

INDICE

I. ESTACIONES DE BOMBEO	3
I.1. DEFINICIÓN.....	3
I.2. NECESIDAD DE UNA EB	3
I.3. DIFERENTES TIPOS DE EB.....	3
I.3.1. La Estación de Rebombeo	6
I.3.2. EB Inundada o de Cámara Seca	6
I.4. CRITERIOS DE DISEÑO DE UNA EB	8
I.4.1. Confiabilidad	8
I.4.2. Economía	8
I.4.3. Adaptabilidad	9
I.4.4. Versatilidad.....	9
I.4.5. Seguridad	10
I.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	11
I.6. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	11
I.6.1. Impacto Ambiental	11
I.6.2. Objetivos Medioambientales	12
II. COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA EB.....	13
II.1. OBRAS CIVILES	13
II.1.1. Canal de Entrada / Aducción	13
II.1.2. Pozo de Bombeo o Cámara de Succión.....	13
II.1.3. La Casa de Bombas	14
II.2. OBRAS ELECTROMECAÑICAS	15
II.2.1. Compuertas	16
II.2.2. Rejas	16
II.2.3. Trituradores	17
II.2.4. Bombas	18
II.2.5. Colector de salida	18
II.2.6. Válvulas	19
II.2.7. Amortiguadores de vibración	21
II.2.8. Motores.....	22
III. ANEXO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	28
III.1. NOCIONES DE HIDRÁULICA - DEFINICIONES	28
III.1.1. Caudal.....	28
III.1.2. Presión	28
III.1.3. Altura de columna de líquido	28
III.1.4. Altura manométrica de una bomba.....	29
III.2. FÓRMULAS	29
III.2.1. Potencia hidráulica	29
III.2.2. Potencia mecánica	30
III.2.3. Radio Hidráulico	30
III.3. ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD	30
III.4. ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	31
III.4.1. Ecuación de Bernoulli para líquidos reales	32
III.4.2. altura de bombeo [Hb].....	32

III.5.	PÉRDIDAS DE CARGA	33
III.5.1.	Otras Pérdidas de Carga.	33
III.6.	LA FÓRMULA DE MANNING.	34
III.6.1.	Velocidad límite en alcantarillas	35
III.7.	CURVAS DE SISTEMA	36
III.8.	CASOS PRÁCTICOS	37
III.8.1.	Problema 1	37
III.8.2.	Problema 2	37

I. ESTACIONES DE BOMBEO

I.1. DEFINICIÓN

Una Estación de Bombeo (EB) (también llamada Estación Elevadora (EE)), es una instalación hidroelectromecánica destinada a forzar el escurrimiento de una vena líquida para que ésta llegue a destino en las condiciones previstas en su diseño.

Por hidroelectromecánica se entiende aquella instalación donde se conjugan los componentes y estructuras hidráulicas en primer lugar, mecánicas, eléctricas y últimamente también las electrónicas.

Por lo general esta instalación está contenida en una obra civil, motivo por el cual la EB reúne en si misma los conocimientos de casi todas las ramas de la ingeniería.

En rigor “forzar el escurrimiento” se refiere a impartirle al líquido una determinada cantidad de energía proveniente de una bomba, la cual a su vez la recibe en forma mecánica en su eje.

En consecuencia una EB es una instalación hidroelectromecánica donde se le imprime al líquido que pasa por ella una cierta cantidad de energía hidráulica suministrada por una máquina hidráulica llamada bomba, la cual se alimenta mecánicamente desde un motor.

I.2. NECESIDAD DE UNA EB

Son muy variadas las necesidades que llevan al diseñador de la instalación hidráulica a colocar en algún punto de ella una EB.

Por lo general podemos afirmar que a excepción de alguna instalación que se alimente con agua proveniente de un río de montaña o del agua de lluvia, casi todas requieren una bomba para impulsar el líquido con el caudal, la presión y la velocidad deseada.

Desde el punto de vista de la Ecuación General de Conservación de la Energía (o Ecuación de Bernoulli), toda vez que el primer miembro de la ecuación sea menor que el segundo, hará falta el aporte externo de energía hidráulica, materializado por la instalación de una (o varias) bombas/s. En fórmula sería:

$$p_1/\gamma + z_1 + v_1^2/2g < p_2/\gamma + z_2 + v_2^2/2g + \Delta H \text{ [m]}$$

Esta desigualdad se transforma con el agregado de la energía (Hb) aportada por la bomba en:

$$p_1/\gamma + z_1 + v_1^2/2g + \mathbf{Hb} = p_2/\gamma + z_2 + v_2^2/2g + \Delta H \text{ [m]}$$

En consecuencia, partiendo de la definición anterior, podríamos afirmar que allí donde se colocó una bomba, se ha instalado también una EB. En este sentido una perforación de agua también sería una EB, ya que su misión es forzar el agua de la napa a salir hacia la superficie, lo que de otro modo no sería posible por sus propios medios.

Sin embargo, nosotros nos habremos de referir a las instalaciones hidroelectromecánicas que están contenidas dentro de una obra civil.

I.3. DIFERENTES TIPOS DE EB

Como fuera mencionado anteriormente, casi todas las instalaciones hidráulicas requieren una EB. Si bien todos los líquidos son factibles de bombearse, nos referiremos en adelante a las instalaciones para el bombeo de agua.

En particular, en la ingeniería hidráulica y sanitaria tenemos tres tipos de EB, según sea el tipo de agua a bombear:

- Las EB para agua potable
- Las EB cloacales
- Las EB pluviales

La característica distintiva de estas EB es que todas ellas tienen un recinto llamado pozo de bombeo, donde llega el agua y desde donde las bombas se alimentan para impulsarla fuera de la instalación. El caudal de la/s bomba/s puede o no coincidir con el caudal afluente al pozo, en cuyo caso éste actúa como recinto pulmón.

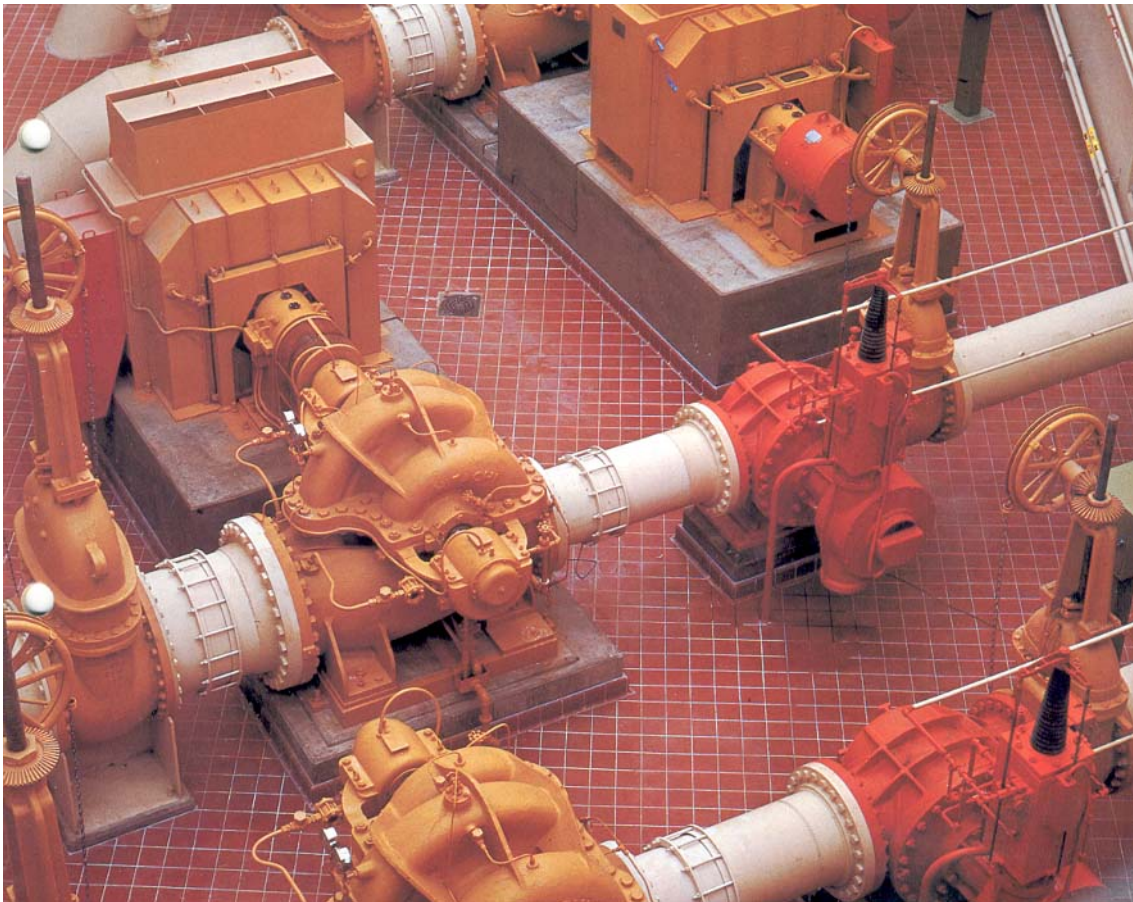


Fig. I.1 – Estación de bombeo para agua potable



Fig. I.2 – Estación de bombeo para líquidos cloacales

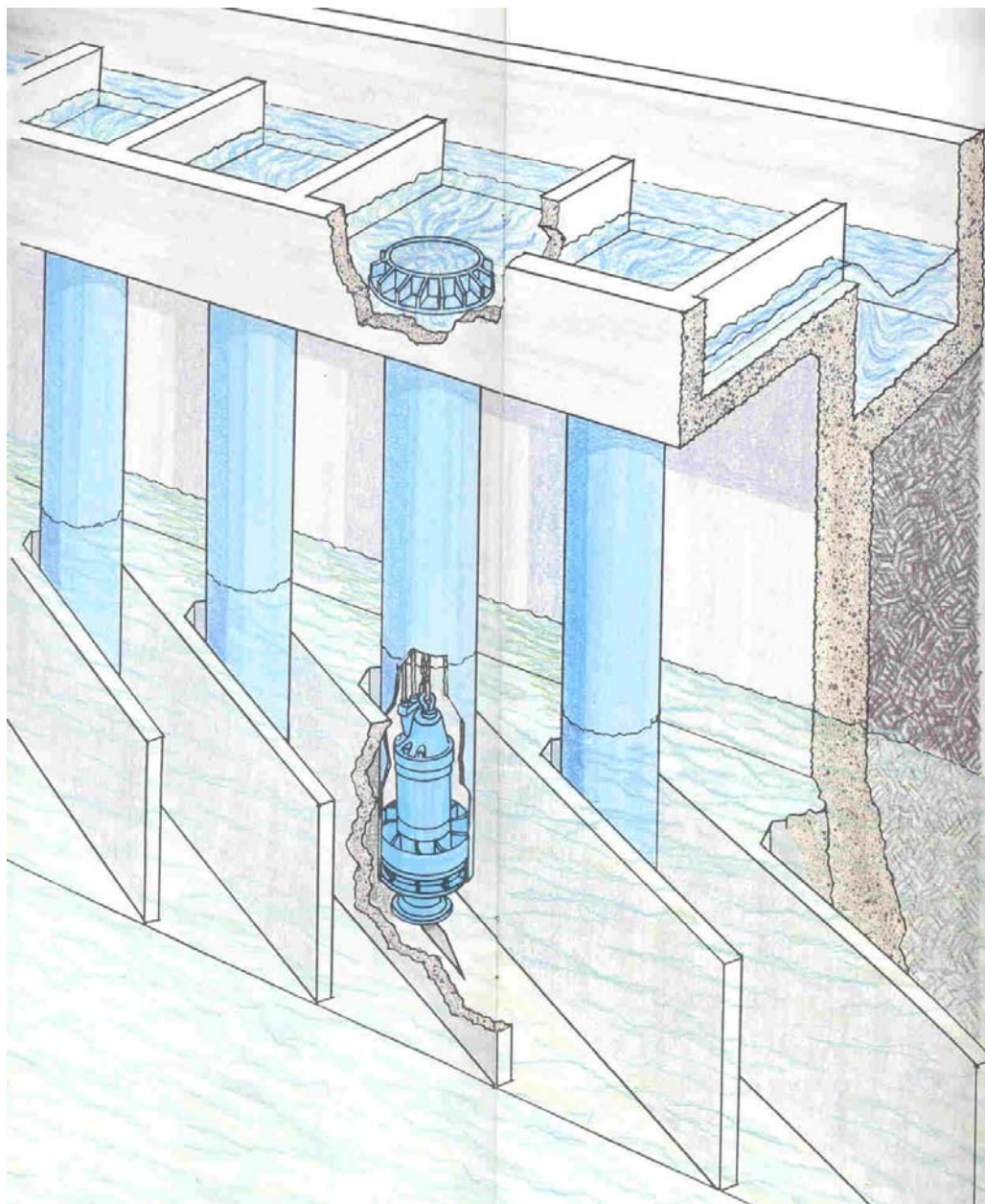


Fig. I.3.- Estación de bombeo pluvial

I.3.1. LA ESTACIÓN DE REBOMBEO

Existe una cuarta categoría de EB, utilizadas cuando en una línea se necesita incrementar la presión de toda el agua que llega, sin acumularla o cederla.

Este tipo de instalación se denomina Estación de Rebombeo y se diferencia de las anteriores por carecer de pozo de bombeo. Por ende, el caudal impelente de la/s bomba/s debe ser igual al caudal entrante.

I.3.2. EB INUNDADA O DE CÁMARA SECA

Por la forma en que el equipo de bombeo está dispuesto en el pozo de bombeo, las EB se clasifican en: **EB Inundadas** (figs I.2 y I.3), cuando las bombas están sumergidas en el líquido a bombear y **EB de Cámara Seca** (fig I.1) cuando las bombas están ubicadas en una sala contigua al pozo de bombeo.

Se muestran a continuación otros dos casos típicos de EB inundada y de cámara seca.

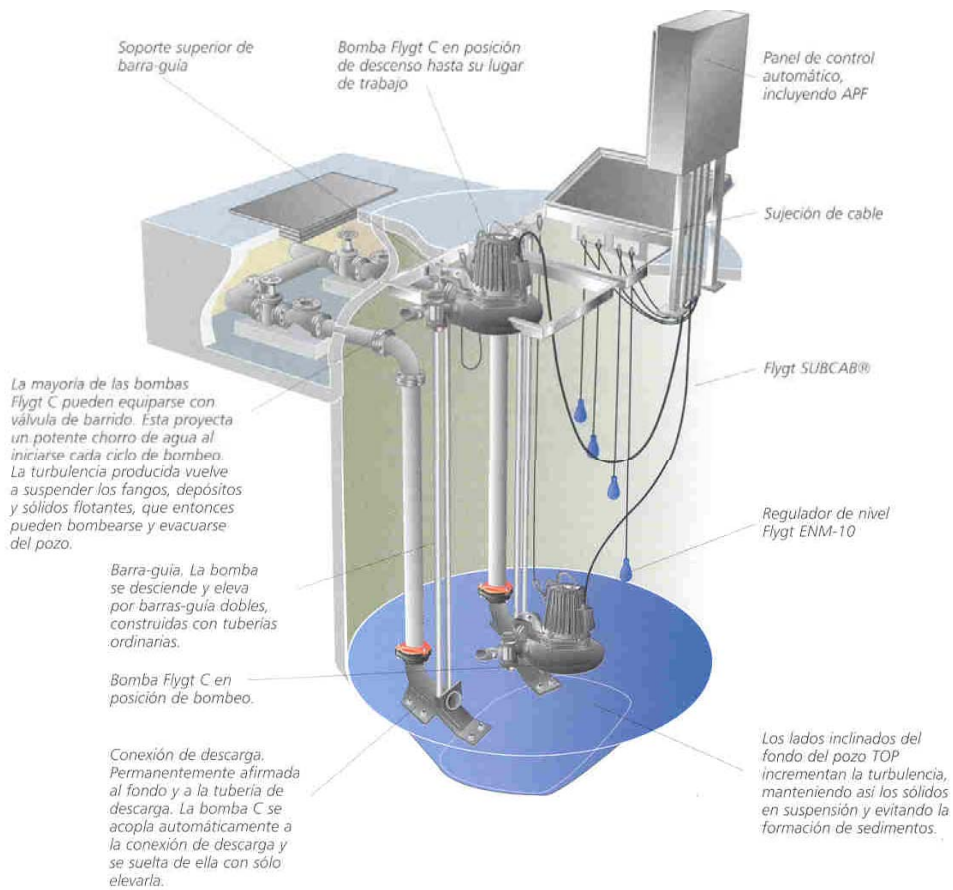


Fig. I.4.- Estación de bombeo cloacal tipo inundada (con electrobombas sumergibles)

ALCANCE DE LOS TRABAJOS



Fig. I.5.- Estación de bombeo con bombas verticales a la izquierda

Si bien el comportamiento hidráulico entre una y otra es semejante, no lo es en cambio su costo constructivo ni su costo de mantenimiento. En líneas generales se pueden establecer las siguientes diferencias¹ de la EB inundada respecto de la de cámara seca:

- La EB inundada requiere menos espacio en planta, por ende, la obra civil resulta más económica.
- Si la EB inundada posee electrobombas sumergibles toda la estación puede instalarse debajo del nivel de calzada o acera. Por ende posee menos impacto visual.
- En la EB inundada los equipos son más costosos, sean las bombas verticales del tipo turbina con motor arriba o las electrobombas sumergibles.
- El mantenimiento de los equipos en una EB inundada es más costoso.
- Las EB de cámaras seca requieren por lo general personal de menor especialización

I.4. CRITERIOS DE DISEÑO DE UNA EB

Existe un sinnúmero de criterios a ser aplicado en el diseño de una EB. Sin perjuicio de ello, pueden establecerse las siguientes pautas generales.

I.4.1. CONFIABILIDAD

Las EB son uno de los puntos más vulnerables de la instalación hidráulica. Su falla manifestada como salida de servicio puede causar un daño muy grande no solo a la instalación en si misma, sino a los propios usuarios.

Por caso, la salida de servicio de una EB de drenajes pluviales en el momento de la máxima tormenta podría causar un daño por inundación a las viviendas cercanas de esa cuenca, interrupción de otros servicios públicos esenciales (luz, gas, teléfono, agua, etc.) e incluso riesgo de accidentes fatales.

De mismo modo, un EB cloacal que deja de funcionar por una falla puede anegar con líquidos residuales toda un área cercana a la estación, con riesgo cierto de contaminación.

En síntesis, la falta de confiabilidad en el funcionamiento de una EB desbarata todos los beneficios que el proyecto de la instalación sanitaria o hidráulica pretendía traer a esa población. Consecuentemente, la primera consideración a tener en cuenta en el diseño de una EB es - precisamente - su confiabilidad de funcionamiento.

Para ello los equipos seleccionados deben ser robustos y de construcción sencilla, ajustados a los requerimientos del servicio.

Los aspectos arquitectónicos no prevalecen en el diseño de la casa de bombas. Ello no quita que la fachada externa de la obra civil sea acorde con el resto de arquitectura del sitio, en particular si la EB debe erigirse en una zona residencial o turística.

I.4.2. ECONOMÍA

Si bien por lo general el costo de una EB es pequeño comparado con el costo total de la instalación, ello no quiere significar que el mismo no deba ser considerado en el momento del diseño.

¹ En una comparación rigurosa deben considerarse elementos técnicos que escapan a los alcances de este curso.

Es importante aquí distinguir que servicio habrá de cumplir la EB. Si el servicio es continuo (como por ejemplo en la EB cloacales o de agua potable), prevalece el criterio del mejor rendimiento de los equipos de bombeo. Pero si se trata de una EB de aguas pluviales, donde la frecuencia de su funcionamiento es muy baja (sólo funcionan cuando llueve), el criterio del máximo rendimiento no es un atributo superior al resto.

Sin perjuicio de ello, debe observarse que aún en una EB pluvial un buen rendimiento de las bombas puede hacer disminuir la potencia requerida de sus motores, bajando en consecuencia la potencia eléctrica instalada de la Estación. Ello es particularmente importante, a la hora de establecer las tarifas del servicio eléctrico.

Los estudios económicos para determinar la mejor eficiencia de las bombas y por tanto, el menor consumo de energía de la Estación deben hacerse teniendo en cuenta el tipo de servicio que habrá de prestarse. En el primero de los casos es válido tomar para el cálculo de la energía consumida 24 horas de funcionamiento diario, durante los 365 días del año. En cambio en el segundo caso considerado, la cantidad de horas anuales de trabajo de las bombas es muy baja (dependiendo de la hidrología del sitio), perdiendo peso el atributo de una mejor eficiencia de los equipos de bombeo.

I.4.3. ADAPTABILIDAD

Otro aspecto también importante en el diseño de una EB es la posibilidad de su adaptación a los cambios funcionales a lo largo del tiempo.

Ello impone la necesidad de conocer cuales habrán de ser al final de la vida útil del proyecto las condiciones de funcionamiento (básicamente el caudal). Partiendo de ese dato, se puede dimensionar un sistema modular que vaya incorporando unidades a medida que aumente la demanda.

En este sentido lo más apropiado es dimensionar la obra civil para la condición extrema de máxima capacidad y los equipamientos electromecánicos en función de las necesidades próximas.

Respecto de esto último se abren dos posibilidades:

- La casa de bombas se diseña para alojar (por ejemplo) seis equipos, pero sólo se instalan cuatro, dejando vacíos los espacios restantes. Al cabo de cierto tiempo se coloca un quinto equipo igual a los anteriores y más tarde el sexto.
- La casa de bombas se diseña para alojar (por ejemplo) cuatro equipos de capacidad Q , pero al principio se instalan bombas de inferior caudal. Al cabo de cierto tiempo se reemplazan esos equipos por los originalmente previstos.

Este criterio es empleado a menudo haciendo coincidir la fecha del aumento de la demanda de la capacidad de la EB con el período de amortización de los equipos. Debe tenerse en cuenta asimismo que el reemplazo de equipos de bombeo conlleva también el reemplazo de elementos de maniobra y control, tableros, transformadores, etc.

I.4.4. VERSATILIDAD

Esta propiedad está ligada a la anterior por cuanto se refiere a las posibilidades de la EB de adaptarse a las condiciones variables de funcionamiento, conforme aumente o disminuya la demanda a lo largo del día, la semana o el mes.

A diferencia del criterio anterior, el cual se refería a las posibilidades de la EB de ir incrementando su capacidad a medida que aumenta la demanda, la versatilidad significa poder adaptarse a los cambios de la capacidad de bombeo en más o en menos. Por ejemplo:

- El bombeo de líquidos cloacales durante el período nocturno, el cual suele ser muy inferior al bombeo de la hora pico.
- El bombeo de agua de lluvia en una precipitación moderada, el cual a veces es una fracción muy pequeña del caudal para el que fue diseñada la EB.

En estos casos y tantos otros donde la capacidad de bombeo varía sustancialmente, una de las formas más sencillas de operar las EB es instalando varias bombas (en general iguales entre sí). Según sea la demanda, se pondrán en marcha o pararán una o más unidades de bombeo.

Los sistemas de bombas múltiples tienen respecto de aquellos de pocas unidades una mayor versatilidad, porque el arranque (o parada) progresivo permite un escalonamiento menos pronunciado. En el apartado de “Seguridad” se exponen otras consideraciones de interés.

Por ejemplo: Se debe diseñar una EB para una capacidad de bombeo de 1800 m³/h.

El proyectista puede adoptar como criterio de diseño, la instalación de 2 equipos de 900 m³/h, o bien 3 de 600 m³/h o tal vez 4 de 450 m³/h. Los casos extremos serían: una sola bomba de 1800 m³/h y por el otro lado muchas bombas de caudal muy pequeño.

Descartando estos extremos y sin perjuicio de considerar un incremento de costos en la obra civil a medida que crece el número de bombas a instalar, el análisis desde el punto de vista de la versatilidad de la estación muestra la siguiente:

- La salida de servicio de una bomba en el primer caso, reduce la capacidad de bombeo en un 50%.
- En el segundo caso la capacidad de bombeo se reduce en un 33%.
- En el tercer caso la capacidad de bombeo se reduce en un 25%.

Por supuesto que la evaluación de la mejor disposición no se agota con este análisis, ya que deberían considerarse cuestiones como los rendimientos de los equipos, confiabilidad, costos, etc.

Más adelante se desarrollará el método para calcular el número óptimo de bombas operables en una EB.

I.4.5. SEGURIDAD

Este es otro aspecto que se refiere a la seguridad de funcionamiento y que está muy ligado a la confiabilidad señalada anteriormente.

Un criterio de seguridad que el proyectista debe adoptar es el referido a la “capacidad de reserva”. Esto es: la cantidad de equipos en reserva que la EB debe poseer, a fin de garantizar que ante la salida intempestiva o programada de un equipo haya otro en condiciones de poder sustituirlo.

Esta cantidad de equipos de reserva está en función de la cantidad de equipos operables, definidos por el proyectista. El siguiente cuadro muestra una forma de determinar el número **Nr** de equipos de reserva que es utilizado en la industria que trabaja con máquinas de proceso.

Nº Máq. Operables (n)	Nº Eq. Reserva (Nr)
1 a 5	1
6 a 12	2
12 a 25	3
más de 25	Consultar c/fabr

Sin embargo, atento a que las EB rara vez se diseñan con más de cinco bombas operando, la cantidad de bombas de reserva suele ser una. Conforme a este criterio, ninguna EB por más pequeña que sea debería tener menos de dos bombas en su interior.

Asimismo, ligando el criterio de la seguridad con el de la versatilidad, se puede observar otra característica ventajosa de tener varias bombas en lugar de pocas o una sola. En efecto, si usamos el ejemplo del aparatado anterior tendríamos que el costo de equipamiento electromecánico por disponer de una bomba de reserva se incrementaría en:

- Un 50% en el primer caso
- Un 33% en el segundo caso
- Un 25% en el tercer caso.

El caso más desfavorable sería el de la EB con una sola unidad operable, por cuanto la inversión en el equipamiento electromecánico se duplica.

Análogo al apartado anterior, este criterio se complementa con el método para determinar el número óptimo de bombas en una EB que se verá más adelante.

I.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Es obvio que el diseño de una EB debe considerar la facilidad en la operación de sus elementos, así como la sencillez en las tareas de mantenimiento.

Sin embargo, es muy importante destacar algunos aspectos del entorno donde va a estar operando la EB, que pueden modificar los criterios técnicos con que el proyectista diseñe la instalación. Por ejemplo:

- Disponibilidad de mano de obra calificada
- Disponibilidad o accesibilidad de repuestos.
- Sencillez tecnológica de los componentes.
- Vigilancia continua o esporádica de la EB.
- Apoyatura logística para el mantenimiento.

Otro aspecto muchas veces olvidado en los proyectos es la intercambiabilidad de partes. Esto presupone no sólo la instalación de equipos de bombeo iguales (con sus elementos de maniobra y control), sino la posibilidad de intercambiarse con equipos de otras EB, diseñadas obviamente para condiciones semejantes.

I.6. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

La planificación, el diseño, la construcción y la operación y mantenimiento de una EB deben estar acompañadas del cumplimiento de todos los requerimientos ambientales. La mayoría de estos requerimientos son dictados por la normativa ambiental local o provincial e incluso por el propio usuario, si éste es una empresa que tiene sus propias normas ambientales.

En cualquier caso deben tenerse en cuenta todos los aspectos técnicos (estructurales, arquitectónicos, de seguridad, etc) a fin de identificar los potenciales impactos ambientales y definir las limitaciones al diseño.

I.6.1. IMPACTO AMBIENTAL

Las EB afectan de un modo u otro la hidrología y la calidad del agua del cuerpo receptor. Los cambios hidrológicos a menudo cambian otros parámetros ambientales. La siguiente es una lista de los efectos adversos que la instalación de una EB causa sobre el medio ambiente:

- Reducción del oxígeno disuelto
- Incremento de la temperatura
- Incremento de la turbiedad y los sólidos suspendidos.
- Daño a los peces
- Cambios en la hidrología y la hidráulica
- Generación de ruidos y vibraciones
- Impacto visual y estético
- Fuga de combustibles o lubricantes
- Acumulación de residuos en rejillas y contenedores
- Olores
- Derrames

I.6.2. OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES

Las EB pueden y deben provocar un impacto ambiental adverso prácticamente despreciable. La mayoría de estos impactos negativos pueden evitarse o al menos minimizarse a través de una adecuada planificación, diseño, construcción y operación. Para los que no puedan evitarse, deberán tomarse las medidas adecuadas de su mitigación.

La siguiente sería una lista de los pasos a seguir para una adecuada planificación:

1. Identifique todos los objetivos y restricciones ambientales, incluyendo todas las reglamentaciones aplicables, tanto estatales como del cliente.
2. Identifique todos los impactos ambientales, tanto los negativos como los positivos.
3. Incorpore características en el diseño, la construcción y la operación que puedan minimizar los impactos adversos.
4. Cuantifique los impactos adversos inevitables, e incorpore detalles constructivos que lo mitiguen apropiadamente.
5. Incorpore las características de mejoramiento ambiental que satisfagan los deseos de su comitente

Esta lista sólo pretende ser enumerativa de todos los pasos a seguir, sin tener en cuenta la ponderación que el proyectista haga de cada uno de los aspectos mencionados. En efecto, dependiendo de las condiciones de contorno, la cuantificación de los impactos es una tarea muy subjetiva que depende entre otras cosas del tamaño de la instalación, la cercanía a centros poblados, el perjuicio que implica su no construcción, etc.

II. COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA EB

Tal como hemos definido en el Apartado I de este curso, una EB es una instalación hidroelectromecánica contenida dentro de una obra civil.

Atento a ello sus principales constituyentes serán: por un lado las obras civiles, donde se conjugan los conocimientos hidráulicos, estructurales, funcionales y estéticos. Por otro lado, estarán los componentes electromecánicos del equipamiento asociado que permite el funcionamiento de la instalación.

Sin perjuicio de reconocer la íntima vinculación existente entre las obras civiles y las electromecánicas se describen a continuación separadamente los principales constituyentes de cada uno de ellos.

II.1. OBRAS CIVILES

En el caso de las EB de aguas pluviales ó de las EB de cámara seca para servicios cloacales, las obras civiles se componen básicamente de las siguientes partes.

- Canal de entrada/Aducción
- Pozo de bombeo/cámara de succión
- Casa de bombas
- Sala de comando
- Oficina del encargado
- Parques y jardines

Las EB cloacales de cámara húmeda carecen de la mayoría de los edificios citados más arriba.

Se expone a continuación algunas características de las primeras tres estructuras mencionadas, ya que las tres restantes forman parte de la arquitectura de la instalación.

II.1.1. CANAL DE ENTRADA / ADUCCIÓN

Es una estructura hidráulica encargada de hacer llegar el agua al pozo de bombeo sin provocarle a ésta movimientos turbulentos que pudieran ingresar a la aspiración de las bombas.

En las EB para agua potable como en las pluviales deberá procurarse que la dirección de llegada del líquido sea perpendicular a la línea de ubicación de las bombas. De no ser posible esto deberán disponerse de pantallas deflectoras que guíen el líquido hacia cada una de las cañerías de aspiración de las bombas (ver fig. I.3.- del Apartado I). El o los canales de entrada deberán poseer pendientes suaves (no superiores a 10°) tanto en dirección vertical como horizontal. Deben evitarse pues los ensanchamientos o contracciones bruscas de la sección, así como los resaltos.

En el caso de EB cloacales, el canal de entrada en rigor es una cañería cerrada, llamada algunas veces “aducción” o cañería afluente. En estos casos debe evitarse la caída libre del líquido cloacal directamente sobre la superficie del líquido situado en el pozo de bombeo. Para ello se ubica en el pozo de bombeo, delante de la salida del caño afluente, una pantalla deflectora de tal modo de atenuar el efecto de la velocidad del chorro líquido, evitando con ello la formación de espumas y bolsones de aire que pudieran ingresar en la bomba.

II.1.2. POZO DE BOMBEO O CÁMARA DE SUCCIÓN

Este es el recinto hidráulico donde se recibe el líquido que habrá de bombearse. Su función es la de compensar la diferencia de volúmenes que llegan a la EB con los que habrán de bombearse, dado que – como fuera anteriormente mencionado – no siempre coinciden el caudal afluente a la estación [Qa] con el caudal efluente [Qe].

La diferencia de niveles en el pozo de bombeo determina generalmente el momento del arranque de la o las bombas y también el momento de su detención. Ello se logra a través de sendos sensores de nivel que dan la señal de arranque o parada de las bombas.

Dependiendo si la EB es de Cámara Seca o Inundada el pozo de bombeo se dimensiona para alojar solamente el caño de succión de las bombas o bien, toda la bomba completa respectivamente. En ambos casos se deben respetar algunas distancias mínimas entre el cono de succión de la cañería o de la bomba y el fondo, las paredes del pozo y la superficie libre del líquido, a fin de evitar la aparición de vórtices que pudieran provocar un daño a los equipos o al menos, una disminución de su rendimiento.

La siguiente figura muestra en planta una EB pluvial típica del tipo inundada, ubicada en el margen de una laguna de acumulación de aguas de lluvia. A la derecha el canal de entrada de sección trapezoidal variable atraviesa el terraplén de la laguna, para permitir el ingreso del agua por vasos comunicantes. En el centro el pozo de bombeo a cota +2.30 con las tres electrobombas sumergibles, y a la izquierda en cota + 5.05 las válvulas y la cañería de salida.

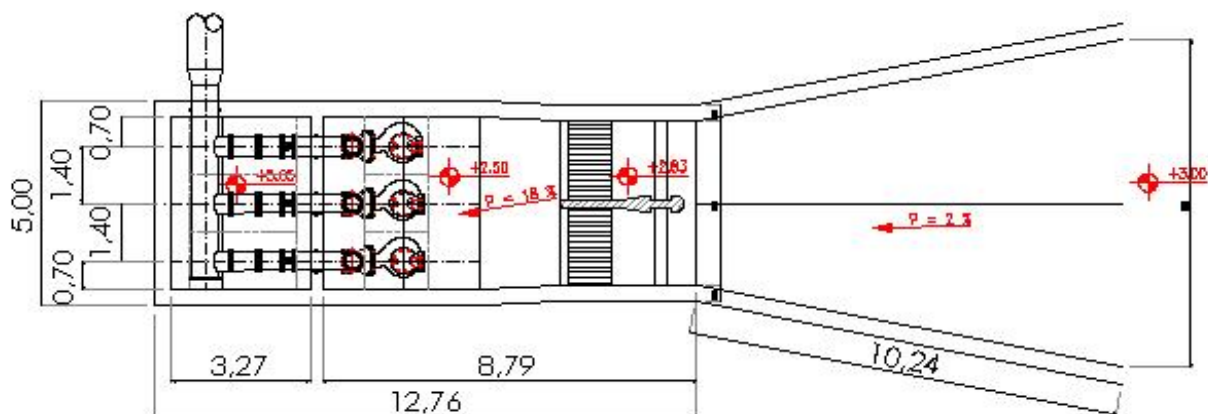


Fig. II.1.- Vista en planta de una EB pluvial con tres bombas sumergibles

Entre todas las distancias mencionadas la sumergencia es la más importante. Ella se define como la distancia entre el cono de succión (o campana) de la bomba y la superficie del líquido. Su valor lo determina por lo general el fabricante del equipo, aunque existe una fórmula para calcularla en función del caudal y el diámetro de la campana.

La adecuada sumergencia de la bomba determina su correcto funcionamiento, libre de vórtices o burbujas en la entrada de ella. Por el contrario, si la sumergencia es inferior a la establecida en el cálculo no sólo se produce una merma en el rendimiento de la bomba, sino lo que es peor, daños mecánicos por vibraciones excesivas y aún cavitación.

II.1.3. LA CASA DE BOMBAS

Esta parte de la estructura es la que aloja la parte “seca” del equipamiento. Por ende, sólo se encuentra en las EB de cámara seca.

En efecto: los cabezales de las bombas (si éstas son verticales), las bombas horizontales, los motores, tableros, órganos de control, etc. son alojados en la casa de bombas. En el caso de equipos medianos o grandes también se incluyen dentro de la casa de bombas los elementos de izaje (grúas o puente grúas), las compuertas, el grupo electrógeno, etc. (ver fig II.2.-)

En las EB inundadas medianas o pequeñas no se requiere este recinto, por cuanto las bombas con sus motores están enteramente sumergidos y sólo emerge en superficie el cable de comando que va hacia el tablero. Las válvulas se disponen en un pequeño recinto contiguo con ingreso restringido.

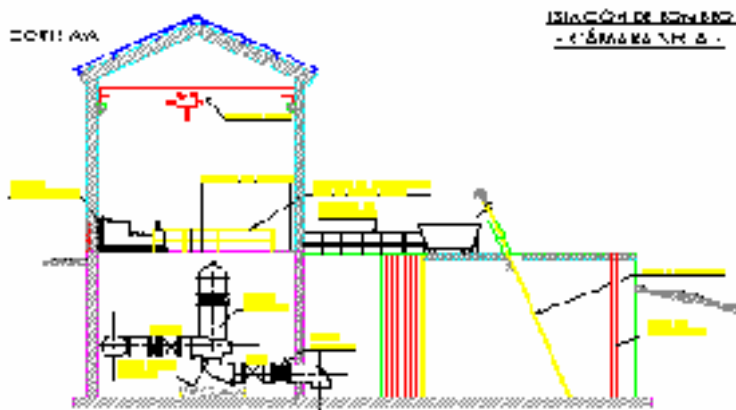


Fig. II.2.- EB de cámara seca. A la izq. casa de bombas

La casa de bombas se completa generalmente con otros aditamentos como el sistema de ventilación, escaleras, barandas, rampas para ingreso vehicular y vigas carrileras (en caso de que se requiera puente grúa para maniobras de izaje), base para el grupo electrógeno, etc.

II.2. OBRAS ELECTROMECAÑICAS

Si bien las instalaciones electromecánicas de las EB pueden diferir entre los tres tipos vistos (EB pluvial, cloacal y agua potable), en general puede afirmarse que todas ellas poseen los mismos componentes, aunque difieran en su diseño constructivo según la función desempeñar. Estos componentes son:

- Compuertas
- Rejas
- Trituradores
- Bombas
- Colector de salida
- Válvulas
- Motores
- Tableros
- Amortiguadores de vibración
- Equipos de izaje
- Iluminación
- Elementos de medición y control, etc

Análogo al caso de las obras civiles, los últimos dos puntos enumerados por su variedad y extensión no se abordarán en el presente curso.

II.2.1. COMPUERTAS

Se utilizan para cerrar el paso del agua, ya sea de uno o varios canales de ingreso al pozo de bombeo, o bien de todo el recinto.

Las compuertas son generalmente del tipo de placa deslizante construidas en metal o también en madera dura. Esta última por lo general se deteriora con el tiempo perdiendo su estanqueidad. Las compuertas metálicas son construidas en fundición de hierro, pero dependiendo de su tamaño, también se construyen en placa de acero recubierta con alguna pintura epoxídica anticorrosiva.

La experiencia en saneamiento muestra que aunque más caras al principio, las compuertas construidas en acero inoxidable, son más duraderas, manteniendo su funcionalidad en toda su vida útil.

Las guías de deslizamiento por lo general van embutidas en los muros laterales. Ello contribuye a mantener un área libre de pasaje de líquidos, pero fundamentalmente evita que se deforme, asegurando así el normal deslizamiento de la compuerta.

El mecanismo de elevación y descenso es una barra roscada articulada en su extremo inferior con el bastidor o placa de la compuerta, atravesando la parte superior un cabezal situado en el nivel superior de la EB.

En los casos de compuertas de gran tamaño (para EB pluviales) las compuertas se construyen con una planchuela soldada a un bastidor rectangular fabricado con perfiles también soldados. La estanqueidad se logra utilizando una junta de goma (tipo burlete) que sella contra las guías laterales. Para asegurar un deslizamiento más suave, la compuerta viene dotada de zapatas laterales de material plástico o también ruedas laterales montadas en el bastidor, con lo cual la fricción contra la guía (o recata) es mínima.

Atento a que las compuertas están sometidas a una carga hidráulica, equivalente a la altura del líquido que se quiere contener, en los casos de componentes de gran tamaño las fuerzas resultantes sobre las guías son muy grandes, por ende la fricción resulta elevada, obligando un muchos casos a poner mecanismos reductores en el cabezal o bien, las zapatas o ruedas descritas anteriormente.

II.2.2. REJAS

Con excepción de las EB para agua potable, las otras instalaciones deben disponer de algún sistema de retención de sólidos. Su función es evitar que el ingreso de éstos no dañen las bombas, como así tampoco interfieran con el proceso de remoción si se trata de una EB dentro de una Planta Depuradora Cloacal.

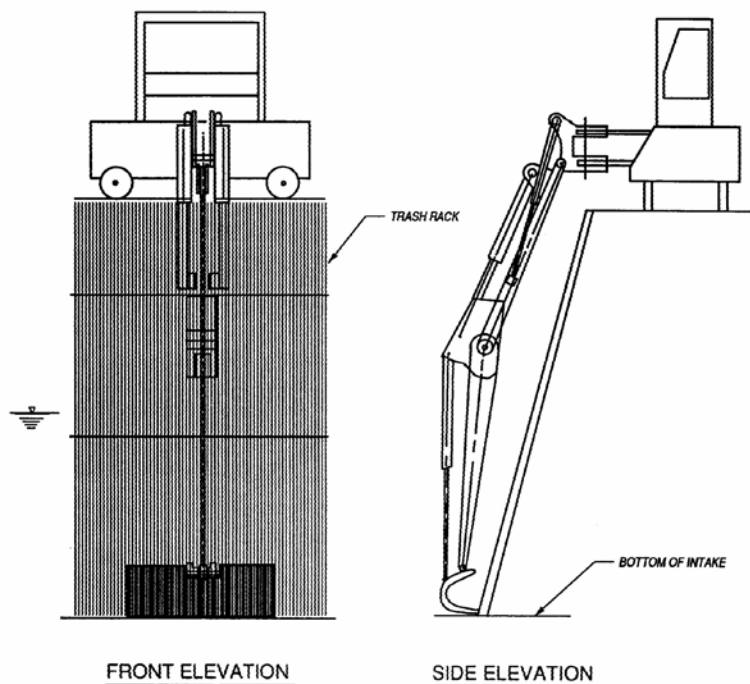


Fig. II.3.- Reja y limpiarrejas

II.2.3. TRITURADORES

Estos son elementos destinados a reducir el tamaño de los sólidos que llegan al pozo de bombeo de la EB cloacal.

El equipo dispone de un sistema de cuchillas o palas que deslizan al ras de una superficie metálica con aberturas (ranuras de 6 a 10 mm de abertura) por donde pasa el líquido a ser filtrado. A medida que los sólidos atraviesan las aberturas de la rejilla, la cuchilla los desmenuza reduciéndole su tamaño hasta hacerlo compatible con la capacidad de bombeo de sólidos de la bomba.

De esta forma, no sólo se protegen las bombas sino también evita el taponamiento u obstrucción de otras partes de la instalación, en particular si ésta es propiamente la planta depuradora.

Cuando estos aparatos funcionan como se espera por el fabricante, no debería ser necesario remover ningún sólido de las aguas residuales, excepto por supuesto, un objeto duro ocasional tal como una piedra o un pedazo de metal. Otra ventaja la constituye el hecho de generar menor cantidad de residuos sólidos a ser evacuados de la planta, ya que la mayoría de éstos queda en la corriente líquida que va al proceso de tratamiento.

Sin embargo, el uso de trituradores esta restringido debido a su limitación para manejar eficientemente objetos tales como astillas, bloques de madera, trapos grandes y otros objetos similares cuyo corte y desmenuzamiento, se lleva a cabo en forma relativamente lenta. Donde exista la posibilidad de que haya sólidos grandes en las aguas residuales, difíciles de triturar, se justifica la instalación de una rejilla antes del triturador. La mejor aplicación de los trituradores es probablemente en estaciones de bombeo pequeñas localizadas en sistemas de recolección de aguas residuales, donde no son frecuentes los problemas de sólidos grandes, difíciles de ser cortados o desmenuzados. En estas instalaciones, es aparente la conveniencia de un dispositivo de rejias requiriendo un mínimo de atención de un operador.

Debido a que el afilar los elementos cortantes de un triturador es una operación grande de mantenimiento, los trituradores no deben usarse si el caudal de aguas residuales tiene grandes

cantidades de arena, que pudieran causar el rápido mellado de sus hojas de cortar. Una consideración adicional en el uso de los trituradores, en estaciones de bombeo que preceden a las unidades de tratamiento, es la tendencia es estas máquinas a permitir el paso de hilachas, películas plásticas y el material fibroso en forma de cordones, que pueden llegar a formar grandes masas entretejidas, particularmente en los tanques de la planta de tratamiento. En algunas plantas se han reportado serios problemas de atascamiento de las bombas de lodos, causados por las masas de material entretejido.

En definitiva la experiencia ha demostrado que las ventajas enumeradas pierden fuerza frente a las desventajas y los problemas que este aparato conlleva, ya que:

- El ingreso de sólidos de menor tamaño a la corriente líquida que va al tratamiento, muchas veces interfiere con el proceso mismo, por cuanto esos sólidos no logran degradarse, con el riesgo de obstruir los canales de lodos de la planta.
- Son elementos costosos por su construcción y con alto costo de mantenimiento, por cuanto las cuchillas pierden filo rápidamente, reduciendo la capacidad cortante del aparato.
- La llegada a sólidos de tamaño superior a las ranuras de la malla del aparato obstruyen el mismo, obligando al operador a monitorearlo periódicamente y remover con un rastrillo dichos elementos.
- Las bolsas de polietileno u otros elementos fibrosos que no pueden ser cortados por el aparato, se enredan en las cuchillas frenando su movimiento, obligando al motor a consumir mayor potencia, hasta que se activan las protecciones eléctricas y la máquina sale de servicio.

En esencial que se proporcionen los medios adecuados para permitir desvíos de los trituradores que permitan darles su mantenimiento.

Por estas razones este aparato ha dejado de utilizarse en las EB cloacales y pluviales.

II.2.4. BOMBAS

La bomba es el corazón del sistema de bombeo y la razón de ser de la EB.

Por su importancia, variedad de tipos, diferentes características constructivas y funcionales, este tema merece ser abordado separadamente en forma específica.

II.2.5. COLECTOR DE SALIDA

Con excepción de las EB en las cuales las bombas pueden descargar “a chorro libre” sobre una platea, pileta o canal de descarga, el resto de las EB (tanto de agua potable como cloacales) poseen una cañería que recoge y colecta todas las descargas de las bombas, para conducir las hacia la cañería de impulsión ubicada a la salida de la estación.

Normalmente este colector de salida se construye con cañería de acero recubierta con pintura epoxi o bien anticorrosiva. Por lo general el colector (llamado también “manifold”) se fabrica en taller y se monta y ajusta en obra.

El diseño más sencillo consiste en un caño recto de diámetro compatible con el máximo caudal a bombear con tantas salidas (o acometidas) perpendiculares como bombas necesiten acoplarse. En uno de los extremos del caño principal esta tapado con una brida ciega, mientras que el otro extremo tiene una brida soldada, que se empalma con el caño de salida de la estación.

Existen colectores mejor desarrollados en los cuales las acometidas de las descargas de las bombas se sueldan en posición inclinada (normalmente a 45° o 60°) respecto del eje del colector y éste se construye con diámetros crecientes en el sentido del flujo.

Atento a los cambios bruscos de dirección y velocidad que ocurren en su interior se generan en el colector un conjunto de fuerzas que deben ser adecuadamente ponderadas. Por tal motivo el conjunto debe ser convenientemente sujetado, usándose para ello zunchos metálicos que abrazan el caño principal del colector. Algunas instalaciones grandes el colector es “anclado” por medio de muros de hormigón de la propia estructura de la casa de bombas. En estos casos el proyectista debe hacer el pertinente cálculo de los esfuerzos actuantes en la estructura, para determinar las dimensiones del “dato de anclaje”.

II.2.6. VÁLVULAS

Análogo al caso anterior, con excepción de las EB pluviales que descargan a “chorro libre”, todas las bombas poseen en la línea de descarga válvulas para regulación, cierre y control.

Asimismo todas las EB de Cámara Seca poseen en la línea de aspiración una válvula de cierre. Las funciones de cada una de ellas es la siguiente:

II.2.6.1. Válvula en la Aspiración

Como fuera expresado anteriormente, en las EB de cámara seca se coloca aguas arriba de la bomba una válvula de cierre, a fin de aislar la cañería de aspiración. Ello es particularmente importante en caso de tareas de desarme de la bomba, por cuanto de no existir ese cierre se derramaría el líquido del pozo de bombeo que por lo general está a mayor nivel que el equipo.

Se recomienda colocar estas válvulas a cierta distancia de la succión de la bomba, a fin de estabilizar la vena fluida antes del ingreso a aquella. Por lo general la distancia aconsejada entre ambos elementos debería ser al menos de cinco diámetros ($L > 5 D$).

Las válvulas más comúnmente utilizadas son las esclusas, aunque últimamente se están utilizando eficazmente las válvulas tipo mariposa.

Cuando los tamaños son grandes (p ej > 500 mm) estas válvulas están servocomandadas, ya sea a través de actuadores neumáticos o motores eléctricos.

Las EB del tipo inundadas, es decir aquellas cuyas bombas están sumergidas en el líquido a bombear, no necesitan válvula en la aspiración.

Esta configuración hidráulica aventaja en este aspecto a las EB de cámara seca.

II.2.6.2. Válvula en la Descarga

La válvula de descarga se coloca a la salida de la bomba, lo más próximo a ella como sea posible.

Si bien constructivamente es semejante a la descrita precedentemente, a diferencia de la anterior esta válvula ejerce funciones de control. Ello significa que abriendo o cerrando parcialmente la misma, se puede lograr una regulación del funcionamiento de la bomba.

Es importante destacar que si la instalación hidráulica requiere de un sistema de regulación muy fino, tanto las válvulas esclusas como las mariposas deberían reemplazarse por válvulas reguladoras, cuyo principio de funcionamiento es diferente de aquellas y su costo muy superior también.

Es importante destacar, que dependiendo de la recomendación del fabricante de la bomba y del tamaño de la instalación, muchas veces se requiere el cierre de la válvula de descarga antes de la parada de la bomba. En estos casos, el mismo debe hacerse con sumo cuidado y lentamente, a fin de evitar la aparición del fenómeno oscilatorio de presiones denominado “golpe de ariete”², cuyas consecuencias pueden ser nefastas para la instalación.



Fig. II.4a.- Válvula mariposa



Fig. II.4b.- Válvula mariposa

El resto de las consideraciones es similar a las descriptas en el apartado anterior.

II.2.6.3. Válvula de Retención

Se coloca a continuación³ de la válvula de cierre en la descarga y su función es impedir que retorne el líquido desde la cañería hacia la bomba.

El uso de válvula de retención en la descarga tiene varios motivos, a saber:

- Para evitar que el líquido fluya en dirección opuesta ante la detención de la bomba, pudiendo hacer girar su rotor en el sentido contrario (a modo de turbina), con algún posible daño al equipo.
- Cuando las descargas de dos a más bombas están vinculadas a través de un colector (manifold), para evitar el líquido escurra por la bomba que está detenida en ese momento.

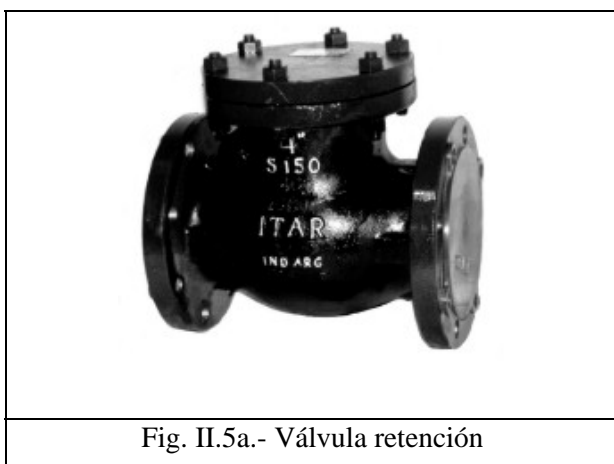


Fig. II.5a.- Válvula retención

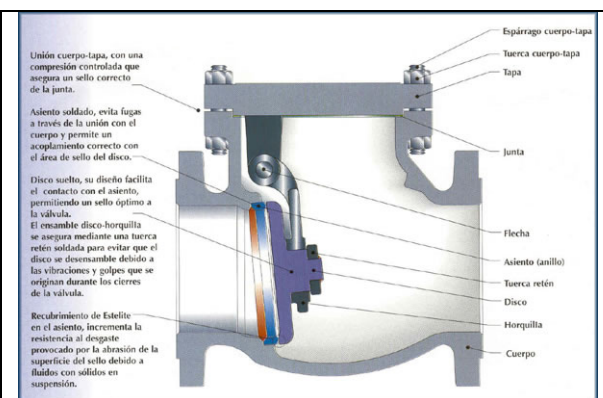


Fig. II.5b.- Válvula retención

² Por su naturaleza y complejidad el fenómeno de golpe de ariete, se aborda fuera de los alcances de este curso.

³ En algunas instalaciones hidráulicas esta válvula suele colocársela antes de la válvula de cierre.

Existen varios tipos de válvulas de retención. Las más comunes son las de clapeta, aunque también las hay de bola, de émbolo, etc.

Cuando los diámetros de las válvulas son considerables, las mismas vienen dotadas de mecanismos compensadores de retardo de la velocidad de cierre, para evitar que un cierre brusco provoque el fenómeno del golpe de ariete mencionado en el punto anterior.

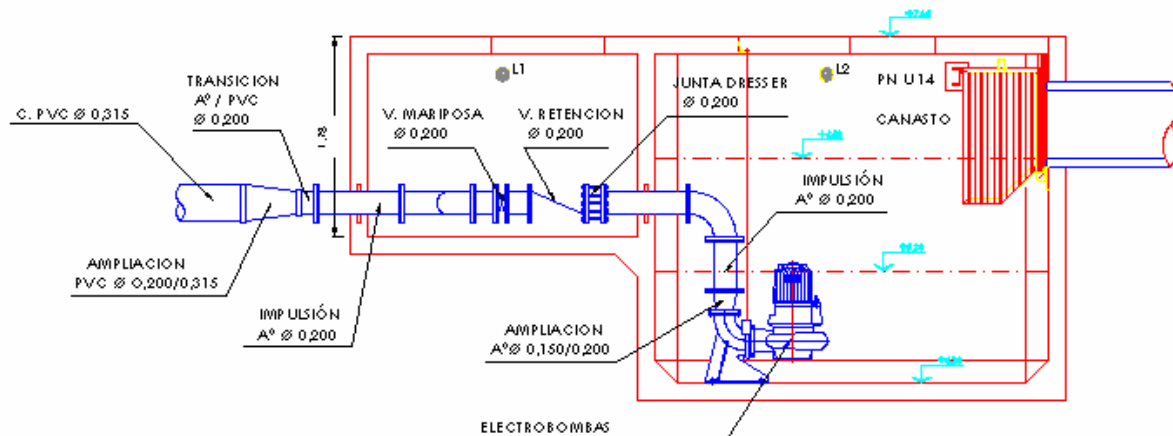


Fig. II.6.- EB cloacal típica – Disposición de la cañería de descarga

II.2.7. AMORTIGUADORES DE VIBRACIÓN

Es sabido que toda máquina hidráulica por más balanceada que esté, genera vibraciones en su marcha. Atento a ello, es conveniente que dichas vibraciones no se transmitan al resto de la instalación, para lo cual es práctica común colocar a un lado y otro de cada bomba, sendos amortiguadores de vibración. Esta regla se exceptúa sólo en los casos de las instalaciones dotadas con bombas sumergibles.

Como su denominación lo señala, su función es aislar las cañerías de aspiración (cuando las hay) y descarga de la bomba de las vibraciones provocadas por ella.

Ello es particularmente importante en las bombas y cañerías de gran tamaño (> 200 mm), ya que las vibraciones transmitidas pasan a la estructura edilicia, generando no sólo ruidos molestos, sino riesgo cierto de daño en las estructuras.

Los amortiguadores de vibración son elementos sencillos consistentes en un carretel bridado en sus extremos. El cuerpo del amortiguador se construye con un material muy elástico (goma o chapa de acero inoxidable corrugada).



Fig. II.7.- Bomba cloacal con valv aspiración, amortiguador de vibraciones y valv retención

Se colocan lo más próximos a la bomba posible, a fin de aislar la fuente generadora de la vibración lo más cerca de su origen, evitando que ésta se propague. Por sus características e poder comprimirse ligeramente, es usual también que los amortiguadores de vibración se utilicen como piezas de desarme.

Cuando la instalación está dotada de electrobombas sumergibles, no se requiere el uso de estos amortiguadores.

II.2.8. MOTORES

Prácticamente la totalidad de las EB utilizan los motores eléctricos para el accionamiento de las bombas y del resto de los mecanismos que requieren movimiento.

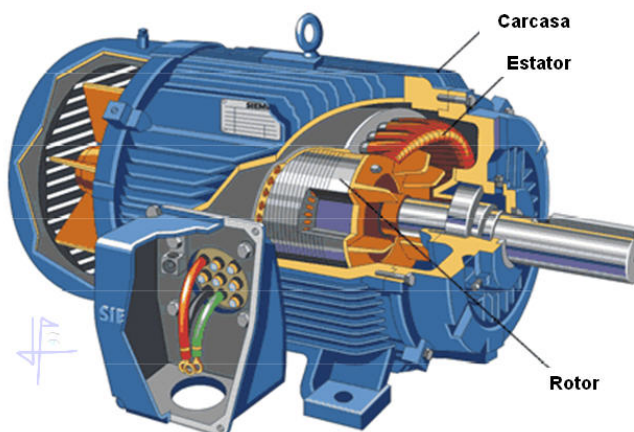


Fig. II.8.- Motor eléctrico

En general los motores eléctricos más utilizados son los trifásicos del tipo “asincrónico” o “jaula de ardilla”, los cuales tienen un excelente comportamiento tanto en rendimiento, como durabilidad y costo.

Por lo general los motores cuyas potencias no superan los 100 Kw son de baja tensión, entendiéndose por tales a las tensiones de 380 Volts. Por encima de esa potencia se utiliza media tensión (6600 Volts).

Las razones para ello deben encontrarse en la economía resultante tanto en el tamaño de los motores como del resto de la instalación eléctrica. Recuérdese para ello que, para una misma

potencia a mayor tensión menor es la intensidad de corriente, resultando conductores de menores dimensiones (aunque se encarezca el aislamiento de los cables y demás elementos).

La forma de ejecución de los motores responde a la forma constructiva de la bomba, a la cual va acoplada. Si ésta es vertical, el motor también lo será. Si es horizontal, ídem.

La protección mecánica de los motores ubicados en sala de bombas es habitualmente IP 55 según las normas IEC, que es la forma constructiva que impide el ingreso de polvos o salpicaduras. En cambio la protección de los motores sumergidos es especial por las razones de su ambiente de trabajo.

El proyectista deberá prever adecuada ventilación del local donde estos motores están instalados, atento a que cada uno de ellos es en sí mismo, una fuente de generación calor. Este no es un detalle menor, por cuanto en el caso de un motor de 100 Kw de potencia nominal, se pierden transformados en calor unos 5 Kw por hora de funcionamiento, resultando un incremento de la temperatura ambiente del local.

Antiguamente por razones de seguridad operativa las EB solían tener una de las bombas equipadas con un motor de combustión interna, para cubrir parcialmente la necesidad de bombeo ante el corte del suministro eléctrico. Sin embargo la práctica corriente actual es instalar un Grupo Electrónico que proporcione la energía eléctrica a todos los motores de las bombas, salvando con ello la interrupción del servicio eléctrico externo.

El uso de otros tipos de accionamientos para las bombas, tales como turbinas de gas o turbinas de vapor está reservado a cierto tipo de EB en alguna instalación industrial grande que disponga de esa fuente de energía. Ello escapa a los alcances de este curso.

II.2.8.1. Clasificación de los Motores

Las máquinas eléctricas rotativas se dividen principalmente en tres grupos:

- Motores de Corriente Directa
- Motores de Corriente Sincrónicos
- Motores de Corriente Asincrónicos

Las máquinas nombradas en primer término utilizan como fuente de alimentación eléctrica, la corriente continua, mientras que las restantes usan la corriente alternada (o alterna) como fuente de alimentación.

Por razones prácticas de su uso extendido, se describirá a continuación el caso de los Motores Eléctricos Asincrónicos.

II.2.8.2. La Máquina Asincrónica

El motor asincrónico o de inducción es probablemente el que más se emplea. Gracias a su diseño sencillo y robusto, es un motor de impulsión ideal, si no es necesario variar continuamente de velocidad en una gama amplia, o si se pueden tolerar fluctuaciones de velocidad en relación a la carga. Se le puede utilizar, por ejemplo, para ventiladores, bombas, molinos, herramientas y para muchas otras aplicaciones.

El diseño del estator corresponde al de una máquina sincrónica. Según la velocidad de rotación que se desee, los bobinados trifásicos con el número correspondiente de pares de polos p' se acomodan en las ranuras del núcleo laminado del estator. Una vez conectado a un sistema trifásico, se genera un campo de rotación con una velocidad n , tal como se menciona más adelante.

Si el rotor se diseña con dos polos norte y dos polos sur, esto es, con $p' = 2$ pares de polos, y si los bobinados del estator son también dobles, el rotor solo necesita hacer un cuarto de revolución para que un polo pase una vez de lleno sobre las tres fases de bobinados y así generar el mismo efecto que se produce con la mitad de una revolución de una máquina con un par de polos. En otras palabras, a mayor número de pares de polos p' , menor velocidad de rotación de la máquina en una frecuencia de sistema previamente determinada. La fórmula que determina la velocidad de rotación estará dada por:

$$n = (f \cdot 60) / p'$$

Siendo

n : rpm

f : frecuencia (generalmente 50 ó 60 Hz)

p' : numero de pares de polos

En nuestro país donde la frecuencia de red es de 50 Hz los motores suelen utilizar velocidades de 3000 rpm ($p' = 1$); 1500 rpm ($p' = 2$); 900 rpm ($p' = 3$); 750 rpm ($p' = 4$), etc.

La potencia eléctrica absorbida por la máquina esta dada por:

$$P = (\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi) / 1.000$$

Siendo:

P : Potencia absorbida en Kw

U : Tensión nominal en Volt

I : Intensidad nominal en Amper

$\cos \varphi$: Factor de potencia

La potencia útil (potencia obtenida en el eje) se determina por:

$$P_u = P \times \eta$$

Donde η es el rendimiento de la máquina (ver más adelante).

La máquina asincrónica difiere de la sincrónica en cuanto el diseño del rotor. Existen dos tipos de rotores:

- el rotor de jaula de ardilla o de cortocircuito
- el rotor de anillo deslizante (rotor bobinado).

Por razones de brevedad y por ser los más utilizados en EB, nos referiremos a los primeros.

II.2.8.2.1. El Rotor Jaula de Ardilla

Los motores asincrónicos con rotor de jaula de ardilla se utilizan para potencias bajas o medianas. El rotor consiste en un núcleo laminado y comprimido sobre un eje. Las ranuras longitudinales recónditas del rotor contienen barras conductoras de cobre o aluminio, que están conectadas en paralelo (cortocircuito) por estar soldadas con los llamados anillos de cortocircuito, hechos del mismo material, en ambos extremos. Esto se puede apreciar en la Figura.

En motores más pequeños, las barras conductoras y los anillos de cortocircuito están fundidos directamente dentro del rotor ya laminado. Para reducir las fuerzas vibratorias y el ruido, las ranuras están en ángulo con el eje.

Para mejorar el arranque existen varios diseños especiales que reciben diversos nombres, por ejemplo, rotor de corriente desplazada, rotor de corriente limitada, rotor de jaula de ardilla, de doble jaula de ardilla, etc.

El principio de funcionamiento de un motor asincrónico se basa en el hecho que no solamente el campo de rotación del estator, sino también el campo magnético necesario del rotor, son generados por la corriente que fluye en los bobinados del estator. No se requiere de una fuente de corriente de excitación. En el momento de conectar (como se ha señalado anteriormente), se crea un campo magnético rotativo en el estator. Las líneas de fuerza de este campo cortan los conductores inicialmente estacionarios del rotor. Como resultado, se inducen voltajes en estos conductores, y, a su vez, como resultado de las conexiones del cortocircuito, estos voltajes hacen que las corrientes altas fluyan a través de los conductores. Por su parte, estas corrientes forman campos magnéticos sobrepuestos entre sí.

Los campos magnéticos que se forman de esta manera en el estator y en el rotor están sobrepuestos entre si y permiten ejercer una fuerza en el rotor, haciéndolo rotar y acelerándolo al principio.

Cuando aumenta la velocidad del rotor, disminuye la velocidad del campo rotativo relativa a las barras conductoras. Esto reduce la velocidad con la cual las líneas de fuerza del campo rotativo cortan las barras de conducción. Con esto disminuye también el voltaje inducido en la jaula del rotor.

Si el rotor tuviese que funcionar entonces exactamente a la velocidad del campo de rotación, es decir sincrónicamente, este último permanecería estacionario con relación al rotor - dejaría de inducirse el voltaje en el rotor. La corriente del rotor, y por tanto su campo, se convertiría en cero y no habría fuerza que actúe en el rotor. Si el rotor reduce entonces su velocidad, el campo de rotación se movería nuevamente con relación al rotor y los voltajes volverían a inducirse en el rotor. En otras palabras, la velocidad del rotor debe ser siempre algo menor que la del campo de rotación para que el motor pueda inducir un torque. El rotor funciona asincrónicamente con respecto del campo de rotación del estator.

La diferencia entre la velocidad del rotor y la del campo de rotación se conoce como "*slip*" (resbalamiento). En los motores normales, el slip fluctúa en 3 - 5%. Por lo tanto, si un motor es de cuatro polos, la velocidad sincrónica sería de 1500 revoluciones por minuto, mientras que la velocidad real sería de alrededor del 96% de 1500 rpm, o sea: 1440 rpm. (resbalamiento del 4%).

La "*velocidad de funcionamiento*" de un motor asincrónico es entonces siempre inferior que la velocidad sincrónica del campo rotativo en la cantidad correspondiente al slip.

Las características del arranque de los motores de jaula de ardilla son un problema importante que merece un tratamiento especial, que escapa a los alcances de este curso.

Bástenos con saber solamente que conforme a su diseño, los motores asincrónicos tienen durante el arranque un alto consumo de corriente, hasta llegar a estabilizarse, cuando el rotor alcanza su velocidad nominal.

La corriente o intensidad de arranque (*I_{arr}*) toma valores entre 4 a 6 veces la corriente nominal. Por tanto, el sistema eléctrico todo (bobinados de campo, cables, contactores, relés, etc) debe dimensionarse para soportar el valor máximo de corriente

II.2.8.3. Funcionamiento de Motores Asincrónicos

Para conocer el comportamiento de los motores eléctricos frente a los distintos estados de carga (potencias diferentes a la nominal), se definen los siguientes parámetros.

- Rendimiento

- Velocidad
- Factor de Potencia
- Intensidad

A continuación se describen algunas de las características de los motores eléctricos en función de la variación de la potencia.

II.2.8.3.1. Rendimiento

El rendimiento total de estas máquinas aumenta rápidamente desde cero a valores relativamente altos para estados de carga de un 20% del valor nominal y continúa creciendo hasta alcanzar su valor máximo cuando $P = P_{nom}$.

En motores pequeños, de hasta 1 KW de potencia, el rendimiento puede alcanzar el 65 %. En motores medianos (entre 1 y 10 KW), éste puede llegar a tener valores entre un 75% y un 80%. Para potencias de hasta 100 KW el rendimiento puede alcanzar un 90%, y para potencias superiores se han obtenido rendimientos de hasta un 95%.

Lógicamente, los valores descriptos están influenciados por la calidad constructiva del fabricante. Entre los factores que más influyen están: la calidad de los materiales empleados, sus aislaciones, el entrehierro (distancia o huelgo diametral entre el rotor y el estator), etc.

II.2.8.3.2. Velocidad

La variación de la velocidad en los motores eléctricos prácticamente es “insensible” a la variación de la carga. En efecto, una vez determinado el resbalamiento del motor, su velocidad asincrónica casi no cambia para los diferentes estados de potencia.

En motores pequeños (hasta 2 a 3 Kw), esta variación puede alcanzar un 5%, mientras que para motores más grandes, este valor no supera el 2%. (ver fig III.3.-)

II.2.8.3.3. Factor de potencia

Este parámetro representa una característica relevante del comportamiento de los motores, en particular en los tiempos que corren, debido a la importancia económica que tiene el incremento de la potencia reactiva en la facturación de los servicios de energía eléctrica.

En efecto, sin entrar a describir como se determina esta característica eléctrica en la máquinas de inducción, bástenos con saber que el factor de potencia (representado por el $\cos \varphi$) es una unidad adimensional que varía entre cero y la unidad. Cuanto mayor es el $\cos \varphi$, tanto menor es la **potencia reactiva** y viceversa. Esta es una potencia que no interviene en la generación de energía mecánica útil para la máquina, pero que es necesario suministrarle desde la línea. Por lo tanto la compañía distribuidora de energía penaliza al usuario que tiene en su instalación un valor significativo de potencia reactiva. Habitualmente cuando el $\cos \varphi$ de la instalación es inferior a 0,8 el usuario debe pagar una multa. Por encima de este valor la facturación es directa, sin cargos ni penalizaciones.

El comportamiento del factor de potencia ($\cos \varphi$) en los motores asincrónicos frente a la variación de la carga arranca con valores tan bajos como 0,2 para cargas reducidas, aumentando hasta llegar a su máximo cuando la potencia alcanza su valor nominal ($P = P_{nom}$).

Luego este factor baja nuevamente, para valores de potencia por encima de la nominal.

El análisis de la curva de la figura II.9.- explica por que no es correcto seleccionar un motor cuya potencia sobrepase mucho la potencia requerida por la máquina accionada. Como puede apreciarse, si el motor está “sobredimensionado”, no solo estaría trabajando fuera del punto de máxima eficiencia (ver rendimiento, más arriba), sino que su factor de potencia podría caer por debajo de los valores de $\cos \varphi < 0,8$ debiendo pagar una penalización por ello.

II.2.8.3.4. Variación de la intensidad

El consumo de corriente de estas máquinas no varía en forma proporcional con el decremento de la carga, sino que por el contrario, mantienen una corriente de vacío muy alta respecto de la nominal. En los motores estos valores pueden llegar desde un 25/30% hasta un 60%.

Lo expresado no debe confundirse con la variación de la intensidad durante el arranque del motor, la cual puede alcanzar valores varias veces superiores a la nominal.

La siguiente figura resume lo señalado en este apartado.

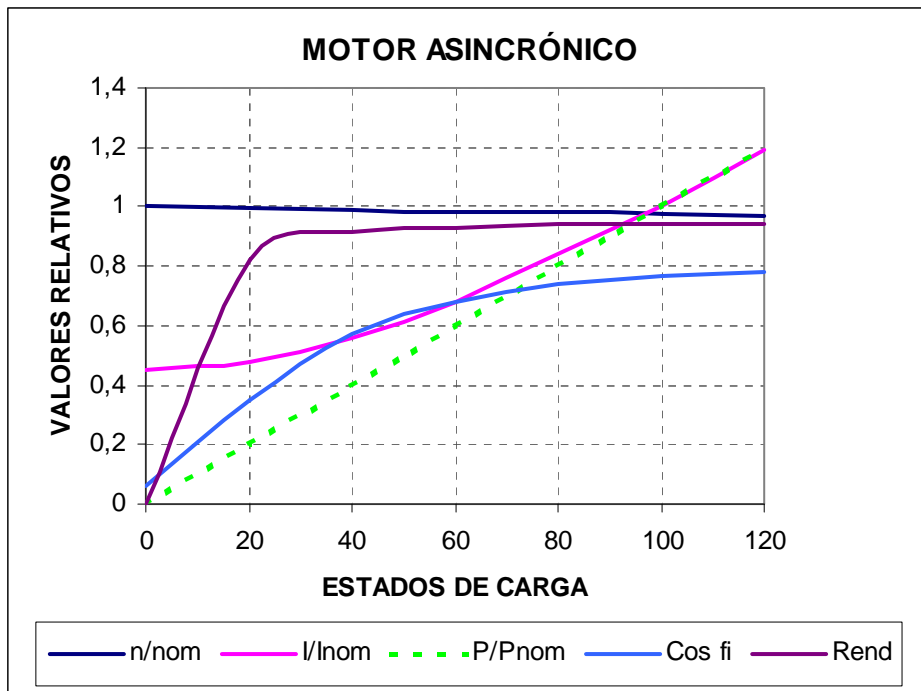


Fig II 9.- Comportamiento de un motor asincrónico

III. ANEXO - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El presente anexo pretende poner en conocimiento del lector algunos conceptos ya vistos en las carreras de ingeniería y que son de uso habitual en la Ingeniería Sanitaria.

Conviene pues, que el alumno se familiarice con estos conceptos elementales de la hidráulica, instándolos a profundizar sobre el tema a través de la bibliografía específica.

III.1. NOCIONES DE HIDRÁULICA - DEFINICIONES

III.1.1. CAUDAL

En la hidráulica, éste es uno de los parámetros fundamentales, ya que siempre forma parte de cualquier problema asociado con el intercambio de líquidos entre dos o más recipientes. El caudal indica la cantidad de un líquido que pasa por unidad de tiempo a través de una sección de control. También suele definírsele como gasto o gasto volumétrico, y su unidad de medida es normalmente el *metro cúbico por segundo* [m³/s], también el *metro cúbico por hora* [m³/h] y el *litro por segundo* [l/s]. En el sistema americano se utiliza el *galón por minuto* [GPM].

La equivalencia entre dichas unidades es:

$1 \text{ m}^3/\text{seg} = 3.600 \text{ m}^3/\text{h} = 1.000 \text{ l/seg}$
$0,277 \text{ l/seg} = 1 \text{ m}^3/\text{h} = 4,4 \text{ gpm}$

III.1.2. PRESIÓN

Este es otro de los parámetros que más se utiliza en la hidráulica y su unidad de medida es el *bar* o el kilogramo por centímetro cuadrado [Kg/cm²]. En el sistema americano se usa comúnmente la *libra por pulgada cuadrada* [PSI].

Normalmente para el tipo de casos que se analizan en los problemas de saneamiento, la presión que se utiliza esta medida respecto de la presión atmosférica, por lo que ésta constituye la llamada presión relativa, a diferencia de la presión absoluta la cual tiene su punto de referencia en el vacío absoluto. En otras palabras, un líquido en reposo o circulando a cielo abierto sometido a la presión atmosférica, tiene una presión (relativa) igual a *cero*. Pero si lo midiéramos respecto a la presión absoluta, ésta sería de 1,02 bar o bien 1,033 Kg/cm² (absolutos).

La equivalencia entre dichas unidades es:

$1,02 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ bar} = 14.48 \text{ psi}$
--

III.1.3. ALTURA DE COLUMNA DE LÍQUIDO

Este es un parámetro derivado del anterior, ya que representa cual sería la altura que alcanzaría una columna del líquido alojada dentro de un tubo vertical conectado a un conducto o recipiente presurizado. Al estar éste bajo presión, parte del líquido contenido en él sube por el tubo hasta ocupar una posición fija, en tanto no varíe la presión dentro de aquel.

Su unidad de medida es el *metro* [m], o bien el *pie* ['] para el caso de las unidades americanas.

En un experimento puede demostrarse que la altura de la columna de líquido es directamente proporcional a la presión que reina dentro del caño o recipiente. Este factor de proporcionalidad es la inversa del peso específico.

$$H = p/\gamma$$

Si la presión se mide en Kg/cm^2 y el peso específico en Kg/m^3 , la altura H resulta medida en *metros* [m]. Según esto, para el caso del agua la relación existente entre presión y altura es de 10 (diez). Por ejemplo, una cañería de agua que esté presurizada a $0,25 \text{ Kg/cm}^2$ tendría una altura de 2,5 metros de columna de agua [mca], es decir: si hubiera un tubo de vidrio suficientemente largo conectado al caño principal, el agua subiría hasta esa altura quedando enrasada a ese nivel.

III.1.4. ALTURA MANOMÉTRICA DE UNA BOMBA

Conceptualmente tiene una analogía con la expresión *altura* vista en el apartado anterior, ya que expresa la energía de presión que la bomba debe aportar para elevar un líquido hasta alcanzar el nivel deseado.

En rigor su origen está dado por la ecuación de *Bernoulli* que expresa el principio de *conservación de la energía* para todo fluido que circula en un conducto cerrado. Precisamente, el término *altura manométrica* representa en esa ecuación la cantidad de energía que es necesario aportar a un kilogramo de líquido para que se cumpla el principio de igualdad energética cuando la energía en dos puntos de control tomados arbitrariamente (a un lado y otro de la bomba) no es la misma. Para mayor ilustración, se muestra en el numeral 3 de este capítulo un detalle de cómo se obtiene el valor de H .

La unidad de medida es también el *metro* [m] como en el caso anterior, pero surge como una derivación o simplificación del trabajo realizado por el líquido por unidad de peso de ese mismo líquido que escurre, esto es:

$$H_b = [\text{Kgm/Kg}] = [\text{m}]$$

III.2. FÓRMULAS

III.2.1. POTENCIA HIDRÁULICA

Este parámetro mide el trabajo realizado por el líquido en la unidad de tiempo. En este caso la potencia hidráulica viene determinada por el producto entre el caudal y la presión, o bien de éste por la altura y su peso específico.

$$P_h = Q \cdot p = Q \cdot H \cdot \gamma$$

La sustitución del valor de p por el producto de $H \cdot \gamma$ proviene del despeje de la fórmula $H = p/\gamma$ vista anteriormente. Si analizamos las unidades vemos que:

$$P_h = [\text{m}^3/\text{s}] \cdot [\text{Kg/m}^3] \cdot [\text{m}] = [\text{Kg.m/s}]$$

Ello muestra que la simplificación da como resultado una unidad de potencia. Habitualmente se la divide por 75, con lo cual la unidad resultante de potencia es el *caballo vapor* [CV]. Si en vez de 75 se divide la fórmula por 76,2 se obtiene como resultado el [HP], que sería la equivalencia en el sistema americano. Si a su vez el valor de CV se lo multiplica por 0,736 KW/CV (o bien por 0,735 KW/HP), se obtiene:

$$Ph = [\text{Kg.m/s}]. \frac{1 \times 0,736}{75} = \frac{1}{102} = [\text{KW}]$$

A este valor se podría haber arribado haciendo directamente el producto de ...

$$Ph = Q.H.g = [\text{KW}]$$

... siempre que se trate del bombeo de líquidos como el agua. (γ del agua es 1000 Kg/m^3).

III.2.2. POTENCIA MECÁNICA

En la selección y determinación del tamaño de las bombas que impulsan los líquidos, más que conocer el valor de la potencia hidráulica interesa saber cual es valor de la **potencia mecánica** absorbida por la bomba. Para su obtención se parte del valor conocido de potencia hidráulica **Ph**, y se lo divide por el rendimiento de la bomba que va a ser utilizada, de modo que:

$$Pm = Ph / \eta$$

El valor de η se obtiene de los catálogos del fabricante de la bomba, o mejor aún, del propio ensayo de la bomba en un banco de pruebas.

III.2.3. RADIO HIDRÁULICO

Se define el Radio Hidráulico a aquella medida geométrica resultante de dividir el área de la sección ocupada por el líquido que circula por una conducción, sobre su perímetro mojado. En fórmulas:

$$Rh = \text{Sup} / Pm$$

En el caso de escurrimientos a tubería llena, el área considerada es la superficie interior del caño, dividido el perímetro de esa superficie. Ejemplos

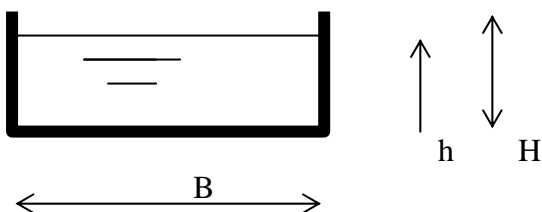
- Radio hidráulico de un caño cuadrado de lado L

$$Rh = L^2/4L = L/4$$

- Radio hidráulico de un caño cilíndrico de diámetro D

$$Rh = (\text{Pi} \cdot D^2/4) / \text{Pi} \cdot D = D/4$$

En el caso de escurrimientos a tubería parcialmente llenas o canales a cielo abierto, el área y el perímetro deben contemplar el tirante líquido (la altura real de éste respecto del fondo). Ejemplo: Sea un canal rectangular de ancho B y altura H, por donde circula un líquido con un tirante h.



El Radio Hidráulico se calculará de la siguiente manera.

$$Rh = \text{Sup} / Pm = B \cdot h / (h+B+h)$$

$$Rh = B \cdot h / 2h+B$$

III.3. ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

Para todo fluido incompresible⁴ que circula por un tubo de corriente en régimen permanente, el caudal permanece constante en cualquier punto de su trayectoria.

$$Q_1 = Q_2 = Q = \text{cte}$$

Pero como

$$Q = V \cdot A$$

V = Velocidad media del líquido dentro del tubo (en m/seg)

A = Sección neta del interior del tubo (en m²)

Entonces

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = \text{cte}$$

Por tanto, la velocidad del líquido en el punto 2 será igual a la del punto 1, afectada por la relación de las áreas en esos dos puntos de control, o bien por la relación de sus diámetros al cuadrado.

$$V_2 = V_1 \cdot (A_1/A_2) = V_1 \cdot (D_1/D_2)^2$$

Por ejemplo.

En una cañería $\phi = 140$ mm circula un líquido con una velocidad de 3,5 m/s. Se efectúa una reducción de su diámetro para llevarlo a $\phi = 100$ mm. Determinar la velocidad de ese líquido a la salida del caño.

$$V_2 = V_1 \cdot (D_1/D_2)^2 = 3,5 \text{ [m/s]} \cdot (140 \text{ mm}/100 \text{ mm})^2 = 3,5 \cdot 1,96 = 6,86 \text{ [m/s]}$$

Respuesta: La velocidad luego de la reducción es de 6,86 [m/s]

III.4. ECUACIÓN DE BERNOULLI

Llamado también Ecuación de Conservación de la Energía. Esta debe su nombre en homenaje al científico Francés Daniel Bernoulli quién estudió el problema de la conservación de la energía en una vena fluida que escurre entre dos puntos conocidos.

La fórmula general de la energía para todo tipo de flujos (entre los puntos de control 1 y 2) y para un fluido ideal (sin viscosidad) está dada por :

$$p_1/\gamma + z_1 + v_1^2/2g = p_2/\gamma + z_2 + v_2^2/2g \text{ [m]}$$

z_1 y z_2 = cota de nivel o energía de posición en los puntos de control

γ = peso específico del líquido.

⁴ En el rango de la hidráulica, los líquidos pueden considerarse incompresibles

v_1^2 y v_2^2 = velocidades del líquido en los puntos de control

g = aceleración de la gravedad

p_1 y p_2 = presiones del líquido en los puntos de control

La fórmula vista mide cantidad de energía por unidad de masa. Esto es: (en unidades técnicas) Cantidad de [kgm] por cada [kg] de líquido que circula. Su cociente es el metro de columna de agua [mca], o más sencillamente [m].

Los primeros dos sumandos de cada término de la ecuación representan la **Energía Potencial [Ep]** del líquido que circula, mientras que el tercero constituye la denominada **Energía Cinética [Ec]**. Por ende la expresión anterior puede ponerse como:

$$E_{p1} + E_{c1} = E_{p2} + E_{c2} = E = \text{cte}$$

III.4.1. ECUACIÓN DE BERNOULLI PARA LÍQUIDOS REALES

Si el líquido es real (esto es: si posee viscosidad), la igualdad no se cumple, ya que por efecto de las pérdidas de carga el segundo término es menor que el primero, debiéndole agregar un nuevo factor que compense dicha merma. La ecuación de Bernoulli queda pues:

$$p_1/\gamma + z_1 + v_1^2/2g = p_2/\gamma + z_2 + v_2^2/2g + \Delta H \text{ [m]}$$

ΔH = pérdidas de carga en el tramo de cañería. (ver más adelante).

Sin embargo, en la práctica muchas veces ocurre que esa igualdad tampoco se cumple. Por ejemplo en el caso de una presa, la energía del embalse es mayor que la del río aguas abajo, o bien en el caso de un tanque que es alimentado por el agua de un lago la energía del agua en él es menor que la que posee en el depósito.

En estas situaciones la ecuación se completa con el agregado de un nuevo término que llamaremos **H** el cual representa la energía que se quita del sistema (en el primer caso) o bien la que se agrega a él (en el segundo caso). La ecuación anterior queda pues:

$$p_1/\gamma + z_1 + v_1^2/2g + H = p_2/\gamma + v_2^2/2g + z_2 + \Delta H$$

H es la energía que toma o entrega una máquina hidráulica llamada en un caso "**turbina**" y en el otro caso "**bomba**". Para mayor comodidad lo representaremos con las letras **Ht** y **Hb** respectivamente, en vez de H.

III.4.2. ALTURA DE BOMBEO [HB]

Por lo general en la ingeniería sanitaria estamos en presencia del segundo de los casos mencionados en el apartado anterior, en el cual se conocen los parámetros de energía en el inicio y el final (subíndices 1 y 2), debiendo calcularse el valor de la energía que la bomba

debe impartirle al líquido para que éste –por ejemplo- suba hacia el tanque. En tal circunstancia la fórmula queda:

$$H_b = (z_2 - z_1) + 1/2g \cdot (v_2^2 - v_1^2) + 1/\gamma \cdot (p_2 - p_1) + \Delta H$$

Siendo

H_b = energía o altura de la bomba

z_2 = cota de nivel en la descarga del conducto

z_1 = cota de nivel en la succión

$v_2^2 - v_1^2$ = velocidades del líquido en el pozo de bombeo y en el depósito (generalmente despreciables)

$p_2 - p_1$ = presiones del líquido en el pozo y en el depósito (generalmente ambas atmosféricas)

ΔH = pérdidas de carga en el tramo de cañería

La fórmula simplificada para calcular la altura que debe generar una bomba es:

$$H_b = (z_2 - z_1) + \Delta H$$

III.5. PÉRDIDAS DE CARGA

En rigor el término correcto sería *Pérdidas de Energía* por efectos de la circulación del fluido (en particular el líquido) dentro una cañería o un canal.

En efecto, ésta se produce como consecuencia de la fricción del líquido contra las paredes del elemento que lo contiene (tubo o canal), y también de la propia fricción de las partículas entre sí, debidas precisamente a su viscosidad. Esa fricción, constituye un “gasto de energía” que reduce en consecuencia la energía neta que el líquido poseía.

Numerosos ensayos han establecido que una fórmula que representa el valor de las pérdidas de carga en una tubería, en función de su velocidad, tipo de caño y tamaño es la siguiente:

$$J = \frac{\lambda \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

λ : Coeficiente de pérdida de carga. Se obtiene de ábacos en función de **Re** y de la rugosidad de la cañería.

Re : Número de Reynolds. Coeficiente adimensional que tiene en cuenta la velocidad y la viscosidad del líquido, y el diámetro del caño por donde éste circula.

III.5.1. OTRAS PÉRDIDAS DE CARGA.

Las válvulas, ángulos y otros accesorios en una tubería, así como las contracciones y ampliaciones súbitas causan pérdidas de carga. Si una válvula está parcialmente cerrada, existe mayor resistencia al flujo y mayor pérdida de carga. La ingeniería hidráulica utiliza tablas ya estandarizadas donde se muestran las resistencias, expresadas como longitudes equivalentes de tubo recto, debidas a diferentes válvulas, accesorios, contracciones y ampliaciones. Los propios fabricantes de estos accesorios, también suministran esta información, pero referida generalmente a la pérdida de carga unitaria, en vez de longitudes equivalentes de cañerías.

$$J = k \cdot V^2 / 2g$$

Donde:

J es la pérdida de carga localizada del accesorio en (m),

k es una constante adimensional que varía para cada accesorio (se obtiene de tablas específicas).

El valor de **V** representa la velocidad del líquido en (m/s) y

g es la aceleración de la gravedad en (m/s²).

Existe abundante bibliografía acerca de los valores más usuales de los coeficientes utilizados para los cálculos de pérdidas de carga.

A modo de ejemplo ilustrativo se señalan a continuación algunos de los valores de **k** más representativos de los accesorios usuales en instalaciones sanitarias.

Accesorio	K
Estrechamiento brusco	0,50
Estrechamiento redondeado	0,05
Ensanchamiento brusco	1,00
Codo radio largo de 45°	0,15
Codo radio largo de 90°	0,25
Te de derivación	0,53
Válvula mariposa (cierre 5°)	0,30
Válvula mariposa (cierre 30°)	3,91
Válvula mariposa (cierre 60°)	32,6
Válvula de retención	2,50
Válvula esclusa (parcialmente abierta)	1,50

III.6. LA FÓRMULA DE MANNING.

Una fórmula sencilla que proporciona resultados exactos es la fórmula de Manning. En su expresión general es:

$$V = (1/n) \cdot Rh^{2/3} \cdot s^{1/2}$$

en la que

V = velocidad de flujo, (m/s)

n = coeficiente de rugosidad

Rh = radio hidráulico, (m)

s = pendiente.

Los valores de **n** utilizados comúnmente son los siguientes:

Material de la conducción	Valor de n
Caño de PVC	0.010
Caño de arcilla vitrificada	0.013
Conductos de concreto (terminado suave)	0.013
Caño de hierro fundido	0.013
Caño de asbesto – cemento	0.013
Conductos de concreto (terminado vasto)	0.015
Conducto de metal corrugado	0.021
Zanjas	0.020
Canales recubiertos con piedra	0.030

Otras fórmulas para flujo en alcantarillas. La fórmula de Chezy es

$$V = C \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

en la que

V = velocidad del flujo, (m/s)

C = coeficiente que depende principalmente de la rugosidad del conducto

r = radio hidráulico, (m)

s = pendiente.

III.6.1. VELOCIDAD LÍMITE EN ALCANTARILLAS

Las alcantarillas que transportan aguas negras domésticas deben proyectarse de modo que la velocidad de flujo no quede, normalmente, abajo de 0,60 m/s (2 pie/s). No siempre es posible obtener esta velocidad con los flujos bajos que se obtienen a veces en ramales que sólo sirven a unas cuantas casas. En tales casos, se proporciona una pendiente que dé una velocidad de cuando menos 0,60 m/s a la descarga máxima estimada, y velocidades no menores de 0,40 m/s). durante los escurrimientos bajos.

En general, una velocidad de cuando menos 0,91 m/s es la deseada, siempre que sea posible a un costo razonable. La experiencia ha mostrado que cuando las velocidades están abajo de 0,45 a 0,60 m/s puede ocurrir la decantación de sólidos, haciéndose necesaria una limpieza más frecuente. En el caso de alcantarillas de tormenta (pluviales) se deberá proporcionar una velocidad de proyecto de, cuando menos 0,91 m/s siempre que sea posible. Estas alcantarillas pueden transportar una cantidad considerable de materia suspendida de un peso específico relativamente elevado, y en escurrimientos bajos, como lo son al final de un periodo de tormenta, la velocidad puede decrecer rápidamente con los flujos poco profundos que resultan de las grandes secciones de tubería que son generalmente necesarias.

En general es deseable limitar las velocidades a unos 3 m/s (10 pie/s), aunque una velocidad mayor, usualmente, no creará efectos adversos a menos que se transporten cantidades considerables de sólidos en las aguas negras. Antiguamente, esto era un problema mucho mayor debido a las calles sin pavimentar, pero en la actualidad en las ciudades donde existen pocas calles sin pavimentar en las áreas servidas por alcantarillas pluviales, este problema ha disminuido.

Las alcantarillas pluviales, generalmente se proyectan para trabajar a tubo lleno, pero las alcantarillas sanitarias (cloacales) se proyectan para trabajar a medio tubo.

III.6.1.1. Proyecto de alcantarillas a tubo lleno

Se puede derivar una fórmula para el diámetro requerido para una alcantarilla circular que trabaje a tubo lleno, expresada en términos de la capacidad requerida y de la pendiente propuesta, sustituyendo los valores de A y V en la fórmula $Q = A.V$ y despejando D de la ecuación resultante. Con la alcantarilla trabajando a tubo lleno, $A = 0,785.D^2$ y $r = 0,25.D$; Por lo tanto, de acuerdo con la fórmula de Manning,

$$D = [(2,16 Qn)/\sqrt{s}]^{3/8}$$

Cuando el gasto y el diámetro son conocidos para una alcantarilla que trabaje a tubo lleno o a medio tubo, el área recta del flujo se puede calcular del diámetro, y la velocidad de flujo puede obtenerse dividiendo la descarga por el área. La pendiente requerida, basada en la fórmula de Manning, puede determinarse por la fórmula

$$s = [(Vn / Rh^{2/3})]^2$$

III.7. CURVAS DE SISTEMA

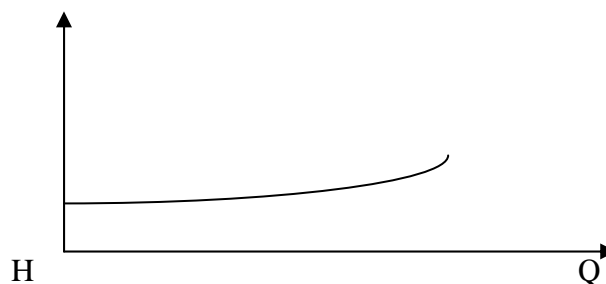
La definición de la altura de bombeo H_b , presupone el conocimiento del valor de la pérdida de carga H para el caudal que circula en ese momento por la cañería. Este valor, como vimos en el apartado anterior, puede calcularse por medios gráficos o analíticos (según sea la fuente de información que se disponga) a partir del conocimiento del valor de V o del valor de Q.

Sin embargo, en la mayoría de las instalaciones hidráulicas conviene saber como varía el valor de H_b , en función del valor de Q. Esta variación se puede graficar en un diagrama Q-H como una curva parabólica de 2º grado, dado que la fórmula $H_b = (z_2 - z_1) + \Delta H$ responde en esencia a la forma $H = A + k*Q^2$, en la cual:

A = ordenada al origen = $z_2 - z_1$ = altura estática [Hest]

$k*Q^2$ = altura dinámica (variable) [Hdin]

H = altura o energía total a ser aplicada al fluido para que éste escurra por la cañería al caudal Q prefijado.



$$H = H_{est} + H_{din}$$

III.8. CASOS PRÁCTICOS

III.8.1. PROBLEMA 1

¿Cual debe ser la pendiente mínima de un caño de PVC (D=200 mm), para que un líquido de alcantarillado pluvial que circula por su interior no sedimente?. Calcular el problema usando la fórmula de Manning y verificarlo por fórmula de Chezy

Solución

Velocidad mínima de sedimentación del líquido en 0,91 m/s. (apartado II.6.1.-)

Calcular el Radio Hidráulico (Rh) de la cañería.

Teniendo en cuenta el caño trabajando a sección llena, la fórmula es:

$$Rh = (\pi \cdot D^2/4) / \pi \cdot D = D / 4$$

En el caso de un caño D = 200 mm, su diámetro interno vale: 192 mm. Por ende, el radio hidráulico será:

$$Rh = 192 \text{ mm} / 4 = 48 \text{ mm}$$

Determinar el valor del coeficiente de rugosidad **n**

De la tabla se obtiene el valor de n = 0,010

Aplicar la fórmula de Manning $V = (1/n) \cdot Rh^{2/3} \cdot s^{1/2}$, pero despejando el valor de **S**:

Entonces será:

$$S = \frac{V^2 \cdot n^2}{Rh^{4/3}} = \frac{(0,91\text{m})^2 \cdot (0,010)^2}{(0,048 \text{ m})^{4/3}} = \frac{0,0000828}{0,0017441} = 0,004747$$

Respuesta: La pendiente será del 0,47 %

Verificación por otro método

Se aplica la fórmula de Chezy $V = C \cdot (Rh \cdot S)^{1/2}$, despejando el valor de **S**:

$$S = \frac{V^2}{C^2 \cdot Rh} = \frac{(0,91\text{m})^2}{60^2 \cdot (0,048 \text{ m})} = \frac{0,8281}{172,8} = 0,00492$$

Respuesta: La pendiente será del 0,43 %.

Como puede apreciarse, la diferencia entre ambos métodos es mínima (el 1%).

Puesto en términos físicos, significa que si esta cañería tuviera 100 m de longitud, debería enterrarse aproximadamente 45 cm más en el extremo final respecto del inicio.

III.8.2. PROBLEMA 2

El tanque de agua de un edificio de 7 pisos está situado a una altura de 25 m. La bomba que lo alimenta está situada debajo de la cisterna, ubicada en el sótano a 2 m de profundidad respecto del nivel de la acera.

Calcular cual sería la potencia mínima requerida por el motor de accionamiento, suponiendo que:

- Las cañerías y accesorios de la instalación producen una pérdida de carga de 3m.
- El caudal de la bomba es de 10 l/s y su rendimiento es del 65%

Solución

Se trata de la aplicación de la fórmula de la potencia señalada en los apartados II.2.1.- y II.2.2.-, pero previamente se debe calcular la altura de la bomba utilizando la fórmula de Bernoulli simplificada (ver II.4.2.-).

$$H_b = (z_2 - z_1) + \Delta H$$

$$Z_2 = 25 \text{ m (se asume que ésta es la cota del caño de alimentación del tanque)}$$

$$Z_1 = -2 \text{ m (por estar debajo del nivel de acera, utilizado como nivel de referencia)}$$

$$\Delta H = 3 \text{ m (dato)}$$

... entonces:

$$H_b = 25 - (-2) + 3 = 25 + 2 + 3 = 30 \text{ m}$$

Usamos la expresión combinada de las fórmulas de potencia hidráulica y mecánica.

$$P_m = P_h / \eta = Q \cdot H_b \cdot g / \eta =$$

Siendo

$$Q = 10 \text{ lt/s} = 0,010 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_b = 30 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\eta = 65 \% = 0,65$$

$$P_m = 0,01 * 30 * 9,81 / 0,65 = 4,53 \text{ Kw}$$

Por lo general, las normas recomiendan que la potencia motora sea al menos un 10% mayor que la potencia mecánica absorbida por el equipo, en vista de lo cual la potencia del motor debería ser de: $4,53 * 1,1 = 5 \text{ Kw}$.