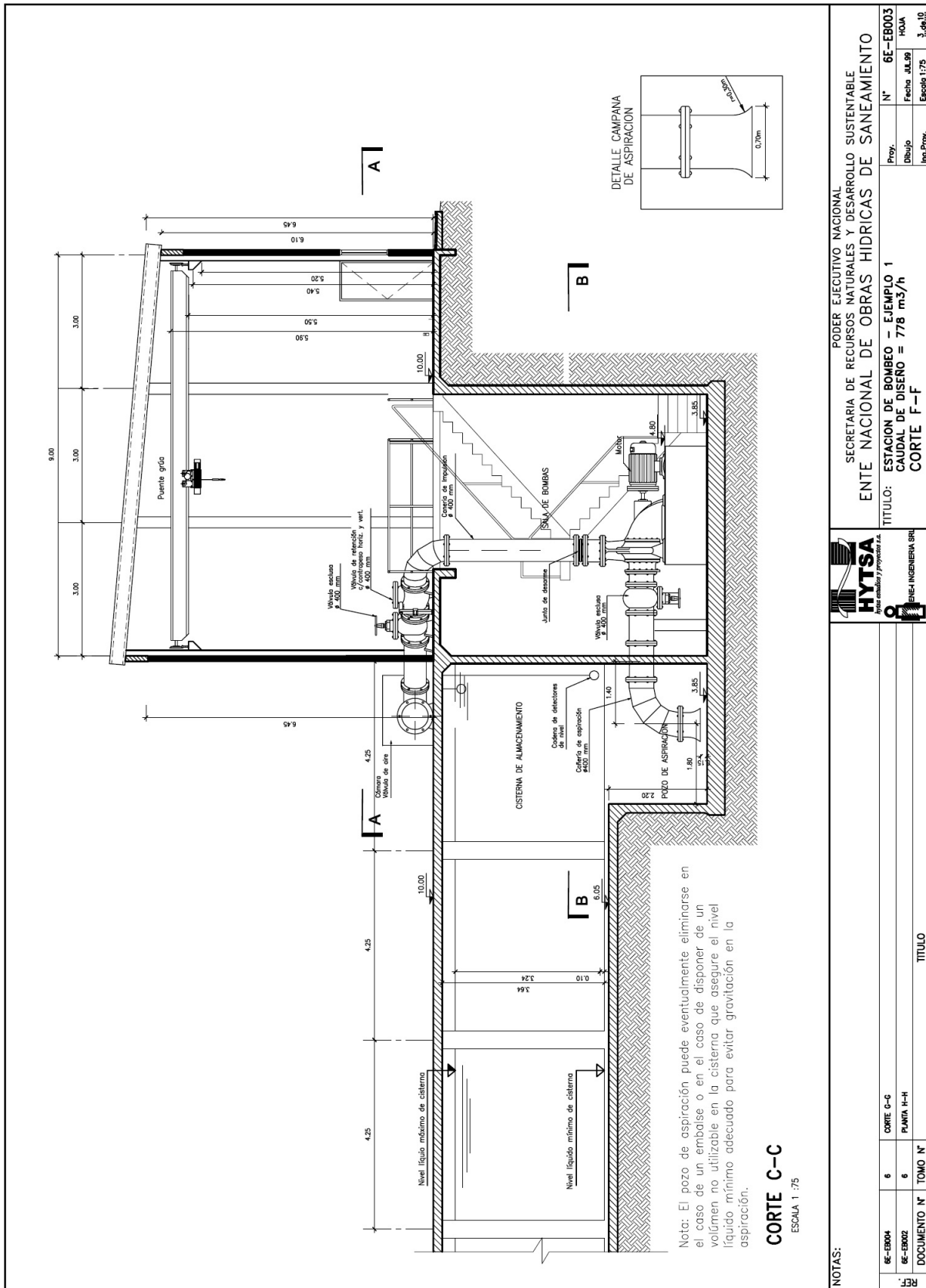


Figura 8.22: Estación de bombeo en línea con bombas en paralelo

En la Fig. 8.23 se muestra un esquema de instalación propuesto en la guía de diseño del ENOHS (Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento). Obsérvese que la tubería de aspiración no tiene una válvula de retención, dado que la bomba se encuentra por debajo del nivel

mínimo de la cisterna. De esta manera, si la bomba estuvo detenida y debe volver a bombear, la succión se encontrará llena de agua. La bomba se encuentra asimismo entre válvulas esclusas que permiten aislarla para reparaciones y mantenimiento. Sobre la impulsión, se instala una válvula de retención (en la planta superior) que evita el vaciado de la tubería en cada parada de bombeo.

La guía del ENOHSa también propone un esquema de instalación con bombas sumergibles con motor en seco, como se muestra en la Fig. 8.24. En este caso la estación de bombeo se conecta con una dársena de tres bombas en paralelo, tomando de forma lateral desde un canal. Aquí, la bomba tiene instalada en la impulsión una válvula de retención y luego una válvula esclusa, que permite seccionar, cuando sea requerido, el tramo entre el *manifold* y cada una de las bombas (Fig. 8.25).



NOTAS:

6E-EB04	6	CORTE C-C	6E-EB003	Proy.	N°	6E-EB003
6E-EB02	6	PLANTA H-H	6E-EB003	Dibujo	Fecha	JUL 99
RF			6E-EB003	Ing. Proy.	Escala	1:75
TITULO			PODER EJECUTIVO NACIONAL			
			SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE			
			ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
			TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 1			
			CAUDAL DE DISEÑO = 778 m ³ /h			
			CORTE F-F			
			INGENIERIA SRL			

Figura 8.23: Instalación de bombas de cámara seca (ENOHSA)

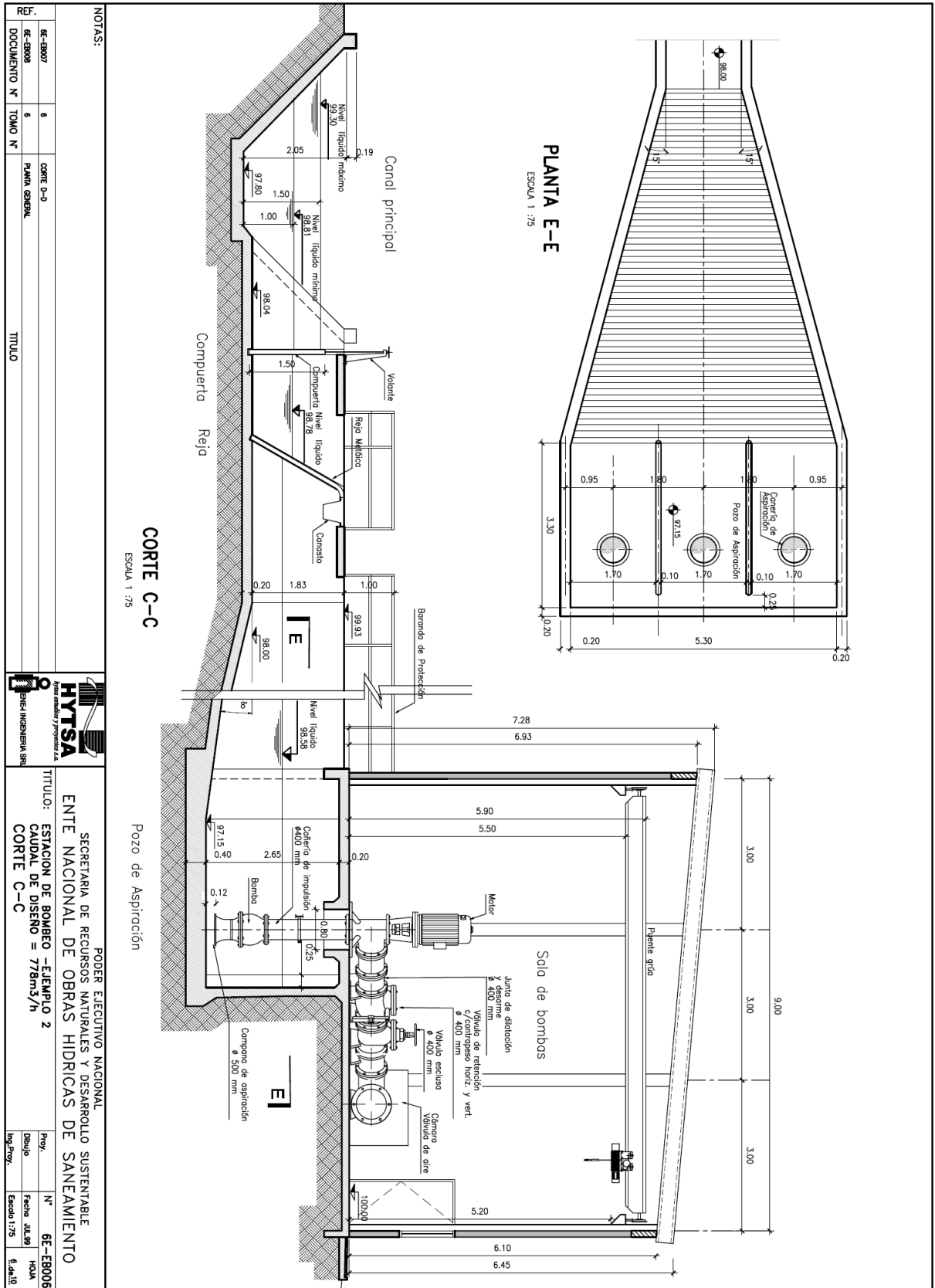


Figura 8.24: Instalación de bombas sumergibles con motor en seco (ENOHSA)

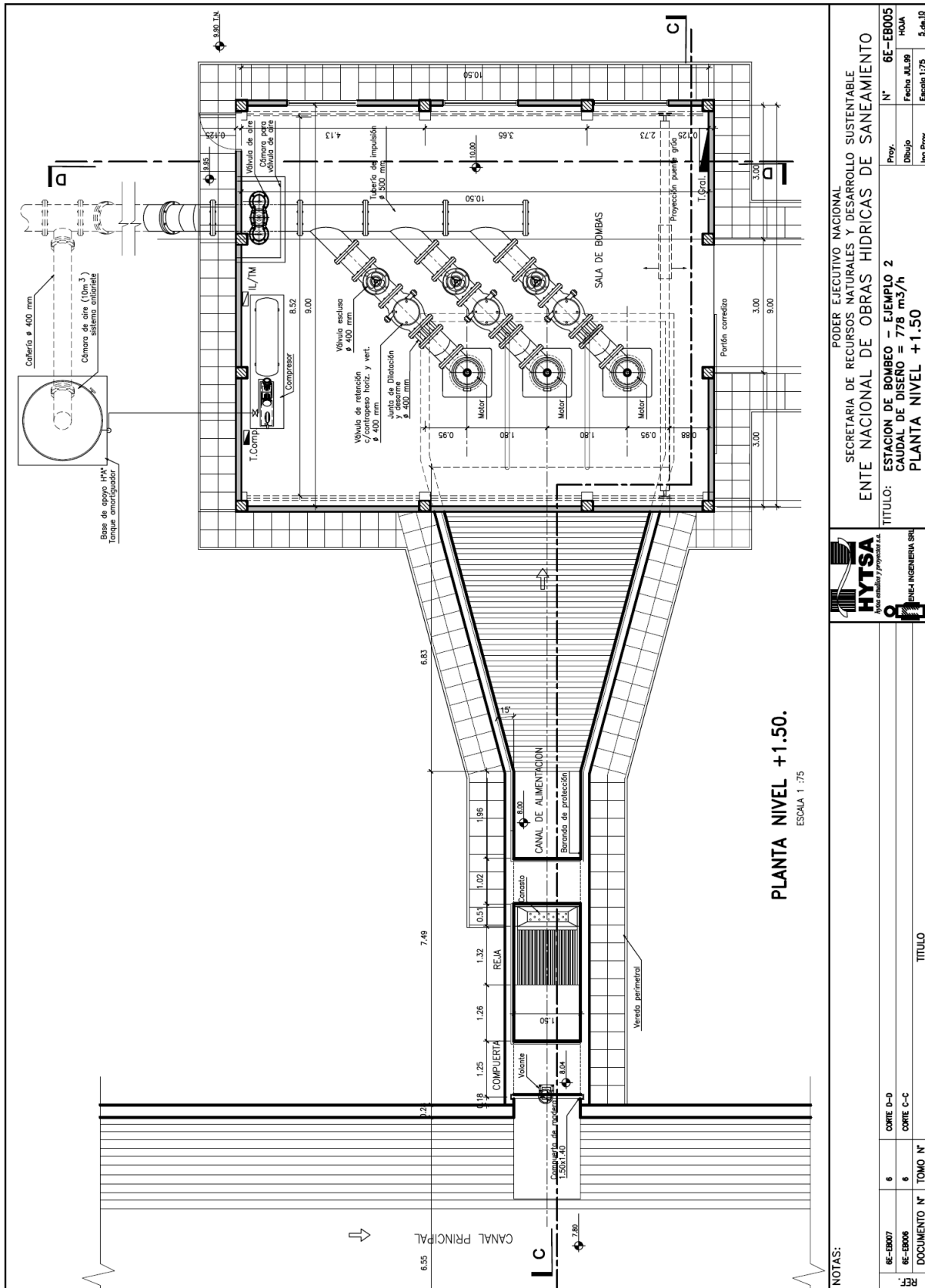


Figura 8.25: Planta del nivel superior (+1.5). Instalación de bombas sumergibles con motor en seco (ENOHSA). Se observa la disposición de las válvulas esclava y de retención, junto con las juntas de dilatación de la tubería

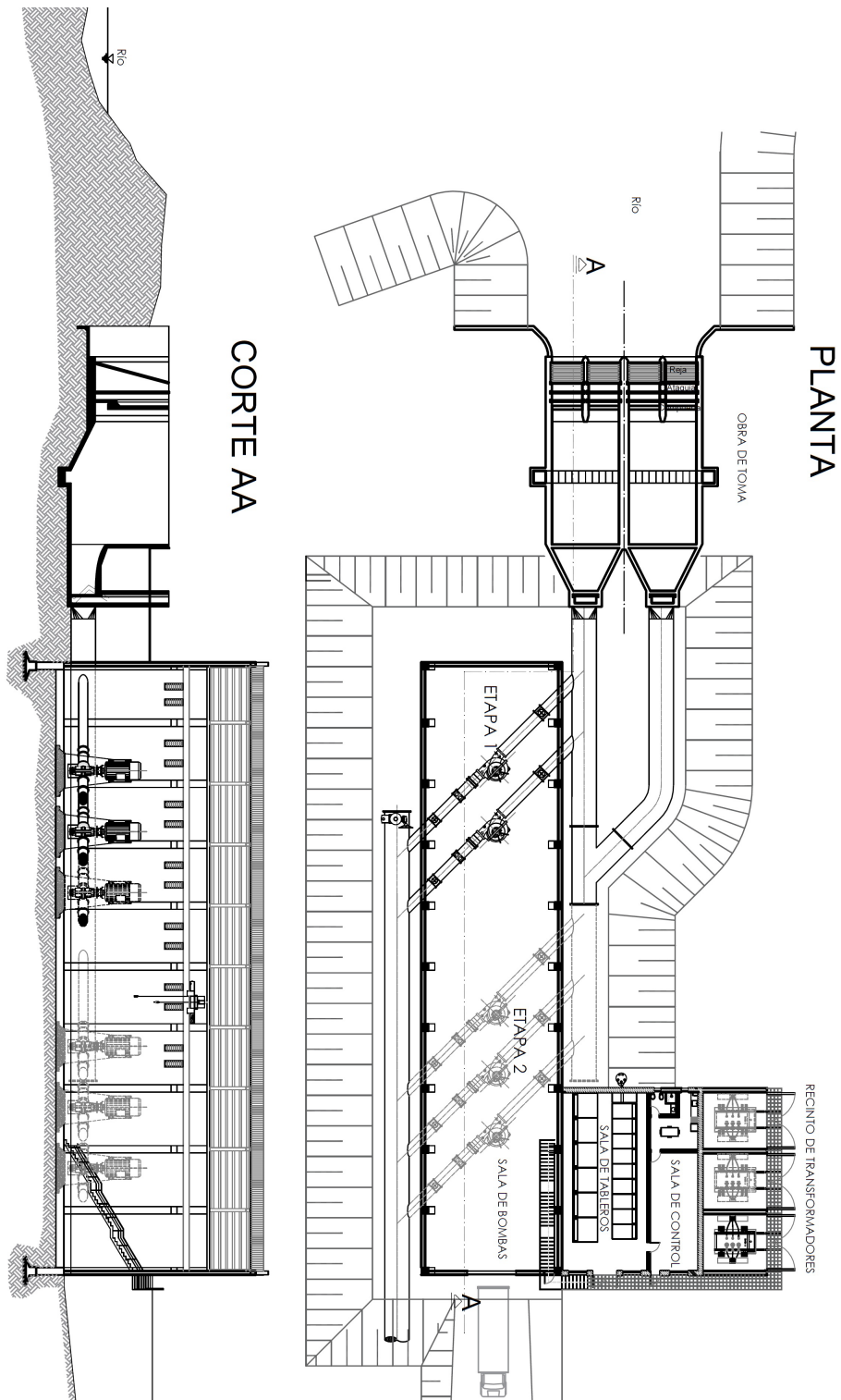


Figura 8.26: Estación de bombeo con bombas de doble succión y motor vertical, tomando desde un río. Puede observarse la futura ampliación de la EB para llegar al caudal de demanda máximo

En la Fig. 8.26 se muestra otro esquema de una estación de bombeo que toma de un río y dispone de un grupo de bombas de doble succión en paralelo en dos dársenas que alimentan sendas tuberías de aspiración. El crecimiento de la estación de bombeo está planteado de forma tal que en la primera etapa solo se instalan tres bombas y en una segunda etapa se instala otras tres para llegar a la máxima capacidad de bombeo.

Tipos de válvulas reguladoras del caudal

La regulación depende de las características de la bomba y de la válvula. La actuación de la válvula hace que se modifique la curva característica del sistema, tal que se desplace hacia zonas de operación de bajo rendimiento de la bomba. Un aspecto para tener en cuenta al regular el caudal con estas válvulas es la forma de la curva de la bomba. Las bombas multietapas, de número específico bajo y simple succión, tienen un sector de la curva $H - Q$ con muy poca pendiente. Usualmente, cuando se las coloca en paralelo, este sector de baja pendiente se torna casi horizontal, de manera que una pequeña variación de la pérdida de carga que introduce la válvula al cerrar provoca una gran variación del caudal (Fig. 8.27, abajo).

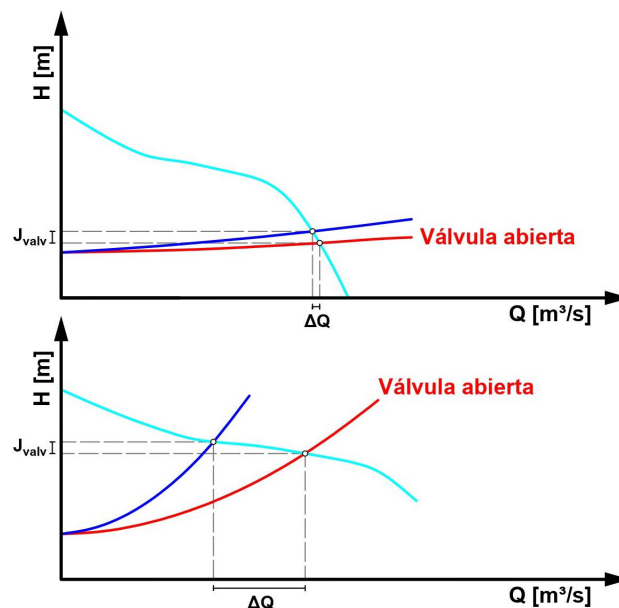


Figura 8.27: Regulación del caudal por medio de dos tipos de válvula. Obsérvese que, si la válvula se entrecierra (el sistema se desplace de la posición en rojo hasta la posición en azul), la variación del caudal puede ser insignificante (arriba) o significativa (abajo)

En el mercado se ofrecen distintos tipos de válvulas para regular el caudal, algunas de ellas diseñadas para una regulación fina y para evitar el deterioro del material del cuerpo de la válvula por cavitación, como es el caso de la válvula multichorros, cuyo diseño se muestra en la Fig. 8.28. Constan de un cilindro perforado a través de cuyos orificios ingresa el caudal en dirección radial, de tal manera que la disipación de energía se produce en el choque de los chorros entre sí, sin afectar el material de la válvula. Están provistas de un cilindro obturador deslizante, que deja expuesta cierta cantidad de orificios, de manera que el ajuste del caudal puede ser realmente fino.

Otro tipo de válvula reguladora del caudal es la mostrada en la Fig. 8.29, en la cual el desplazamiento relativo de dos discos paralelos provistos de orificios permite la regulación fina del caudal, dejando expuesta un área de escurrimiento variable. Cuando se trata de regular el caudal mediante una válvula, estos tipos de válvulas de múltiples chorros tienen ventajas respecto a las válvulas clásicas, que obturan gradualmente la sección, ya sea, haciendo rotar un disco (o una esfera perforada), o desplazando linealmente un elemento plano (válvulas esclusas, globo, mariposa, etc.), que en cambio pueden usarse como válvulas de corte o seccionamiento, para aislar tramos de conducción, es decir, para estar solo en dos posiciones: totalmente cerradas o totalmente abiertas (comúnmente denominadas válvula *on/off*).

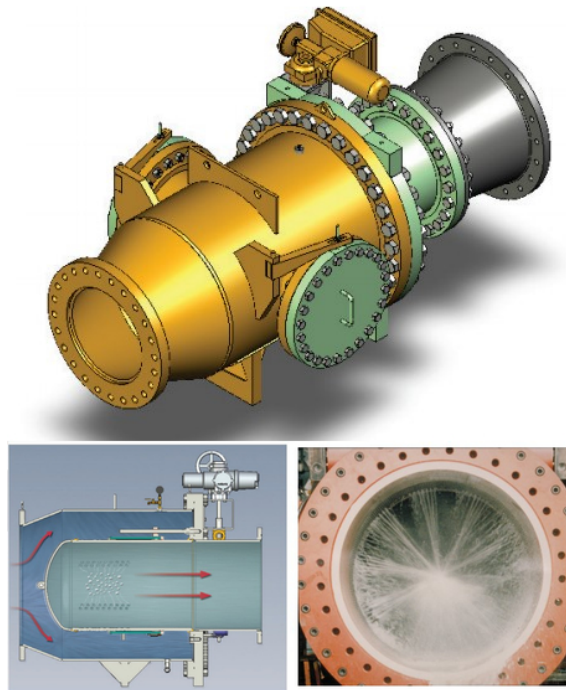


Figura 8.28: Válvula reguladora de caudal de múltiples chorros con cilindro (fuente: <http://bitly.ws/dCaP>)



Figura 8.29: Válvula reguladora de caudal de múltiples chorros plana (fuente: <http://bitly.ws/dCbL>)

Referencias

Fig. 8.28: <http://bitly.ws/dCaP> en <https://www.henrypratt.com>. Obtenido el 27 de mayo de 2021

Fig. 8.29: <http://bitly.ws/dCbL> en <https://www.cmovalves.com>. Obtenido el 27 de mayo de 2021