



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**INSTITUTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y
AMBIENTAL**

Curso: "Hidrología y Diseño de Captaciones de Aguas Superficiales y Meteóricas. Estaciones de Bombeo. Operación y Mantenimiento"

Ing. Hugo R. Schmidt
Septiembre/Octubre 2008

TEMARIO

- I.- Introducción.
 - I.1.- Requerimientos de orden hidráulico que demandan operaciones de bombeo.
 - I.1.1.- Agua Potable y Saneamiento
 - I.1.2.- Inundaciones Urbanas
 - I.1.3.- Irrigación, Usos Agrícolas.
 - I.1.4.- Aguas subterráneas
 - I.1.5.- Generación Hidroeléctrica
 - I.1.6.- Industria
 - I.1.7.- Otros Usos No Consumtivos
 - I.1.8.- Medidas estructurales y no estructurales
 - I.2.- Diferentes tipos de estaciones de bombeo.
 - I.2.1.- Para agua potable
 - I.2.2.- Para servicios cloacales
 - I.2.3.- Para drenajes pluviales
 - I.2.4.- Tipos de cámara
 - I.3.- Principales componentes
 - I.3.1.- Canal de entrada/aducción
 - I.3.2.- Pozo de bombeo/cámara de aducción
 - I.3.3.- Casa de bombas y sala de comando
- II.- Aspectos técnicos que enmarcan los proyectos
 - II.1.- Hidrograma de aporte y condiciones de bombeo
 - II.1.1.- Conceptos básicos de hidrología
 - II.2.- Ubicación Geográfica.
 - II.3.- Condiciones del subsuelo.
 - II.4.- Capacidad de retención y regulación de caudales afluentes.
 - II.5.- Confiabilidad de servicio.
- III.- Planteo de alternativas y evaluación técnico económica
 - III.1.- Determinación de los lugares de bombeo.
 - III.2.- Cantidad de estaciones. Módulo de bombas. Localización de una E.B.
- IV.- Selección de equipos de bombeo e instalaciones auxiliares.
 - IV.1.- Lay Out de la instalación.
 - IV.2.- Tipos de bombas. Definición de parámetros básicos.
 - IV.2.1.- Bombas horizontales y verticales, formas de accionamiento
 - IV.2.2.- Curvas características. A.N.P.A.
 - IV.3.- Capacidad de bombeo y potencia de bombeo
 - IV.4.- Módulo de bombas y número de unidades
 - IV.5.- Instalaciones auxiliares.
 - IV.5.1.- Instalaciones hidro y electromecánicas
 - IV.5.2.- Compuertas, ataguías y válvulas.
 - IV.5.3.- Rejas de toma
 - IV.5.4.- Motores
 - IV.5.5.- Colector de salida
 - IV.5.6.- Control de efectos transitorios. Sistemas antiarriete
 - IV.5.7.- Grúa pórtico y elementos de izaje.
 - IV.5.8.- Alimentación de energía, tablero general de entrada.
 - IV.5.9.- Sala de comando, Tableros de control.
 - IV.5.10.- Sistema de protecciones.
 - IV.5.11.- Iluminación, aire acondicionado, etc.
 - IV.5.12.- Elementos de medición y control.
- V.- Disponibilidades de suministro de energía
 - V.1.- Servicio público.
 - V.2.- Generación in situ.

- VI.- Alerta meteorológico. Vinculación con la operación del sistema.
 - VI.1.- Anticipo de eventos hidrológicos.
 - VI.2.- Sistema de telecontrol y telecomando.
- VII.- Operación y Mantenimiento
 - VII.1.- Operación del sistema.
 - VII.2.- Mantenimiento, personal y equipos.
 - VII.2.1.- Tipos de mantenimiento.
- VIII.- Aspectos licitatorios, contratación, montaje y puesta en Servicio.
 - VIII.1.- Elaboración del proyecto y sistema de licitación.
 - VIII.2.- Legajos licitatorios.
 - VIII.3.- Contratación y ejecución de las obras.
 - VIII.4.- Puesta en marcha. Períodos de Garantía.

APÉNDICE I. Método de Pincince

APÉNDICE II. Altura de Aspiración. Cavitación

APÉNDICE III. Inundaciones Urbanas. Instalaciones Existentes

BIBLIOGRAFÍA

FIGURAS

Hidrología y diseño de captaciones de aguas superficiales y meteorológicas.
Estaciones de bombeo. Operación y Mantenimiento

I. Introducción

El presente curso tiene por objeto presentar los diferentes aspectos de orden técnico – económico – financiero que convergen en la definición de las características de un proyecto hidráulico, con énfasis en los sistemas de bombeo destinados al drenaje de efluentes superficiales en zonas urbanas y periurbanas.

En principio se presenta un panorama general de los usos del agua y el sin número de actividades de las que forma parte, considerando las previsiones necesarias para efectuar su manejo y control en los diferentes procesos.

Luego se presentan los conceptos básicos de hidrología aplicables a los fenómenos naturales referidos a eventos hidrológicos que provocan alteraciones de las condiciones de habitabilidad de zonas de producción y pobladas, representados por lluvias que se precipitan sobre las zonas continentales o por deshielos provenientes de nevadas registradas en zonas montañosas.

A estos fenómenos se agregan los efectos de la creciente de ríos que en sus márgenes cuentan con poblaciones susceptibles de ser afectadas.

Los tres fenómenos configuran los parámetros principales de afectación de poblaciones que bajo ciertas denominaciones se los conoce como fenómenos meteorológicos.

De acuerdo con lo expuesto, se pretende desarrollar el tema en su conjunto, desde la generación del fenómeno hasta las soluciones ingenieriles y operativas de las obras necesarias para controlarlos. Por ello, el análisis teórico y analítico en profundidad de la hidrología y las características intrínsecas del terreno se desarrollan en sus áreas específicas.

Ambos efectos generan situaciones comprometidas sobre las superficies de terrenos destinados a la actividad agropecuaria y las zonas urbanas y periurbanas con población estable.

En función de ello se realiza el diseño de las estaciones de bombeo, abarcando luego aspectos licitatorios, constructivos y de operación y mantenimiento, con referencias directas a instalaciones existentes, completando de esta manera el ciclo que se inicia con la identificación de las necesidades a nivel social, culminando con la evaluación de sus prestaciones para las cuales fuera diseñado.

I.1.- Requerimientos de orden hidráulico que demandan operaciones de bombeo.

Conceptos y necesidades. Las estaciones de bombeo requeridas por los sistemas hidráulicos para cumplir con el manejo del fluido deben disponer de la capacidad, seguridad y confiabilidad requeridas por el servicio. En tal sentido, deben asegurar la transferencia del fluido en el momento en que es requerida, teniéndose presente que en la mayoría de los casos la eficiencia de un proyecto depende primordialmente del servicio de bombeo.

I.1.1.- Agua Potable y Saneamiento.

Nuestro país registra un déficit de agua potable que alcanza el 30% de la población, o sea que más de 10.000.000 de habitantes no tienen acceso al agua potable, de los cuales 2.750.000 se encuentran en zonas rurales concentrados en las áreas de mayor índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI) el NOA y el NEA.

I.1.2.- Inundaciones Urbanas.

Las grandes concentraciones urbanas, asentadas a la vera de los grandes ríos están expuestas a una doble acción de agentes hídricos. Las crecientes estacionales de los ríos ribereños afectan las zonas bajas, con habitantes de variado nivel económico.

Las precipitaciones pluviales caídas sobre las zonas habitadas tienden a anegarse por la reducida pendiente superficial del terreno. Así por ejemplo, la cuenca del A° Maldonado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en la mayor parte de su trayecto está ocupada por habitantes de buen nivel económico, mientras que en otras zonas, por ejemplo las afectadas

por los Ríos Negro y Paraná en la Ciudad de Resistencia, Pcia. del Chaco predominan poblaciones de reducidos recursos. En otras poblaciones del interior del país, tal como la Ciudad de Clorinda, Pcia. de Formosa cuenta con zonas cuasi rurales.

La combinación de estos factores genera:

Efectos ambientales:

- Alteración morfológica de cauces;
- Lavado y alteración de superficial de los suelos;
- Salinización y degradación de los suelos;
- Alteración de niveles freáticos y de recarga de acuíferos;
- Contaminación con vectores químicos de uso agrícola;
- Contaminación por redeposición y/o contacto con residuos sólidos y excretas;
- Alteración temporal y/o pérdida de cubiertas vegetales;
- Redeposición areal de suelos.

Efectos económicos:

- Alteración y/o pérdida de vías de comunicación viales y férreas;
- Alteración y/o pérdida de sistemas de comunicaciones y redes de servicios;
- Vulnerabilidad de urbanizaciones;
- Alteración y/o pérdidas de edificios de uso público;
- Pérdidas de producción (sembrados, ganadería, etc.);
- Limitación de observaciones directas, monitoreo y registros hidrometeorológicos;
- Reducción y/o suspensión del cobro de impuestos, tasas y gravámenes.

Efectos sociales:

- Pérdida de vidas;
- Pérdida total o parcial del hábitat;
- Disminución de la calidad de vida;
- Interrupción y/o pérdida de trabajos urbanos y rurales;
- Disminución de la actividad social entre propietarios y habitantes de localidades;
- Interrupción de actividades educativas;
- Aparición y propagación de endemias;
- Empobrecimiento por disminución o pérdida de recursos económicos propios;
- Desarraigo temporal.

El desarrollo de proyectos que atiendan estas necesidades requieren de tareas multidisciplinarias, donde el bombeo representa un factor importante en el manejo y control de los caudales.

I.1.3.- Irrigación, Usos Agrícolas.

De los 278 millones de hectáreas que conforman la superficie continental de la Argentina, 32 millones son cultivables, pero por disponibilidad de agua, características agroclimáticas y aptitud de los suelos solamente 6,1 millones son aptas para el riego y de esa superficie cuentan con infraestructura 2,5 millones de hectáreas, de las cuales se aprovechan solamente 1,6 millones de hectáreas.

I.1.4.- Aguas subterráneas.

Este recurso, disponible en la mayor parte de las zonas del país tiene un aprovechamiento destacado en la en la subregión andina central Cuyo, en varias zonas o valles de las provincias de San Juan, Mendoza, Catamarca, Jujuy y Salta. Son áreas áridas y semi-áridas que dependen fuertemente de las aguas subterráneas. En la región húmeda, con las necesidades de abastecimiento de agua potable a la población y el crecimiento acelerado del riego complementario, se ha progresado igualmente en el conocimiento del potencial de los principales acuíferos y también de su vulnerabilidad a la contaminación.

I.1.5.- Generación Hidroeléctrica.

El potencial hidroeléctrico de la República Argentina es de 170.000 GWh/año, del cual se aprovecha el 20%. Se tiene programado incorporar otros 12.000 GWh/año hacia 2010, como así también avanzar con proyectos desde 100 hasta 5.000 kW para atender a poblaciones dispersas, cifras estas que son actualizadas de acuerdo con las diferentes políticas del Estado Nacional vinculadas con la administración de los recursos energéticos.

I.1.6.- Industria.

El agua para uso industrial comprende el agua para la industria manufacturera, la minería, la producción de energía termoeléctrica y la construcción. Hacia fines de la década de los 70 la industria, con excepción de la generación termoeléctrica, extraía 2,3 km³/año y consumía 0,193 km³/año, con la siguiente distribución: alimentos y bebidas (35%), productos químicos y derivados del petróleo (26%), imprenta y editoriales (22%), textiles (9%), y minería y construcción (8%). Para el año 2000 se había estimado una extracción para generación termoeléctrica de 16,4 km³/año y un consumo de 0,2 km³/año.

El agua para uso industrial comprende el agua para la industria manufacturera, la minería, la producción de energía termoeléctrica y la construcción.

I.1.7.- Otros Usos No Consuntivos.

El transporte fluvial, de particular importancia en Argentina pero de escaso desarrollo en relación con su potencial, se circunscribe prácticamente a los grandes ríos internacionales (Paraná, Paraguay y Uruguay), pero se prevé que el desarrollo a corto plazo de la región nordeste, por influencia del intercambio provocado por el Mercosur, determinará un significativo aumento del movimiento.

I.1.8.- Medidas estructurales y no estructurales.

La generación de los diferentes proyectos en cada una de las actividades lleva al desarrollo de medidas estructurales (obras y elementos que prestan un servicio físico directo) y no estructurales (representadas por la asistencia de planes sociales, educación, cursos formativos e informativos, talleres, etc).

Las medidas estructurales, incluyendo las que ejecutan los propietarios en sus predios, están basadas en la construcción de obras civiles, tanto en los cursos de agua como en las planicies de inundación y son las primeras acciones que se ejecutaron y comprenden:

- a.- Estabilización de márgenes de ríos y arroyos mediante obras longitudinales (en general terraplenes de reducida altura), que incluso pueden incluir obras transversales, tales como espigones que, si bien ayudan a proteger la margen afectada, pueden, si están mal diseñados, trasladar el problema de erosión a la margen opuesta.
- b.- Construcción de terraplenes de contención que, cuando también se los destina al tránsito constituyen las obras denominadas "hidroviales", recomendables para áreas muy planas, como en el caso en las provincias de Formosa, Chaco y Santa Fe. El agua embalsada sirve para utilizarse en períodos de sequía y los terraplenes como refugio para el ganado.
- c.- Canales de drenaje superficial y subterráneo, basados en desplazar el agua a otros terrenos, o bien hacia otros cursos con salida natural los que, si no están dotados de estaciones de control en épocas de sequías, son muy negativos ya que contribuyen a eliminar la escasa agua freática disponible en esas épocas.
- d.- Estaciones de bombeo para utilizar en las soluciones tipo "polders", requieren de una fuente de energía que, si es a través de una línea externa queda expuesta parcialmente al problema de inundaciones que es necesario tener en cuenta en el proyecto de las instalaciones.

Las soluciones estructurales se caracterizan por:

- a.- La necesidad de disponer de buena información básica, siendo en la actualidad de particular ayuda la información satelital.
- b.- La necesidad de construirlas en el marco de un plan global de defensa regional.

El elevado costo de inversión inicial, incluso cuando se las construye por etapas.

c.-La conveniencia de construirlas cuando en el sitio no existan inundaciones, lo que suele provocar una actitud de sorpresa en las poblaciones pues observan que se efectúan inversiones en lugares que “no las necesitan”; en tal caso es indispensable acompañar su construcción con un programa de divulgación pública.

d.- La necesidad de un mantenimiento continuo; particularmente las obras de defensa basadas en equipamientos hidromecánicos.

e.- Los aspectos descriptos pretenden enmarcar los diferentes usos del agua, su importancia a nivel de la población atendida y la importancia que representa dentro de este esquema las instalaciones de bombeo en sus diferentes formas.

I.2.- Diferentes tipos de estaciones de bombeo.

I.2.1.- Para agua potable.

Instalaciones vinculadas con la extracción, tratamiento, almacenaje y distribución de agua potable.

Si la fuente de suministro es subterránea, el bombeo se efectúa desde la napa, siendo necesaria la instalación de bombas de pozo profundo, con motor sumergido o con eje extendido accionadas desde la superficie. Con esta disposición, las estaciones no disponen de cuenco compensador, impulsando el fluido hacia los depósitos de reserva.

En la figura siguiente se muestra una típica EB para agua potable.

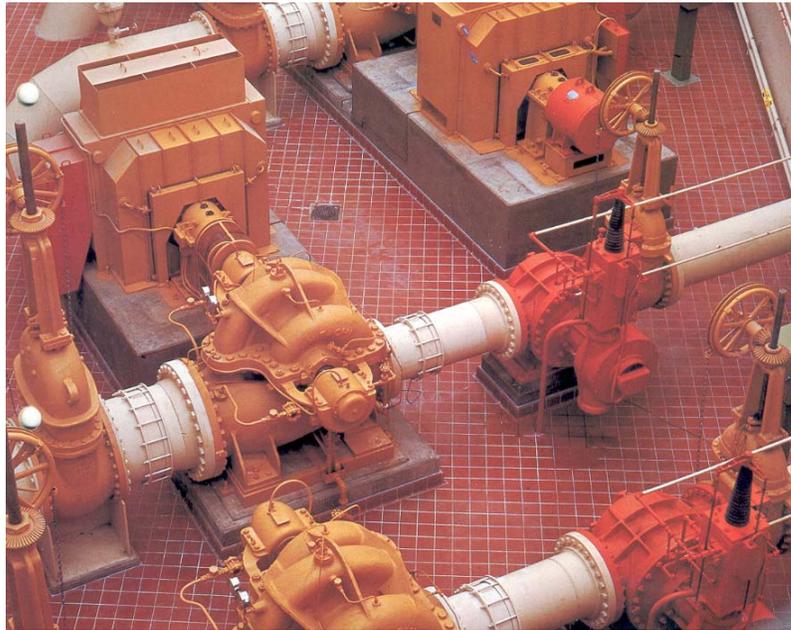


Fig I.1.- EB para agua potable

I.2.2.- Para servicios cloacales.

Se instalan en los puntos colectores de menor cota geodésica con el objeto de elevar el efluente cloacal hacia la cota que permita efectuar su tratamiento y luego descargar el fluido hacia el cuenco o curso de agua receptor.

En general son de cámara húmeda, con bomba sumergida y motor acoplado directamente o con eje extendido y motor exterior.

En la figura siguiente s muestra un instalación equipada con bombas de motor sumergido.



Fig I.2.- EB para aguas servidas

La disposición de los componentes depende de la envergadura de la instalación, el espacio disponible y los requerimientos de la impulsión.

I.2.3.- Para drenajes pluviales.

Tienen la misión de efectuar el drenaje superficial de caudales provenientes de lluvias y transferirlos a zonas de mayor cota geodésica. Esta situación responde al drenaje de zonas inundables, protegidas por defensas especialmente dispuestas para tal fin.

Generalmente disponen de caudales instalados elevados y baja altura de impulsión, siendo indicados grupos de gran porte con potencias de accionamiento proporcionalmente baja.

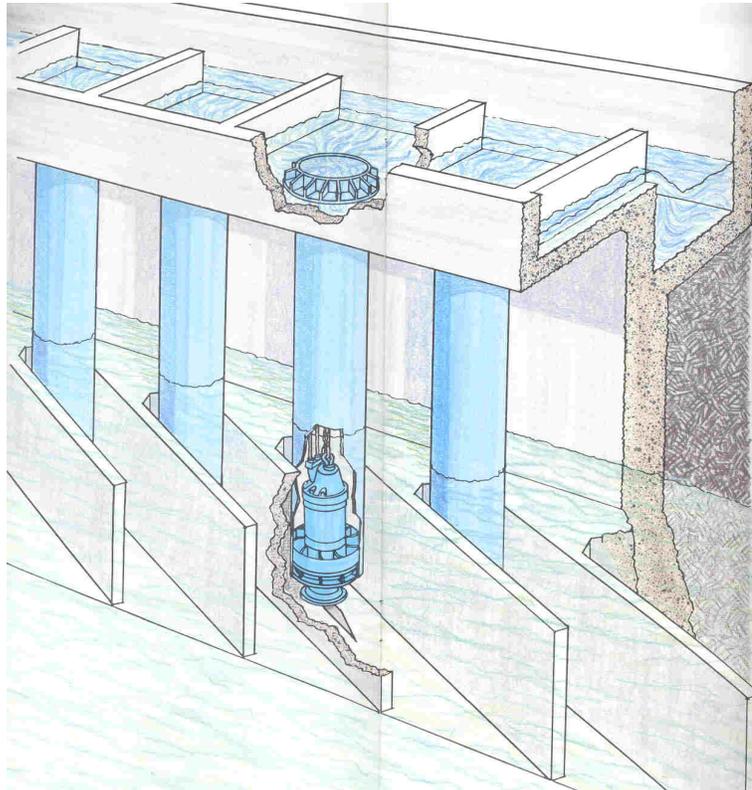


Fig I.3.- EB para drenajes pluviales

I.2.4.- Tipos de cámara

La característica distintiva de estas EB es que todas ellas (excepto las de rebombeo) tienen un recinto denominado 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. Por la forma en que la bomba está dispuesta en el pozo de bombeo, las EB se clasifican en: inundadas o de cámara seca.

A.- Inundada

Cuando las bombas están sumergidas en el líquido a bombear se denominan EB Inundadas. Las figs I.2. y I.3 muestran dos instalaciones típicas.

Se muestran a continuación otro caso típico de EB inundada.

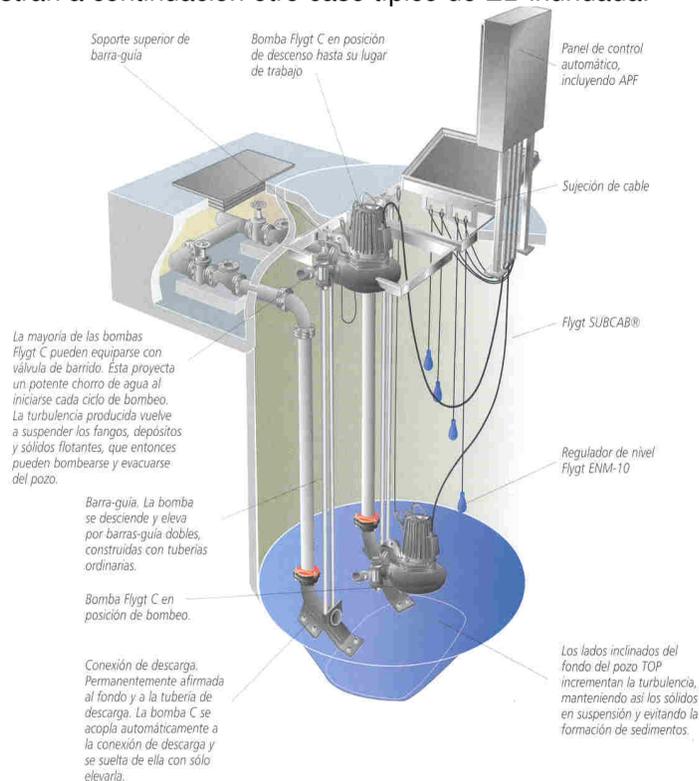


Fig. I.4.- Estación de bombeo cloacal tipo inundada (con electrobombas sumergibles)

B.- Cámara Seca

En una EB de Cámara Seca las bombas están ubicadas en una sala contigua al pozo de bombeo.

El recinto contiguo puede estar al costado del pozo de bombeo, o arriba de él. En el primer caso (ver figuras I.1 y I.5) la sala de bombas debe estar aislada del pozo de bombeo no sólo por un muro divisorio sino por válvulas en la cañería de aspiración de las bombas, a fin de evitar que ante un desarme de los equipos el líquido ingrese al recinto. En el segundo caso (fig. I.5), los equipos requieren de un dispositivo especial para el cebado de las bombas, previo a su puesta en marcha.



Fig. I.5.- Estación de bombeo de cámara seca

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 diferencias 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.3.- Principales componentes.

Como concepto general, una estación de bombeo es una instalación hidroelectromecánica contenida dentro de una obra civil.

Atento a ello sus principales constituyentes son: por un lado las obras civiles, donde se conjugan los requerimientos hidráulicos, estructurales, funcionales y estéticos. Por otro lado están 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.

Las obras civiles de toda EB sea para el servicio que fuere 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 operador; Parques y jardines.

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

I.3.1.- 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 fluido hacia cada una de las cañerías de aspiración de las bombas.

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, denominada también “aducción” o “cañería afluyente”. 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 afluyente, 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.

I.3.2.- Pozo de bombeo/cámara de aducción.

Es el recinto hidráulico donde se recibe el líquido a bombear. Su función es la de compensar la diferencia de volúmenes que llegan a la EB con los que habrán de bombearse, dado que la falta de coincidencia entre el caudal afluyente a la estación [Qa] y el caudal efluente [Qe], o bombeado requiere de un volumen de atenuación.

La diferencia de niveles en el pozo de bombeo determina generalmente el momento del arranque de 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.

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 formación de vórtices que pudieran provocar un daño a los equipos o al menos, una disminución de su rendimiento.

La siguiente figura muestra en planta el ejemplo de aplicación 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.

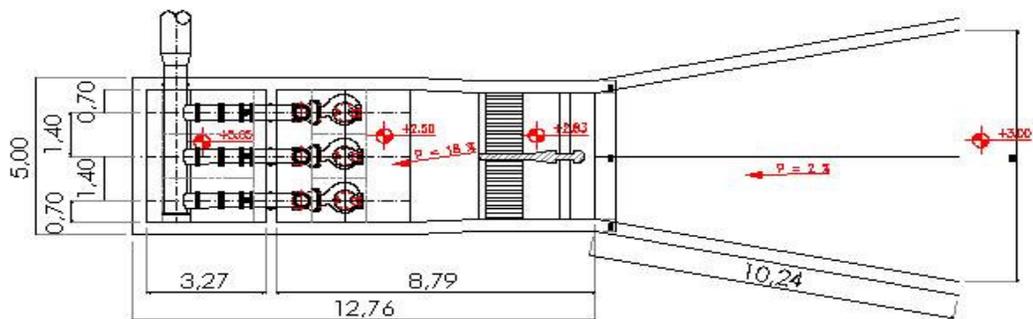


Fig. I.6- Vista en planta de una EB pluvial con tres bombas sumergibles

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.

I.3.3.- Casa de bombas y sala de comando.

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 I.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.

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

Si bien las instalaciones electromecánicas de las EB puede 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; Bombas; Colector de salida; Válvulas; Motores; Tableros; Atenuadores de efectos transitorios; Equipos de izaje; Iluminación; Elementos de medición y control, etc.

La descripción detallada de los mismos figura en el Punto IV.5.- Instalaciones Auxiliares.

II.- Aspectos técnicos que enmarcan los proyectos de drenaje superficial.

Dentro de la variedad de factores que determinan las características de un proyecto hidráulico se destaca la ubicación geográfica que condiciona su disposición general, las características del subsuelo que restringe las alternativas de proyecto y la capacidad de regulación y retención.

II.1.- Hidrología. Hidrograma de aporte y condiciones de bombeo.

Las obras hidráulicas de superficie destinadas al control de escurrimientos superficiales deben proyectarse de acuerdo con las características de los caudales ingresados en cada uno de los puntos de control, de acuerdo con las características de escurrimiento de la cuenca.

A continuación se desarrollan los aspectos hidrológicos básicos que permiten determinar el hidrograma de aporte y en función de ello el desarrollo del diseño de la estación de bombeo.

II.1.1.- Conceptos básicos de hidrología

Fenómenos naturales

Los fenómenos naturales que definen los regímenes de los ríos pueden catalogarse como provenientes fenómenos externos (lluvia, nieve) y fenómenos internos (surgentes, afloramiento de napas, etc).

Otros fenómenos tales como vientos direccionados (sudestada) o mareas que afectan las zonas de descarga de los ríos modificando los niveles de agua, provocando el anegamiento de zonas adyacentes y comprometiendo las zonas pobladas.

Hidrología

Los ríos deben su caudal al aporte efectuado por fenómenos atmosféricos externos (lluvia, deshielos, etc.) o por fenómenos internos como ser el afloramiento de napas o aguas provenientes de por pozos surgentes. En su mayoría afectan zonas de cultivo y poblaciones que se encuentran en sus márgenes o desembocadura. Las zonas de escurrimiento es de baja pendiente y su caudal está vinculado mayoritariamente a las precipitaciones pluviales.

Ciclos de la atmósfera

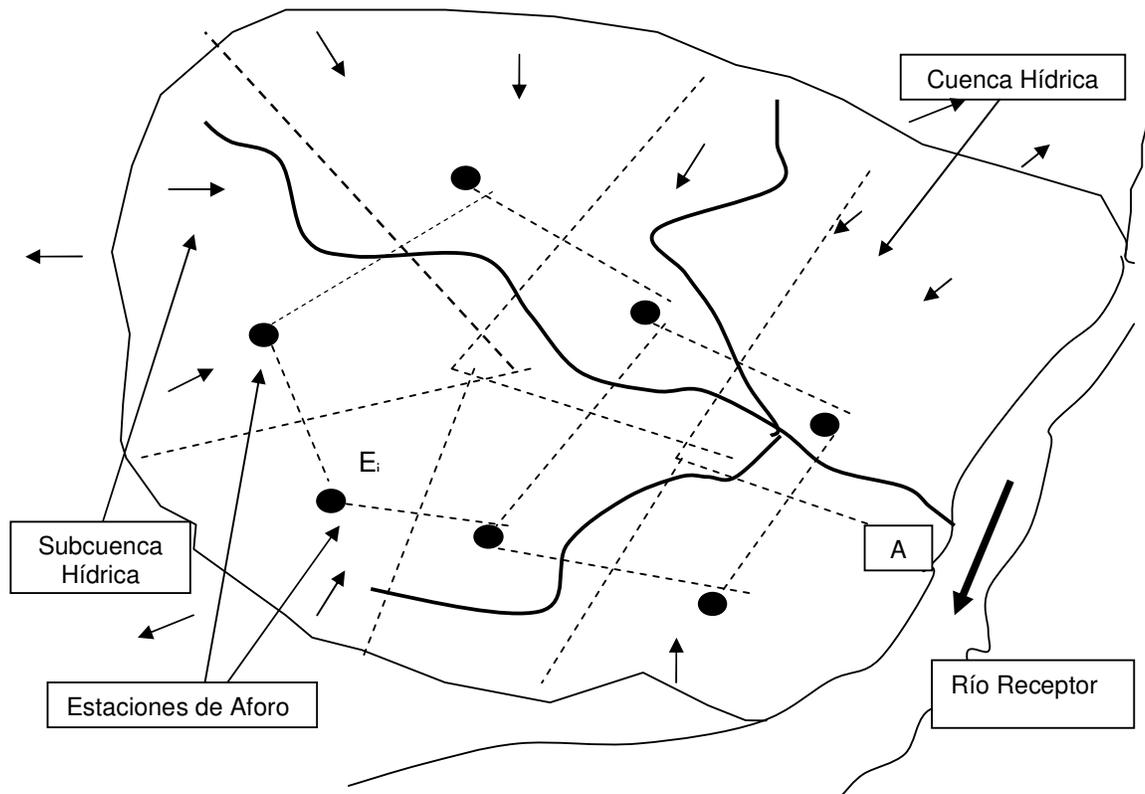
El ciclo principal de la atmósfera comprende el proceso de formación de tormentas y su transformación posterior en precipitación pluvial. Depende naturalmente de las zonas geográficas consideradas y su relación con el clima. La percepción anticipada de las lluvias mediante pronóstico permite evaluar la intensidad del evento futuro.

Mediante las técnicas de conocimiento de las tormentas y su distribución espacial es posible conocer con anticipación su forma e intensidad para diferentes grados de recurrencia.

Conocido este proceso es posible evaluar su comportamiento sobre la cuenca y sus efectos en coincidencia con accidentes geográficos determinados (cultivos, poblaciones, etc.).

Zonas comprendidas

Las zonas comprendidas por los fenómenos descritos son básicamente la cuenca receptora, o sea toda aquella superficie de terreno que en función de su cota geodésica y las condiciones del declive de la superficie conduzca los caudales precipitados hacia una sección "A" de control según se muestra en la figura siguiente:



Lluvia escorrentía

Para evaluar la precipitación es necesario conocer el régimen medio mensual de la zona, debiéndose disponer de registros históricos durante períodos prolongados (20 años o más).

Mediante estaciones de aforo (E_i) distribuidas en la cuenca se registran las precipitaciones p_i en cada sector, que extendidos a la totalidad de la cuenca se determina la precipitación media.

Para ello es necesario sectorizar y determinar la zona de incidencia de cada registro.

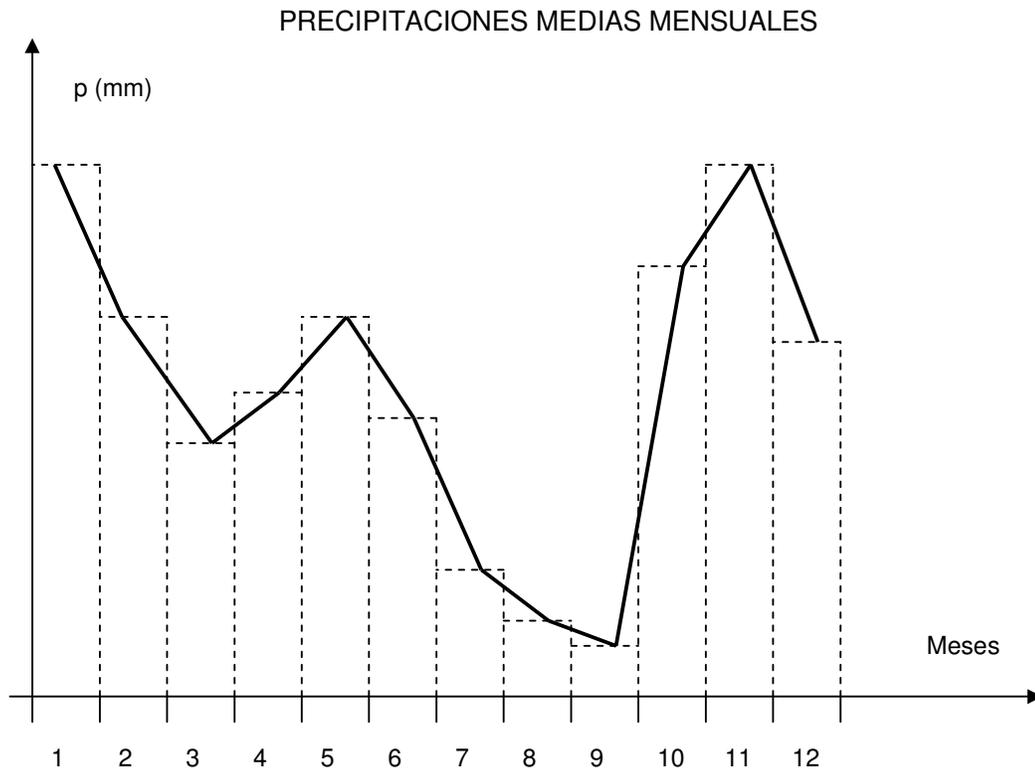
Mediante la aplicación de los polígonos de Thiessen se define la subcuenca hídrica que incide sobre cada estación. Uniendo las estaciones de aforo entre sí y trazando las perpendiculares por la distancia media se delimita cada subcuenca, donde se admite que la precipitación es uniforme dentro de su área.

Así, la precipitación media se expresa como:

$$p_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i * S_i}{S_{total}}$$

Donde: p_i = Precipitación estación "i";
 S_i = Área de la cuenca "i";
 S_{total} = Área total de la cuenca.

Efectuando los promedios mensuales se obtiene el histograma que representa el comportamiento medio de la precipitación durante el año, según se muestra a continuación:

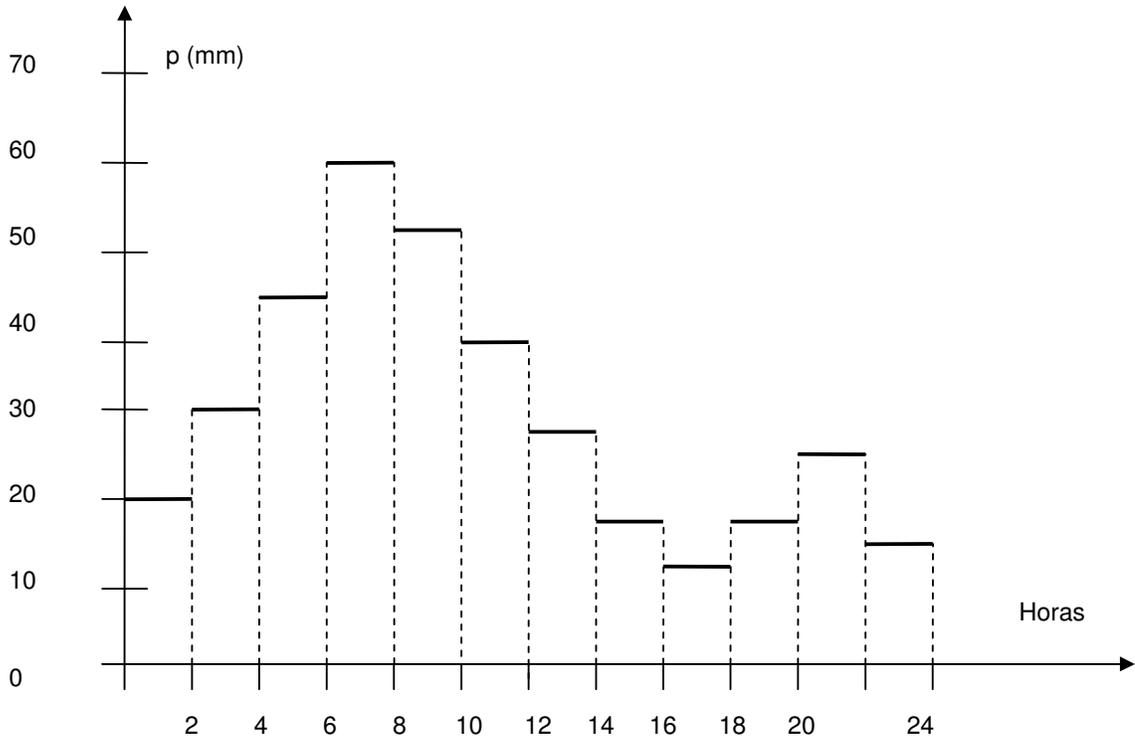


Para conocer el comportamiento de la lluvia durante el evento (tiempo que dura la lluvia o tormenta), se determinan intervalos en los cuales la precipitación se considera constante, dato que surge del registro continuo con un pluviógrafo.

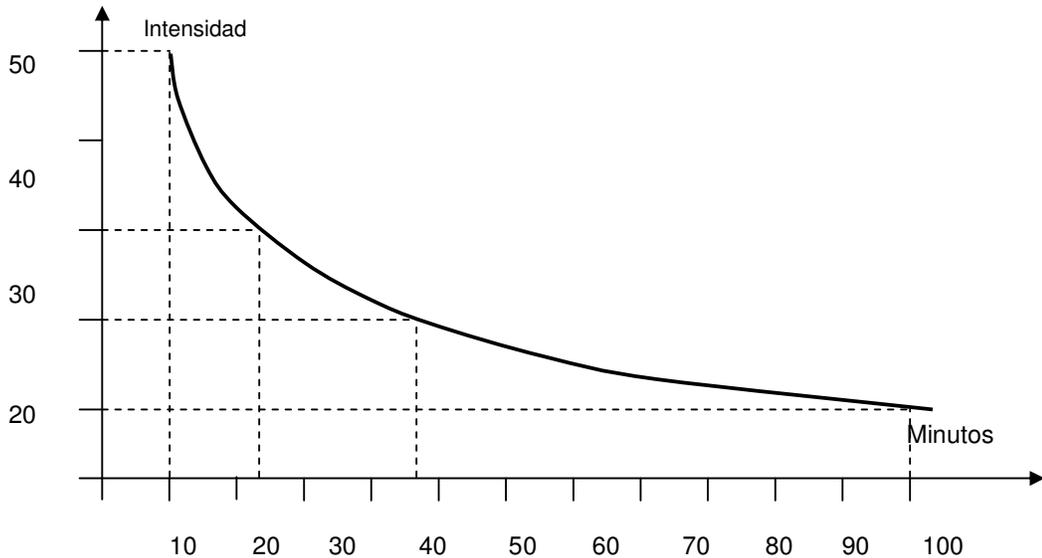
Hietograma. Las obras de control de caudales superficiales están sometidas a la acción de las precipitaciones pluviales (lluvias), que se manifiestan de acuerdo con las características del hietograma y las dimensiones físicas de la superficie de la cuenca.

Esta precipitación tiene una distribución espacial y temporal que deberá ser tomada como dato de proyecto, con la recurrencia adoptada que permita determinar la forma e intensidad de la precipitación dentro de cada cuenca.

Con los datos sucesivos se obtiene el "Hietograma" del evento, o sea el valor de la precipitación durante la duración del fenómeno:



Luego de haber determinado las condiciones de la precipitación, queda por mencionar que estos valores están asociados a una recurrencia del evento, o sea que al determinar el comportamiento de la lluvia, generalmente en una duración del orden de 24 horas, el mismo tiene asociada una recurrencia, o sea una probabilidad de ocurrencia. Ordenando los valores de precipitación por unidad de tiempo en forma decreciente, se obtiene el diagrama de duración según se muestra a continuación:



Los valores así ordenados muestran la tendencia de la distribución de la lluvia, siendo utilizado para la evaluación de las capacidades necesarias para efectuar la atenuación en el proceso de lluvia-escorrentía, o sea la manifestación de la misma sobre el terreno y su capacidad de

La precipitación total sobre la cuenca sufre pérdidas hasta llegar a transformarse en hidrograma aportado medido en la sección "A".

Básicamente existen dos fenómenos que producen las pérdidas: la evapotranspiración y la infiltración. La primera vinculada a la capacidad de evaporación de la lámina de agua precipitada debido a la acción combinada de la temperatura, humedad luz solar.

La expresión de Thornthwaite permite calcular el volumen evaporado mediante el mecanismo de evapotranspiración potencial expresado por:

$$ET_p = 1,6 * \left(\frac{L_1}{12}\right) * \left(\frac{N}{30}\right) * \left(\frac{10T_a}{I}\right)^{a_1}$$

Donde. ET_p = Evapotranspiración potencial;

L_1 = Número de horas reales de sol al día;

N = Número de días de sol al mes;

T_a = Temperatura media mensual en °C;

I = Índice de calor derivado de la suma de 12 valores índices mensuales (i_i), calculado según:

$$i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1,514}$$

La infiltración depende de las características naturales del terreno, siendo un parámetro a determinar según las condiciones imperantes en la zona a partir de estudios geotécnicos y geológicos del subsuelo y de las condiciones de laboreo de la superficie, producto de estudio de las disciplinas específicas y dato de entrada para el análisis hidráulico objeto del presente curso.

Ambos fenómenos asociados a las condiciones topográficas modifican los volúmenes precipitados a la vez que le otorgan características de conducción que se traducen en un retraso entre el registro del evento y su manifestación en la sección "A" de aforo.

A tal fin se definen los parámetros principales que relacionan el exceso de precipitación de la cuenca y su efecto en dicha sección:

t_c : Tiempo de concentración:

Tiempo que tarda una gota en llegar desde el punto hidrológicamente más alejado hasta la sección de control "A".

t_r : Tiempo de duración del aguacero o lluvia

T_b ó T_e : Tiempo del evento o base del hidrograma

T_e : $t_c + t_r$

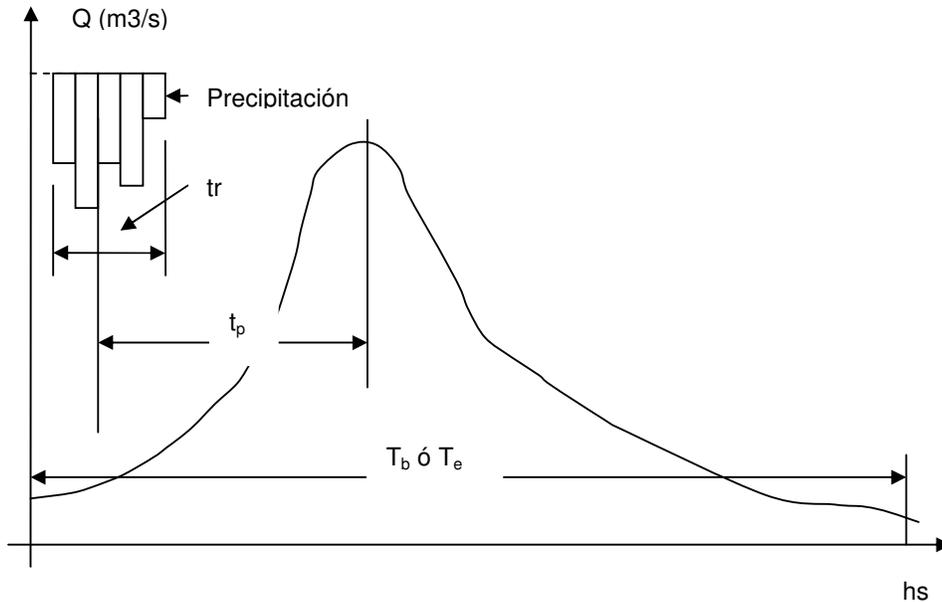
t_p : Tiempo de respuesta o retardo de la cuenca. Tiempo comprendido entre el centro de gravedad del pluviograma (hietograma) y el pico del diagrama de aporte o hidrograma.

Estos valores se indican en la figura siguiente.

Hidrograma afluente. Las obras de control de superficie para cumplir con su cometido deben tener capacidad para crear las condiciones hidráulicas a lo largo de los conductos y disponer de los puntos de control y bombeo acorde con las condiciones de aporte.

El hietograma de la precipitación al transformarse en hidrograma de aporte registra una atenuación y modificación de acuerdo con el grado de impermeabilización. Las cuencas con bajo grado de ocupación sufren con el tiempo un incremento de la impermeabilización de la superficie que incrementa el caudal arribado a la sección de control, modificándose el tiempo de concentración y el volumen escurrido. Parámetro identificado como "coeficiente de escorrentía".

Por ello es necesario determinar el año horizonte de cada proyecto, la recurrencia de la precipitación y la evolución del grado de impermeabilización para disponer las capacidades de las instalaciones durante la vida útil del proyecto.



Así, la forma final del hidrograma en la sección de aforo depende de las características intrínsecas de la cuenca en los aspectos topográficos, geológicos, geotécnicos y climáticos.

Evaluación del comportamiento de la lluvia. Disponibilidad de datos

Para evaluar el comportamiento de la lluvia y sus efectos sobre el terreno es necesario disponer de datos de precipitaciones con el mayor detalle posible. Situación que en general presenta dificultades, ya que la instalación de estaciones meteorológicas y su operación a lo largo del tiempo no siempre resulta una tarea en la que perdure la organización, registro y análisis de datos.

La duración media de una serie de registro de datos de precipitaciones debe aproximarse a los 20 años, tiempo que supera los períodos de organización, disposición de equipos, incidencia de los cambios tecnológicos, dotación de personal, etc.

Frente a la falta de series de datos prolongados se han generado técnicas que permiten evaluar los valores extremos de las tormentas y su comportamiento dentro de cada evento.

La evaluación de tormentas importantes en la ciudad de Chicago (EE UU), dió origen al Método de Chicago, que en forma simplificada permite calcular el caudal pico del evento en función de la distribución temporal a partir de datos de intensidad, duración, frecuencia (I-D-F) de la lluvia y de las características de la cuenca.

Otro método simplificado es el Método Racional que de forma similar relaciona el caudal máximo del hidrograma con las características de la cuenca con áreas del orden de 2 km². Esta limitación está relacionada con el tipo de cuencas, algunos especialistas en la materia extienden su aplicación hasta 13 km².

La hipótesis fundamental del método consiste en suponer una lluvia constante y uniforme que cae sobre la cuenca de estudio producirá un gasto de descarga, cuyo valor máximo se alcanza cuando todos los puntos de la cuenca están aportando al mismo tiempo en la sección "A" de control.

Expresión del caudal máximo:

$$Q = 0,278 C i A$$

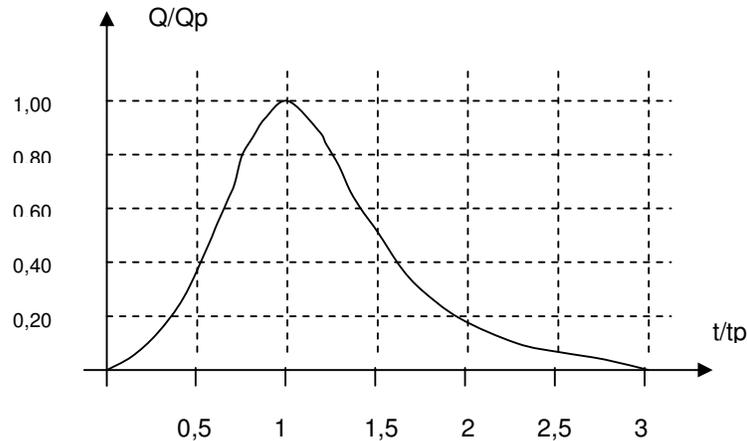
Donde:

- Q: Caudal máximo de crecida (m³/s);
- C: Coeficiente de escorrentía;
- I: Intensidad de la lluvia correspondiente a una tormenta cuya duración es igual al tiempo de concentración del área y con una frecuencia adecuada a la economía e importancia de la obra (mm/h);
- A: Área de la cuenca de aporte (km²)

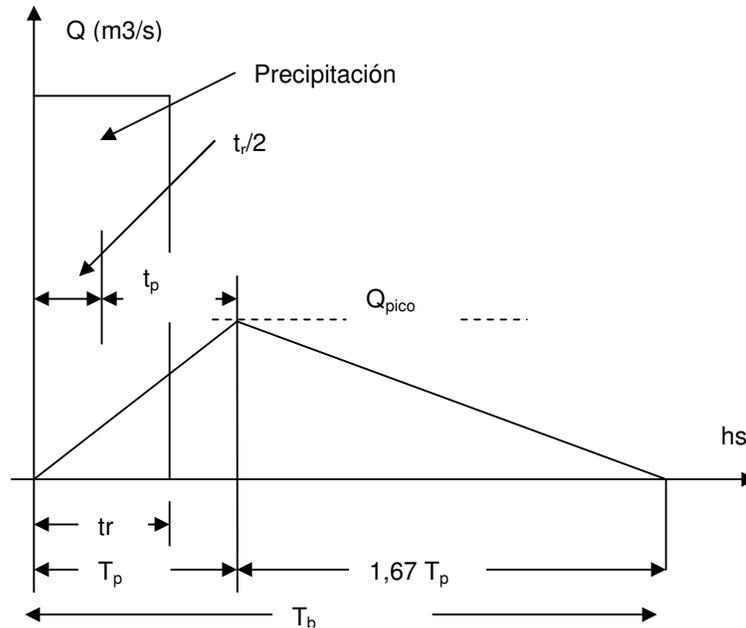
Otra forma de evaluar el comportamiento de la lluvia sobre la cuenca es mediante la confección del diagrama unitario que expresa el caudal excedente de la cuenca, elaborado sobre la base de una precipitación de intensidad unitaria (1 cm, 1 pulgada, etc.) para un evento típico determinado. Las principales características que posee son:

- 1.- El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva;
- 2.- El exceso de precipitación está uniformemente distribuido a través de todo el área de drenaje;
- 3.- El tiempo de base T_b del evento resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante;
- 4.- Las ordenadas de todos los diagramas con igual duración del tiempo de base son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía, manteniendo la forma del diagrama;
- 5.- Para una cuenca dada, el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca.

Refiriéndolo al caudal pico se construye el hidrograma unitario adimensional, para ello cada una de las ordenadas se divide por el caudal máximo o de pico $Q_{adim}: Q_i/Q_{pico}$ y las abscisas afectadas por el tiempo de pico $t_{adim}: t_i/t_{pico}$ obteniéndose el diagrama siguiente:



Otra forma de disponer de elementos de cálculo para la evaluación del evento en la sección de control es la elaboración del diagrama triangular, trazado a partir del volumen en exceso precipitado sobre la cuenca con variación lineal de las ramas ascendentes y descendentes, representando el hidrograma de aporte en la sección considerada. El área del triángulo corresponde al área del diagrama de precipitación y su perfil es el siguiente:



Estimaciones con modelos matemáticos:

Mediante la aplicación de algunas de las técnicas descritas o una combinación de ellas es posible evaluar el comportamiento de una cuenca frente a un evento meteorológico. Para ello es necesario disponer de un potencial de cálculo que permita el procesamiento simultáneo de las variables. Los modelos matemáticos responden a este requerimiento, habiéndose desarrollado una amplia gama, entre los que se destaca el HEC-RAS desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del US Army Corps de EEUU que permite analizar flujos en régimen permanente e impermanente.

Con las técnicas mencionadas es posible disponer del hidrograma de aporte en la sección "A" y así definir las características de la o las estaciones de bombeo en el marco de los requisitos del proyecto y del año horizonte fijado como límite de su vida útil económica.

Obras de captación de caudales:

Las obras de captación y derivación de caudales en zonas rurales consisten básicamente en el encauzamiento de las aguas hacia la sección de control y la incorporación de efectos retardadores que atenúen el hidrograma de aporte.

En las nacientes de los cauces de aporte es posible colocar azudes atenuadores. Mediante la instalación de un cierre de mediana altura con un orificio calibrado se incorpora un volumen de regulación que frente al caudal aportado variable se comporta como cuenco de retención si se supera el caudal de diseño del orificio. Esta instalación no presenta elementos móviles de regulación, siendo necesario atender solamente los elementos sólidos que arrastrados por la corriente arriben a la sección de ingreso.

En caso de requerirse control de los caudales se instala una compuerta o válvula que permita la regulación total del caudal.

La conducción en superficie se realiza mediante canales a cielo abierto en su mayoría sin revestir y perfilados acorde con las características del terreno.

En las zonas urbanas y periurbanas la captación de las aguas superficiales se realiza en superficie mediante canales a cielo abierto revestidos y para instalaciones sumergidas mediante bocas de tormenta y conductos sumergidos que en general conducen el caudal a sección llena.

Evaluación de la capacidad de regulación

La capacidad de regulación de los cuencos atenuadores es posible definirla a partir del diagrama de masas al igual que el que se describe en el Punto III.2.- Cantidad de estaciones. Módulo de bombas. Localización de una E. B., al analizar el volumen útil de la cámara.

Otro método es el Método de Conti, que a partir del diagrama de masas y considerando un volumen útil del cuenco permite identificar la secuencia de caudales erogados con la mayor regularidad posible. En el límite, permite evaluar la capacidad necesaria del cuenco para efectuar una regulación a módulo, situación óptima para el diseño de instalaciones de bombeo. Para evaluar la capacidad de conducción de los canales, ya sean revestidos o sin revestir se aplica la expresión de Chézy:

$$V(h) = C * \sqrt{R(h)} * J$$

Donde:

V(h): Velocidad media del fluido en m/s, en función del tirante hidráulico;

C: Coeficiente de proporcionalidad, depende de las características del canal;

R(h): Radio hidráulico, en m, función del tirante hidráulico;

J: Pendiente de la línea de agua.

C es posible calcularlo según las siguientes expresiones:

s/ Manning:

$$C = \frac{1}{n} * R(h)^{1/6}$$

s/Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R(h)}}}$$

s/kutter.

$$C = \frac{100}{1 + \frac{m}{\sqrt{R(h)}}}$$

n y m: Parámetros dependientes de la rugosidad de la pared. La expresión más difundida es la de Manning, quien aporta una vasta gama de valores para "n", ver Bibliografía: (8).- Hidráulica de los Canales Abiertos. Ven Te Chow.

Por su parte las obras de captación para conductos sumergidos consistentes en las bocas de tormenta, basan su capacidad de derivación en función del espesor de la lámina líquida, la longitud del perímetro de la rejilla en la sección de entrada y un coeficiente de enrejado según se indica a continuación.

$$Q = 1,7 * P * y^{2/3}$$

Donde: Q: caudal en m³/s.

P: perímetro de la rejilla en m.

y: profundidad de la lámina de hasta 12cm.

Para profundidades de Lámina de más de 42cm

$$Q = 2,91 * A * y^{1/2}$$

A: Área neta de la rejilla m².

Capacidad de conducción conductos sumergidos:

La determinación de la capacidad de conducción de los conductos sumergidos se determina mediante la determinación de la pérdida de carga según la expresión de Darcy Weisbach u otra expresión similar de uso corriente en la especialidad. Su expresión es:

$$J = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde.

J: Pérdida de carga total en m;

f: Coeficiente de fricción, depende de la rugosidad del conducto y N^a Reynolds;

L: Longitud del conducto m;

D: Diámetro del conducto m.

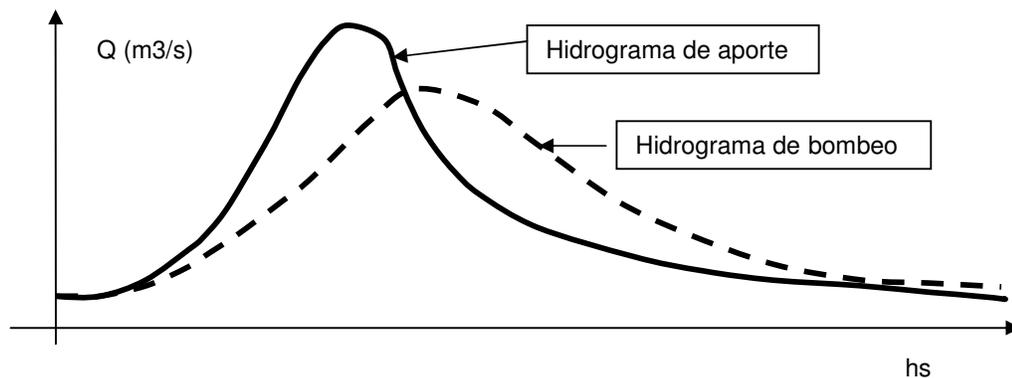
V= Velocidad media de la corriente fluida m/s;

Los temas expuestos representan un resumen de la diferentes técnicas a tener en cuenta durante el análisis de una cuenca hídrica, ya sea en zonas rurales, urbanas o periurbanas tendientes a evaluar su comportamiento frente a un evento hidrológico (lluvia, tormenta, etc.), su efecto en una sección de control y los elementos a tener en cuenta para el diseño de las estaciones bombeo que se requieran, cuando la evacuación del caudal se hace hacia un curso de agua receptor, que eventualmente sufra efectos de crecienta que dificulten el drenaje desde la zona continental, o anegando las zonas bajas de las poblaciones adyacentes.

Instalaciones de bombeo.

Efecto regulador de la cámara de aducción

La capacidad de atenuación del volumen útil de la cámara de aducción de la estación de bombeo se considera para la determinación del caudal instalado y la forma de operación de los equipos. El efecto que produce es la modificación del hidrograma de aporte incorporando una nueva capacidad de atenuación, entregando al cuenco o río receptor un hidrograma atenuado según se indica en el gráfico siguiente:



Con lo expuesto se completa el itinerario de las partículas fluidas desde el momento de la precipitación hasta su arribo a la sección de control descontadas las pérdidas en ruta. O sea que se dispone del hidrograma del excedente de la cuenca, ya que las retenciones por zonas de terreno deprimido, evapotranspiración e infiltración representan volúmenes derivados o retenidos que no llegan a la sección de control.

A continuación se desarrollan los principios básicos y de cálculo para el diseño de la estación de bombeo como último elemento hacia el cuenco receptor final.

II.2.- Ubicación geográfica.

Los sitios de bombeo se surgen de la combinación entre la topografía del lugar y los requerimientos de orden hidráulico, a partir de los hidrogramas de aporte o de demanda según sea el tipo de proyecto.

En zonas urbanas la selección de la ubicación geográfica de los lugares de bombeo representa un dato fundamental dentro del conjunto de decisiones a adoptar.

La ubicación geográfica condiciona la disponibilidad y dimensión del terreno disponible para ubicar la estación, como así también la determinación de las cotas de llegada y de impulsión del fluido.

Los costos de expropiación de los terrenos (importantes en las zonas urbanas) pueden condicionar la rentabilidad del proyecto. Por ello la selección de los lugares de bombeo resulta de vital importancia para el buen desarrollo técnico-económico.

II.3.- Condiciones del subsuelo.

El perfil hidráulico definido como más conveniente para cumplir con los objetivos del proyecto estará condicionado en lo referido a las soluciones técnicas a adoptar en su desarrollo y especialmente en las estaciones de bombeo por las condiciones del subsuelo en el que se implantarán.

La cota de toma en las instalaciones de agua potable y la de llega en saneamiento cloacal o manejo de inundaciones urbanas, representan los puntos de partida para el desarrollo de la instalación.

El módulo y tipo de bombas impone la altura de aspiración mínima requerida, llevando la cota de fondo en la aducción a los valores mínimos.

El perfil de la obra civil refleja estos requerimientos, que se traducen en cargas debidas a la subpresión por efecto de la napa freática y la carga efectiva a transmitir al terreno proveniente del peso de las estructuras con el respectivo equipamiento, debiéndose conocer por ello la capacidad portante del subsuelo.

En zonas de llanura, adyacentes al curso de importantes ríos (p.ej.:Paraná, Paraguay, Uruguay) la capacidad portante del suelo es reducida, condicionando el perfil de las obras. Por ello, en todos los casos deberá disponerse de este dato al momento de comenzar el proyecto.

II.4.- Capacidad de retención y regulación de caudales afluentes.

Almacenamiento y retención. La forma del hidrograma de aporte a cada uno de los puntos de los proyectos hidráulicos condiciona el dimensionamiento de las estructuras (bocas de tormenta, conductos, cámaras de compensación, secciones de compuertas, estaciones de bombeo, etc.). El valor del caudal de diseño tiene una relación directa con el pico del aporte y el tiempo de operación en relación a la duración del fenómeno.

La incorporación de elementos compensadores en ruta permite la atenuación paulatina de los picos, haciendo tender el diagrama a una distribución más estable, aumentando la duración.

En este sentido existen elementos a disponer desde la colección en las canaletas de los techos hasta la creación de depósitos de gran volumen con capacidad para absorber la totalidad del pico del diagrama de aporte, llegando a regular en forma completa los caudales.

Toda medida que se adopte para atenuar - aunque sea parcialmente - el pico del aporte redundará en un importante beneficio para el dimensionamiento de las estructuras, aportando una capacidad de sobre carga del sistema en caso de registrarse un evento superior al de proyecto.

En proyectos de drenaje urbano se prevé la instalación de reguladores en descarga de canaletas, laminadores en boca de tormenta y grandes reservorios subterráneos ubicados en las zonas altas y media de la cuenca.

Diseño Hidráulico de las obras de bombeo. Las estaciones de bombeo requeridas por los sistemas hidráulicos para cumplir con el manejo del fluido deben disponer la capacidad y seguridad de servicio compatibles con los objetivos del proyecto. En tal sentido, deben asegurar la transferencia del fluido en el momento en que es requerida, teniéndose presente que en la mayoría de los casos la eficiencia del proyecto depende del servicio de bombeo.

Efecto de las retenciones. El hidrograma afluente a la estación de bombeo representa el dato de entrada para la definición de sus parámetros básicos. Este debe responder al resultado de la operación del modelo lluvia escorrentía sobre la cuenca de aporte, con la incorporación de los efectos del incremento de la impermeabilización y los retardos impuestos por atenuadores, laminadores y obras de retención aguas arriba del punto de bombeo.

La forma del hidrograma, como ya se indicó, deberá tender a ser lo más estable posible a los efectos de lograr la mayor uniformidad posible del diagrama con mínimo volumen de compensación.

La incorporación de retenciones sucesivas contribuyen en el aplanamiento del hidrograma, situación que reduce el caudal instalado.

Las dimensiones físicas de las cámaras responden a dos patrones de diseño, uno el impuesto por la forma final del diagrama de aportes y otro el resultante de la real disponibilidad del terreno.

Para obras urbanas periféricas destinadas al control de inundaciones, en general no se disponen superficies acorde con los requerimientos teóricos.

Existe la posibilidad de crear cuencos reguladores que asistan en la atenuación del pico, permitiendo optimizar la estación de bombeo.

Las obras ubicadas en centros urbanos con gran densidad de población deben ubicarse en zonas muy restringidas, en general debajo de las calles y con ocupación parcial de la zona de veredas.

Las disponibilidades de terreno son reducidas, siendo necesario recurrir a soluciones de compromiso que compensen los aspectos hidráulicos, económicos y de operación y mantenimiento.

Al respecto caben dos menciones directas experimentadas en nuestro medio. Las obras de Regulación y Saneamiento del Río Reconquista se disponen en zonas amplias y con restricciones reducidas. Las 10 (diez) estaciones de bombeo disponen de lugar para incorporar un cuenco regulador, permitiendo optimizar las dimensiones de la cámara de aducción.

Por su parte las obras de Saneamiento del Sistema Matanza Riachuelo se desarrollan en zonas con restricciones medias siendo factible la consideración de pequeños cuencos, situación que lleva a disponer de soluciones de carácter intermedio.

En cambio, las obras del Sistema de Control de Crecidas de la zona de Boca-Barracas, con 7 (siete) estaciones de bombeo plantea las exigencias clásicas de estaciones en zona urbana. Todas ellas se ubican en adyacencias del Riachuelo con reducida disponibilidad de terreno. La más exigida, ubicada en Pedro de Mendoza 2002 (Vuelta de Rocha), con 33,28 m³/s de caudal instalado posee un lugar reducido en relación a los caudales a manejar. Las posibilidades de compensación son mínimas, siendo necesario acompañar el diagrama de aporte mediante la incorporación de grupos en tiempo real, con importantes oscilaciones de los niveles en la zona de aducción. Estos datos ilustran sobre el grado de competencia alcanzado por nuestro país en el control de crecidas en zonas urbanas, particularmente en la última década.

Por otra parte, para estaciones destinadas al manejo de efluentes cloacales, su ubicación en general se dispone en zonas urbanas con elevado índice de urbanización. La disponibilidad de terreno es igualmente crítica. La geometría de la estación resulta de la combinación de las dimensiones del terreno, la forma del hidrograma de aporte y de las condiciones de permanencia máxima del fluido en el interior de la cámara (20 minutos).

Otro factor que tiene incidencia sobre la geometría es la disposición de elementos de control de los efectos transitorios, como tanques AARA de compensación con el objeto de proteger las conducciones frente a las maniobras de puesta en marcha y detención de las bombas.

II.5.- Confiabilidad de servicio.

Los servicios que deben cumplir las instalaciones hidráulicas están destinados a amplios sectores de la sociedad, por ello su aporte debe ser eficiente en calidad y oportuno en el momento de ser demandado. Las inversiones puestas en juego son de valor absoluto importante, siendo necesario percibir sus beneficios al momento que es requerido.

La confiabilidad de servicio debe ser elevada; cada unidad de tiempo en que la instalación no cumpla con su cometido representa una pérdida en términos económicos que la sociedad deja de percibir.

Estos conceptos deben primar en el diseño, operación y mantenimiento de estas instalaciones. El suministro de agua potable, la colección de residuos cloacales, el control de las inundaciones, etc. deben cumplir con su cometido en forma eficiente al momento de ser requerido.

Por ello, el suministro de energía a las plantas de bombeo debe prever una elevada confiabilidad. Para lograrlo se dispone para el suministro de la red pública que la alimentación debe realizarse desde dos puntos de alimentación (centros independientes). El puesto de transformación deberá contener un transformador o bobinado en reserva para atender las fallas.

A modo de complemento o redundancia se plantea la posibilidad de disponer un grupo electrógeno local con capacidad para abastecer una parte de las bombas (aprox. 30%) para atender el momento de la emergencia hasta tanto sea reparado el sistema de alimentación principal.

Esta disponibilidad depende del grado de premura que demande el sistema.

Así una instalación que disponga de información anticipada de un sistema de alerta o por transmisión convencional (vía telefónica) puede disponer los equipos con cierta anticipación. En cambio eventos que requieren el bombeo una hora después de producido no otorga tiempo para la disposición de los equipos, requiriendo del servicio de operación y mantenimiento la máxima eficiencia y la mejor disposición del "Mantenimiento Preventivo".

III.- Planteo de alternativas y evaluación técnico económica.

Definidas las características del proyecto, las alternativas a ser analizadas deben cubrir la totalidad de los esquemas que a criterio del proyectista sean aplicables.

Se deben considerar los aspectos de orden civil y electromecánico que sean aplicables al proyecto.

Así para una instalación de bombeo de agua potable se tomarán como base el lugar de origen y destino del fluido asociado a la curva de demanda. Definido el caudal instalado se preverán esquemas que combinen los tipos de cámara más apropiados con equipos de bombeo afines al servicio. Por ejemplo un número mínimo de dos bombas con motor exterior o sumergido.

Para servicios cloacales, las estaciones de bombeo en los puntos de colección disponen en general de espacio reducido, siendo necesario el análisis de disposiciones compactas con restricciones para el cumplimiento de las relaciones geométricas mínimas indicadas por las normas de proyecto. La forma en planta en general se reduce a rectangular, cuadrada o circular. Este tipo, de características compactas es de uso corriente en lugares donde no se requieran sistemas accesorios para el control de los efectos transitorios.

Para el manejo de las inundaciones urbanas, donde se cuente con mayor espacio físico, la disposición de los equipos de bombeo presenta restricciones menores. Salvo, por ejemplo, el caso del proyecto de Boca-Barracas, Ciudad de Bs. As. donde las estaciones se ubican en lugares densamente urbanizados.

Las secciones en planta son del tipo cuadrado o rectangular, previéndose igual que en otros casos, un número mínimo de dos grupos de igual módulo como instalación básica.

A los efectos de controlar los caudales mínimos afluentes es necesario considerar un grupo de menor módulo cuyo valor de caudal se encuentra fuera del rango de aplicación de los equipos principales.

Para instalaciones hidroeléctricas, como ya se expresó, las consideraciones del bombeo parten de las características del sistema de generación de energía, mereciendo un análisis particular fuera del alcance de este curso.

La evaluación económica de un proyecto hidráulico equipado con estaciones de bombeo debe relacionar los beneficios esperados por la puesta en servicio de la instalación y los costos asociados para su construcción, operación y mantenimiento durante su vida útil.

Ambos aspectos condicionan el diseño de las instalaciones, abarcando el número y capacidad del sistema de bombeo. O sea que finalmente las características generales y de detalle de

estos puntos de control del sistema se encuentran íntimamente relacionadas con los factores económicos que dieron lugar a su concepción.

Para suministro de agua potable, los beneficios son de orden social, evaluándose la mejora que produce en la población abastecida la disponibilidad de agua de red en reemplazo de pozos de bombeo individuales desde la napa subterránea.

Similares consideraciones caben para la evaluación del servicio cloacal, donde la evacuación del efluente elimina las posibilidades de contaminación de la napa al reemplazar los pozos negros o reduce los efectos provocados por el vuelco al sistema pluvial.

Respecto del control de inundaciones las consideraciones son más amplias. El anegamiento de una zona urbana por efecto de lluvias intensas o por incremento del nivel de un río (caso de poblaciones importantes a la vera de los ríos), provocan el anegamiento de las propiedades, produciendo pérdidas importantes que pueden evaluarse económicamente.

Para ello se plantea el criterio del “daño evitado”, o sea la evaluación del efecto de una inundación en términos económicos en relación con la cota de inundación. Cuanto mayor sea la cota alcanzada por el agua, en caso de colapso o falla de los elementos de protección, mayores serán las pérdidas económicas ocasionadas.

A los efectos económicos, el “daño evitado” representa el “beneficio del proyecto”, pasando a integrar la relación Beneficio/Costo que deberá ser mayor que uno para hacer rentable el proyecto.

Relacionando la recurrencia del evento con la cota resultan diferentes configuraciones del proyecto de protección.

Así para recurrencias de 2, 5, 10, 50 o 100 años resultarán proyectos con inversiones crecientes. La definición de la recurrencia de proyecto determina su configuración y la capacidad de bombeo, como así también los puntos de control.

En casos de afectaciones de llanura con incidencia sobre zonas periurbanas y rurales se utilizan habitualmente dos esquemas de evaluación:

El “análisis directo” de las pérdidas por rubro productivo, como ser: ganadería para consumo humano, producción láctea, forrajes, cosecha de cereales, cosecha de oleaginosas, especies vegetales varias, herramental y útiles para labores agrícolas.

El “análisis probabilístico”, en cuanto a proyección de horizontes de pérdida en función de recurrencias de eventos hidrometeorológicos.

El cálculo de las pérdidas principales tradicionalmente se realiza por “comparación con precio testigo”; así en la afectación de obras de infraestructura se asimila la pérdida a la necesaria reposición del bien, como ser:

- Kilómetro de camino, ruta, vía férrea;
- Costo de puente, alcantarilla, obra de arte vial y/o férrea;
- Kilómetro de línea eléctrica, de comunicaciones, de alumbrado público (incluyendo las piezas sostén y accesorios);
- Kilómetro de canal;
- Costo de obra de toma, partidior, derivador y obras de arte hidráulicas en redes de riego;
- Edificaciones rurales para explotación agropecuaria.

El estudio detallado de pérdidas principales también conduce a la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo esperables en consonancia con eventos hidrometeorológicos previstos y mensurables (en este caso se intenta evaluar el “riesgo medio anual esperado” para una localidad o una área determinada), para lo cual deben aplicarse parámetros de sensibilidad económica y definirse tasas de interés y descuento a aplicar.

Otros aspectos que es necesario tener en cuenta en el diseño de una EB es 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

III.1.- Determinación de los lugares de bombeo.

Tal como se expresó, la configuración y características del proyecto están en función de los parámetros económicos utilizados durante la evaluación.

La cantidad y características de los lugares de bombeo responden de dichos parámetros, siendo el punto de partida para el proyecto detallado de las obras.

En instalaciones de saneamiento, agua potable o efluentes cloacales, los lugares físicos tienen en general pocas alternativas, ya que se encuentran condicionados por la trama urbana. Las ubicaciones pueden ser en zonas de veredas o centros de calle, con instalaciones subterráneas.

En el control de inundaciones, el criterio básico es efectuar retenciones en la zona alta de la cuenca de aporte, mediante la creación de embalses permanentes (depósitos de gran volumen en centros de calles, túneles, plazas, canchas de fútbol) o transitorios (lugares de recreación, parques, etc) que efectúen una atenuación del pico del hidrograma de aporte.

Luego de superado el evento, la descarga puede ser por gravedad, controlada mediante una sección de escurrimiento o por bombeo de baja capacidad durante un tiempo prolongado.

III.2.- Cantidad de estaciones. Módulo de bombas. Localización de una E. B.

Luego de fijada la cantidad de puntos de bombeo será necesario optimizar su disposición y diseño mediante la densificación de los datos básicos de proyecto, incrementando los trabajos topográficos y geotécnicos que permitan corroborar las primeras apreciaciones del proyecto.

En zonas de llanura, cualquiera sea el tipo de proyecto, la precisión de los datos topográficos juega un papel importante. Las bajas pendientes llevan a convalidar la fusión de puntos de bombeo, eliminando estaciones y optimizando el módulo de las bombas, con una operación y control centralizada.

Caudal instalado. La determinación del caudal instalado en una estación de bombeo depende de la forma del hidrograma y de la capacidad de compensación de acuerdo con la geometría de la cámara.

La simulación del funcionamiento tiene como propósito evaluar el comportamiento del sistema de bombeo frente a las variaciones de caudal.

Cuando más estable sea el diagrama de aporte menor será el valor final del caudal instalado.

La relación $Q_{inst}/Q_{m\acute{a}x\ aportado}$ varía en relación a la capacidad de atenuación, resultando por ello de vital importancia disponer de reservorios o atenuadores que contribuyan a la estabilización del caudal.

Por otra parte, para atender situaciones operativas de emergencia se debe prever una capacidad adicional en concepto de reserva que conlleva el incremento de las dimensiones de la cámara.

Su incidencia final está vinculada al tipo de equipo de bombeo utilizado.

Modulación de las estaciones. En todas las instalaciones hidráulicas de bombeo, como es de suponer, su costo es directamente proporcional al caudal instalado. La limitación del caudal de pico y la regularización del diagrama de aporte son premisas básicas para el diseño económico de las instalaciones.

En las zonas periurbanas en general se disponen de cuencos reguladores que permitan lograr dicho objetivo. En cambio, en las instalaciones urbanas las disponibilidades de terreno son escasas y disponer de cuencos reguladores es prácticamente imposible. Por ello, es de vital importancia generar reservorios de acumulación o instalaciones de laminación en diferentes puntos de la alta cuenca a los efectos de arribar a la estación de bombeo con un diagrama lo más estable posible.

Sobre la base del caudal instalado (tomando como referencia la recurrencia de diseño adoptada, 2, 5, 10, 50, etc. años) se debe determinar la cantidad de grupos a instalar.

Como primer paso se tenderá a instalar como mínimo dos grupos (uno en servicio y otro en reserva). Planteadas las alternativas técnicas posibles – motor externo con eje extendido, motor externo con conducto en sifón, motor sumergido, etc. – se definirán las posibilidades del mercado en disponer de los equipos previstos. En el manejo de drenajes superficiales los valores de caudal a manejar superan con frecuencia las capacidades ofrecidas por la industria como equipos convencionales.

La instalación de equipos importantes, de gran porte, no solo está condicionada en el mercado en lo que hace a sus posibilidades de provisión, sino que debe además, debe prestarse atención al tipo de organismo que tendrá a su cargo la operación y el mantenimiento. La incorporación de nuevos equipos con avances tecnológicos respecto de grupos convencionales requieren la diagramación de rutinas operativas y de control fuera de las habituales, donde los Organismos o Instituciones encargadas de su atención no siempre poseen la agilidad operativa para adaptarse a los cambios. Es preferible relegar adelantos tecnológicos en pos de lograr mejores condiciones de servicio al momento del funcionamiento del sistema.

Definido el módulo máximo de los equipos se dispondrá la cantidad de equipos a instalar, con la respectiva reserva de potencia de bombeo y con ello la configuración de los parámetros restantes de la cámara y equipos accesorios.

Para realizar el diseño de una estación de bombeo, se requiere conocer en primer lugar:

- A.- Tipo de fluido a bombear.
- B.- Características del caudal afluente.
 - B.1.- Forma del hidrograma de aporte.
 - B.2.- Tipo de conducción. Niveles de llegada.
 - B.3.- Características físicas del fluido.
 - B.4.- Sólidos en suspensión o flotación.
- C.- Altura de impulsión.
- D.- Características físicas en la descarga.
- E.- Tipo de demanda o destino del fluido bombeado.

Las dimensiones de la cámara de aducción dependen del tipo de fluido a bombear, capacidad individual de los grupos de bombeo y de las características de los conductos de acceso.

Para efluentes cloacales, las dimensiones del cuenco deben ser tales que no permitan la decantación de los sólidos en suspensión, asegurando así la continuidad del movimiento y reduciendo las posibilidades de obturación y obstrucción de la instalación.

Para fijar la capacidad unitaria, o módulo de los grupos, se parte de la forma del hidrograma de aporte, atenuado por la capacidad de regulación de la cámara de admisión, que en principio resulta desconocida y se debe predimensionar.

Fijando a priori un módulo de bombas, tal que represente en principio la bomba de mayor tamaño disponible en el mercado, que pueda satisfacer la totalidad del hidrograma, se parte para la distribución de las dimensiones básicas, en planta y en elevación.

El ancho mínimo de la cámara se determina en relación al diámetro de la bomba adoptada. Para ello se toma como referencia la información disponible en la bibliografía técnica o en los catálogos y guías técnicas brindadas por los fabricantes.

Adoptando en planta una geometría acorde con las disponibilidades del terreno y tipo de conductos de acometida, se fijan las dimensiones de la sección de entrada.

Con las dimensiones básicas fijadas, es posible realizar una simulación del funcionamiento del bombeo aplicando las condiciones de continuidad:

Volumen bombeado = Volumen aportado + Volumen retenido en la cámara.

La oscilación del nivel de la cámara depende de las características del caudal afluente, la capacidad individual de las bombas y del volumen de compensación disponible en la cámara. Por otra parte, el nivel mínimo de operación de la bomba indica el límite físico de operación frente a las exigencias de la sumergencia para prevenir los efectos de la cavitación. Por ello, la profundización del fondo de la cámara depende de la altura mínima de aspiración requerida por la bomba. Esta altura es una función creciente con el caudal de la bomba, razón por la cual la modulación de los equipos condiciona las dimensiones finales de la cámara en relación con la sumergencia mínima que asegure su buen funcionamiento, con una protección adecuada.

Para lograr un bombeo eficiente del caudal aportado, se requiere, además del suficiente volumen de compensación en la cámara de aspiración, módulos de bombeo que se adapten al diagrama resultante entre el diagrama de aporte y el efecto del volumen de compensación. Desde el punto de vista de operación, mantenimiento y disponibilidad de repuestos, es aconsejable colocar grupos de igual módulo. Para evacuar los caudales mínimos del diagrama, o bien los aportes en épocas de estiaje, se necesita instalar, con frecuencia grupos de menor potencia, resultando estaciones con varios grupos y dos módulos diferentes.

Efecto regulador del cuenco receptor. Volumen de la cámara de aducción. El problema consiste en determinar el volumen mínimo de la cámara, compatible con la máxima frecuencia admisible de arranque de los motores impulsores de las bombas.

Para un caudal afluente Q_a que es variable en el tiempo - durante las horas del día y a lo largo del año - y la salida de un caudal de bombeo, que puede ser considerado constante por cada bomba. Puede admitirse esa constancia dado el pequeño rango de variación de las alturas manométricas que implica la variación de niveles en la cámara de aspiración.

El análisis del caudal a bombear incluye la selección de los equipos de bombeo y la determinación del caudal para configuración operativa de las bombas.

Con referencia al volumen óptimo de la cámara de bombeo se plantean dos hechos aparentemente contradictorios:

En el arranque, el motor eléctrico absorbe una corriente del orden de 6 a 10 veces mayor que la de régimen. Como el calor producido es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, se pueden producir fallas en la aislación que provoquen daños permanentes al equipo. Esta condición tiende a aumentar el período entre arranques, que demanda mayor volumen en la cámara de aspiración.

En instalaciones cloacales, los largos períodos de permanencia del fluido dan lugar a la sedimentación y septización del fluido. Esta condición tiende a disminuir el volumen de la cámara.

Por ello, la optimización del volumen de la cámara de aspiración deberá contemplar, de acuerdo con el tipo de servicio, un adecuado tiempo entre arranques para preservar los motores y un tiempo de permanencia máximo acorde con el tipo de fluido a bombear.

Cálculo del Volumen del Pozo de Bombeo

Con referencia al volumen óptimo de la cámara de bombeo se plantean dos hechos aparentemente contradictorios:

En el arranque, el motor eléctrico absorbe una corriente del orden de 6 a 10 veces mayor que la de régimen. Como el calor producido es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, se pueden producir fallas en la aislación que provoquen daños permanentes al equipo. Esta condición tiende a aumentar el período entre arranques, que demanda mayor volumen en la cámara de aspiración.

En instalaciones cloacales, los largos períodos de permanencia del fluido dan lugar a la sedimentación y septización del fluido. Esta condición tiende a disminuir el volumen de la cámara.

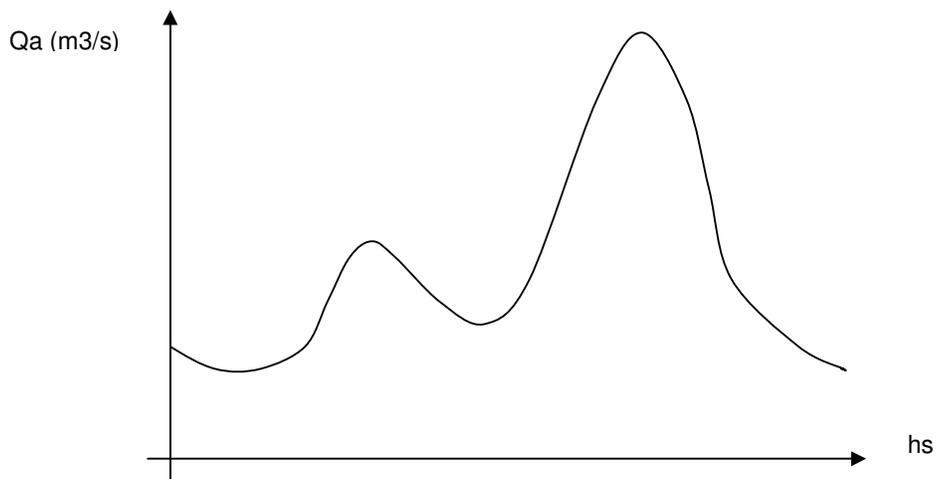
Por ello, la optimización del volumen de la cámara de aspiración deberá contemplar, de acuerdo con el tipo de servicio, un adecuado tiempo entre arranques para preservar los motores y un tiempo de permanencia máximo acorde con el tipo de fluido a bombear.

Método del diagrama de masas.

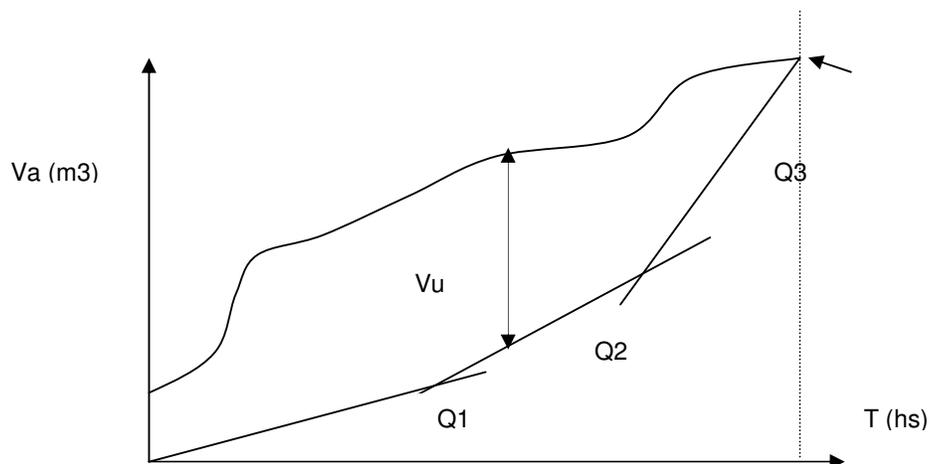
El método se fundamenta en la integración del hidrograma de caudales horarios y la representación gráfica de los volúmenes acumulados en función del tiempo y también de los volúmenes bombeados durante las horas del día, de acuerdo con el programa de funcionamiento de los equipos.

La curva de volúmenes aportados en "t" horas responde a la ecuación:

$$V_{ac} = \int_0^t Q_a dt$$



Trazando la curva de volúmenes acumulados en el plano V-t, las líneas rectas que puedan vincular distintos puntos de la curva con argumento alfa positivo ($tg\alpha > 0$) representan el caudal bombeado por el sistema. La máxima distancia vertical entre las rectas de operación a la curva de caudales acumulados representa el volumen necesario de la cámara de aducción. La figura siguiente ilustra sobre el particular:



La poligonal de bombeo corta a la curva de volúmenes acumulados en el punto P con abscisa t_c , que es la duración del ciclo de bombeo.

Este valor t_c puede tener una duración arbitraria, pero su mínimo estará acotado por el menor tiempo admitido entre los arranques consecutivos de los motores eléctricos de accionamiento de las bombas.

El método del diagrama de masas no es adecuado para el diseño de estaciones de bombeo cloacales por las siguientes razones:

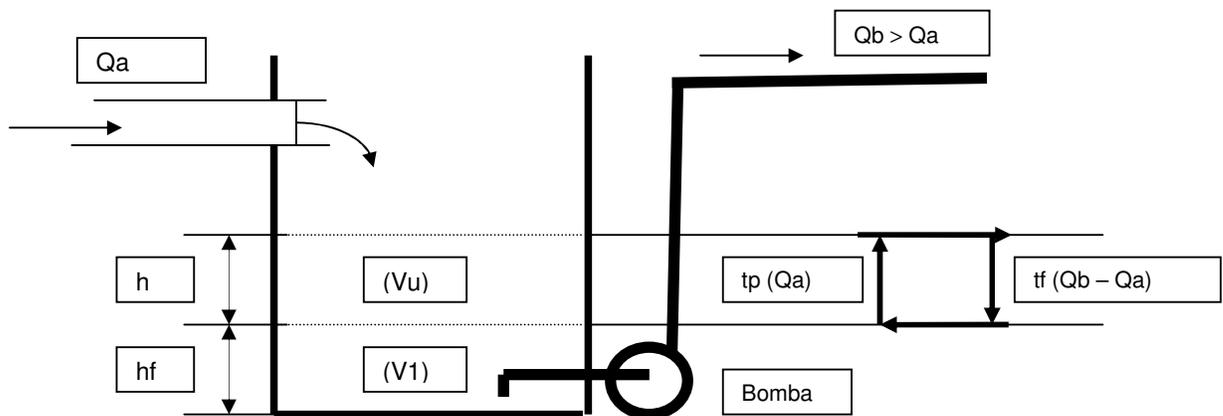
En general no se cuenta con hidrogramas de aporte de efluentes cloacales para las localidades donde se elaboren los proyectos de colección cloacal. Aún así cuando existan son para la situación actual; su proyección hacia el año horizonte del proyecto puede representar una apreciación subjetiva.

La proyección a 20 años de un hidrograma, involucra la proyección y definición de los valores medio, máximo y mínimo del aporte, como así también la previsión de la forma del diagrama, dado que este también influye en la determinación del volumen óptimo de regulación.

Es preferible la utilización de métodos más sencillos, basados en la definición de un valor único: el máximo horario a 20 años (Q_{E20}), en función del cual se obtendrá el caudal Q_b de bombeo y con el que definirá el volumen óptimo que cumpla con la condición de no sobrepasar el tiempo máximo de permanencia del fluido en la cámara (para evitar sedimentación y septización) y sea inferior al número máximo de arranques por hora del motor de la bomba.

Arranque consecutivo de bombas. Tomando como dato el caudal de bombeo Q_b (fijado a partir de Q_{E20}) y el mínimo tiempo admisible entre arranques consecutivos de cada bomba, se fijan los parámetros de la instalación condicionando el tiempo máximo de permanencia del fluido.

Caso de una sola bomba en operación. En el caso más simple de una sola bomba, el volumen útil de la cámara de bombeo está definida físicamente por los niveles de arranque y parada.



En la figura se observan los volúmenes útil (V_u) y de fondo (V_f) en una cámara típica para una sola bomba en operación.

El volumen de fondo está definido por la altura h_f determinada principalmente por las dimensiones de la bomba y la sumergencia requerida.

El volumen útil V_u está definido por el caudal de bombeo y la máxima frecuencia de arranque por hora admitida por los motores eléctricos y sus arrancadores. Con el valor de V_u se calcula la altura " h " entre los niveles de arranque y parada de la bomba.

El ciclo de operación puede representarse por el diagrama de flujo de la parte "b" de la figura.

Partiendo del punto 0 con la bomba detenida, el caudal afluente Q_a hace ascender el nivel en la cámara y en el tiempo t_p (de parada de la bomba), se alcanza el nivel de arranque. A partir de este momento, el nivel comienza a descender, pues el caudal Q_b es mayor que el Q_a y el resultado es el caudal neto $\Delta Q = Q_b - Q_a$. En el tiempo t_f de funcionamiento de la bomba, el nivel desciende hasta el punto 0, finalizando el ciclo con la detención de la bomba.

Esto significa que el ciclo está integrado por un período t_p de parada de la bomba durante el cual se llena la cámara; un tiempo de funcionamiento t_f de funcionamiento en el cual el nivel de la cámara desciende hasta el mínimo, con la detención de la bomba.

O sea:

$$t_c = t_p + t_f$$

Este tiempo de ciclo t_c representa el tiempo entre arranques consecutivos de la bomba, o sea la inversa de la frecuencia de arranques.

Durante el tiempo t_p se llena el volumen V_u con el caudal Q_a y durante t_f se vacía el mismo volumen con caudal de $Q_b - Q_a$, por ello:

$$t_p = V_u / Q_a \quad \text{Tiempo de parada (horas)}$$

$$t_f = V_u / (Q_b - Q_a) \quad \text{Tiempo de funcionamiento (horas)}$$

$$t_c = (V_u / Q_a) + V_u / ((Q_b - Q_a)) \quad \text{Tiempo de ciclo (horas)}$$

A su vez:

$$f = 1 / t_c \quad \text{Frecuencia de arranques (arranques/hora)}$$

$$t_c = (V_u / Q_b * (Q_a / Q_b)) + (V_u / (Q_b * (1 - (Q_a / Q_b))))$$

haciendo resulta:

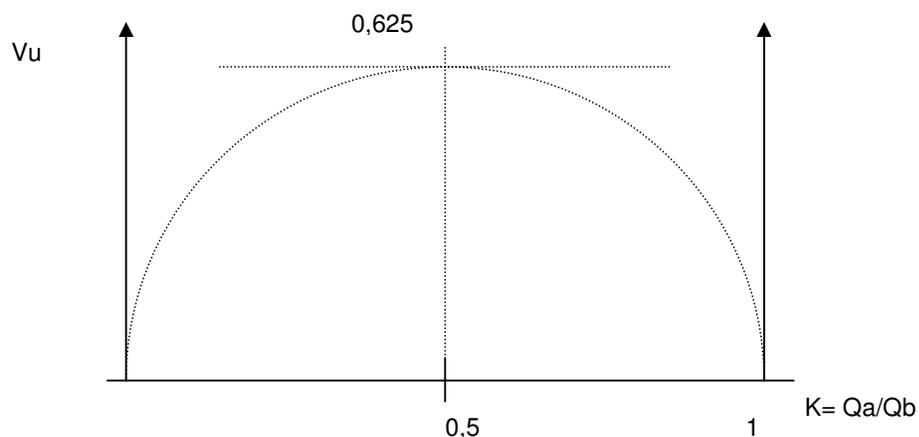
$$k = Q_a / Q_b \quad (\text{relación entre caudal afluente y de bombeo}),$$

$$t_c = (V_u / (k * Q_b)) + (V_u / (Q_b * (1 - k)))$$

Despejando se obtiene:

$$V_u = Q_b * t_c * 1 / (1/k + 1 / (1 - k))$$

Por ejemplo, para un caudal de bombeo $Q_b = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ y un tiempo de ciclo $t_c = 0,25 \text{ hs}$, la representación gráfica de la expresión de V_u tiene la forma que se indica en la figura siguiente:



Para $k=0$ el caudal Q_a es cero, por lo tanto el volumen requerido de la cámara es nulo.

Para $k=1$, el caudal ingresante es igual al de bombeo, no requiriéndose volumen de compensación.

Para $Q_a / Q_b = 0,5$ la demanda de volumen de compensación es máxima, representando el punto de mayor exigencia de funcionamiento de las bombas (por ser t_c mínimo) requiriendo mayor frecuencia de arranque y parada.

Para $k=0,5$ se cumple:

$$Q_a = Q_b / 2$$

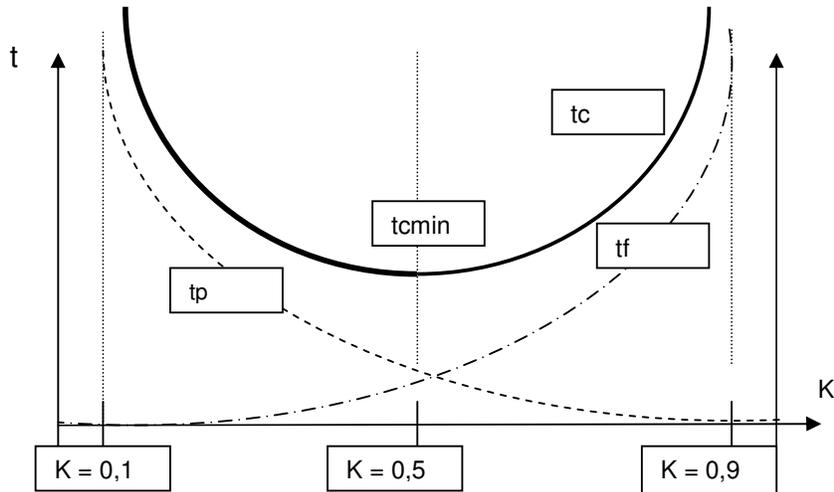
$$t_p = t_f = (2 \cdot V_{umax} / Q_b)$$

$$t_{cmin} = t_p + t_f = (4 \cdot V_{umax}) / Q_b$$

De donde resulta:

$$V_{umax} = (t_{cmin} \cdot Q_b) / 4 = Q_b / (4 \cdot f_{max})$$

Estas relaciones se expresan en el gráfico siguiente, donde en ordenadas se representan t_c, t_p, t_f y en abscisas la relación $k = Q_a / Q_b$:



Analíticamente, puede llegarse a las relaciones mencionadas derivando el tiempo del ciclo respecto de la relación $k = Q_a / Q_b$:

$$dt_c / dk = (V_u / Q_b) \cdot ((-1/k^2) + (1/(1-k^2))) = 0$$

De donde resulta que el mínimo de la función ocurre para:

$$k = (1-k) ; 2 \cdot k = 1 \text{ y } k = 0,5$$

El mínimo t_c ocurre para $Q_a = 0,5 \cdot Q_b$, resultando:

$$t_{cmin} = (4 \cdot V_u) / Q_b$$

$$V_{umax} = Q_b / (4 \cdot f_{max})$$

La generalización de las consideraciones descritas para un número mayor de bombas (dos, tres, cuatro, etc.) que operen desde una misma cámara se realiza considerando la relación de la forma del caudal aportado en relación con la capacidad individual de cada bomba.

Así, para dos bombas, el volumen de operación resultará de considerar que cada bomba opera en un rango determinado, requiriendo un volumen:

$$V_u = V_1 + V_2$$

Correspondiendo V_1 a la bomba N°1 y V_2 a la bomba N°2

El tiempo del ciclo es:

$$t_{c2} = t_p + t_{f1} + t_{f2} =$$

$$(V1/Qa)+(V2/(-qa+Qb1))+((V1+V2)/((Qb1+Qb2)-Qa))$$

Para definir la relación entre el caudal de bombeo y su volumen operativo asociado a cada bomba, considerando el número de arranques por hora, el método de Pincenci permite efectuar el planteo matemático que relaciona las variables. En el Apéndice I se desarrolla el método hasta tres bombas, sirviendo de base para aplicarlo a un número mayor de equipos.

Consideraciones sobre cavitación. La disposición de los equipos, luego de definidos los parámetros de caudal instalado y número de grupos se realiza sobre la base de un perfil determinado, largo, ancho y profundidad de la cámara de aducción.

La sobre profundidad requerida por las bombas para mantener su protección contra la cavitación impone una corrección a las medidas previstas originalmente.

Para cámaras con dimensiones exigidas esta altura puede incidir en forma determinante por la profundidad de la excavación. En todos los casos se deben mantener los parámetros de protección contra la cavitación asegurando el A.N.P.A. necesario según el módulo adoptado.

El funcionamiento anormal de los equipos trae aparejado una reducción en el rendimiento y un desgaste prematuro de sus componentes.

En las estaciones de bombeo donde los cuencos son reducidos, la capacidad de regulación se consigue mediante la profundización de la cámara; las oscilaciones de nivel son importantes, llevando a la bomba a operar en el límite del diagrama de operación. Para los casos de funcionamiento en condiciones anormales (aunque frecuentes en la práctica), como por ejemplo la obturación parcial de la sección de aducción por cuerpos sólidos, las consecuencias son una apreciable disminución de la altura de aspiración (h_s) con tendencia a cavitación y producción de efectos vibratorios apreciables en el conjunto del equipo, con el consecuente desgaste prematuro.

Revisando estos conceptos, en el Apéndice II figura un resumen del tema con la evaluación de las variables puestas en juego relacionadas con la altura de aspiración y el efecto de cavitación.

IV.- Selección de equipos de bombeo e instalaciones auxiliares.

IV.1.- Lay Out de la instalación. (Geometría de la cámara y disposición de los equipos).

Principios Generales. El diseño a considerar para la cámara de aducción de las bombas debe permitir una afluencia apropiada del fluido, como así también impedir la acumulación de sedimentos de fondo, superficie y media agua. Para ello deberán tenerse en cuenta las consideraciones que se indican a continuación.

- Para evitar la formación de torbellinos superficiales que permitan el ingreso de aire a la masa fluida, las paredes de la cámara deberán construirse de manera que minimicen las zonas muertas. La colocación de un tabique en el lugar indicado puede reducir la formación de vórtices y torbellinos puntuales; la profundidad del fluido deberá ser lo suficientemente grande para impedir su formación;
- Aún cuando debería evitarse la turbulencia para disminuir al máximo las pérdidas de carga, una cierta turbulencia contribuye a impedir la formación de torbellinos y su crecimiento;
- Los sedimentos, arrastrados por la corriente fluida, pueden dar lugar a olores, no debiendo acumularse dentro de la cámara. Deben evitarse las zonas donde las velocidades disminuyan en un grado tal que puedan ocasionar sedimentación;
- La costra superficial, el fango flotante o la vegetación tipo camalote pueden acumularse en zonas tranquilas para su posterior extracción. Un piso con pendientes y chaflanes o escalones contribuye a evitar zonas con sedimentos;
- Deberán disponerse de instalaciones especiales para el control de los sólidos; los que por su tamaño superen la dimensión máxima de pasaje por el rotor de la bombas deberán ser extraídos previamente;

El fluido, hasta arribar a la cámara suele escurrir en el colector con un desnivel relativamente pronunciado para caer a la cámara desde una altura apreciable, cuando el nivel se encuentra en el mínimo, próximo al arranque de las bombas. La distancia entre la sección de vertido y la entrada de la bomba deberá ser lo más extensa posible como para que el aire arrastrado en el seno del fluido pueda liberarse antes de su ingreso a la bomba. La energía disponible al ingreso deberá disiparse como para que no se formen velocidades excesivas. La colocación de un tabique intermedio incorpora la atenuación requerida;

El American Hydraulics Institute y la British Hydromechanics Association, entre otros, han publicados referencias completas sobre el diseño de estaciones de bombeo, no obstante, siempre que un proyecto difiera en forma significativa de las configuraciones básicas establecidas, deberán realizarse ensayos sobre modelo físico a escala reducida, con el fin de prever el comportamiento de las instalaciones.

Tipos de cámara. Dadas las características del curso, se tratarán, preferentemente, los temas vinculados con proyectos destinados al manejo de efluentes pluviales y cloacales. Las estaciones de bombeo aplicadas al manejo de fluidos en procesos industriales con densidades y viscosidades diferentes a la del agua se abordan en otro curso dispuesto a tal fin.

La geometría de la cámara de aducción y su complementación con el alojamiento de las bombas y la forma de la descarga están condicionadas por el tipo de proyecto a ejecutar.

La selección inicial estará condicionada por el tipo de servicio:

- Agua potable;
- Efluentes cloacales;
- Desagües Pluviales;
- Otros.

El bombeo de agua potable no requiere tiempos límites de permanencia, quedando el dimensionamiento de la instalación condicionada por los parámetros hidráulicos, eléctricos y mecánicos que conforman la instalación de bombeo.

El efluente cloacal admite una permanencia máxima de 20 minutos en el interior de la cámara de bombeo, a los efectos de atenuar la septización del fluido. Por ello el volumen útil de la cámara estará acotado por dicho requerimiento.

Para desagües pluviales, en razón de las características del fluido, no existen requerimientos de orden hidráulico que condicionen el volumen útil. Por ello se podría definir un volumen útil equivalente a la compensación a módulo disminuyendo al máximo la capacidad instalada.

Definido el volumen útil surge la posibilidad de conformar la geometría en planta que reduzca al máximo la oscilación del nivel en la cámara. Para ello se deberá disponer de un amplio espacio en planta para ubicar las zonas de aducción, bombeo y descarga.

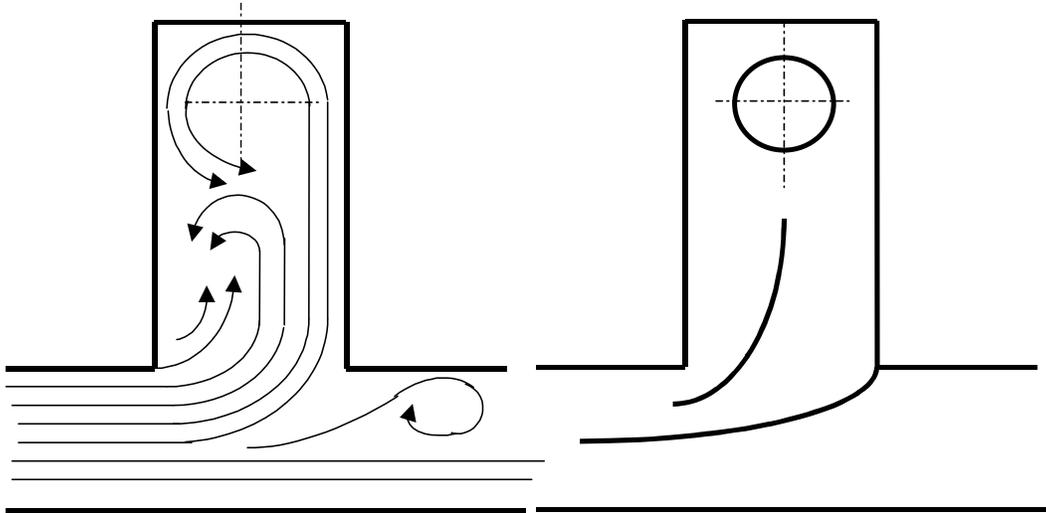
En general, la geografía de la zona de bombeo acota el requerimiento hidráulico. Así, una instalación de bombeo cloacal se ubica en zonas urbanas con poca disponibilidad de terreno, pero el reducido volumen útil requerido para controlar la septización favorece la reducción de la sección de la cámara.

Definido el volumen útil y la geometría de la cámara deberá elegirse el módulo y cantidad de bombas.

La configuración de la cámara deberá responder a los parámetros hidráulicos de diseño y a la geometría y cantidad de bombas adoptas.

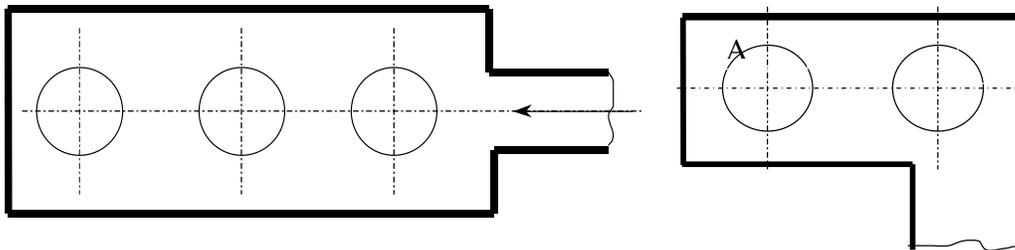
En todos los casos deberán respetarse los principios generales de diseño, partiendo del comportamiento hidráulico de la instalación.

En caso de disponerse una geometría como la que se muestra en la figura, se deberán tomar los recaudos para permitir que los filetes fluidos arriben al sector de bombas con la mínima perturbación y pérdida de carga.



Los deflectores aportan la dirección necesaria para que el caudal a bombear sea dirigido hasta la bomba con la mínima perturbación posible.

Para una disposición lineal de los equipos de bombeo, con acceso lateral:

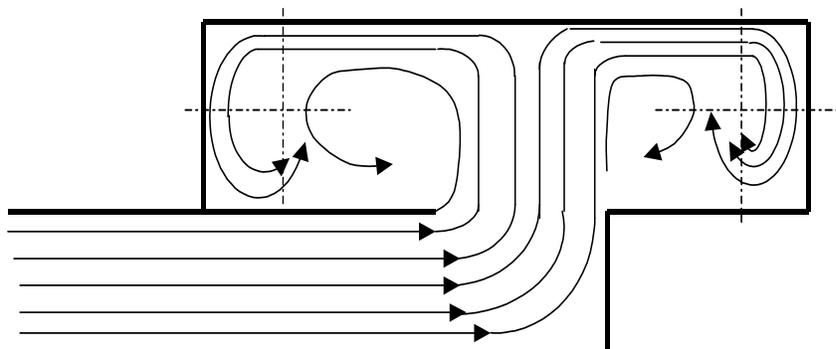


Con el acceso desde un extremo se produce el ingreso desequilibrado a las bombas. El caudal se reparte en forma irregular provocando un funcionamiento anormal de los equipos. Para equipos de igual módulo, los caudales no resultan homogéneos.

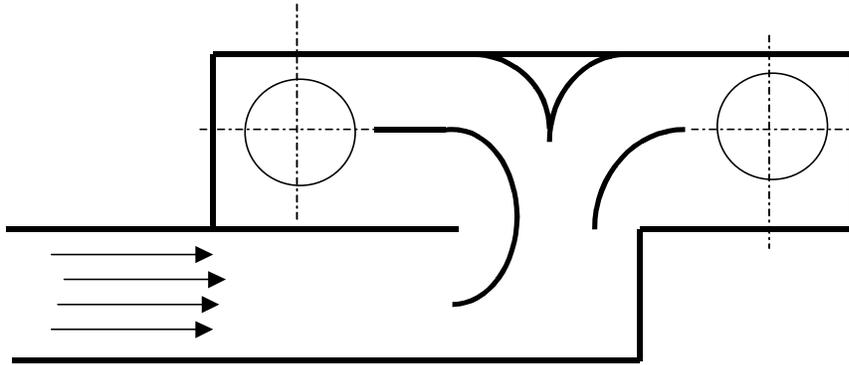
Para el caso de acceso perpendicular a los equipos como se muestra en la figura siguiente, el funcionamiento independiente de las bombas no genera inconvenientes de inestabilidad, salvo los propios que surgen por la conformación del perfil. Al funcionar en forma simultánea, el equipo B presentará inconvenientes de vibraciones debido a la inestabilidad de la vena fluida en su derivación al equipo A.

La configuración variable de la vena fluida, operando una o dos bombas varía sustancialmente, afectando también las condiciones de cavitación.

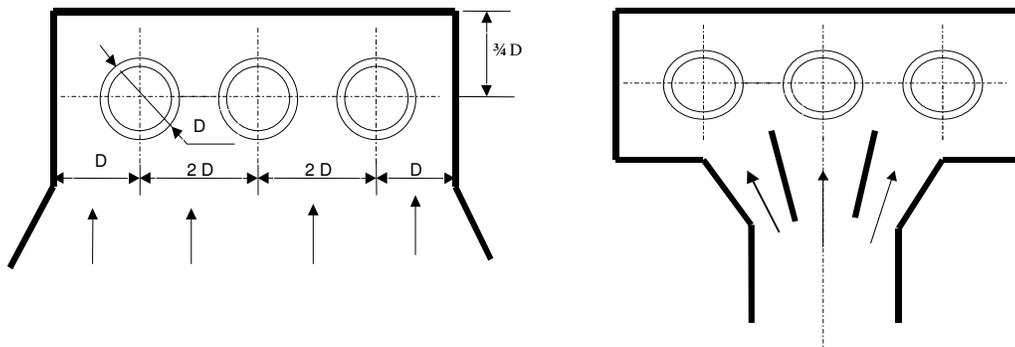
Una disposición acorde que permita mejorar las condiciones de funcionamiento es disponer la acometida en forma simétrica como se muestra a continuación:



Mediante la colocación de guidores y partidores de corriente se consigue direccionar el flujo disminuyendo las pérdidas por choque y cambio brusco de dirección:



Para optimizar las condiciones de admisión y disminuir las pérdidas en la zona de aspiración de las bombas es conveniente disponer la sección de acometida perpendicular al eje de las unidades, con una sección de ingreso como la que se muestra en la figura siguiente (izquierda), reduciendo al máximo la velocidad de llegada. Esta disposición requiere de dimensiones amplias de terreno, situación que puede presentarse en zonas periféricas a las urbanas con baja densidad de población.



La figura de la derecha muestra una solución con requerimientos menores de terreno, acorde las disponibilidades en zonas urbanas.

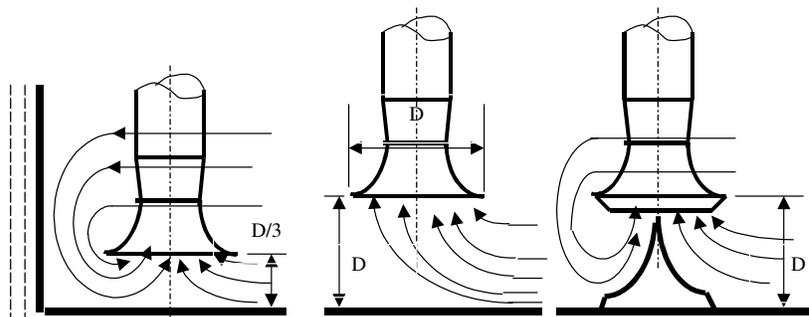
Requerimientos de diseño de la cámara frente a la cavitación.

La circulación del fluido dentro de la cámara debe realizarse en forma suave, con un mínimo de perturbaciones. El acceso del caudal a la bomba debe presentar una geometría tal que permita la formación de filetes fluidos continuos, sin vórtices y sin ingreso de aire.

Toda perturbación en la zona de aspiración redundará en un incremento de los requerimientos de cavitación afectando el rendimiento de la bomba.

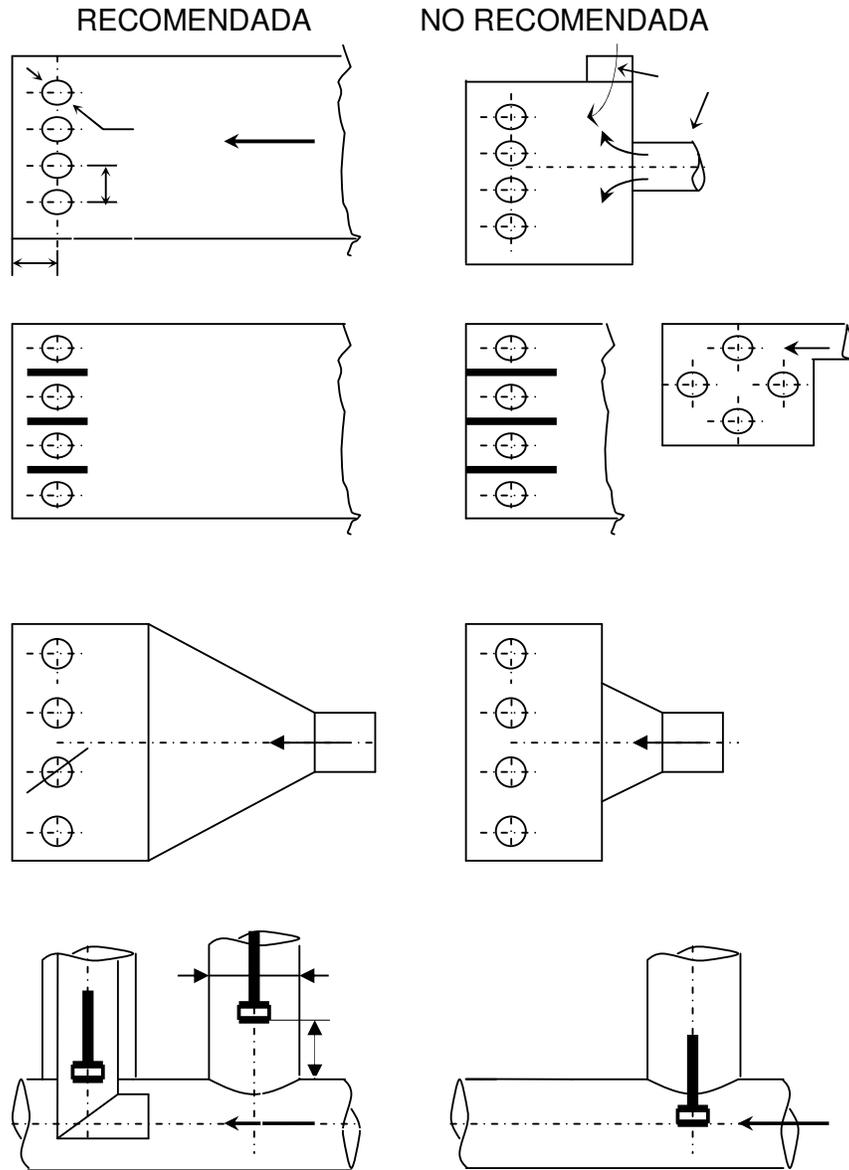
Deberán respetarse ciertas relaciones geométricas de acuerdo con la posición de la bomba dentro de la cámara. Los esquemas siguientes ilustran sobre el particular.

Según sea su ubicación deberán respetarse las distancias frente al borde y entre equipos, permitiendo así un mejor acercamiento a las condiciones óptimas de funcionamiento.



La posición de la sección de succión o tazón, varía según la ubicación de la bomba. La sección adyacente a un tabique lateral o pared posterior de la cámara indican respetar desde el fondo la ubicación a $D/3$. Para equipos alejados de los contornos la distancia se incrementa a D . Con un direccionador inferior, se mantiene la distancia de D desde el fondo.

Además de los detalles señalados, a continuación se indican configuraciones generales, catalogadas por el Hydraulic Institute como "recomendadas y no recomendadas":



En una estación de bombeo se distinguen dos aspectos bien diferenciados: los equipos de bombeo propiamente dicho y las instalaciones auxiliares.

El lay-out integrado por la zona de aducción, bombeo y restitución deberá conformar un sistema armónico, lográndose así la máxima eficiencia de la instalación. Por ello es de capital importancia seleccionar en forma correcta el grupo de bombeo, asistido por auxiliares acorde a sus requerimientos.

IV.2.- Tipos de bombas. Definición de parámetros básicos

Para la definición del tipo de bomba se partirá del dato del hidrograma de aporte y su relación con el volumen de la cámara de aducción. Con esta relación se definirá, a partir de un número mínimo de dos bombas el módulo de la bomba.

Para la impulsión, se determinará el tipo de conducción la necesidad de colocación de elementos de control (válvula de retención, esclusa, clapeta, etc) que permitan definir la presión manométrica necesaria a la salida de la bomba. Estos dos parámetros, son los datos básicos para la definición primaria de las características del equipo:

- Caudal mínimo (m³/s);
- Altura manométrica (m);
- Relación Hm/Q;
- Estimación de la velocidad de giro (v.p.m.);
- Número específico ($n_s = n \cdot N^{1/2} / Hm^{5/4}$);
- Tipo de equipo.

Con estos datos deberá identificarse en el mercado la disponibilidad de equipos de producción en serie.

IV.2.1.- Bombas centrífugas horizontales y verticales, formas de accionamiento

Bombas Centrífugas, características y operación

Habitualmente la EB utilizan bombas centrífugas para el servicio que van a prestar. Por tanto, los diferentes tipos, características constructivas y de operación que se exponen a continuación, están referidas a este tipo de bombas.

Muchas veces las bombas se denominan en base a algún aspecto de su diseño constructivo, entre los cuales se pueden citar: según el sentido de flujo en el impulsor, según el servicio a cumplir o según su forma constructiva.

Diseño según el tipo de flujo

Según la forma que adquiere la trayectoria de una vena fluida en su paso por el impulsor, éstos se clasifican en: impulsores de flujo radial, de flujo mixto y de flujo axial, dando origen con ello a las siguientes denominaciones:

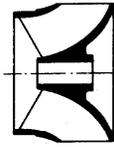
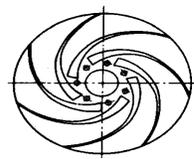
- Bombas de flujo radial
- Bombas de flujo mixto
- Bombas de flujo axial

Cada una de ellas posee una característica de funcionamiento que limita su campo de acción en el diagrama general de caudal (Q) y alturas (Hm). Dicho límite no es absoluto, encontrándose zonas del diagrama Q-Hm donde figuran solapadas las bombas de una categoría con las de la otra.

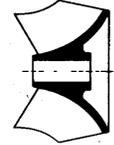
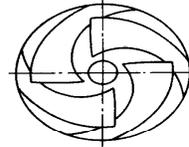
En la siguientes figuras se representan los casos típicos de este tipo de diseño.



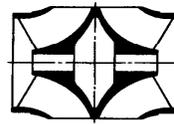
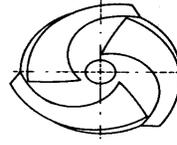
Rodete *) radial



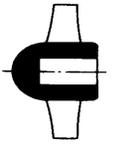
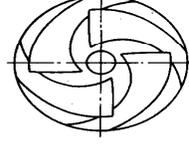
Rodete semiaxial *) cerrado



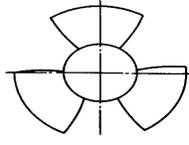
Rodete semiaxial abierto



Rodete semiaxial *) cerrado, de doble entrada



Rodete axial



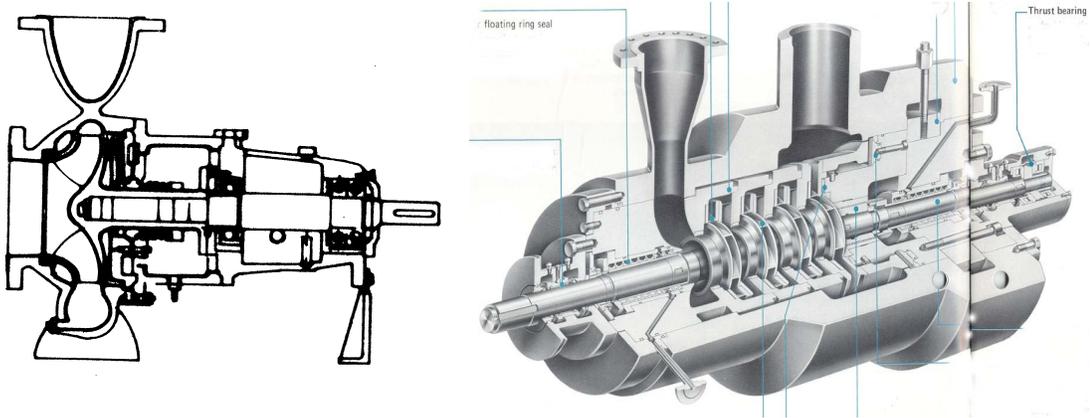
Bombas de flujo radial.

El flujo entrante al rodete es paralelo al eje y al ingresar cambia bruscamente su dirección, colocándose perpendicular al eje. En esta posición el líquido sale del impulsor con una velocidad absoluta normal al eje. El intercambio de energía se efectúa en un plano normal al eje de giro.

Los impulsores de estas bombas pueden contar con canales abiertos, semiabiertos o cerrados. En el primero de los casos los álabes del impulsor parten del cubo de éste. El canal por donde circula el líquido está formado por dos alabes sucesivos y las paredes de la carcasa.

En el segundo caso, el rodete posee un disco sobre donde se apoyan los álabes, confiriéndoles mayor resistencia mecánica. Los canales están formados por los álabes, el disco posterior y la pared de la carcasa.

El último caso el rodete posee un disco posterior y uno anterior, dentro de los cuales van montados los álabes. Los canales del impulsor están formados por los álabes sucesivos y los discos laterales.



Bomba simple etapa

Bomba multietapas

Fig. IV.1.- Cortes de bombas de flujo radial

Los impulsores cerrados poseen en general una mejor eficiencia que los abiertos y los semiabiertos (o semicerrados), ya que el fluido está mejor guiado dentro del canal. Por el contrario, cuando el líquido posee sólidos en suspensión, los impulsores cerrados pueden llegar a atascarse, mientras que los otros no.

Bombas de flujo axial

El impulsor de estas bombas es una hélice, similar a la hélice de propulsión marina. Su cuerpo está formado por un cubo central y una serie de palas, que hacen las veces de álabes, encargadas de propulsar el líquido, confiriéndole mayor velocidad que la que traía en la entrada.

La trayectoria de una vena fluida en su paso por el impulsor es una helicoide. Al ingresar el líquido a la bomba el flujo es paralelo al eje de giro. Al pasar por el impulsor participa del efecto de circulación alrededor del cuerpo del álabe, generándose un campo de presiones variables (s/teorema de Kutta Yukovsky) que ejercidas sobre el fluido provocan el incremento de presión hacia la impulsión. Este efecto provoca además un movimiento giratorio, dando como resultado de la composición de velocidades, una helicoide en el espacio.

Por su forma de recibir energía, la altura desarrollada por estas bombas es muy baja en comparación con las otras. Por el contrario éstas pueden erogar grandes caudales, siendo propicias para el bombeo de grandes masas de líquidos a relativamente bajas alturas. Una de las aplicaciones típicas de estas bombas son por ejemplo, el control de inundaciones, drenaje de aguas pluviales, abastecimiento de arrozales, etc.

La eficiencia de las bombas axiales es la mayor de toda la línea de bombas centrífugas, llegándose en los últimos años a valores de rendimiento del orden del 90%.

Por sus grandes dimensiones, el peso del conjunto rotante (eje – impulsor) es muy elevado. Por ende, la construcción típica de estas bombas es con eje vertical, para minimizar el efecto de la flexión en el eje causada por el peso del impulsor.



Fig. IV.2.- Bomba de flujo axial

Bombas de flujo mixto

Por obvias razones las bombas de flujo mixto son todas aquellas bombas que no entran en la clasificación de bombas ni radiales ni axiales.

La transferencia de energía dentro del rodete se efectúa en un plano inclinado respecto del eje de giro. En rigor el líquido adquiere su energía a lo largo de las generatrices de un cono en el espacio cuyo eje coincide con el eje de la bomba.

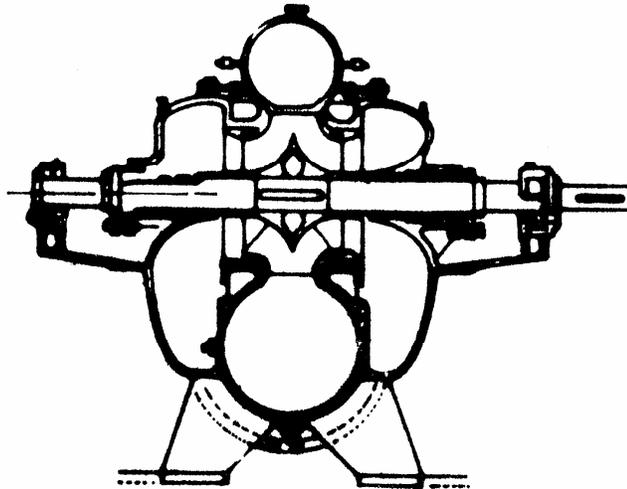


Fig. IV.3.- Corte de una BC de flujo mixto

Normalmente estos impulsores son cerrados, es decir los álabes están confinados entre las paredes anterior y posterior del impulsor. Su eficiencia es mayor que la de los impulsores de flujo radial, llegando casi a equipar a la de los de flujo axial. En general el rendimiento de las bombas de flujo mixto se ubican entre un 80 a un 87%.

En el caso de la figura precedente, la bomba además de poseer un impulsor semiaxial (o flujo mixto), éste es del tipo doble succión. Con ello se logran compensar los esfuerzos axiales sobre el eje derivados del empuje hidráulico causado por el cambio de trayectoria de la vena fluida al ingresar en el rodete.

La siguiente figura ilustra una variedad de impulsores del tipo cerrados.



Fig. IV.4.- Impulsores cerrados radiales y flujo mixto

Arriba a la izquierda de la imagen se muestra un impulsor cerrado doble succión, utilizado en las bombas como las de la figura I.4. En la parte de abajo a la izquierda se muestran un grupo de impulsores radiales de una bomba multietapas, como la de la figura I.2.-. Abajo a la derecha de esta imagen, un grupo de impulsores como los usados en las bombas de pozo señaladas en la figura I.6. Arriba (centro y derecha) se muestran impulsores de flujo mixto.

Bombas sumergidas

Entre las bombas que trabajan sumergidas existen varios tipos según esté el impulsor de la bomba sumergido en el líquido a bombear, o bien toda la bomba este sumergida en él. Entre las primeras se pueden citar.

Las bombas de turbina o bombas de pozo:

El conjunto impulsor carcaza (o campana) que está sumergido en el líquido, le imprime a éste la energía necesaria saliendo luego por detrás del cuerpo, en forma axial. El líquido entra así en el conducto que aloja el conjunto, elevándose hasta la superficie. Por su disposición, el conjunto campana impulsor puede ser acoplado por otros conjuntos iguales, constituyendo un sistema de bombeo acoplado en serie (todos los impulsores movidos por el mismo eje), dando paso a las llamadas bombas verticales multietapas. El extremo líquido de la bomba es soportada por el caño columna, el cual a su vez pende de una placa – base apoyada sobre la superficie del terreno, sobre la cual va apoyado el motor eléctrico. El eje de la bomba es accionado por un árbol de transmisión acoplado al motor.

Las bombas sumergibles:

En este diseño todo el conjunto bomba motor eléctrico forman una sola unidad compacta, que se sumerge en el líquido a bombear. La construcción de la bomba es similar a una bomba común, mientras que el motor eléctrico es estanco, para prevenir cortocircuitos dentro de él. La salida del líquido bombeado se efectúa por un caño lateral o también manguera, que se eleva

hasta la superficie. En las bombas de pozo sumergibles, el agua circula por dentro del caño columna. Por ende, los únicos elementos que emergen en la superficie de una bomba sumergible son: el caño de descarga, el cable y la placa base que soporta todo el conjunto.

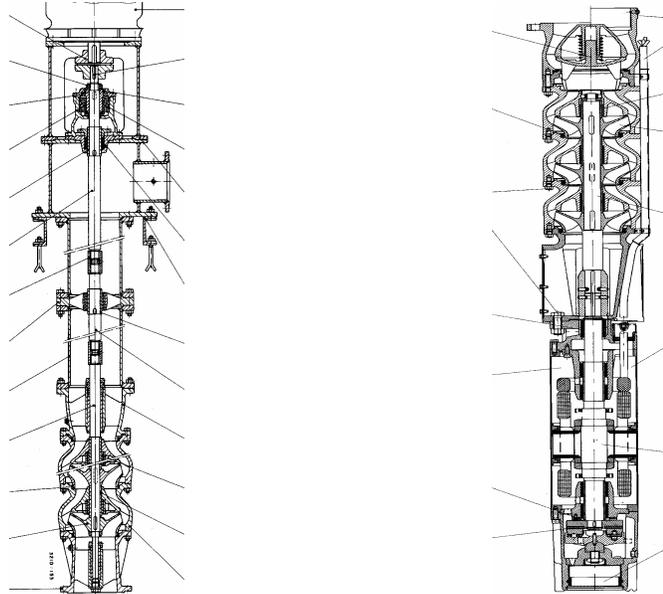
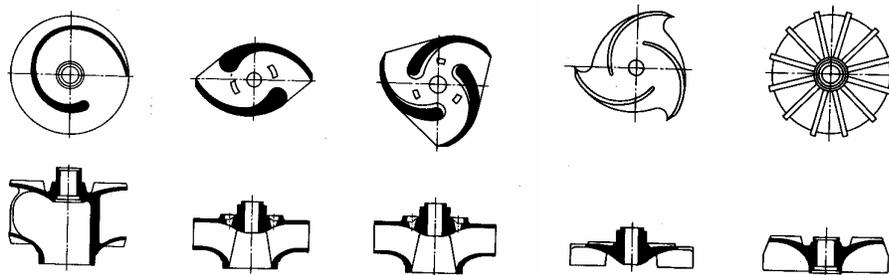


Fig.IV.5.- Bomba Vertical de motor arriba (izquierda) y de motor sumergible (derecha)

Bombas para servicios generales o especiales.

Entre las primeras se encuentran los diseños convencionales de los impulsores, tal como se describe en otra parte de este trabajo (abiertos, cerrados, doble succión ,etc). En cambio las bombas para servicios especiales, tales como las utilizadas para líquidos sucios (aguas residuales cloacales o pluviales, etc), requieren diseños especiales de los impulsores, tal como se señala en la figura siguiente.



Figs.IV.6.- Impulsores tipo inatascables

Los impulsores de la figura IV.6 (izq) se denominan monocanal, bicanal y tricanal respectivamente y poseen grandes secciones de paso, para el bombeo de sólidos en suspensión, fibras largas y demás elementos acarreados por las aguas servidas.

Los impulsores señalados en la figura IV.6 (der) también son del tipo inatascables, pero también llamados “vortex”. En este diseño el líquido ingresa al cuerpo de la bomba y adquiere un movimiento vorticoso delante del impulsor, sin necesidad de pasar por dentro de él. Dicho movimiento es suficiente para acarrear los sólidos en suspensión hacia la descarga, sin trabarse en el impulsor.

En la figura de abajo se muestran dos bombas de impulsor inatascable.

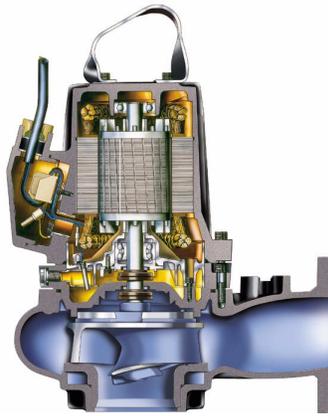


Fig. IV.7.- Bomba cloacal de motor sumergible

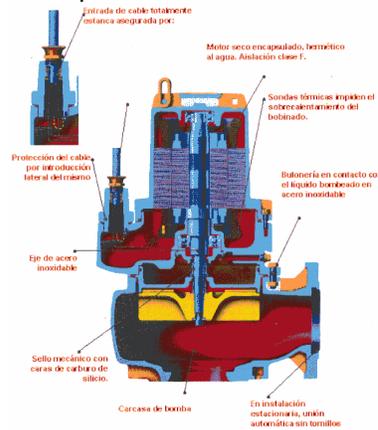


Fig. IV.8.- Bomba idem anterior (tipo Vortex)

En la mayoría de los casos para instalaciones de saneamiento los tipos resultantes son bombas centrífugas con rotor cerrado o abierto según la aplicación.

Para las instalaciones de control de inundaciones resultan equipos de elevado caudal y reducida altura manométrica del tipo de flujo axial con impulsor de hélice.

El accionamiento, mediante motor eléctrico puede ser con motor exterior y eje extendido o con motor sumergido.

Ambos casos presentan ventajas y desventajas propias de su diseño, tales como:

Motor exterior y eje extendido:

Brinda facilidad de acceso al motor, permite su recambio sin el desmontaje de la bomba.

La longitud del eje requiere la disposición y mantenimiento de cojinetes guía.

El perfil de la estación no resulta compacto, con mayor costo de obra civil y perfil por encima del nivel del terreno .

No existe riesgo de contacto de partes eléctricas con el agua.

Se debe prever un lugar adicional para un grupo de reserva.

Motor sumergido:

La instalación resulta compacta con menor costo de obra civil. Su perfil se integra con la topografía del terreno.

El acoplamiento es directo, o bien con eje de reducida dimensión.

Existe riesgo de contacto de partes eléctricas con el agua.

Se aloja en un caño camisa, resultando sencilla su extracción.

El grupo de reserva se dispone en depósito, no necesitando un alojamiento en la estación.

Cámara seca o cámara húmeda:

De acuerdo con el servicio se adoptará la modalidad de ubicación de equipos en cámara seca, quedando la bomba en un alojamiento espacial con conexión al cuenco aductor.

Para cámara húmeda directamente la bomba se sumerge en la cámara de aducción propiamente dicha.

A partir del valor de altura de aspiración requerida por la bomba se ajustará el perfil del cuenco aductor y se dispondrá el perfil en planta dimensionando el alojamiento de cada bomba en función de su diámetro ($k * D$), con la separación mínima entre grupos.

La impulsión se preverá disponerla acorde con el perfil de la bomba y la disposición del lugar de vertido.

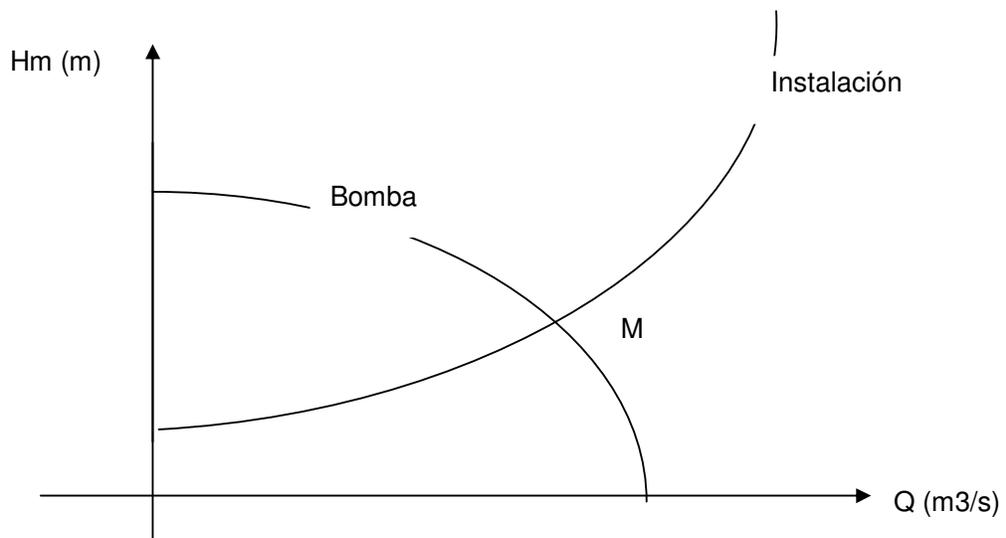
IV.2.2.- Curvas características. A.N.P.A.

Conjunto bomba – impulsión. Los procesos de bombeo están vinculados a la transferencia del fluido desde un estado inicial (energía potencial inferior) hasta un estado final (energía potencial superior) mediante un conducto o tubería de impulsión.

Para el bombeo de cualquier líquido es necesario analizar en primer lugar el comportamiento o condiciones de la impulsión de acuerdo con el tipo de líquido a transferir y caudales a bombear, parametrizando sus características técnicas (diámetro, material, rugosidad, etc.) a los efectos de optimizar la instalación. Para cada caso se analizará la o las bombas que mejor se adapten a las condiciones de servicio de acuerdo con sus características técnicas y costos de inversión y de funcionamiento.

El costo de funcionamiento, directamente ligado al rendimiento del conjunto motor- bomba - impulsión, debe optimizarse, lográndose así un mejor rendimiento del proceso de bombeo.

En el diagrama de la instalación se conjugan las características de la bomba con las de la impulsión (Ver figura). El punto M, intersección de ambas curvas, corresponde al punto de funcionamiento del conjunto. Las condiciones óptimas de funcionamiento se consiguen cuando en este punto (M) la bomba posee el máximo rendimiento.



Tipos de bombas. Rendimientos. Toda operación de bombeo se resume en conocer la altura manométrica y caudal requeridos para transferir el fluido. Cada uno de estos estados podrá ser atendido con la máxima eficiencia por un determinado tipo de bomba.

La identificación mediante el número específico permite determinar el tipo de bomba para cada caso.

De esta manera se distinguen dos grandes grupos:

- Bombas centrífugas
- Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas centrífugas cubren una amplia gama de valores desde pequeños caudales y alturas reducidas hasta elevadas alturas y caudales importantes. Se limitan a manejar fluidos con viscosidad hasta 145 centistokes, debido a la reducción del rendimiento que se produce por las condiciones de circulación del fluido dentro de los canales de los álabes.

Es el tipo de bomba más difundido con rendimientos que llegan al orden del 90 % para grupos de gran porte.

Las bombas de desplazamiento positivo, basadas en la variación volumétrica de una cámara están indicadas para elevadas presiones y caudales reducidos y para operar con fluidos de mayor viscosidad. Se distinguen las bombas de engranajes, cavidad variable, lobulares, a

pistón, tornillo, etc. Su rendimiento también alcanza valores elevados, oscilando entre 85 y 90% para el caso de las bombas a émbolo.

Bombas centrífugas. Análisis y mejora del funcionamiento. El fundamento teórico del funcionamiento de las bombas centrífugas se resume en la "Ecuación General de las Turbomáquinas" o Ecuación de Euler, donde se reúnen los parámetros básicos del proceso de transformación, basado en la acción dinámica de una vena fluida sobre un conducto de sección variable y eje curvo, según la expresión:

$$H_m = (\eta/g) \cdot (u_2 \cdot C_2 \cos \alpha_2 - u_1 \cdot C_1 \cos \alpha_1)$$

Donde:

H_m : Altura manométrica.

η : Rendimiento total de la transformación (hidráulico + mecánico)

g : Aceleración de la gravedad

u_1 : Velocidad de arrastre del álabe en la sección de entrada.

u_2 : Velocidad de arrastre del álabe en la sección de salida.

$C_1 \cos \alpha_1$: Proyección de la velocidad absoluta del fluido sobre la velocidad de arrastre, en la sección de entrada.

$C_2 \cos \alpha_2$: Idem en la sección de salida.

Estos parámetros definen el proceso de transformación. Para un cálculo preliminar, basta con conocer la geometría y velocidad de rotación del rotor, estimando un rendimiento se tiene una apreciación de la altura manométrica.

El valor de la energía de presión del fluido al ingreso del álabe está limitada por el límite de cavitación, la presión absoluta en este punto no debe ser inferior a la presión de vaporización del fluido.

Por ello, la altura de aspiración debe responder a:

$$H_{s \text{ Lim}} = (p_a - p_v) / \gamma - \sigma * H_m = H_b - \sigma * H_m$$

Donde:

$H_{s \text{ Lim}}$: Altura de aspiración límite

p_a : Presión atmosférica.

p_v : Presión de vaporización.

γ : Peso específico del fluido

σ : Coeficiente de cavitación

H_m : Altura manométrica.

El límite de la altura de aspiración está considerado en el concepto de A.N.P.A., (Altura Neta Positiva de Aspiración) que indica la sobrepresión disponible en la brida de entrada de la bomba (depresión medida sobre el conducto de entrada a la bomba) para que no se produzca cavitación en ningún punto de la sección de ingreso del álabe. En el esquema de la Fig. N°1 del Apéndice II se muestra el perfil de una bomba centrífuga con la indicación de la altura de aspiración.

Medidas correctivas. Las condiciones óptimas de funcionamiento de un sistema de bombeo se consiguen cuando la curva de la instalación coincide con el punto de máximo rendimiento de la bomba. El funcionamiento fuera de ese punto trae aparejado una reducción del rendimiento y un encarecimiento del proceso de bombeo.

Las medidas correctivas deben aplicarse sobre las variables que inciden sobre la ecuación económica final.

Para ello se deberá accionar sobre:

- Rendimiento;
- Altura de aspiración.

Hacer coincidir la curva de funcionamiento de la tubería de impulsión con el punto de máximo rendimiento de la bomba. Una forma de desplazar la curva de funcionamiento es incrementando la pérdida de carga mediante la colocación de una válvula o modificando diámetro y material de la conducción.

Rendimiento de la bomba. Se divide en hidráulico y mecánico. El primero se consigue mejorando los canales del rotor y evitando las fugas por sellos y juntas; el segundo disminuyendo los rozamientos de sellos y cojinetes.

La altura de aspiración debe ser siempre inferior a la límite con el objeto de asegurar el A.N.P.A.. Se debe corregir la posición de la bomba respecto de la cota de aspiración. En ningún caso la altura de aspiración debe superar el valor límite. La aparición de cavitación trae aparejado una reducción del rendimiento y una destrucción mecánica del rotor en la zona del álabe de salida y la carcasa de la impulsión.

IV.3.- Capacidad de bombeo y potencia de bombeo

La capacidad de bombeo a instalar debe ser evaluada en función del tipo de servicio a prestar, tipo del diagrama de aporte, recurrencia de los eventos y costos asociados a cada alternativa de proyecto.

Así, para un requerimiento que no presente exigencias frente al tiempo de permanencia del fluido en la cámara hasta ser bombeado, el criterio será el de aprovechar al máximo el poder de atenuación del cuenco receptor; en función de ello instalar el caudal que más se asemeje al caudal módulo.

Para los casos en que la permanencia del caudal (efluente cloacal) presente requerimientos de permanencia mínima, deberá aplicarse el criterio de evacuar el caudal correspondiente a una atenuación reducida, asociándole el período de recurrencia que el servicio requiera.

IV.4.- Módulo de bombas y número de unidades

Definida la capacidad de bombeo total a instalar se requiere determinar la cantidad de grupos.

Para ello como práctica general se parte de disponer dos grupos, a los efectos de no perder la totalidad de la instalación en caso de falla.

En función de estos datos primarios (altura manométrica H_m ; caudal Q) se definirá en primer término el tipo de bomba, investigando en el mercado su existencia como producto corriente por parte de fabricantes técnicamente confiables.

Con sus dimensiones físicas se ensayará el primer lay-out de la instalación, convalidando así la posibilidad de incorporación del grupo preseleccionado.

A continuación se deberá realizar una simulación de funcionamiento donde se evalúe que la cantidad de arranques horarios no sea superior a la recomendada por el fabricante con el objeto de proteger el motor de accionamiento.

Una segunda comprobación será el comportamiento de la instalación frente a los caudales mínimos, de acuerdo con la serie de caudales efluentes.

A partir de esta primer percepción del equipo a instalar se comenzará a incrementar el número de bombas, convalidando uno a uno los pasos mencionados.

Selección de Bombas Centrífugas

Campo Característico de una Bomba

Es posible generar diferentes curvas características de una misma bomba mediante la variación de la velocidad de rotación del rotor, disponiéndose así de los datos sobre la forma de comportamiento para distintas condiciones de funcionamiento.

Generalmente la carcasa de la bomba admite la colocación de impulsores de diámetro inferior al calculado por diseño (hasta un 80% aproximadamente). El comportamiento de la bomba será entonces diferente según sea el diámetro del impulsor que se usa.

Análogo al caso anterior, para una determinada velocidad de la bomba, se suelen representar las distintas Curvas Características para diferentes diámetros de impulsor. La figura 1.10.-, representa el "Campo Característico" de una bomba para rodetes de 160, 150 y 130 mm de diámetro. La eficiencia viene indicada como curvas de nivel sobre el campo Q-Hm.

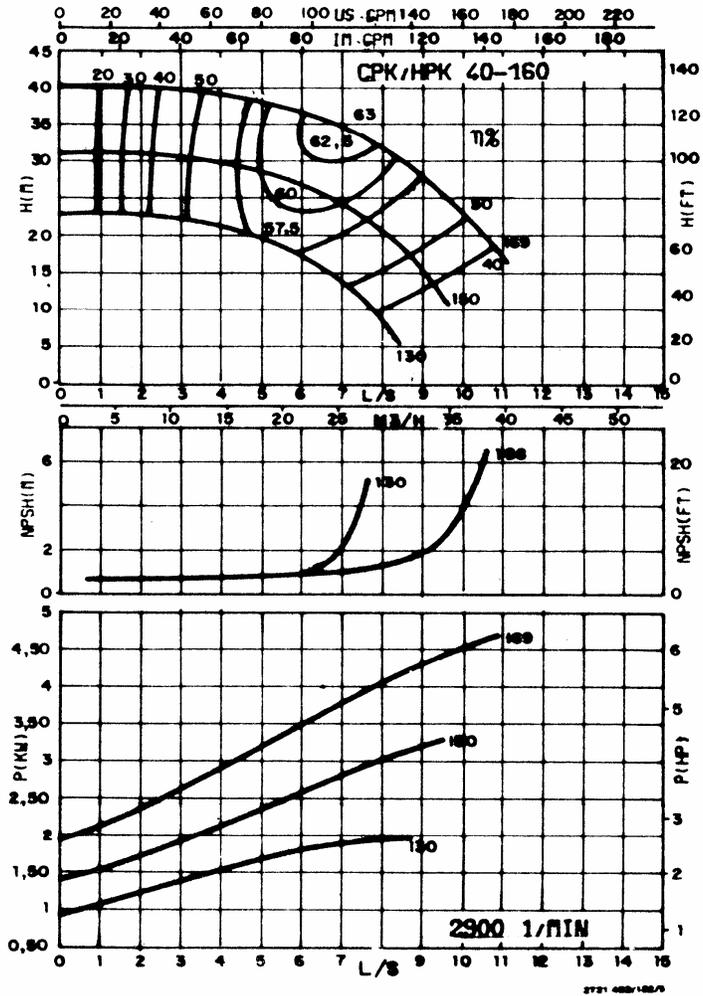


Fig. IV.9.- Campo Característico de una bomba centrífuga

Gráfico de Coberturas

Cuando se debe seleccionar una bomba se parte del par de valores Q y Hm y se los trata de representar en la zona característica de una bomba. Si el punto de operación "cae" en una zona fuera de la zona óptima, se acude a otra bomba que tenga su campo característico dentro de la zona óptima.

Para evitar esto, se reúnen las características de varias bombas en un solo diagrama. De este modo, ubicado el punto de operación en el diagrama Q-Hm sólo habrá que ver cual o cuales bombas tienen su campo característico que lo contenga. Así quedan acotadas las posibilidades de obtener la bomba más adecuada. Luego se busca en los respectivos campos característicos cual de ellas brinda las mejores condiciones operativas.

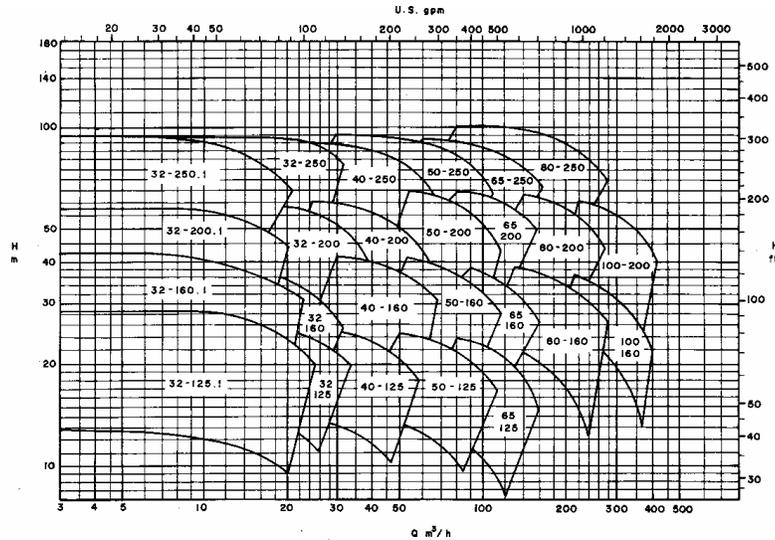


Fig. IV.10.- Gráfico de coberturas

IV.5.- Instalaciones auxiliares

Se definen como auxiliares aquellos elementos que permiten la operación de la bomba, computados desde la sección de entrada hasta la sección de salida de la estación.

IV.5.1.- Instalaciones hidro y electromecánicas

Control de sólidos en flotación. Barrera Antivegetación.

La barrera antivegetación, además de contemplar la protección del acceso de agua a las estaciones de bombeo libre de vegetación flotante, debe permitir el libre paso a través de la zona de la descarga por gravedad. Para estos casos, se adopta un esquema en que la barrera está dividida en dos semibarreras, una a cada entrada de estación de bombas y de esta forma se satisfacen los requisitos de protección. Las cotas de operación de las barreras deben cubrir el rango de oscilación del espejo de agua en la toma. Los puntos de anclaje de cada una de ellas se ubican en las márgenes, permitiendo efectuar las operaciones de limpieza y acondicionamiento para mantener la zona libre de sólidos, asegurando la libre flotabilidad de los flotadores de la barrera.

Estos flotadores están destinados a la retención de los sólidos, se vinculan entre sí mediante cable de acero. Cada flotador dispone de un emparrillado de planchuelas de acero, a modo de malla, que se extiende en profundidad, entre 0,50 y 1,00 m con perfil curvo en su extremo.

Para la operación de limpieza de las barreras se llega a producir en efecto autolimpiante mediante la evacuación de caudales por gravedad; en el caso que se desee intervenir sobre ellas, puede liberarse un anclaje (pila extrema) y hacer rotar la barrera hacia el muro de ala, hasta alcanzar una posible orilla que permita el acceso a la vegetación flotante y extraerla.

Las barreras deberán limpiarse mediante el empleo de herramientas manuales desde embarcaciones, cargando la vegetación y descargándola luego en la orilla correspondiente del río.

IV.5.2.- Compuertas, ataguías y válvulas

Para la operación de los sistemas de drenaje por gravedad se dispone, en forma adyacente a la estación o integrada a la misma un canal de evacuación que descarga a agente receptor sin intervención de la instalación de bombeo.

Para el control del flujo se disponen compuertas, ataguías, válvulas, etc. Cuyas características principales son las siguientes:

Compuertas.

El control de flujo combinado con la operación de la estación se realiza mediante la colocación de compuertas planas accionadas manualmente o por sistemas eléctricos o servomotores hidráulicos.

En los conductos de aducción y en las secciones de descarga, se prevé la colocación de compuertas y ataguías destinadas a posibilitar la puesta en seco de los diferentes recintos de la EB, facilitando las tareas de mantenimiento.

Las compuertas son generalmente del tipo de placa deslizante construidas en metal o excepcionalmente en madera dura. Esta última por lo general se deteriora con el tiempo perdiendo su estanqueidad. Para aplicaciones en estaciones cloacales las compuertas metálicas son construidas en fundición de hierro, dependiendo de su tamaño. Las de acero, se construyen con perfiles y escudo con aplicación de protección anticorrosiva de epoxy bituminoso. Las compuertas construidas en acero inoxidable, son más duraderas, manteniendo su funcionalidad en toda su vida útil; la experiencia en saneamiento muestra que aunque más caras al principio se justifica ampliamente su diferencia de costo.

Las guías de deslizamiento, o recatas, van embutidas en los muros laterales. El mecanismo de accionamiento puede ser mediante 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 con comando manual o motor eléctrico, o sistema de cables de acero y tambor de arrollamiento.

En los casos de compuertas de gran tamaño (para EB pluviales) están constituidas por una estructura metálica de perfiles normales horizontales, refuerzos verticales con marco perimetral y escudo. La estanqueidad se logra utilizando una junta de goma (tipo nota musical) que sella contra las guías laterales. Para asegurar un deslizamiento más suave, se colocan zapatas laterales de bronce, material plástico o ruedas laterales montadas en el bastidor, con lo cual la fricción contra la guía es mínima.

En todos los casos estas estructuras operan sin velocidad de agua. Las operaciones de apertura y cierre en condiciones estáticas.

El principio de cálculo de la estructura está basado en la determinación de fajas de igual empuje, conformando vigas horizontales simplemente apoyadas sometidas a flexión.

En el supuesto caso que deban operar con velocidad de agua se deberá incorporar al cálculo los efectos dinámicos, que se manifiestan como una marcada inestabilidad en el esfuerzo de control de ascenso y descenso de la compuerta, fenómeno conocido como “down pull” en el sentido descendente y “up lift” en el sentido ascendente.

Aguas arriba de las secciones comprometidas con el mantenimiento se prevén alojamientos (recatas) para la colocación transitoria de elementos de cierre que permitan efectuar tareas de mantenimiento.

En todos los casos los elementos empotrados de deslizamiento, en lo posible deberán ser de acero inoxidable, teniendo en cuenta la imposibilidad del acceso una vez puesta en servicio la obra y el grado de agresividad química que puede presentar el fluido.

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:

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.

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

Válvula en la Descarga

La válvula de descarga ubicada a la salida de la bomba, lo más próxima posible, constructivamente es semejante a la descrita precedentemente, pero 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, la maniobra debe ser lo suficientemente lenta como para evitar efectos transitorios de “golpe de ariete”, cuyas consecuencias pueden ser perjudiciales para la instalación.

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

Válvula de Retención

Se coloca a continuación 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. 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.

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, 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.

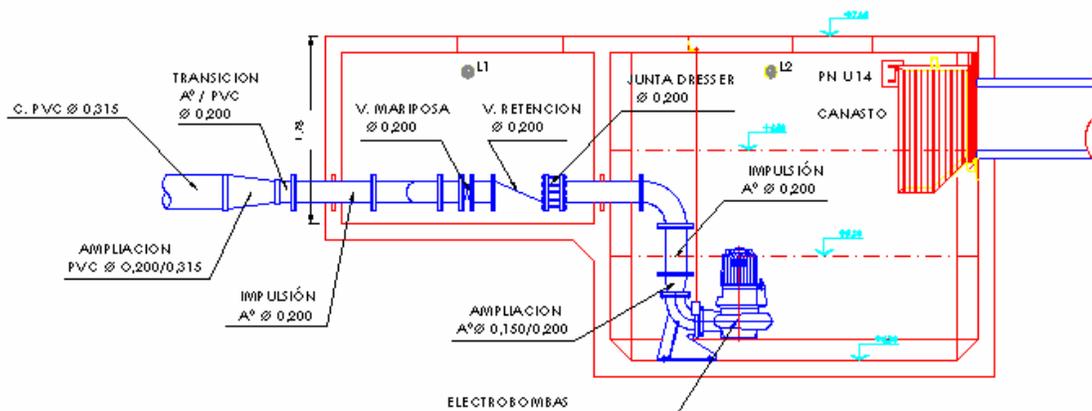


Fig. IV.11.- EB cloacal típica – Disposición de la cañería de descarga

Válvula esclusa

Idem para el control del flujo, de apertura/cierre total para ser operadas durante el funcionamiento de las bombas. Representa un elemento de control de flujo en los casos de tener que ajustar la curva de comportamiento de la impulsión frente a la pérdida de carga y curva de funcionamiento de la bomba.

Válvula clapeta

Se coloca en el extremo de la impulsión para evitar el retroceso del caudal y permitir que la bomba trabaje con el salto manométrico impuesto por la cota del fluido en la impulsión. Para servicio cloacal y drenaje urbano, su utilización se ve limitada. Frente a la presencia de sólidos puede atascarse, permitiendo el retorno del caudal, con el consecuente vaciado del cuenco superior y riesgo de daño al equipo por giro inverso del rotor de la bomba.

IV.5.3.- Rejas de toma.

Con excepción de las EB para agua potable, las otras instalaciones deben disponer de algún sistema de retención de sólidos en suspensión y flotación, en la sección de la admisión de las bombas. Su función es evitar que el ingreso de éstos sólidos no dañen las bombas, ni interfieran con el proceso de remoción si se trata de una EB dentro de una Planta Depuradora Cloacal.

La separación de los elementos de retención (barras verticales) se fija de acuerdo con el tamaño mayor del sólido que admite pasar por el rotor de la bomba.

En las instalaciones de saneamiento urbano, la presencia de sólidos provenientes de desechos domiciliarios o industriales, representa un inconveniente importante para el normal funcionamiento de las bombas.

Su eliminación requiere tareas permanentes de limpieza, ya sea mediante medios mecánicos o manuales.

Los medios mecánicos resultan ser equipos especiales que requieren mayor atención durante la operación y el mantenimiento.

Como es de conocimiento, el mayor inconveniente surge de la presencia de los materiales plásticos y sus derivados, que además de arribar en superficie se depositan sobre la superficie de la reja, produciendo la obturación de la sección de pasaje, reduciendo la sección neta y aumentando la carga estática sobre la reja.

Los trozos que sortean la reja se alojan en los intersticios entre el rotor y carcasa, debido a la temperatura por rozamiento, el material se fusiona, provocando el atascamiento del rotor, con riesgo de corto circuito y posterior quemado del motor.

Para el permitir la puesta en seco del cuenco de bombas, reparación de rejas y guías se prevé en las instalaciones de mayor envergadura la instalación de compuertas metálicas o tramos de ataguías accionadas por equipos auxiliares de izaje.

Para el control de la sección de impulsión se colocan válvulas del tipo esclusa o mariposa. Deben permanecer en todos los casos totalmente abiertas o cerradas.

Pueden ser accionadas en forma manual o motorizadas, mediante motor eléctrico, actuador hidráulico o neumático.

Durante la puesta en marcha de una bomba protegida por una válvula motorizada, al momento del arranque se abre en forma simultánea la válvula, posibilitando un incremento gradual del caudal.

Para el diseño estructural de las rejas se deben considerar los esfuerzos estáticos y dinámicos. Los estáticos se toman sobre la base de considerar que la reja es una estructura simplemente apoyada, sometida al esfuerzo resultante de la cargas provenientes de la pérdida de carga transformada en carga permanente sobre la estructura, incrementada por la obturación por depósito de los sólidos sobre la estructura.

Esta carga está en relación con el tipo de sólido que arribe a la reja y la capacidad de los elementos de limpieza.

Para la carga dinámica, se debe tener en cuenta el efecto vibratorio resultante debido a la perturbación de la vena fluida al pasar por la sección de la reja (frecuencia inducida) y las características vibratorias de la estructura (frecuencia natural).

La expresión de la frecuencia de la reja en el aire está dada por:

$$f_{nat. reja} = \frac{k \cdot r}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot E}{W_b}}$$

Para la reja sumergida:

$$f_{\text{reja sumerg.}} = f_{\text{nat. reja}} \left\{ W_b / [W_b + (b/t)W_a] \right\}^{1/2}$$

$f_{\text{nat. reja}}$ =	Frecuencia natural de la reja (Hz);
$f_{\text{reja sumerg.}}$ =	Frecuencia reja sumergida (Hz);
k =	Coficiente dependiente del tipo de apoyo de la reja (1,57 simplemente apoyada, 3,56 empotrada);
g =	Aceleración de la gravedad;
E =	Módulo de elasticidad del material de la barra;
W_b =	Peso específico del material de la barra;
W_a =	Peso específico del fluido;
r =	Radio de giro de la sección de la barra;
t =	Espesor de la barra perpendicular a la corriente;
b =	Espesor de la barra paralelo a la corriente.

La frecuencia del vórtice producto de la perturbación por presencia de la barra está dada por la expresión:

$$F_v = \frac{V \cdot S}{t}$$

$$S = 0,12 + 0,012 (b/t)$$

F_v =	Frecuencia natural del vórtice;
V =	Velocidad del fluido entre las barras;
S =	Número de Strouhal.

Para asegurar condiciones normales de funcionamiento, la relación entre la frecuencia natural de la reja y la del vórtice debe ser mayor que 1,2.

IV.5.4.- 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.

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 (660 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. Para una misma potencia, a mayor tensión menor es la intensidad de corriente, resultando conductores de menores dimensiones y con mayor exigencia del aislamiento. Su selección depende de los costos comparativos entre equipos.

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, o bien motor horizontal con bomba vertical acopladas mediante cabezal reductor.

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.

En ciertas instalaciones, por razones de seguridad operativa las EB poseen un grupo electrógeno accionado por un motor de combustión interna, para cubrir parcialmente la necesidad de bombeo ante el corte del suministro eléctrico.

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.

Clasificación de los Motores

Las máquinas eléctricas rotativas se dividen principalmente en tres grupos:

Motores de Corriente Directa

Motores Síncrónicos

Motores Asíncrónicos

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

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.

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.

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 asíncrona 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%.

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%.

IV.5.5.- 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 colecta todas las descargas de las bombas, para conducir las hacia la cañería de impulsión ubicada a la salida de la estación.

Este colector de salida, denominado "manifold", normalmente se construye en acero, fabricado en taller y montado en obra.

El diseño más sencillo consiste en una tubería recta de diámetro compatible con el máximo caudal a bombear con tantas salidas (o acometidas) perpendiculares o en ángulo como bombas necesiten acoplarse. En un extremo tiene una tapa ciega mientras que en el otro tiene una brida soldada, que se empalma con el caño de salida de la estación (ver fig V.1.).

Existen colectores más desarrollados en los cuales las acometidas de las descargas de las bombas son inclinadas (normalmente a 45° o 60°) respecto del eje del colector y éste presenta 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 dinámicas que deben ser adecuadamente estudiadas y evaluadas. Por tal motivo el conjunto debe poseer dados de apoyo y anclaje dispuestos a tal fin.



Fig. IV 12.- Colector de descarga con acometidas a 45°.

IV.5.6.- Control de efectos transitorios. Sistemas antiarriete.

Cuando los efectos de arranque / parada del grupo generan efectos transitorios de valores superiores a los máximos admisibles (aprox. 30% del salto) se colocan elementos de compensación, tales como chimeneas que vinculen la sección sometida a presión / depresión con la atmósfera o tanques cerrados antiarriete (tipo AARA).

Asimismo, en tuberías de impulsión largas, se suele colocar en el colector de descarga una válvula anticipadora de onda. La misma como su nombre lo indica, se anticipa a la onda de sobrepresión que sobreviene en una EB funcionando, inmediatamente después de un cierre brusco de una válvula o una parada intempestiva de una bomba, abriendo una válvula que permite derivar el caudal excedente hacia el depósito de entrada. Con ello se evita el fenómeno del Golpe de Ariete cuyas consecuencias suelen resultar nefastas para la instalación.

IV.5.7.- Grúa pórtico y elementos de izaje.

En todas las EB como las descritas, deben preverse los sistemas de izaje para el manipuleo de los principales equipos de la estación, teniendo en cuenta que aún las bombas más pequeñas pesan más de 25 Kg. En tal sentido, no es lógico que la carga deba ser soportada por un operador.

Los equipos izaje van desde simples trípodes o malacates para la elevación de las bombas sumergibles pequeñas de una EB cloacal, hasta grandes puentes grúa para la elevación y transporte de cargas de varias toneladas.

En el primer caso los equipos de izaje son en general del tipo transportable. Es decir, la cuadrilla de mantenimiento lo monta en el lugar para remover o colocar el elemento (bomba, válvula, caño, etc.) y luego lo retira.

En el segundo caso, el equipo de izaje por su magnitud forma parte del equipamiento de la casa de bombas. Los puentes grúa se desplazan a lo largo del eje geométrico de la EB sobre sendas "vigas carrileras" en sus laterales, barriendo toda la superficie de la casa de bombas.

Más aún en ciertos casos, las vigas carrileras se extienden más allá del edificio principal, para dar lugar a que el puente grúa pueda llegar hasta la zona de rejas de la estación. Otros diseños más sofisticados utilizan rieles a nivel de piso, permitiendo que la grúa recorra por afuera la zona de bombas y las rejas.

IV.5.8.- Alimentación de energía, tablero general de entrada.

El sistema de alimentación de energía eléctrica está formado, a partir de la acometida de la línea exterior por:

- a.- Seccionador general de entrada.
- b.- Barras de derivación a seccionadores individuales.
- c.- Seccionador individual por equipo.
- d.- Sistema de arranque, directo o por auto transformador.
- e.- Protecciones.

El conjunto se ubica en tableros, dispuestos en las adyacencias de la estación.

El comando puede ser manual o automático, con sistema de arranque a partir del interruptor de comando desde el indicador de nivel, que habilita el circuito desde el nivel máximo, y lo interrumpe al llegar al nivel mínimo.

Para el control de más de una bomba se coloca un circuito general de comando denominado PLC (Program Logic Control) que procesa los datos y ordena el arranque en forma secuencial.

Para las estaciones con reducida capacidad de compensación (caso frecuente en instalaciones de saneamiento urbano), es necesario comandar el arranque y parada de las bombas en forma coordinada con la forma del hidrograma de aporte.

De ésta forma, el comando de los grupos debe prever con la suficiente anticipación la forma de aporte del caudal, requiriendo conocer, el nivel del fluido y su velocidad de variación. Mediante la lectura de la aceleración de la variación del nivel, se consigue una respuesta ajustada de la estación de bombeo a las condiciones de la alimentación.

Esta razón impone la necesidad de analizar detalladamente el movimiento resultante en la cámara de admisión al aplicar la operación del bombeo.

Para ello debe equilibrarse las dimensiones generales de la cámara, la forma del aporte y el módulo de cada equipo.

IV.5.9.- Sala de comando. Tableros de control.

Destinados al comando de la instalación, el tablero principal de entrada y los de control individual de cada bomba permiten la operación en forma local o remota.

Sobre el panel de cada bomba además de las variables eléctricas del suministro (tensión e intensidad) se colocan las proyecciones, del motor y de la bomba, según sea el diseño de la misma.

El tablero de control es la denominación genérica con que se identifica a los gabinetes metálicos que alojan en su interior a todos los aparatos eléctricos de comando y control de las electrobombas y otros componentes de la instalación de la estación.

Las funciones básicas de un tablero son las de proveer o interrumpir la energía para los motores eléctricos, así como recepcionar las señales eléctricas en baja tensión provenientes de los sistemas de control de los componentes principales de la estación (bombas, válvulas, compuertas, puente grúa, iluminación, etc.)

El conjunto tablero se compone generalmente de un gabinete rectangular de chapa, con tapa del mismo material abisagrada y cerradura con llave para impedir el acceso irrestricto a su interior. Van montados sobre pared, cuando el tamaño lo indica, van autosostenidos sobre el piso. Sus acometidas de cables de potencia y de control se realizan por la parte de atrás o bien por debajo, si el piso de la EB posee canaletas tipo trinchera.

Los elementos del tablero que intercambian información con el operador (luces de marcha y parada, botoneras, amperímetro, horímetro, etc), se colocan en el frente del mismo, de suerte que no se necesita abrir su tapa para acceder a la información requerida.

Dependiendo del sitio de instalación (intemperie, bajo techo, ambiente salino, etc) y de las condiciones de trabajo (salpicaduras, polvos, etc), la protección mecánica del tablero puede ser IP 22; IP23; IP 40; etc según normas específicas (por ej IEC 439).

IV.5.10.- Sistema de protecciones.

Relés Térmicos.

Los relés térmicos se utilizan en corrientes alterna y continua, y su fin es el de proteger a los motores contra sobrecargas pequeñas pero prolongadas.

En el caso de motores, se emplean relés tripolares, válidos también para corrientes monofásicas.

Los relés trifásicos utilizados para protección de motores están compensados contra la variación de temperatura ambiente, siendo capaces de detectar el desequilibrio de una fase o de las tres fases simultáneamente.

Se utiliza para proteger motores de pequeña y mediana potencia.

Relés Termomagnéticos.

Al igual que el relé térmico el relé termomagnético protege al motor contra sobreintensidades, con la diferencia de que éste se utiliza cuando se trata de medianas y grandes potencias.

Relés de intensidad o tensión.

El relé de intensidad actúa en cuanto se alcanza la intensidad reglada (sea sobre o subintensidad), mientras que el relé térmico o termomagnético actúa un tiempo después de detectarse el valor de sobre intensidad.

Análogamente el relé de tensión protege al motor contra tensiones máximas o mínimas, según el caso a proteger de que se trate.

Interruptor Diferencial.

El interruptor diferencial ejecuta la maniobra desconectando el interruptor cuando hay desequilibrio en el sistema trifásico.

En el motor trifásico habrá desequilibrio, por ejemplo, cuando una fase entra en contacto con la masa (puesta a tierra).

Guardamotor.

Este aparato de maniobra combina las funciones de control del fusible y del relé térmico. Por ende, ofrece una protección mayor que los anteriores, analizados separadamente. El dispositivo aloja también una botonera para comando del motor (arranque y parada).

Por lo general para motores potencias pequeñas (menores que 5 Kw) con arranque directo, éste es uno de los aparatos de maniobra más usuales del mercado.

Sensores de servicio.

Representan los elementos que registran la señal y la envían al tablero para que los relés actúen sobre el sistema principal.

Las bombas, especialmente las equipadas con motor sumergido poseen, en general tres sensores, dos en el motor, uno de temperatura y otro de humedad y un tercero en la cámara de aceite del cojinete inferior.

IV.5.11.- Iluminación, aire acondicionado, etc.

La iluminación de una EB está vinculada a las necesidades operativas y de mantenimiento, pero también a cuestiones de seguridad.

En principio y con excepción de las EB subterráneas, la arquitectura del edificio debe priorizar el criterio de la iluminación natural, debiendo contar con amplias ventanas en sus paredes.

La intensidad lumínica debe brindar al ambiente, dentro de lo posible, un valor promedio de 200/250 lux, en particular en las áreas donde se encuentran las bombas, las válvulas y los tableros. En el caso de EB pluviales especial atención debe brindarse también a la zona de rejas.

Habitualmente ello se logra disponiendo de farolas o lámparas de mercurio de 400/500 Watts de potencia cada una, cada 4 a 5 metros entre sí.

El comando del sistema de iluminación de la estación por lo general es independiente del tablero de comandos.

En las EB cloacales debe evitarse el uso de materiales metálicos sin protección anticorrosiva, dado que la emanación de los gases provenientes del pozo de bombeo provocan efectos corrosivos que inutilizan las instalaciones. El uso de materiales comerciales galvanizados normalmente no asegura larga vida, atento a que el proceso de recubrimiento utilizado en ellos no es confiable. En tales casos es preferible recurrir a los aceros inoxidable o materiales plásticos o productos con características antiexplosivas, cuyas exigencias cubren las condiciones de operación de las EB cloacales.

Los sistemas de aire acondicionado están previstos para algunas salas de control donde la operación requiera la presencia permanente del personal de operación.

En general en EB pequeñas no se prevé la instalación de este servicio.

IV.5.12.- Elementos de Medición y Control.

El equipamiento de toda EB se completa con todos los subsistemas de medición y control, necesarios para asegurar el normal funcionamiento de la maquinaria y aumentar la confiabilidad de todo el sistema.

Entre los elementos de medición de los parámetros funcionales de la estación figuran:

- Caudalímetros;
- Manómetros;
- Wattímetros;
- Horímetros

Por su parte, los elementos más comunes para el control del funcionamiento de los equipos son:

- Medidores de nivel del pozo de bombeo;
- Medidores de vibración de las bombas;
- Fines de carrera para las válvulas;
- Idem para el puente grúa (si hubiere);
- Voltímetros;
- Amperímetros;
- Sensores de temperatura del motor;
- Sensores de humedad en el aceite del cárter de la bomba (sólo bombas sumergibles especiales);
- Detectores de gases (sólo en EB cloacales),
- Detectores de estado de carga de las baterías y nivel del tanque de combustible del grupo electrógeno (si hubiere).

Como puede apreciarse en el listado precedente, son muchos los elementos auxiliares que deben instalarse en una EB moderna, a fin de asegurar un funcionamiento seguro y confiable, tanto de sus parámetros básicos de diseño (caudal, potencia, horas), como de las variables que hacen a la seguridad de marcha de sus componentes.

Se describen a continuación las características técnicas de algunos de los elementos mencionados.

Los caudalímetros son elementos utilizados para medir el caudal que pasa por una cañería o un canal. Los más comunes son los del tipo turbina o hélice, el cual va montado en la cañería como si fuera un carretel. El líquido circulante hace girar la turbina siendo su velocidad proporcional a la velocidad del líquido y por ende, a su caudal. El eje de la turbina emite pulsos eléctricos que son interpretados por el aparato como el caudal medido. Una variante de estos aparatos (para cañerías de gran diámetro) son los llamados "caudalímetros de inserción", en los cuales la turbina se inserta a través de un agujero en la cañería hasta el medio de la sección. El giro de la turbina, proporcional a la velocidad del líquido, emite pulsos electrónicos que es captado por un cabezal situado en el exterior del caño, traduciéndolo a valores de caudal en un display.

Otro tipo de caudalímetros son los ultrasónicos. En éstos un conjunto de transductores colocados en la parte externa del caño en forma diametralmente opuesta y desplazada emiten y reciben una señal ultrasónica. Esta señal atraviesa la vena fluida con una determinada

distorsión, calibrada de antemano. Cuando varía la velocidad del líquido (por lo tanto Q), se modifica esa distorsión, la cual es interpretada por el aparato como el caudal medido.

Los aparatos descritos sólo deben ser utilizados para aguas limpias solamente. En efecto, los dos primeros no admiten líquidos con partículas y elementos que pudieran dañar la sensibilidad del rotor, mientras que en el caso del caudalímetro ultrasónico si bien no hay intrusión del aparato en la vena fluida, los sólidos flotantes en la corriente distorsionan significativamente las señales emitidas, dando una lectura errónea de la medición.

Habitualmente, por razones de economía se coloca el aparato en la cañería de salida de la estación, por lo que la medición es representativa del funcionamiento de la EB, pero no de cada una de las bombas que en ese momento están funcionando. Por ello, lo ideal es la instalación de sendos caudalímetros a la salida de cada una de las bombas, determinando por simple suma el caudal total erogado por la estación.

Por razones de costo, esta disposición se adopta en las EB de mayor envergadura.

Medidores de Nivel.

Son dispositivos que se utilizan para detectar el nivel del líquido en el pozo de bombeo o del canal de ingreso de la EB. La información que los controles de nivel brindan, es llevada mediante señales eléctricas al tablero de comandos, a fin de activar algún mecanismo de la central.

Los controles de nivel más comunes son: del tipo boya flotante (comúnmente llamadas “peras” por su forma), o los ultrasónicos.

Los primeros trabajan de dos formas posibles: a) El flotante está acoplado a una varilla, la cual posee en su extremo un contacto eléctrico. b) La “pera” posee un contacto interno de mercurio líquido que cierra o abre el circuito según su posición. Mientras ésta cuelga del cable en forma vertical, el circuito eléctrico se mantiene abierto. Cuando el líquido alcanza la “pera”, ésta se inclina y el circuito se cierra, activando la señal al tablero.

Los controles de nivel por ultrasonido trabajan sin estar en contacto con el líquido. Un sensor colocado por encima del pelo de agua emite una señal, la cual rebota en el líquido y regresa a la fuente emisora. Conociendo la velocidad de propagación de la señal, el señor mide el tiempo que tarda ésta en recorrer el camino (de ida y vuelta) y así la distancia a que se encuentra el líquido.

En las EB existen dos tipos de controles de nivel: el de arranque y parada de las bombas y el detector del grado de obturación de la reja.

Control de nivel para arranque de bombas

Conforme a la descripción señalada en el párrafo precedente, la configuración más simple es la colocación en el pozo de bombeo de dos sensores de nivel. Uno para determinar el nivel mínimo y el otro para detectar el máximo.

El primero se utiliza para dar la señal de parada a la bomba, por cuanto el nivel del líquido ha alcanzado el mínimo nivel compatible con el funcionamiento de la bomba. El segundo sirve para dar la señal de arranque a la bomba.

Si la EB dispone de dos bombas (sin contar la de reserva), el sistema utiliza un tercer sensor para dar la señal de arranque diferenciada entre la primera bomba y la segunda. Si en cambio la EB posee tres equipos de bombeo, los sensores de arranque serán tres. Y así sucesivamente.

Es práctica común utilizar un solo sensor para dar la señal de parada simultánea de todas las unidades.

Estos elementos cumplen también funciones de alarma, detectando los niveles extremos que indican una emergencia en el funcionamiento de los equipos.

Control de nivel para detección de reja obturada o sucia

Las rejas instaladas en un canal de una EB tienen una determinada pérdida de carga prevista en el proyecto. A medida que la suciedad de va acumulando en ella, aumenta la pérdida de carga generada por ella. Ello se manifiesta también en la diferencia de niveles del pelo de agua a un lado y otro de la reja. Cuanto mayor diferencia de nivel haya aguas arriba y debajo de la reja, mayor será el grado de obturación de la reja. Colocando dos sensores de nivel a un lado y otro de la reja y calculando la diferencia de niveles medidos se puede determinar el grado de atascamiento u obturación de la reja. Con este registro, el detector emite la señal de “reja

sucia". Si la central dispone de sistema limpiarrejas automático, esta señal activa el arranque del motor del limpiarrejas, caso contrario la señal da una alarma (visual o auditiva) de "reja obturada", para que el operador efectúe la limpieza.

V.- Disponibilidades de suministro de energía.

El sistema de accionamiento para el equipo de bombeo es mayoritariamente mediante motor eléctrico alimentado desde la red del servicio pública. En general las instalaciones urbanas y periurbanas disponen de servicio en el lugar de bombeo. Para los casos donde este servicio no existe o la prolongación de la red es onerosa, se prevé el accionamiento mediante motor a combustión interna.

Las condiciones de seguridad de servicio exigidas en las zonas a proteger definen las condiciones de suministro alternativo para cubrir las fallas del servicio.

V.1.- Servicio público.

Las instalaciones para la protección de inundaciones urbanas tiene un coeficiente de utilización reducido, por ello la potencia debe estar disponible durante la 24 hs del día durante los 365 días del año aunque su utilización real sea del orden de 300 a 500 hs/año, situación que redundo en elevados costos operativos.

El requerimiento de reserva entonces deberá plantearse por un anillado del sistema de suministro o bien con la incorporación de grupos generadores a combustión interna.

Para estaciones con potencias instaladas superiores a los 200 KW la posibilidad de suministro desde un grupo transportable del total de la potencia se torna dificultoso, por ello la potencia de emergencia cubre, en estos casos, un porcentaje de la potencia total instalada.

Para el caso de estaciones de bombeo de líquidos cloacales, las magnitudes de caudal son menores y el servicio es continuo; la seguridad de servicio es igualmente importante, por ello la disponibilidad de equipos de emergencia es analizada en función de las características de las instalaciones.

V.2.- Generación in situ.

Los puntos de bombeo que no cuentan con suministro de energía eléctrica desde la red pública requieren ser atendidos por grupos generadores locales para impulsar los motores eléctricos de las bombas y el sistema de control y comando.

Los grupos que mejor se ajustan a este requerimiento son los equipos turbogeneradores diesel (motor/generador), siendo su disposición fija o transportable mediante trailler.

En puntos alejados de las zonas urbanas se recurre también a motores diesel de accionamiento directo de las bombas, con acoplamiento a correas o engranajes.

Estas soluciones resultan más complejas que la disponibilidad del servicio desde la red, en virtud de la atención del servicio de mantenimiento y protección frente a los actos de vandalismo.

Las estaciones de bombeo destinadas al servicio de saneamiento tienen un funcionamiento diario, requiriendo una atención y disponibilidad de personal permanente, facilitando así la detección de las fallas.

Las instalaciones para el control de inundaciones al tener una demanda esporádica, transcurren largos períodos sin operar, situación que favorece el accionar del vandalismo y la reducida atención del servicio de mantenimiento.

Los equipos diesel requieren disponer en todo momento de la batería de arranque y reserva de combustible, dos aspectos que demandan una atención permanente para estar disponible frente al evento hídrico. Su eficiencia depende de la eficiencia del servicio de mantenimiento del sistema.

VI.- Alerta meteorológico. Vinculación con la operación del sistema.

VI.1.- Anticipo de eventos hidrológicos.

La necesidad de contar con una red telemétrica de medición, transmisión y recepción de datos e información, para la cuenca comprendida por el sistema de bombeo se basa en la incidencia

que tienen las precipitaciones sobre el área de la cuenca comprendida por la estación de bombeo.

Para estas situaciones es fundamental conocer la evolución de las principales variables hidrológicas, prácticamente en el momento en que se produce, con el fin de permitir tomar las decisiones más racionales y acertadas ante eventos de situaciones críticas. Estas acciones se traducen en apertura y cierre de compuertas, arranque y parada de las estaciones de bombeo, evolución de los almacenamientos en las zonas de retención, etc.

En estos momentos la recopilación de datos se hace a través de lectura visual y personal, con los inconvenientes originados en los errores humanos de medición y/o lectura y las demoras en la recepción de la información. El impacto de las precipitaciones, en ocasiones muy abundantes y muy localizadas causan inconvenientes en el accionar de los sistemas de prevención.

Esto hace que se prevea la instalación de sensores para obtener datos sobre la calidad del agua del río y de las lagunas que conforman su cuenca. Con la medición de variables específicas, se da al Ente operador del sistema una herramienta válida para ejercer el control sobre las posibles fuentes de contaminación.

Las características técnicas y operativas de un Sistema Automático de Telemedición para Alerta y Pronóstico Hidrológico dependen de las características intrínsecas de la cuenca comprendida por la estación o por el sistema integral de bombeo.

El objetivo general de estos sistemas es desarrollar un sistema avanzado de Alerta y Pronóstico Hidrológico, que permita conocer y estimar con suficiente antelación la dinámica de los fenómenos hidrometeorológicos de la cuenca de aporte, a fin de llevar a cabo medidas de mitigación y protección ante posibles eventos de inundación o estiajes.

Para lograr el cumplimiento del objetivo de un sistema de alerta se requiere:

- Instalar una red de estaciones de medición de parámetros hidrológicos, calidad de agua y funcionamiento de bombas con teletransmisión de datos;
- Crear un sistema de pronósticos y alerta hidrológicos que utilice los datos generados por la red de estaciones de mediciones antes mencionada, y los datos suministrados por otros sistemas de alerta, en caso que los hubiera;
- Consolidar los conocimientos y capacidades técnico operativas del personal responsable a cargo del pronóstico y operación del sistema;
- Complementar los datos y pronósticos desarrollados por otros sistemas de alerta conexos, a fin de aportar mayores datos.

El alerta hidrológico es un procedimiento mediante el cual se informa a la población sobre la presencia temporal y geográfica de un evento determinado. Antes de implantar un sistema de alerta, conviene tomar en cuenta:

El factor tiempo. El alerta hidrológico es de gran utilidad cuando el tiempo es un aliado, por lo cual es más beneficioso en el caso de inundaciones que en crecidas. Si bien no pueden esperarse milagros en lo referido a las explotaciones agrícolas, la ayuda desde el punto de vista ganadero es remarcable ya que posibilita el éxodo controlado de la ganadería a lugares seguros. Por supuesto que desde el punto de vista social la ayuda del alerta hidrológico es vital.

La necesidad de información. Para el caso particular del área bajo estudio, con importantes ríos de jurisdicción sucesiva, el tener acceso a información meteorológica de países aguas arriba, no ha sido una tarea sencilla; dicha información, durante mucho tiempo estuvo mas apoyada en amistades personales entre los técnicos que en acuerdos institucionales. Con la creación del MERCOSUR esa situación se ha superado y la información recíproca esta basadas en acuerdo diplomáticos.

Comunicación y apoyos. Sin negar la importancia de la información, es claro que el éxito del alerta depende más de la forma de comunicar y divulgar que de la calidad de la información. Además, el sistema de alerta debe estar apoyado por un plan previo referido a las facilidades en las vías de escape de la población afectada.

VI.2.- Sistema de telecontrol y telecomando.

La operación de las estaciones de bombeo puede realizarse en forma manual, accionando el equipo in situ, automático, cuando las variables adoptan los valores prefijados, o a distancia mediante el conocimiento anticipado de las variables.

En estaciones de bombeo para drenajes superficiales, el sistema de detección está formado básicamente por detectores de nivel y velocidad del fluido en secciones típicas en las zonas más alejadas de la cuenca, como así también datos de humedad y vientos, según la zona.

Mediante la transmisión telegráfica de los datos (vía alámbrica o inalámbrica) se los decepciona en un procesador central, desde donde se programa la operación de los equipos.

La operación resulta totalmente automática. El sistema cierra el circuito operativo mediante un modelo de operación que considera las variables de entrada (ingresos en la cuenca), las características físicas de la misma y su coeficiente de escorrentía, se infieren las características del caudal ingresante, programándose la operación del sistema de bombeo.

VII.- Operación y Mantenimiento.

La Operación y Mantenimiento de las instalaciones hidráulicas con equipamiento de bombeo requiere la disponibilidad y coordinación de tareas que deben converger en la prestación del servicio en tiempo y forma tal como fuera previsto durante al fase de prospección del proyecto.

La falta de cumplimiento de los servicios de la instalación, ya sea por fallas en su funcionamiento o falta de atención tornan inválida la inversión realizada, con las correspondientes pérdidas que ello acarrea. De ahí la extrema importancia de las tareas de Operación y Mantenimiento, por ser las encargadas de permitir la concreción de los objetivos del proyecto.

VII.1.- Operación del sistema.

La operación del sistema estará fijada por las variables que haya que controlar de acuerdo con los términos del proyecto y el contenido de las Especificaciones Técnicas.

Para una instalación de agua potable, la demanda fijará el momento en que será necesario habilitar el servicio hacia la planta potabilizadora o hacia la red.

El servicio cloacal indicará que para niveles máximos en la cámara de aducción deberá comenzar la operación de bombeo.

Para drenaje urbano superficial, la operación podrá ser requerida por el anticipo del sistema de alerta o por indicación de nivel en la cámara.

Los sistemas de saneamiento y drenaje más complejos que combinan efectos de variación de marea en la desembocadura (sudestada), precipitación en la cuenca y control de cursos de agua al curso principal, responden en primer lugar a un modelo matemático del sistema que simula el funcionamiento, siendo la indicación primaria para la toma de decisiones. A postriori, el registro en tiempo real del sistema permite actualizar los requisitos de operación.

Durante las emergencias (aportes con recurrencias iguales o superiores a la de cálculo) la operación deberá realizarse con máxima exigencia de los equipos, sin sobrepasar sus límites técnicos.

La autoridad responsable de la operación debe dictar las normas a aplicar en cada caso a los efectos de disponer el servicio al momento de ser requerido.

Cuando las instalaciones cuentan con más de un equipo de bombeo, la operación será programada en relación con la demanda y con los equipos disponibles. La entrada en servicio de las bomba debe programarse en forma rotativa, con el fin que resulten tiempos equivalentes de funcionamiento, asegurándose la vida uniforme de la instalación.

De igual modo el mantenimiento estará en concordancia con este principio a los fines que los tiempos de detención afecten de igual forma a los diversos equipos

VII.2.- Mantenimiento, personal y equipos.

Los trabajos de mantenimiento que demandan las instalaciones se diagraman según sean de rutina o de emergencia.

En general se tratará de encuadrar la mayoría de ellos en los de rutina, dejando los restantes para situaciones de carácter extraordinario.

De acuerdo con el tipo de instalación será la forma en que se diagramará el mantenimiento, tomando como base los aspectos civiles y electromecánicos. Para sistemas de agua potable las tareas electromecánicas estarán circunscriptas al sistema de alimentación eléctrica, accesorios y bombas.

Las bombas requieren una inspección semanal y desmontaje parcial para control de cojinetes y rodamientos cada 6 meses aproximadamente.

Para bombas con motor sumergido se agregan controles del sistema de aislación y sellos mecánicos.

Se deberá prestar especial atención a la presencia de sólidos en la sección de toma, quienes reducen la calidad de servicio al obturar la entrada y aumentar los efectos de la cavitación.

Los sistemas cloacales demandan mayores tareas por la presencia de sólidos en suspensión, particularmente los materiales plásticos que tienden a alojarse entre las secciones en movimiento del impulsor.

Las instalaciones de drenaje superficial presentan requerimientos similares, aunque los sólidos en suspensión y en media agua acrecientan las dificultades.

Al colectar aguas de zonas urbanas, durante los primeros 20 minutos de una lluvia se arrastra entre un 60% y 70% de los sólidos. Esta situación provoca el atascamiento de las tomas, restando eficiencia al sistema.

Enfoque del Mantenimiento

Los trabajos de mantenimiento que demandan las instalaciones se diagraman según sean de rutina o de emergencia.

En general se tratará de encuadrar la mayoría de ellos en los de rutina, dejando los restantes para situaciones de carácter extraordinario.

De acuerdo con el tipo de instalación será la forma en que se diagramará el mantenimiento, tomando como base los aspectos civiles y electromecánicos. Para sistemas de agua potable las tareas electromecánicas estarán circunscriptas al sistema de alimentación eléctrica, accesorios y bombas.

Las bombas requieren una inspección semanal y desmontaje parcial para control de cojinetes y rodamientos cada 6 meses aproximadamente.

Para bombas con motor sumergido se agregan controles del sistema de aislación y sellos mecánicos.

Se deberá prestar especial atención a la presencia de sólidos en la sección de toma, quienes reducen la calidad de servicio al obturar la entrada y aumentar los efectos de la cavitación.

Los sistemas cloacales demandan mayores tareas por la presencia de sólidos en suspensión, particularmente los materiales plásticos que tienden a alojarse entre las secciones en movimiento del impulsor.

Las instalaciones de drenaje superficial presentan requerimientos similares, aunque los sólidos en suspensión y en media agua acrecientan las dificultades.

Al colectar aguas de zonas urbanas, durante los primeros 20 minutos de una lluvia se arrastra un 70% de los sólidos. Esta situación provoca el atascamiento de las tomas, restando eficiencia al sistema.

O sea que para estas instalaciones es necesario disponer de mantenimiento durante la operación.

VII.2.1.- Tipos de mantenimiento.

Existen tres tipos básicos de mantenimiento.

- Correctivo;
- Preventivo;
- Predictivo.

Por razones de economía de espacio en este documento nos referiremos al último de los nombrados, atento a que es el que aplica las técnicas más modernas para la predicción de fallas.

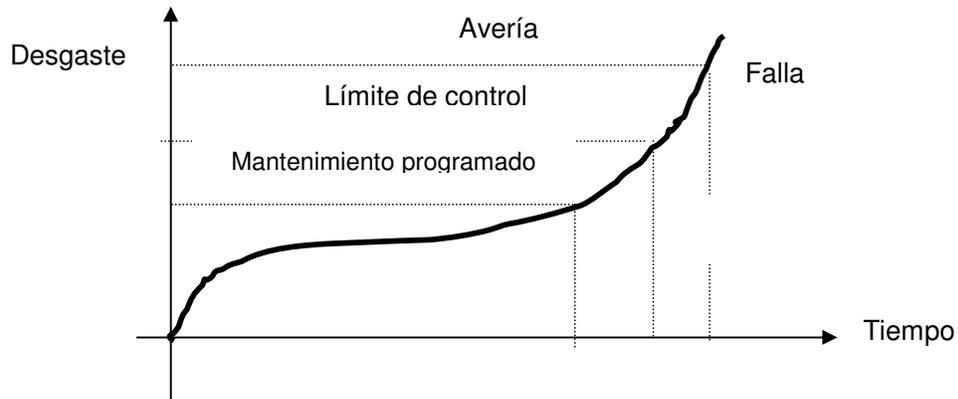
Mantenimiento predictivo

Este método de mantenimiento “acorde con el estado” cobró auge en los últimos 20 años, con el advenimiento de instrumentos para medir y monitorear parámetros indicativos del estado de

las máquinas. Interpretando luego las lecturas y comparando los sucesivos registros se puede advertir el avance de las distintas formas de desgastes y deterioros previamente a que dañen gravemente a la máquina o que se produzca una falla de funcionamiento.

Cada máquina considerada individualmente, debe ser objeto de un seguimiento rutinario de diagnóstico que permita conocer su estado mientras se encuentra en servicio. Este método se denomina "*Mantenimiento Predictivo*" en razón de que posibilita determinar anticipadamente el estado de desgaste o de fatiga que posibilita el reemplazo de los componentes previo a su rotura. De esta forma se procura la utilización de los componentes hasta su efectiva duración, la cual puede extenderse más que la expectativa de vida útil, o prevenir las fallas tempranas que estadísticamente resulten posibles.

Este concepto puede ilustrarse gráficamente de la siguiente forma:



La aplicación de este método requiere la medición periódica de las magnitudes representativas del estado funcional de desgaste de los componentes del equipo, como por ejemplo las vibraciones, la temperatura de ciertos componentes y del lubricante, la presencia de partículas metálicas en el lubricante, el cambio de parámetros operativos como caudal o altura en las bombas y compresores, etc. Luego, el adecuado análisis de las magnitudes medidas y su comparación con los registros históricos posibilitarán predecir el estado y alertar tempranamente del advenimiento de una falla.

Puede observarse que este criterio no es novedoso en su esencia, puesto que siempre suele estar presente personal de mantenimiento y operadores experimentados, quienes a través de ruidos, vibraciones, temperaturas, u otros parámetros pueden "predecir" con menor o mayor certeza el estado de desgaste de los equipos.

El monitoreo del estado de los equipos productivos, puede ser realizado con sistemas instalados en forma permanente, o con instrumentos portátiles.

Los sistemas instalados en forma permanente registran y analizan parámetros preseleccionados y su análisis se realiza mediante importantes sistemas de adquisición de datos que facilitan la interpretación de las mediciones en forma automática.

Los instrumentos portátiles son de utilización versátil, permiten medir separadamente en los distintos puntos de interés de la máquina y seleccionar para el seguimiento de rutina los de mayor relevancia.

Técnicas Principales de Predicción de Fallas

En un plan de mantenimiento global de un establecimiento productivo, actualmente se cuenta con una importante cantidad de métodos y ensayos que permiten la predicción de fallas, entre los cuales se pueden mencionar:

- Análisis de vibraciones;
- Auscultación sonora;
- Análisis de lubricantes;
- Registros térmicos;
- Ensayos no destructivos, entre los que se destacan:
 - Detección de fisuras con tintas penetrantes o por magnetismo;

- Localización de fallas por ultrasonido;
- Otros.

Se efectuara una sintética descripción del principio en que se basa cada técnica, por cuanto su estudio con mayor detalle se debería abordar en otra instancia.

Análisis de Vibraciones

Es una técnica aplicada a máquinas rotativas y alternativas. El procedimiento consiste en medir y registrar la aceleración, o el desplazamiento o la velocidad que caracteriza a las vibraciones transmitidas por las partes móviles a las partes fijas de las máquinas .

El posterior análisis de los registros, posibilita detectar los diversos desperfectos que son característicos las partes móviles de las máquinas: falta de balanceo, falta de alineación, soportes flojos, desgastes en cojinetes, etc.

Auscultación sonora

En su origen es una forma primitiva de identificar las irregularidades de funcionamiento de las máquinas, valida en la medida que se cuente con experiencia en la máquina específica. Mecánicos experimentados por ejemplo, suelen identificar con precisión el estado de rodamiento, huelgos en cojinetes, desalineaciones, elementos flojos, etc. sobre la base del sonido emitido por la máquina. Esta auscultación directa, puede ser mejorada con el empleo de un estetoscopio para mecánicos.

Análisis de Lubricantes

Frecuentemente el lubricante es el único elemento que tiene contacto con las partes móviles de las máquinas y su grado de contaminación con partículas sólidas es representativo de la evolución del desgaste que se produce durante el funcionamiento.

El análisis de los lubricantes es muy directo: se extraen muestras de aceite en lugares prefijados del circuito de lubricación, siempre del mismo lugar, cara determinados períodos de funcionamiento.

El aceite debe ser luego analizado en laboratorio, verificando tanto sus propiedades lubricantes (densidad y viscosidad) como la contaminación con partículas sólidas, tales como carbón, metales de cojinetes etc. El material de contaminación resulta indicativo de las partes que han sufrido desgaste y de la severidad del mismo.

Registros Térmicos

El funcionamiento de las máquinas produce calor por fricción entre partes mecánicas, por pérdidas eléctricas, perdidas de vapor, sobrecargas, etc. y el efecto del calor generado de distintas maneras se traduce en un aumento de temperatura de las partes afectadas.

Un plan de mantenimiento integral también debe considerar un registro de las temperaturas presentes en partes significativas de las máquinas o instalaciones, como así también de los lubricantes. Dicho registro, practicado en forma rutinaria, permite evaluar el estado de varios componentes, particularmente el estado de lubricación de los cojinetes y rodamientos.

El registro de temperaturas en los cojinetes, suele constituir un valioso aporte para evaluar el estado del componente y puede ser efectuado en forma directa, con un termómetro de contacto.

VIII.- Aspectos licitatorios, contratación, montaje y puesta en servicio.

El servicio normal y efectivo de un sistema de bombeo depende en gran parte de la forma en que haya desarrollado el proceso de proyecto, documentos de licitación, sistema de adquisición, provisión, montaje, puesta en servicio y garantías de funcionamiento.

VIII.1.- Elaboración del proyecto y sistema de licitación.

Una vez definidos los objetivos del proyecto del sistema de bombeo, se requiere el planteo de las alternativas técnicas que permitan la elección del esquema de proyecto que mejor se adapte a dichos requerimientos vinculando el tipo de aporte, la ubicación geográfica, el proceso constructivo y la disponibilidad de insumos en tiempo para atender el cronograma de obras.

Una vez seleccionada la alternativa de proyecto más conveniente, a partir de los esquemas de anteproyecto, el desarrollo del proyecto debe realizarse con el mayor detalle posible, definiendo el alcance de la provisión tanto en las Especificaciones Técnicas como en los planos de licitación.

Cuando mayor cantidad de detalles se vuelquen en esta documentación, menores serán las variaciones de proyecto durante la construcción, reduciéndose los inconvenientes de orden técnico, económico y financiero.

Así la definición de los primeros datos del proyecto, tales como la forma del hidrograma de aporte, el volumen óptimo de la cámara de aducción, el caudal instalado y el número de equipos definen los lineamientos básicos del proyecto.

La determinación del módulo de bomba representa al elección de un tipo de equipo vigente en el mercado, que cuente con seguridad de fabricación y provisión, con las correspondientes garantías técnicas, disponibilidad de repuestos y asistencia técnica durante su vida útil.

En este punto se requiere el análisis de equipos compatibles con lo requerido por el servicio. Así el diseño de una instalación para agua potable estará influenciada por las condiciones en la captación, ya sea desde un río (instalaciones flotantes o fijas) o desde la napa subterránea, quienes definirán el tipo de equipo de bombeo más adecuado.

El sistema de manejo interno en la planta de tratamiento de efluentes cloacales y posterior sistema de impulsión requiere adaptar los equipos a estos requerimientos.

Las instalaciones de rebombeo en ruta deberán disponer de equipos con exigencias acorde a una estación de bombeo del tipo convencional.

Para servicios cloacales, la disposición del sistema de bombeo se produce en lugares de colección para impulsar a la planta de tratamiento o al cuerpo receptor.

Las plantas de rebombeo de efluentes cloacales, generalmente se encuentran en lugares urbanizados con poco espacio físico disponible, situación que obliga a reducir al máximo las dimensiones de las cámaras, siendo necesario considerar el tiempo de permanencia máximo del fluido en la cámara. Ello conlleva a la instalación de bombas de módulos condicionados al hidrograma de aporte con baja capacidad de regulación.

En general las bombas son del tipo centrífugas con rotores que permitan el pasaje de elementos sólidos de tamaño limitado, sin alterar en lo posible su composición.

En las plantas de tratamiento, para la impulsión a alturas reducidas de grandes volúmenes de fluido se utilizan máquinas de peso que trasladan el fluido mediante un transporte suave, representado por el Tornillo de Arquímedes.

La restitución del fluido tratado al cuenco receptor se realiza mediante equipos convencionales del tipo centrífugo cuya capacidad total y el número de equipos se fija en relación a la forma operativa de la planta.

Para el control de inundaciones urbanas, las condiciones de bombeo también presentan particulares. El perfil y tipo de terreno y el grado de urbanización actual y futuro son los elementos básicos que enmarcan las soluciones a adoptar.

Generalmente se trata de evacuar grandes caudales a baja altura.

La disponibilidad de espacio en general es reducida, con pocas posibilidades de prever cuencos que compensen las variaciones del caudal aportado, resultando en algunos casos un caudal instalado similar al caudal de pico. Esta situación representa una fuerte exigencia de operación, ya que el sistema de bombeo debe prácticamente acompañar a la curva de aporte.

Los equipos más aptos para ser utilizados en estas instalaciones son bombas de reacción de hélice, en razón de la reducida relación H_m/Q (Altura manométrica respecto del caudal nominal).

Las variantes son con motor eléctrico exterior o sumergido o accionadas por motores a combustión interna.

Las instalaciones de manejo de inundaciones que poseen reservorios puntuales en las zonas más deprimidas de la cuenca, ya sean de forma de paralelepípedo o circulares, el tipo de bomba surge de la relación entre el caudal unitario por equipo y del rango de variación del salto. Para un reservorio rectangular en planta y reducida profundidad, el salto medio queda definido por el valor medio de oscilación del nivel en la cámara de aducción.

Una mención aparte merece el bombeo que se efectúa en los aprovechamientos hidroeléctricos, donde se mueven elevados volúmenes de agua desde un embalse compensador aguas abajo hacia el embalse de cabecera. Este tipo de instalación, dadas las particularidades del servicio, responde a principios de proyecto más exigentes desde el punto

de vista técnico, por su íntima relación con las características de las turbinas, que exceden los alcances de los temas aquí tratados.

Lo expuesto indica el grado de importancia que reviste el planteo y la elección de la alternativa de proyecto más conveniente. Por ello, sobre la base de haber elegido una solución, la misma debe ser desarrollada en profundidad, confeccionándose así una memoria técnica unívoca con especificaciones técnicas que abarquen en detalle las características de los equipos que componen la estación de bombeo.

Dentro de los datos básicos a desarrollar se tendrá especial atención en:

- Definición de las cotas de operación máximas y mínimas (niveles en la aducción y en la impulsión);
- Caudal nominal a bombear;
- Altura manométrica máxima y mínima;
- Tolerancia de ambos valores (en más y en menos);
- Altura de aspiración requerida y disponible;
- Rendimiento mínimo requerido de la bomba, o en su defecto del conjunto bomba / motor,
- Disponer de catálogos o información de proveedores (más de uno) de bombas que se ajusten a dichos valores, a los efectos de asegurarse una buena competencia del mercado;
- Determinar los materiales que compondrán el equipo, en particular el material del impulsor;
- Tipo de acoplamiento entre bomba y motor;
- Rango de la velocidad de giro;
- Para equipos con motor sumergido, elementos de protección (temperatura, humedad);
- Tensión de alimentación del motor eléctrico y factor de potencia;
- Normas nacionales o internacionales que se aplicará a la provisión.

Estos datos permiten definir y delimitar las características del equipo, posibilitando la confección de un presupuesto de obra con certeza de sus componentes, esperándose pocos desvíos durante el proceso del proyecto de detalle, provisión y montaje.

Por otra parte, los componentes del alerta hidrológico requieren la determinación específica de sus características con el objeto de integrar sus anticipos con las variables operativas de la estación y particularmente con el comando de las bombas.

Las Especificaciones Técnicas de la Estación Meteorológica deberán establecer el tipo de variable a medir, la frecuencia y su vinculación y la adaptación de los sistemas de recepción coordinados con las variables operativas del sistema de bombeo.

El montaje del panel de control y las interfaces de los sensores se realizará dentro de un gabinete con la protección adecuada para estar a la intemperie. Cada sensor se montará de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes.

Deben medir como mínimo las siguientes variables meteorológicas: - Temperaturas máximas y mínimas con fecha y hora, dirección y velocidad del viento, sensación térmica máxima y mínima con fecha y hora, lluvia diaria y acumulada, presión barométrica, radiación solar.

VIII.2.- Legajos licitatorios.

La documentación necesaria para la adquisición de los equipos, conformada por los Pliegos de Licitación deben reflejar con claridad las Condiciones Generales que regirán las relaciones entre Comitente y Contratista y las Especificaciones Técnicas que darán sustento al Contrato.

Las particularidades de cada uno de ellos depende en primer lugar de las características del Comitente o Dueño de la Instalación y luego de las condiciones de financiación.

Las Condiciones Generales al reglamentar el contrato, conjuntamente con los compromisos de entrega en tiempo y forma del equipo contendrán las correspondientes garantías del equipo a adquirir.

Las Especificaciones Técnicas deberán expresar con claridad el equipo que se requiere. Por ello no es aconsejable dejar grandes decisiones a tomar por el Oferente en su oferta, situación que aleja la posibilidad de evaluar varias ofertas en igualdad de condiciones.

En las Condiciones Generales se deberán expresar con claridad las reglas para la comparación de las ofertas, con sus penalidades y premios que conformarán el "Precio Final de Comparación". Así mismo se dejará establecida la posibilidad o no de recibir ofertas alternativas, que serán consideradas sobre la base de la oferta básica más conveniente.

Por otra parte se deberán requerir antecedentes técnico-económico-financiero del Oferente, mencionándose los requisitos mínimos que tiene que cumplir para poder participar del llamado.

Las exigencias técnicas de los equipos, su grado de confiabilidad, prestación y rendimiento indican que el fabricante debe acreditar amplia experiencia en la fabricación de los equipos, solvencia en el montaje y puesta en marcha, disponibilidad de repuestos y línea de asesoramiento y apoyo técnico durante la vida útil del equipo.

VIII.3.- Contratación y ejecución de las obras.

Efectuada la evaluación de las ofertas y convalidado el Contrato, si el Pliego de Especificaciones Generales y Particulares contiene los elementos que regulen con claridad las obligaciones de ambas partes, los desvíos e inconvenientes a esperar (contingencias) deberán ser mínimos.

La fijación de un cronograma de obra real y posible es de vital importancia para dar realidad a la obra.

Los equipos de bombeo gran envergadura (mayores a 1m³/s) y sus accesorios no son en general de producción continua, no disponiendo los proveedores de stock en espera para ser comercializado. Por ello se deben considerar los tiempos de fabricación, transporte y entrega.

En la actualidad existe la posibilidad de fabricación local de equipos completos, inclusive los de motor sumergido, que requieren una tecnología más desarrollada; no obstante, la demanda a una escala comercial todavía reducida, hace que los principales proveedores y fabricantes recurran con frecuencia a productos de origen extranjero. Es de esperar que con un desarrollo sostenido de las obras e inversiones, la industria local incremente su participación en estos proyectos.

Durante el transporte y montaje deberán exigirse la totalidad de los ensayos y certificados de garantía requeridos en el Pliego, a través de una Inspección idónea, con experiencia, capacidad de decisión y responsabilidad técnica que permita el avance de las obras dentro de la razonabilidad técnica que las caracteriza.

VIII.4.- Puesta en marcha. Períodos de garantía.

Completado el montaje, se dará comienzo a las tareas de puesta en marcha, con la realización de los ensayos previos.

Los datos básicos de las bombas a ser convalidados al momento de la puesta en marcha son la altura manométrica y el caudal. Se efectuarán de acuerdo con lo establecido en el Pliego, que pueden ser:

- Verificación de la altura manométrica para condiciones nominales de funcionamiento y control indirecto del rendimiento de la bomba mediante la medición de los parámetros eléctricos del motor, refiriéndolo al ensayo en fábrica;
- Altura manométrica: idem anterior. Medición del rendimiento mediante el sistema establecido en el Pliego (molinete, caudalímetro, electrodinámico, etc.);
- Elementos de control y comando. Medición de las variables eléctricas y pruebas de corto circuito;
- Ensayos en vacío de los elementos accesorios: Válvulas, compuertas, etc.

Comenzada la marcha industrial da comienzo el período de garantía, tiempo en el cual el Contratista deberá continuar dando asistencia hasta la recepción definitiva.

Durante este período la operación está a cargo del comitente o propietario de las instalaciones, debiendo asignar personal idóneo para su operación, teniendo en cuenta que las eventuales fallas que pudieren darse deben justificarse con suficiencia para encuadrarla dentro de las garantías técnicas.

Debido a la envergadura de los equipos, en general no se requieren garantías por cavitación.

La misma está implícita en el cumplimiento del rendimiento de la bomba y el buen funcionamiento durante lapsos prolongados.

En síntesis la buena prestación de los equipos está conformada por el conjunto de medidas adoptadas desde la evolución del proyecto hasta la operación idónea de los equipos, asegurándose así el éxito de los trabajos ejecutados, brindando a la comunidad el servicio requerido.

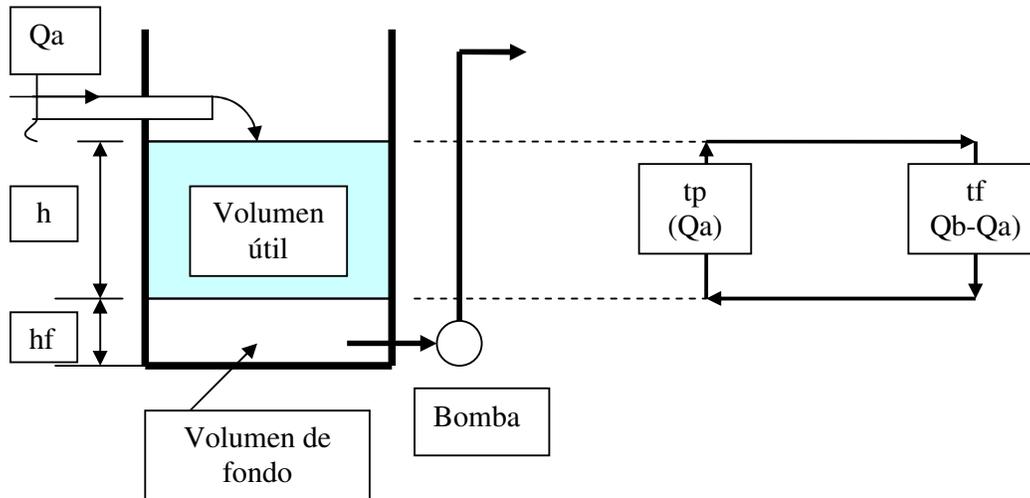
APÉNDICES / BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE I. Método de Pincince
APÉNDICE II. Altura de Aspiración. Cavitación
APÉNDICE III. Inundaciones Urbanas. Instalaciones Existentes
BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE I Método de Pincince.

El método de Pincince permite evaluar el funcionamiento de dos o más bombas de una estación de bombeo bajo el criterio de operación uniforme y equilibrada, asignando volúmenes operativos acorde con el hidrograma de aporte y la capacidad de bombeo de cada una de las bombas.

Para una cámara que se encuentra vacía (nivel mínimo correspondiente al volumen muerto), las relaciones entre tiempo de operación y tiempo de funcionamiento de una bomba en relación con el caudal afluente son las siguientes:



Q_a = Caudal aportado; Q_b = caudal bombeado

$t_p = \frac{V_u}{Q_a}$ Tiempo de parada en horas, donde V_u Volumen útil

$t_f = \frac{V_u}{Q_b - Q_a}$ Tiempo de funcionamiento en horas.

$t_c = t_p + t_f = \frac{V_u}{Q_a} + \frac{V_u}{Q_b - Q_a}$ Tiempo de ciclo en horas

$$t_c = \frac{V_u}{Q_b * \left(\frac{Q_a}{Q_b}\right)} + \frac{V_u}{Q_b * \left[1 - \left(\frac{Q_a}{Q_b}\right)\right]}$$

Haciendo: $k = \frac{Q_a}{Q_b}$ se tiene: $t_c = \frac{V_u}{k * Q_b} + \frac{V_u}{Q_b * (1 - k)}$.

$$t_c = \frac{V_u}{Q_b} * \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{1 - k}\right)$$

Despejando el volumen útil:

$$V_u = Q_b * \frac{t_c}{\frac{1}{k} + \frac{1}{1-k}}$$

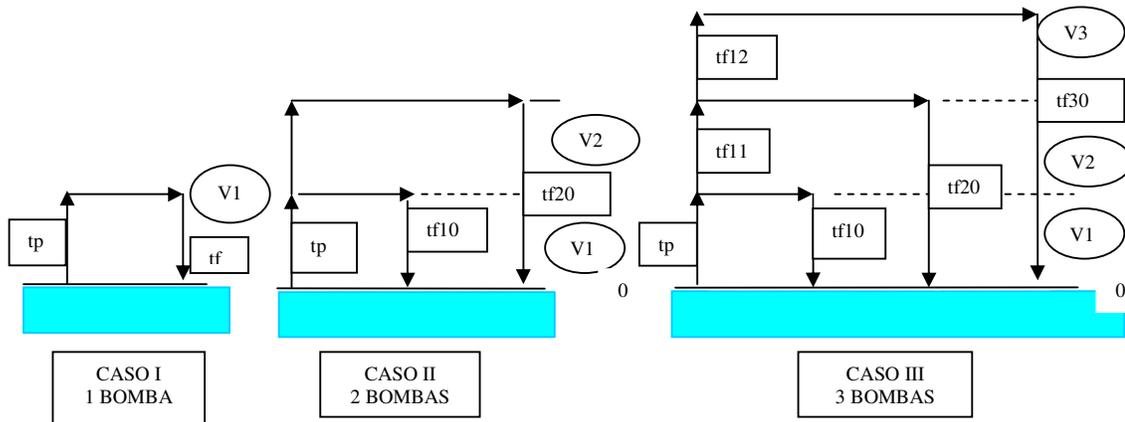
Para el caso de dos bombas será :

$$V_u = V_1 + V_2$$

y para tres bombas

$$V_u = V_1 + V_2 + V_3$$

El diagrama de funcionamiento equivalente al expuesto anteriormente con la nomenclatura respectiva resulta el siguiente:



Continuando con el análisis para dos bombas: Si V1 es el volumen mínimo requerido para el caudal Q_{b1} de la bomba B1 para operar dentro del rango de caudal afluente $0 < Q_a \leq Q_{b1}$, el volumen V2 adicional para la operación de la bomba B2, será necesario siempre que $Q_{b1} < Q_a < (Q_{b1} + Q_{b2})$.

En estas condiciones, comenzando el análisis desde el nivel 0, con ambas bombas detenidas, el caudal afluente llenará el volumen V1 en el tiempo $t_p = V_1 / Q_a$, alcanzándose el nivel 1 en la cámara, con lo que el interruptor de nivel arrancará la bomba B1 impulsando el caudal Q_{b1}. De ser $Q_{b1} > Q_a$, el ciclo resultará similar al del caso I, bajando el nivel gradualmente por efecto de una extracción neta de caudal igual a $Q_{b1} - Q_a$, llegando, al cabo del tiempo de funcionamiento t_{f10} , al nivel 0 de parada.

En cambio, si al llegar al punto 1, el caudal afluente es mayor que el de la bomba B1 ($Q_a > Q_{b1}$) al arrancar esta bomba, en lugar de un descenso de nivel, el mismo continuará incrementándose a un ritmo menor como consecuencia del ingreso neto de caudal $Q_a - Q_{b1}$, que al cabo del tiempo t_{f11} , permite llegar al nivel 2, donde arrancará la segunda bomba B2, de caudal Q_{b2}.

El tiempo t_{f11} necesario para llenar el volumen V₂ con un caudal $Q_a - Q_{b1}$ será:

$$t_{f11} = \frac{V_2}{Q_a - Q_{b1}}$$

Al arrancar la bomba B2, la suma de los caudales Q_{b1} y Q_{b2} de las bombas B1 y B2 funcionando simultáneamente, será mayor que Q_a , con lo cual el nivel comenzará a descender por efecto de un caudal neto de extracción cuyo valor estará dado por:

$$(Q_{b1} + Q_{b2}) - Q_a = Q_b - Q_a$$

Este caudal vaciará el volumen $V_1 + V_2$ en un tiempo t_{f20} , cuya expresión es:

$$t_{f20} = \frac{V_1 + V_2}{(Q_{b1} + Q_{b2}) - Q_a} = \frac{V_1 + V_2}{Q_b - Q_a}$$

Quedan así definidos dos ciclos distintos de funcionamiento, según sea Q_a mayor o menor que:

Ciclo de 1 (una) bomba, para $Q_{b1} \geq Q_a > 0$:

$$t_{c1} = t_p + t_{f10} = \frac{V_1}{Q_a} + \frac{V_1}{Q_{b1} - Q_a}$$

Ciclo de 2 (dos) bombas, para $(Q_{b1} + Q_{b2}) \geq Q_a > Q_{b1}$:

$$t_{c2} = t_p + t_{f11} + t_{f20} = \frac{V_1}{Q_a} + \frac{V_2}{Q_a - Q_{b1}} + \frac{V_1 + V_2}{(Q_{b1} + Q_{b2}) - Q_a} \quad (1)$$

La expresión de t_{c1} representa la operación de la bomba B1 y la definición del volumen V_1 , ya que V_2 no es necesario por que la bomba B2 no entra en funcionamiento. El volumen V_1 podrá expresarse en función del tiempo de ciclo mínimo que limita el número de arranques por hora:

$$V_1 = \frac{Q_{b1}}{4 * f_{\max}} = \frac{t_{c\min.} * Q_{b1}}{4} \quad (2)$$

El cálculo del volumen V_2 presenta más complejidad, dado que debe cumplir con la condición de hacer mínimo el tiempo t_{c2} , para lo cual debe igualarse a cero la derivada de expresión (1). Las expresiones resultantes son sumamente complejas debido a las derivadas de funciones que poseen las variables dentro del denominador.

A. B. Pincince propuso un método que simplifica la solución (Wet-well volume for fixed-speed pumps, Journal of the WPCF, Enero 1970). Considerando la diferencia de caudal Q entre el caudal afluente Q_a y el caudal bombeado Q_{b1} , la expresión del tiempo de ciclo para dos bombas (t_{c2}) puede expresarse de la siguiente forma:

$$t_{c2} = \frac{V_1}{Q_{b1} + Q} + \frac{V_2}{Q} + \frac{V_1 + V_2}{Q_{b1} - Q} \quad (3)$$

Derivando e igualando a cero, se tiene:

$$\frac{dt_{c2}}{dQ} = -\frac{V_1}{(Q_{b1} + Q)^2} - \frac{V_2}{Q^2} + \frac{V_1 + V_2}{(Q_{b1} - Q)^2} = 0$$

Introduciendo las siguientes variables auxiliares:

$$\beta = \frac{Q}{Q_1} ; \mu = \frac{Q_2}{Q_1} ; V' = \frac{V_2}{V_1}$$

La expresión anterior se transforma en:

$$-\frac{1}{(1 + \beta)^2} - \frac{V'}{\beta^2} + \frac{1 + V'}{(\mu - \beta)^2} = 0 \quad (4)$$

A su vez la expresión del tiempo de ciclo (t_{c2}) puede escribirse como:

$$t_{c2} = \frac{V_1}{Q_{b1}} * \left(\frac{1}{1+\beta} + \frac{V'}{\beta} + \frac{1+V'}{\mu-\beta} \right)$$

De la ecuación (2) resulta:

$$\frac{V_1}{Q_{b1}} = \frac{t_{c\min.}}{4}$$

Reemplazando:

$$4 * \frac{t_{c2}}{t_{c\min}} = \frac{1}{1+\beta} + \frac{V'}{\beta} + \frac{1+V'}{\mu-\beta} \quad (5)$$

Resolviendo las ecuaciones (4) y (5) para $\frac{t_{c2}}{t_{c\min}} = 1$ (significa que el ciclo de 2 bombas se mantiene la misma f_{\max} de arranque que para el ciclo de 1 bomba), se obtiene:

$$\mu - \beta = \frac{4 * \beta^3 + 8 * \beta^2 + 5 * \beta + 1}{4 * \beta^2 + 8 * \beta + 3}$$

Haciendo $X = \mu - \beta$

$$V' = \frac{3 * X * \beta + 4 * X * \beta^2 - \beta - \beta^2}{\beta + \beta^2 + X + X * \beta} \quad \text{donde} \quad X = \mu - \beta$$

Asignando valores a β , se obtiene, para cada uno, un par de valores ($\mu; V'$). En la Figura N°1 se aprecia la representación gráfica de la relación $V' = \frac{V_2}{V_1}$ en función de la relación

$\mu = \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}}$, siendo:

V1: Volumen útil mínimo para el ciclo de una bomba, calculado por la expresión (2).

V2: Volumen comprendido entre el arranque de la bomba B1 y el arranque de la bomba B2.

Q_{b1} : Caudal impulsado por la bomba B1 cuando trabaja sola.

Q_{b2} : Incremento de caudal debido al funcionamiento simultáneo de B1 y B2.

De este modo, definiendo $\mu = \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}}$, del gráfico puede obtenerse $V' = \frac{V_2}{V_1}$ depende de las características de la instalación. Si ambas bombas impulsan sobre una misma cañería, deberá efectuarse la composición de las curvas para funcionamiento en paralelo. Si ambas bombas son iguales, el valor $Q' = \frac{Q_b}{2}$ representa el caudal que impulsará cada bomba para la altura manométrica de diseño H2.

Si cada bomba impulsara sobre una cañería independiente, entonces el caudal Q_{b1} coincidirá con el caudal normal de la bomba 1 y Q_{b2} con el nominal de la bomba 2. Si ambas son iguales, se obtendrá:

$$Q_{b1} = Q_{b2} = Q' = \frac{Q_b}{2}$$

En consecuencia, dado que el cálculo de V_1 se efectúa en base a Q_{b1} , deberá tenerse en cuenta el tipo de instalación para definir este caudal y también el Q_{b2} , utilizado en la relación

$$\mu = \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}} \text{ para determinar } V = \frac{V_2}{V_1} \text{ en el gráfico de Pincenci.}$$

TRES BOMBAS EN OPERACIÓN

En las figuras que ilustran los CASOS I, II y III al comienzo del texto, se observa el diagrama de flujo para el CASO III: El tiempo t_p es el tiempo de parada de la bomba, durante el cual se llena el volumen V_1 con el caudal Q_a :

$$t_p = \frac{V_1}{Q_a}$$

Según sea el valor de Q_a respecto de Q_{b1} , Q_{b2} y Q_{b3} , así será el ciclo que se cumplirá. Para $Q_{b1} \geq Q_a > 0$ se produce el ciclo de 1 bomba, con un tiempo de funcionamiento:

$$t_{f10} = \frac{V_1}{Q_{b1} - Q_a}$$

En cambio, si la llegar al nivel 1 es $(Q_{b1} + Q_{b2}) \geq Q_a > Q_{b1}$ se desarrollará el ciclo de 2 bombas con tiempo de funcionamiento t_{f11} a cargo de la bomba B1 y un t_{f20} a cargo de las bombas B1+B2:

$$t_{f11} = \frac{V_2}{Q_a - Q_{b1}} \quad t_{f20} = \frac{V_1 + V_2}{(Q_{b1} + Q_{b2}) - Q_a}$$

Si al llegar al nivel 2 es $(Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) > Q_a \geq (Q_{b1} + Q_{b2})$, el nivel continuará subiendo hasta 3 y se desarrollará el ciclo de 3 bombas, con los siguientes tiempos de funcionamiento:

$$t_{f12} = \frac{V_3}{Q_a - (Q_{b1} + Q_{b2})} \quad t_{f30} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{(Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) - Q_a}$$

En función de lo anterior se tendrá, para cada tipo ciclo:

Ciclo de 1 bomba, para $Q_{b1} \geq Q_a > 0$:

$$t_{c1} = t_p + t_{f10} = \frac{V_1}{Q_a} + \frac{V_1}{Q_{b1} - Q_a}$$

Ciclo de 2 bombas para $(Q_{b1} + Q_{b2}) \geq Q_a > Q_{b1}$:

$$t_{c2} = t_p + t_{f11} + t_{f20} = \frac{V_1}{Q_a} + \frac{V_2}{Q_a - Q_{b1}} + \frac{V_1 + V_2}{(Q_{b1} + Q_{b2}) - Q_a}$$

Ciclo de 3 bombas para $(Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) \geq Q_a > (Q_{b1} + Q_{b2})$:

$$t_{c3} = t_p + t_{f11} + t_{f12} + t_{f30} = \frac{V_1}{Q_a} + \frac{V_2}{Q_a - Q_{b1}} + \frac{V_3}{Q_a - (Q_{b1} + Q_{b2})} + \frac{V_1 + V_2 + V_3}{(Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) - Q_a}$$

Utilizando el método de Pincince, introduciendo la variable auxiliar $Q_2 = Q_a - (Q_{b1} + Q_{b2})$ la expresión anterior de t_{c3} se transforma en:

$$t_{c3} = \frac{V_1}{Q_{b1}} * \left[\frac{1}{1 + \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}} + \frac{Q_2}{Q_{b1}}} + \frac{\frac{V_2}{V_1}}{\frac{Q_2}{Q_{b1}} + \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}}} + \frac{1 + \frac{V_2}{V_1} + \frac{V_3}{V_1}}{\frac{Q_{b3}}{Q_{b1}} - \frac{Q_2}{Q_{b1}}} \right]$$

Considerando: $\frac{V_1}{Q_{b1}} = \frac{t_{c\min}}{4}$ y definiendo las siguientes relaciones:

$$\mu = \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}} \quad V' = \frac{V_2}{V_1} \quad Q_2 = Q_a - (Q_{b1} + Q_{b2})$$

$$Q = \frac{Q_{b3}}{Q_{b1}} \quad V'' = \frac{V_3}{V_1} \quad \beta' = \frac{Q_2}{Q_{b1}}$$

La expresión se transforma en:

$$t_{c3} = \frac{t_{c\min}}{4} * \left[\frac{1}{1 + \mu + \beta'} + \frac{V'}{\beta' + \mu} + \frac{V''}{\beta'} + \frac{1 + V' + V''}{Q'' - \beta'} \right]$$

Derivando respecto de β' e igualando a cero, resulta la condición para t_{c3} mínimo:

$$-\frac{1}{(1 + \mu + \beta')^2} + \frac{V'}{(\beta' + \mu)^2 \beta'} - \frac{V''}{\beta'^2} + \frac{1 + V' + V''}{(Q'' - \beta')^2} = 0$$

En la expresión de t_{c3} , haciendo $t_{c3} = t_{c\min}$, se asegurará que no exceda la máxima frecuencia de arranques por hora para el ciclo de 3 bombas y dicha expresión se transforma en:

$$\frac{1}{1 + \mu + \beta'} + \frac{V'}{\beta' + \mu} + \frac{V''}{\beta'} + \frac{1 + V' + V''}{Q'' - \beta'} = 4$$

Resolviendo estas dos últimas ecuaciones se obtiene la familia de curvas de la Figura N° 2 con $V'' = \frac{V_3}{V_1}$ en ordenadas, $Q'' = \frac{Q_{b3}}{Q_{b1}}$ en abscisas y $\mu = \frac{Q_{b2}}{Q_{b1}}$ como parámetro.

El proceso de cálculo es similar al Caso II: en primer lugar se definen Q_{b1} , Q_{b2} y Q_{b3} en base al tipo de instalación y a los requerimientos de bombeo. Con la relación $\frac{Q_{b2}}{Q_{b1}}$, se determina

$\frac{V_2}{V_1}$ en el gráfico de la Figura N° 1, se calcula V_1 por la expresión (2) y luego se determina V_2 .

En segundo lugar, con la relación $\frac{Q_{b3}}{Q_{b1}}$ y $\frac{Q_{b2}}{Q_{b1}}$ se entra en el gráfico de la Figura N° 2 y se obtiene $\frac{V_3}{V_1}$. Dado que se conoce V_1 , se puede calcular V_3 .

Fuente: Diseño y Cálculo de Estaciones de Bombeo. Curso de Posgrado UBA. Dto de Hidráulica. Ings. Jorge. Nisman, Marta Serrano, Eduardo Pérez Gatorna. 1993.

FiguraNº1

VOLUMEN OPTIMO CAMARA ASPIRACION
Método de Pincino para 2 bombas

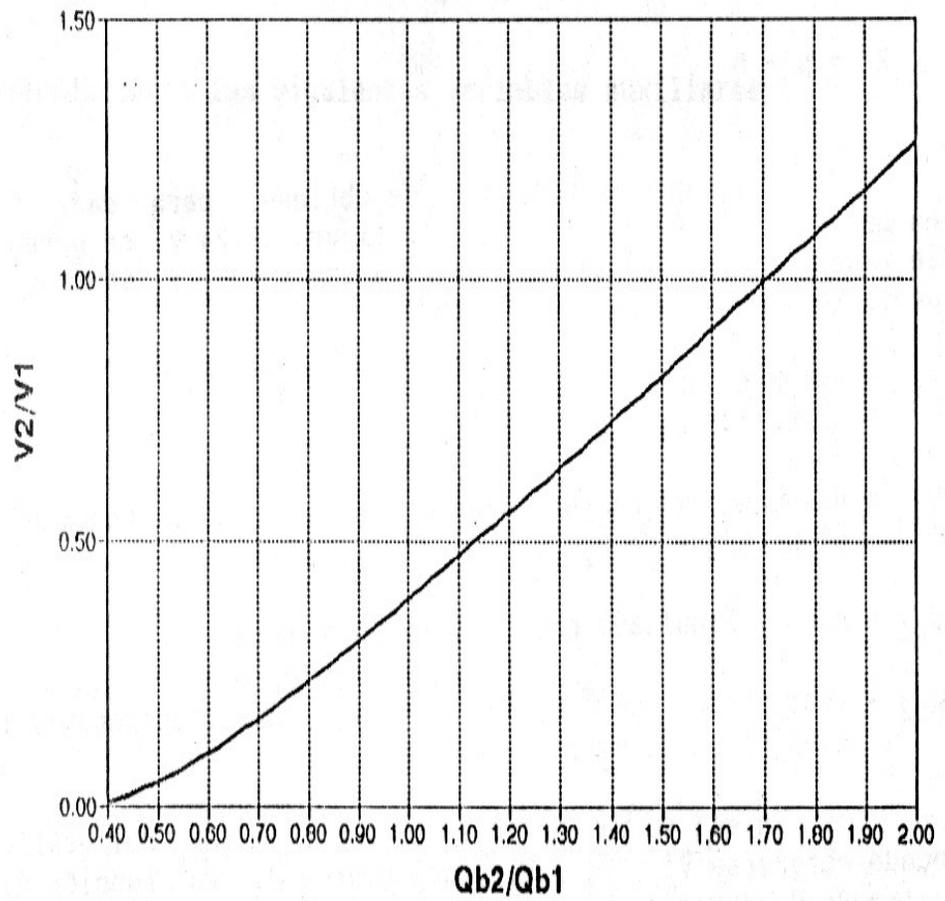
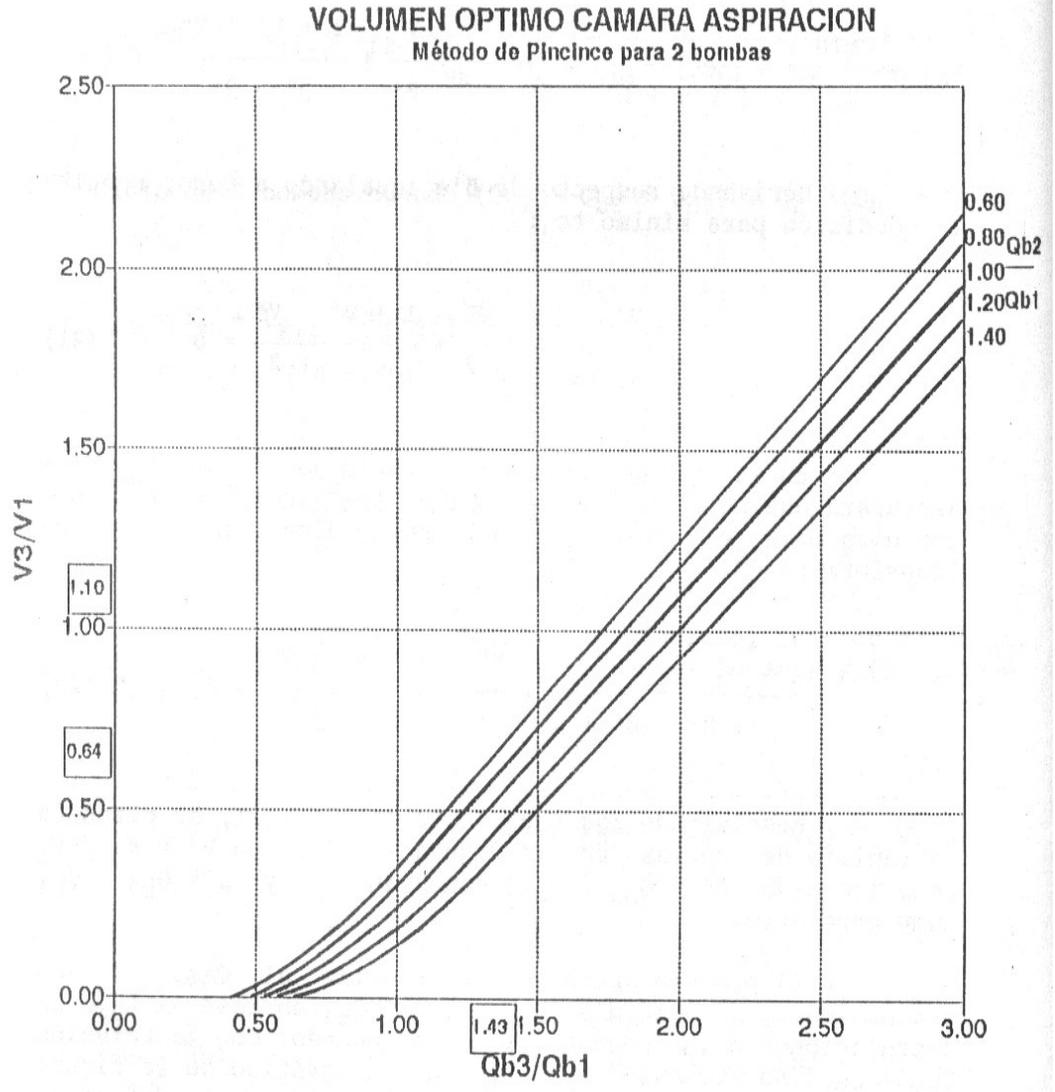


Figura Nº 2



APÉNDICE II

Altura de Aspiración Cavitación

Las bombas utilizadas en el bombeo de agua para suministro de agua potable, derivación de efluentes cloacales, drenajes pluviales, etc. son del tipo centrífugas por ser el tipo de bomba que mejor se adapta a las características de caudal y altura manométrica requeridas. Solo presentan particularidades en su construcción que dependen del tipo de líquido a tratar.

En cambio, para el manipuleo (bombeo) de fluidos viscosos, con viscosidades mayores que 145 centistokes el rendimiento de los equipos centrífugos decrece al punto que se tornan antieconómicos. Para ello son de aplicación las bombas volumétricas de desplazamiento positivo, del tipo a pistón, tornillo helicoidal, lobulares, etc.

En las instalaciones con bombas centrífugas, ya sean de eje vertical u horizontal, es de vital importancia asegurar la presión mínima requerida en la sección de entrada del álabe impulsor. O sea disponer de una Altura Neta Positiva de Aspiración (ANPA) igual o superior a la requerida por la bomba, que garantice las condiciones de presión en el seno del fluido por encima de las de vaporización, a los efectos de no producir cavitación.

Determinación del ANPA o NPSH (net pressure suction head).

Tomando como referencia la Figura N° 1 representando las alturas de energías del teorema de Bernoulli referidas a un eje vertical O-O, a fin de evitar superposiciones en la tubería de aspiración.

Considerando que la velocidad en el depósito inferior puede desprejarse, $C_a = 0$ la energía inicial absoluta corresponderá a la posición y a la presión atmosférica

Esta energía debe igualar a la energía en un cierto punto del rotor M, en que la presión absoluta llegue a la correspondiente a la cavitación P_v / γ mas las pérdidas ocurridas en el trayecto.

$$E_i = E_M + \sum J$$

$$H_3 + H_4 + P_a / \gamma = H_3 + H_4 + H_{s \text{ Lím}} + P_v / \gamma + C_1^2 / 2g + J + \sum J_a$$

O bien

$$H_{s \text{ Lím}} = (P_a - P_v) / \gamma - C_1^2 / 2g + z + J + \sum J_a$$

El término entre corchetes puede expresarse en función de la altura manométrica y del número específico resultando, como en las turbinas:

$$H_{s \text{ Lím}} = (P_a - P_v) / \gamma - \sigma H_m = H_b - \sigma H_m$$

Sin embargo, cuando $\sum J_a$ sobrepasa los valores comunes este procedimiento no ofrece seguridad para evitar la cavitación. Se recurre en consecuencia, al valor A.N.P.A. determinado experimentalmente para establecer la altura de aspiración límite, en base, además de la velocidad del agua en la sección de la brida de ingreso y de las pérdidas que se producen en el tramo correspondiente a la conducción en la aspiración.

a) Concepto de la altura neta de aspiración positiva:

Expresando la igualdad de energías entre el centro de la sección de ingreso (3) y el punto de cavitación (4) se tiene:

$$H_3 + H_4 + H_{s \text{ Lim}} + P_v / \gamma + \text{A.N.P.A.} + U_1^2 / 2g + \sum J_a =$$

$$H_3 + H_4 + H_{s \text{ Lim}} + z + P_v / \gamma + C_1^2 / 2g + J + \sum J_a$$

de donde resulta:

$$\boxed{\text{A.N.P.A.} = z + J + (C_1^2 - U_1^2) / 2g} \quad (1)$$

En consecuencia, la altura neta positiva de aspiración equivale a la **energía de presión disponible en la brida de entrada por encima de la presión de vaporización necesaria para llevar el fluido en la altura z, vencer las resistencias en ese recorrido y acelerar la masa líquida desde la velocidad en la brida hasta la velocidad en el lugar de cavitación.**

b) Determinación de la altura de aspiración límite:

Expresando la igualdad de energías entre el nivel superficial inferior (2) y la brida (3) se tiene:

$$H_3 + H_4 + P_a / \gamma = H_3 + H_4 + H_{s \text{ Lim}} + P_v / \gamma + \text{A.N.P.A.} + U_1^2 / 2g + \sum J_a$$

Por lo tanto:

$$\boxed{H_{s \text{ Lim}} = (P_a - P_v) / \gamma - \text{A.N.P.A.} + U_1^2 / 2g + \sum J_a} \quad (2)$$

Considerando que A.N.P.A. según (1) resulta para determinada bomba función de sus características geométricas y del gasto que escurre y que $U_1^2 / 2g$ y $\sum J_a$ también resultan función del gasto se podrá graficar la función (2) en la forma que se indica en la Figura N°2.

c) Determinación experimental de la altura neta de aspiración positiva:

La expresión (2) puede escribirse:

$$\text{A.N.P.A.} = (P_a - P_v) / \gamma - U_1^2 / 2g + \sum J_a + H_{s \text{ Lim}} \quad (3)$$

También se tiene en el diagrama, que la presión absoluta que debe reinar en la brida debe valer:

$$P_b / \gamma = P_v / \gamma + \text{A.N.P.A.}$$

Reemplazando A.N.P.A. por su valor (3)

$$P_b / \gamma = P_a / \gamma - U_1^2 / 2g + \sum J_a + H_{s \text{ Lim}}$$

resulta que la presión relativa en la brida medida por el vacuómetro vale:

$$P_b / \gamma = U_1^2 / 2g + \sum J_a + H_{s \text{ Lim}}$$

Finalmente la expresión (3) podrá escribirse:

$$\boxed{\text{A.N.P.A.} = ((P_a - P_v) / \gamma) - (P_b / \gamma)}$$

En la que P_b / γ representa la depresión (presión relativa negativa) que mide el vacuómetro en la brida en el momento de producirse la cavitación.

Colocando un vacuómetro de precisión en la brida, y aforando el caudal que eleva la bomba se podrá determinar la curva de A.N.P.A. representada en la Figura N°2, cuyos valores se incrementarán por las alturas de la energía cinética y de la energía perdida en la aspiración para definir, en función del gasto máximo de la bomba, el monto y el signo de la altura geométrica de aspiración.

Las plantas de bombeo para el saneamiento urbano, indicadas para el bombeo de agua para drenaje de zonas anegables, requieren bombear grandes caudales a relativamente baja altura. Se encuentran ubicadas con frecuencia en zonas pobladas, con espacios restringidos para su instalación.

La relación altura caudal indica la conveniencia de instalar equipos generalmente de eje vertical, con motor de accionamiento exterior o motor sumergido.

Este último tipo es de aplicación corriente en la actualidad por la simplicidad de la obra y la facilidad de manipuleo en caso de reemplazo o traslado hacia otro lugar de operación. En razón de encontrarse éste sumergido en la corriente fluida, requiere mayor eficiencia en los sellos que separan la bomba del motor, destinados a impedir el ingreso de humedad al circuito eléctrico del motor.

La sumergencia exigida por la cavitación asegura que en la puesta en marcha, la bomba aspire el fluido necesario para entablar el movimiento de la corriente fluida, que al circular por la cámara anular refrigera la parte externa del motor, permitiendo su funcionamiento en condiciones de régimen térmico.

Durante el servicio intermitente, para limitar la temperatura del arrollamiento y asegurar la inercia térmica en la masa metálica, se limita el número de arranques a cuatro por hora.

La configuración del grupo del tipo bomba con motor sumergido representa en la actualidad uno de los tipos más utilizados en instalaciones de bombeo para el saneamiento urbano.

Siguen en orden de importancia bombas de eje vertical con motor exterior eléctrico o a combustión interna.

Existen otras soluciones, basadas en el accionamiento de la bomba mediante motor hidráulico, utilizando aceite proveniente de una bomba hidráulica auxiliar que provee el fluido a presión.

Mediante ésta configuración, en instalaciones de drenaje urbano es posible el acceso a lugares difíciles, utilizando equipos transportables.

En nuestro país no se utiliza todavía con frecuencia, debido a razones de costo y disponibilidad en el mercado.

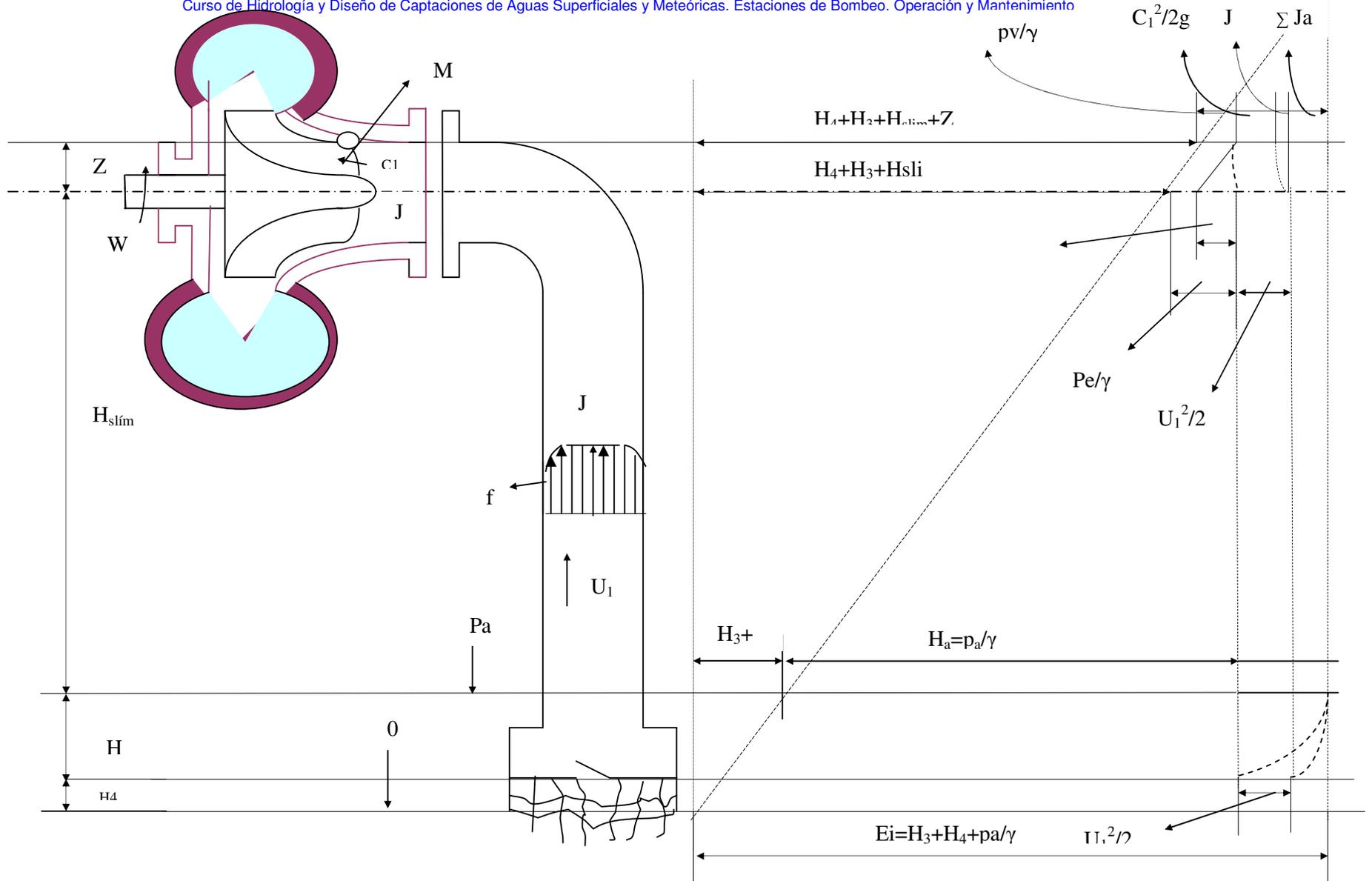
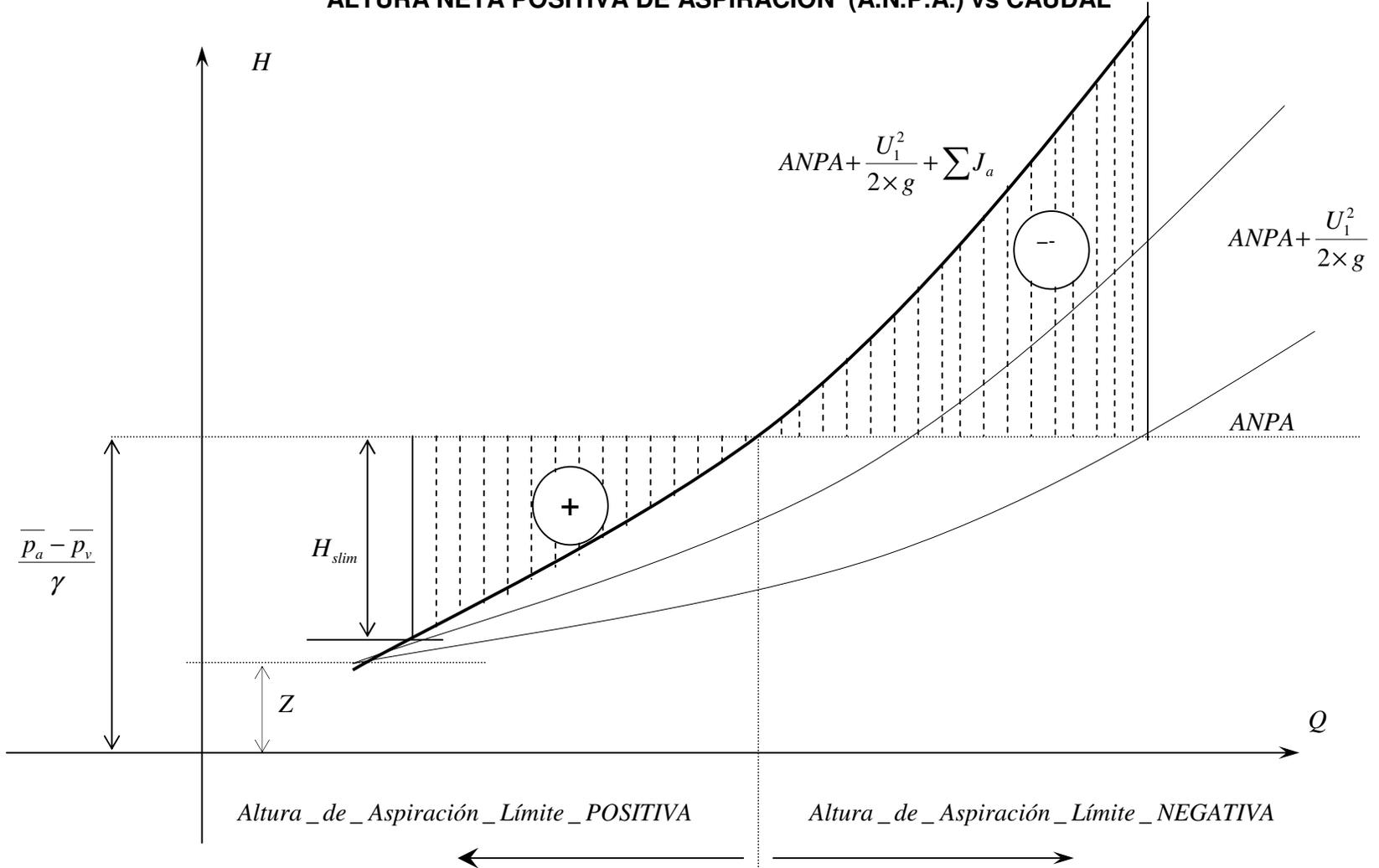


FIGURA N° 1

ALTURA NETA POSITIVA DE ASPIRACIÓN (A.N.P.A.) vs CAUDAL



SECCIÓN SOMETIDA A CAVITACIÓN

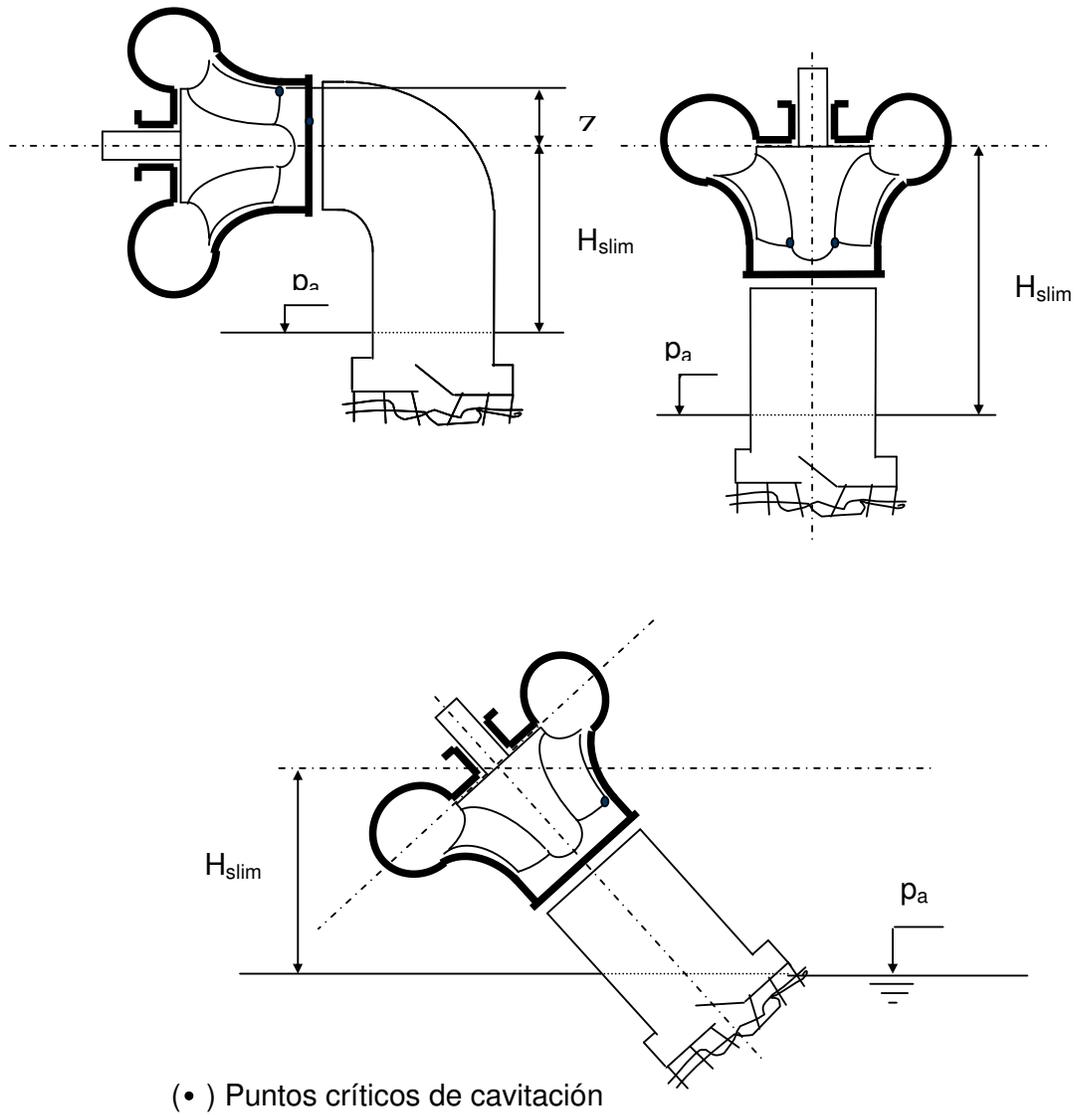


FIGURA N°3

APÉNDICE III

Inundaciones Urbanas. Instalaciones Existentes

En nuestro país se encuentran construidas y en proceso de construcción varias instalaciones destinadas a la mejora del drenaje urbano de grandes conglomerados.

Entre las principales instalaciones se destacan:

1.- Sistema de Saneamiento Urbano de los Barrios de La Boca y Barracas, Ciudad de Buenos Aires.

Consiste en el control del drenaje superficial de una zona de 1040 has, de las cuales 410 has son potencialmente inundables, correspondientes a la zona comprendida por La Boca – Barracas ubicada la sudeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Se extiende a lo largo de la faja costera del Riachuelo comprendida entre la Av. Brasil y la calle Luna.

Se construyeron siete colectores troncales que desaguan en las secciones donde se encuentran las estaciones de bombeo.

El sistema consiste en la protección de la zona costera de los efectos del incremento de nivel del Río de la Plata por efecto de la sudestada.

En condiciones normales el sistema evacúa por gravedad. Frente a una sudestada cierra las compuertas y el caudal afluente, ya sea por drenaje de excedentes naturales o por efecto de lluvias precipitadas sobre la cuenca, es bombeado hacia el Riachuelo.

Características de las estaciones:

Estación de Bombeo	Calle	Cantidad de Bombas	Q (por bomba)	Total (m3/s)	Potencia total instalada (kw)
1	Pedro de Mendoza 832	3	4,05	12,15	900.-
2	Pedro de Mendoza 2002 (Vuelta de Rocha)	8	4,16	33,28	2.400.-
3	Pedro de Mendoza 3198 (Irala)	5	3,88	19,40	1.250.-
4	Gongalvez Díaz (*)	2	4,40	8,92	600.-
4c	Pedro de Mendoza 3980 (Herrera)	2	1,72	3,44	264.-
5	Perdriel (*)	8	4,70	36,24	2.400.-
6	Vélez Sarfield (Lafayette)	2	4,46	8,92	500.-
TOTAL Instalado		20	###	77,19	5.314.-

(*) Proyectadas, no construidas

2.- Obras de Saneamiento del Río Reconquista.

El proyecto se desarrolla a lo largo de los últimos (50 km) del río desde la presa de embalse Ing. Rollero en el partido de General Rodríguez, hasta su desembocadura en el Río de La Plata a la altura del partido de Tigre.

El proyecto comprende el cierre de diez (10) cierres ubicados en la sección de descarga de los arroyos de aporte lateral en el río Reconquista, compuestos por un

sistema de compuertas planas de regulación del funcionamiento por gravedad y bombas destinadas a evacuar los caudales durante las crecidas del Río Reconquista. Reparación y protección de veintitrés puentes ubicados en caminos laterales y sistema de compuertas planas para el control del escurrimiento de cursos de agua menores que aportan su caudal al Río Reconquista.

En el último tramo del Río Reconquista se bifurca, formando el Río Tigre y el canal de evacuación utilizado como cancha de remo. en el punto de bifurcación se instala un sistema de compuertas del tipo sector para controlar el escurrimiento por cada uno de los ramales.

Sobre el tramo medio del canal se ubica una obra de control denominada Obra de Admisión que tiene la función *de controlar el escurrimiento de los afluentes en la zona.*

Características de las estaciones:

Estación de Bombeo	Ubicación / Denominación	Cantidad de Bombas	Q (por bomba)	Total (m3/s)	Potencia total instalada (Mw)
3	Ambas márgenes del Río Reconquista	2	2,00	4,00	360
6		1	2,00		
		1	3,50	5,50	410
7		2	3,50	7,00	460
8		5	3,50	17,25	1150
9		2	3,50	7,00	460
10		2	2,00	4,00	360
11		5	3,50	17,25	1150
12		3	3,50	10,50	690
13		3	3,50	10,50	690
14		4	3,50	14,00	920
TOTAL		30	###	97	6650

3.- Obras de Saneamiento Sistema Matanza Riachuelo.

El proyecto consiste en un endicamiento lateral en el tramo Puente Alsina-Río de La Plata, con la instalación de 7 (siete) estaciones de bombeo. Las tres primeras se encuentran dentro del perímetro del partido de Lanús y las cuatro restantes en Avellaneda. Se consideran integradas al proyecto las estaciones de bombeo Ecuador, Unamuno y Arroyo del Rey, previstas por la provincia. Complementan la obra las interconexiones de desagües hacia las estaciones de bombeo.

Las zonas beneficiadas por el proyecto cuentan con obras u otros proyectos de obras de desagües que permiten coleccionar los caudales producidos por las lluvias y concentrarlos en conductos que tienen descarga al río. Estas salidas serán complementadas por estaciones de bombeo que permitirá decidir como sacar el agua de las lluvias en función de los niveles del río y los caudales de las cuencas.

El criterio general de funcionamiento se basa en la descarga por gravedad a través de un orificio con compuerta. Las dimensiones de los orificios están calculadas para admitir la erogación del caudal pico de la crecida de 5 años de recurrencia.

El cambio de gravedad a bombeo se produce cuando en el interior de la estación se alcanza el nivel máximo admitido y la parada de las bombas se realiza siempre con el nivel mínimo. Las cotas de fondo de todas las estaciones se calcularon teniendo en cuenta la sumergencia mínima de las bombas y las condiciones de ingreso del flujo a la EB.

En cuanto al equipamiento hidromecánico, el proyecto comprende los equipos limpiarrejas, el mecanismo de izaje de la compuerta aguas debajo de las bombas, la

grúa pórtico y el mecanismo de movimiento de ataguías de aguas arriba. La alimentación eléctrica a las estaciones de bombeo se hará mediante cable de aislación seca de 13,2 KV.

El proyecto se halla desarrollado a nivel de proyecto ejecutivo y cuenta con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo.

Estación de Bombeo	Ubicación / Denominación	Cantidad de Bombas	Q (por bomba)	Total (m3/s)	Potencia total instalada (Mw)
3	Olazábal	12(1)	4,47	53,65	
4	Millán	11	4,51	49,64	
5	Valparaíso	11	4,56	45,63	
7	Mitre	2	3,92	7,87	
8	Roca	7	3,28	23,01	
M	Isla Maciel				
DS	Dock Sud				
		43	###	178,9	

(1). Valores estimados

4.- Sistema de desagües pluviales con estaciones de bombeo. Ciudad de Goya. Pcia de Corrientes.

En la ciudad de Goya, Pcia. de Corrientes se construyó el sistema de drenaje urbano y suburbano, consistente en colectores pluviales troncales e instalación y remodelación de 7 estaciones de bombeo.

Para condiciones dl Río Paraná bajo, la descarga se efectúa por gravedad. Para niveles elevados del río, la descarga se hace mediante bombeo.

Dado que la mayoría de las estaciones se encuentran en la zona urbana, las capacidades de atenuación son mínimas, requiriendo una mayor potencia instalada.

Las estaciones están alimentadas de energía eléctrica desde la red. Para hacer frente a las fallas del sistema se prevé la instalación de grupos electrógenos locales.

ESTACIÓN DE BOMBEO	CAUDAL INSTALADO (m3/s)	CANTIDAD DE GRUPOS Y POTENCIA	POTENCIA PARCIAL (Kw)	POTENCIA TOTAL (kw)	TRANSFORMADOR (KVA)	GRUPO ELECTRÓGENO (KVA)
25 de Mayo	4x0,75 5x2,15 (Tot. 13,7)	4 x 55 5 x 150	220 750	970	1200	750
Paraguay	1x0,75 3x1,25 (Tot. 4,5)	1 x 55 3 x 75	55 235	290	500	250
Madariaga	1x0,8 3x1,4 (Tot. 5,0)	1 x 45 3 x 75	45 225	270	500	250
Caa Guazú	1x0,8 3x1,4 (Tot. 5,0)	1 x 55 3 x 75	55 225	280	500	350
Cementerio	1x0,75 3x1,6 (Tot. 5,5)	1 x 55 3 x 75	55 225	280	500	350
Circunvalación	5x0,75	5 x 55	275	275	350	500

	(Tot. 3,5)					
Chiappe	3x0,75 2x0,9 (Tot. 4,0)	5 x 55	275	275	350	350
TOTAL	35,7	35	--	2.640	3.900	2.800

5.- Obras para el control de inundaciones en el Area Metropolitana del Gran Resistencia (A.M.G.R.). Ciudad de Resistencia. Pcia. del Chaco

La ciudad de Resistencia y su conglomerado urbano (Area Metropolitana del Gran Resistencia), sufren inundaciones provocadas por los ríos Paraná y Negro como consecuencia de su ubicación geográfica, en parte coincidente con el valle aluvial del Río Paraná.

Esta situación la expone a tres tipos de eventos, uno proveniente de las lluvias sobre el caso urbano cuyo caudal descarga en lagunas interiores que luego drenan a los ríos Negro y Paraná, otro a las crecientes del río Negro y el restante a los efectos de las crecientes del Río Paraná.

En condiciones de máxima creciente de estos cursos de agua, se estima que podrían afectar el 30% del caso urbano, con incidencia directa sobre 120.000 personas.

El sistema de protección adoptado es el de polderización de la zona, consiste en la construcción de terraplenes perimetrales de defensa, conductos de descarga por gravedad y estaciones de bombeo.

Se han construidos 24 km de defensa perimetral, seis estaciones de bombeo primarias ubicadas en las lagunas interiores y dos estaciones provisorias que fueron reemplazadas por obras definitivas.

La protección del recinto se completa con las tres instalaciones de defensa y bombeo restantes para conformar el recinto de protección: Obra de Control del Río Negro en Barranqueras, Protección del Puerto de Barranqueras (Tramo III) y Defensa Av. Soberanía Nacional, cada una de ellas con sus instalaciones de descarga por gravedad y su correspondiente estación de bombeo.

Entre estas instalaciones se destaca la Estación de Bombeo del Río Negro en Barranqueras, puesta en marcha en 2005, con una capacidad instalada de 70 m³/s mediante 14 bombas de 5m³/s cada una, convirtiéndola en la mayor instalación en su tipo en nuestro país.

Principales características de las instalaciones:

INSTITUTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.

Curso de Hidrología y Diseño de Captaciones de Aguas Superficiales y Meteóricas. Estaciones de Bombeo. Operación y Mantenimiento

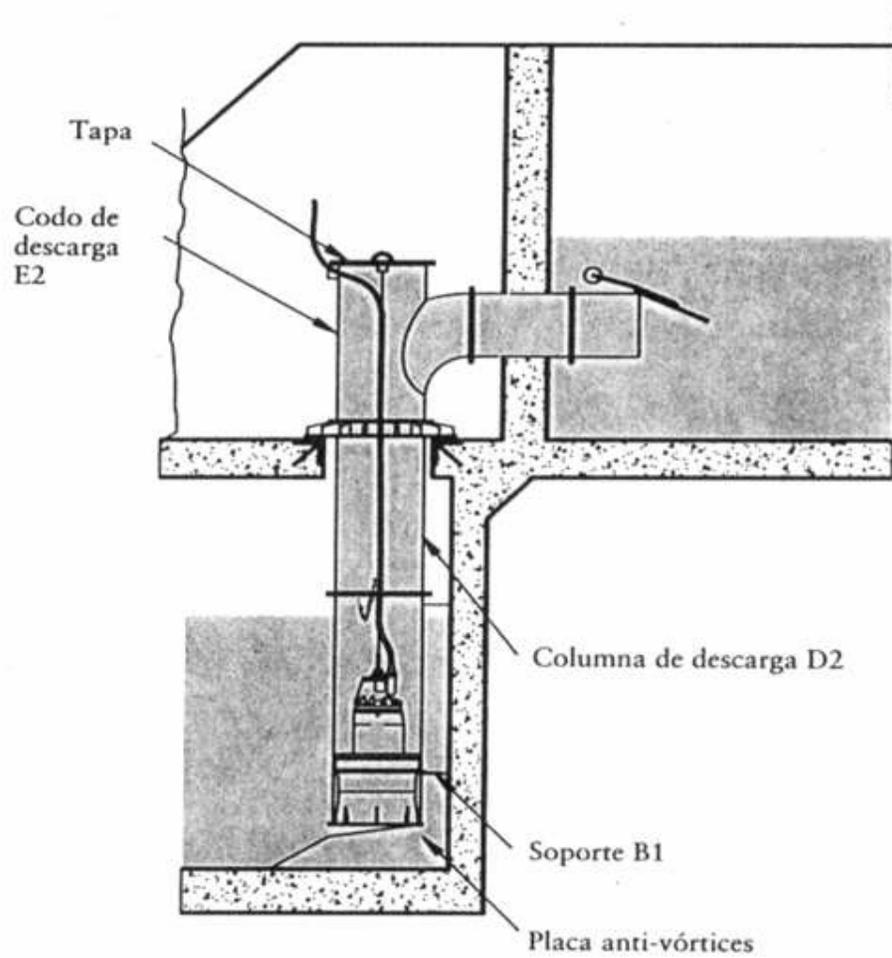
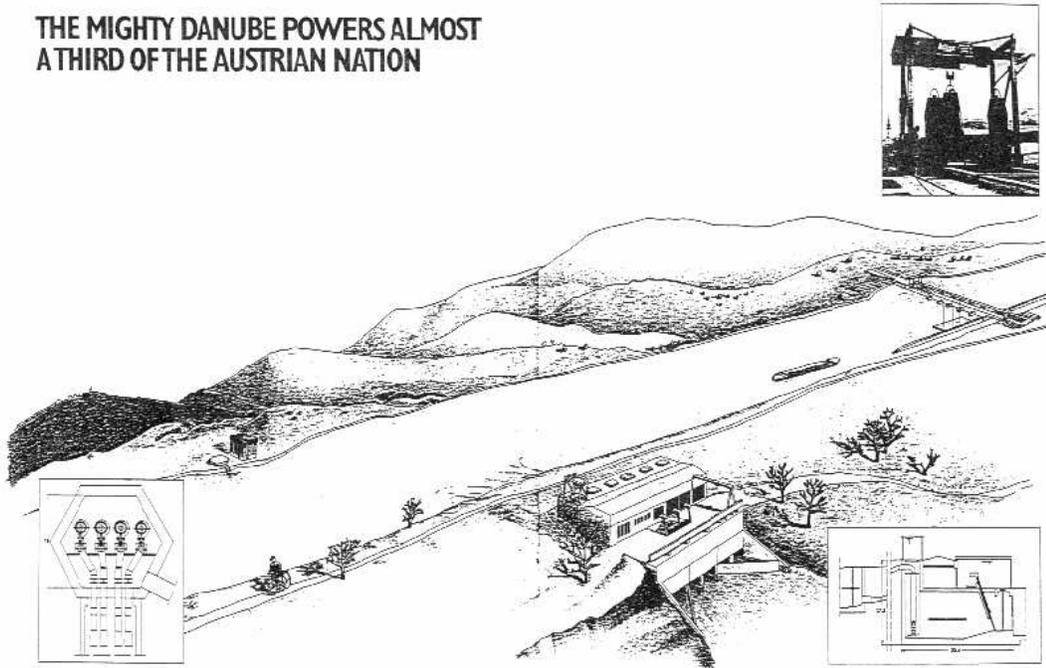
Denominación	Caudal Instalado (m ³ /s)	Cantidad de Grupos y Potencia Unitaria (kw)	Potencia Total (kw)
Estaciones de bombeo en lagunas interiores			
Laguna Rissione	2 x 1,5 = 3,00	2 x 80	160
Laguna Prosperidad	3 x 1,5 = 4,50	3 x 80	240
Laguna Los Teros	2 x 1,5 = 3,00	2 x 80	160
Laguna Avalos	3 x 1,5 = 4,50	3 x 80	240
Villa Allín	1 x 1,5 = 1,50	1 x 80	80
Villa Ma. Cristina	2 x 1,5 = 3,0	2 x 80	160
Estación provisoria Av. San Martín (reemplazada por la Obra de Control del Río Negro)	1 x 10 = 10,00	10 x 70	700
	2 x 5 = 10,00	5 x 180	900
	0,75 x 8 = 6,00	8 x 50	400
Estación provisoria Av. Soberanía Nacional (reemplazada por la Obra de Control Canal Soberanía Nacional)	6 x 1,2 = 7,2	6 x 70	420
	1 x 0,75	1 x 50	50
	1 x 1,2	1 x 80	80
Obra de Control Canal Av. Soberanía Nacional	1 x 0,75	1 x 50	50
	4 x 3 = 12,00	4 x 70	280
Defensa Frontal Tramo III	5 x 1,2 = 6,00	5 x 100	500
Obra de Control del Río Negro en Barranqueras	14 x 5 = 70,00	14 x 450	6.300
T O T A L	107,5	36	8.120

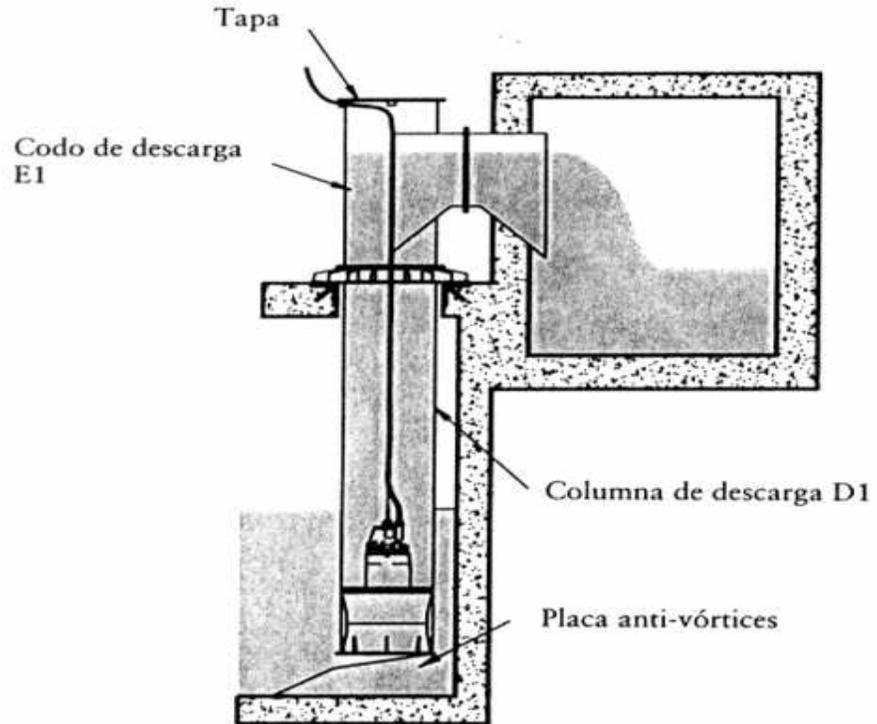
BIBLIOGRAFÍA

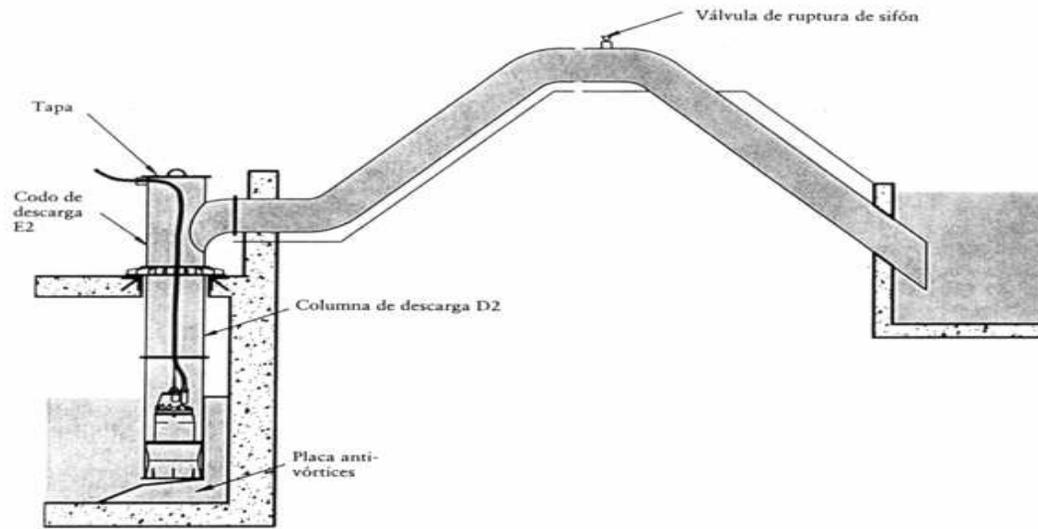
- (1).- Le Pompe. Mario Médici. Hoepli
- (2).- Turbomáquinas Hidráulicas. Claudio Mataix
- (3).- Water Power and Dam Construction.
- (4).- Mechanical and Electrical Design of Pumping Stations. Army Corps of Engineering
- (5).- Centrifugal and Axial Flow. A. J. Stepanoff.
- (6).- Standarts Hydraulic Institute
- (7).- Tratado de Hidrología Aplicada. G. Remenieras. 1971
- (8).- Hidráulica de los Canales Abiertos. Ven Te Chow
- (9).- Hidrología Aplicada. Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays. 1994
- (10).- Clases de Máquinas Hidráulicas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. Ing. Roberto D. Cotta. CEILP. 1969
- (11).- Diseño y Cálculo de Estaciones de Bombeo. Curso de Posgrado UBA. Dto de Hidráulica. Ings. Jorge. Nisman, Marta Serrano, Eduardo Pérez Gatorna. 1993.
- (12).- Proyecto y Operación de Estaciones de Bombeo. Ing. H. R. Schmidt / J.M.Koutoudjián. AIDIS Argentina. 2005/2007
- (13).- CAMMESA (Cámara Argentina del Mercado Mayorista Eléctrico de la República Argentina. Datos Estadísticos
- (14).- Gestión de los Recursos Hídricos. Banco Mundial. 07/1999
- (15).- Infraestructura Rural. Banco Mundial. 03/03/02
- (16).- Elaboración y datos propios.

FIGURAS

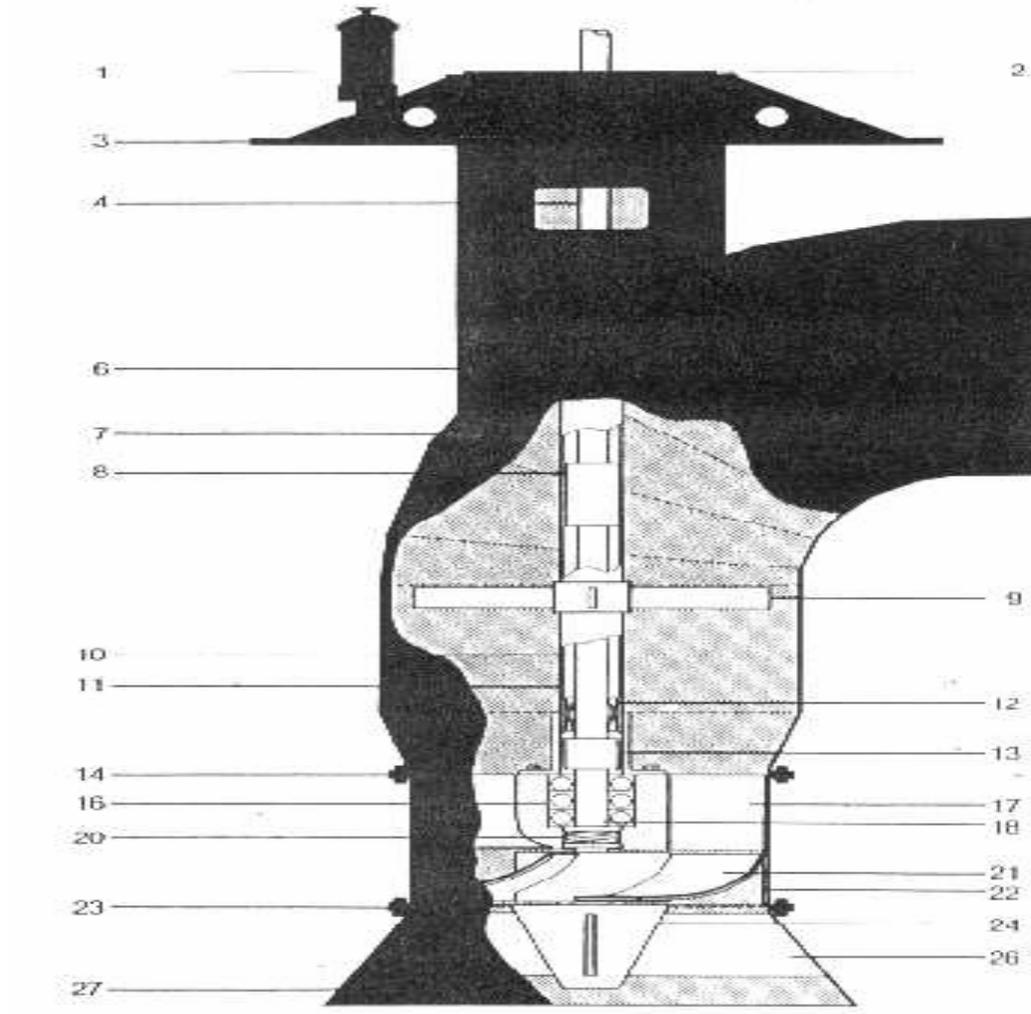
THE MIGHTY DANUBE POWERS ALMOST
A THIRD OF THE AUSTRIAN NATION



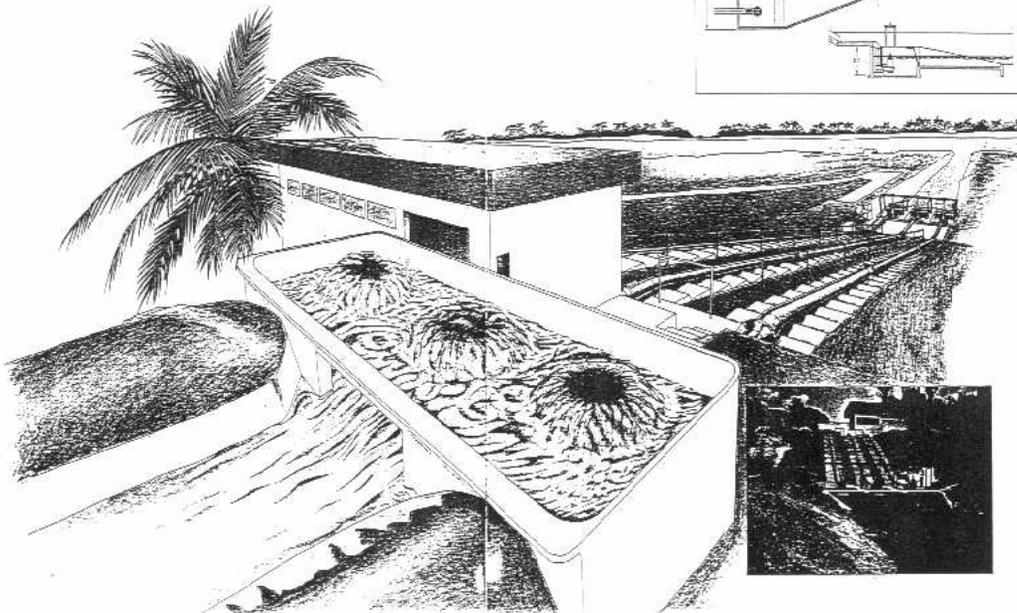




DESIGN FEATURES



**GROWING AND GAINING
MORE RICE IN MALAYSIA**



**IN DUNKIRK ONE FRENCH CHANNEL
LEADS TO ANOTHER**

