

51  
291



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"INSTALACIONES PARA EL SUMINISTRO DE AGUA  
EN EDIFICACIONES MEDIANTE EL SISTEMA DE  
TANQUE HIDRONEUMATICO".**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**JUAN CARLOS GUTIERREZ QUINTANA**

ASESOR: ING. ENRIQUE CESAR VALDEZ



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.

1997



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**Señor:**

Este trabajo es tuyo, así como mi propia vida. Te agradezco la oportunidad que me has dado de ver realizados cada uno de mis sueños, ya que es por tu amor y misericordia que he podido alcanzarlos.

Te doy las gracias por todas las experiencias tan maravillosas que me has permitido vivir, las cuales han hecho que crezca y madure en ti. Sin embargo, la mejor y más grandiosa experiencia, se manifiesta cada día en mi vida, al poder estar en tu presencia, acercarme con confianza a ti, adorar tu nombre, y sobre todo, tener la oportunidad de llamarte padre. Te amo Señor.

**“Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos. Amén.”**

**Romanos 11:36**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-098/96.

Señor:  
**JUAN CARLOS GUTIERREZ QUINTANA**  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ENRIQUE CESAR VALDEZ** que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL.**

**"INSTALACIONES PARA EL SUMINISTRO DE AGUA EN EDIFICACIONES MEDIANTE EL SISTEMA DE TANQUE HIDRONEUMATICO"**

- INTRODUCCION.**  
**I. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL SISTEMA.**  
**II. TECNOLOGIA DISPONIBLE EN EL MERCADO.**  
**III. DISEÑO DE UN SISTEMA DE TANQUE HIDRONEUMATICO.**  
**IV. EJEMPLOS DE DISEÑO.**  
**V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente.  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU".**  
Cd. Universitaria, D. F., a 5 de agosto de 1996  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS.

JMCS/RCR\*jbr.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a dos personas que han sido pilares en mi vida, dos personas que desde pequeño me han amado, me han cuidado, me han corregido y han velado por mi vida; a dos personas que han puesto durante más de 23 años todo su empeño y amor para poder ver en mí un hombre de bien; a dos personas que no han dudado en dar más allá de sus propias fuerzas para proporcionarme bienestar material y sobre todo espiritual; dos personas que me han apoyado en mis estudios aún sacrificando aspectos de su propia vida; a dos personas que han sido para mí un ejemplo de amor, honestidad, rectitud, y entrega; a dos personas de las cuales me siento totalmente orgulloso, a quienes agradezco el que me hayan enseñado el buen camino por esta vida y sobre todo, que me hayan enseñado a conocer y a amar a Dios. Dedico pues este trabajo a las dos personas más importantes en mi vida, a las cuales les debo todo lo que soy:

A los profesores José Antonio y Cuquita Gutiérrez

**MIS PADRES**

## AGRADECIMIENTOS

A mi hermana ANGELICA, porque has sido un ejemplo de entrega, de lucha, y de pasión. Gracias por todo tu apoyo y los sacrificios que has hecho por mí, así como todas las cosas en las que me has ayudado. Te amo.

Al Ing. ENRIQUE CESAR VALDEZ por todo el tiempo y dedicación invertidos en mí para poder ver este trabajo realizado, así como su amistad.

Al Ing. MIGUEL A. RODRIGUEZ VEGA, por todo su apoyo durante el tiempo de mis estudios, y por demostrarme que la responsabilidad y la amistad no están separadas.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, por darme la oportunidad de estudiar en la mejor escuela de Ingeniería, y formar en mí un hombre.

A TODOS mis amigos de AMISTAD, con quienes he pasado los mejores momentos de mi vida. Gracias por su apoyo y todo lo que han hecho por mí.

A mi hermano JOSE ANTONIO, por todas las cosas que vivimos juntos y por todo el apoyo que me demostraste. Gracias por ayudarme a desarrollarme y ser un ejemplo para mí en muchas áreas de mi vida. Te amo.

Al Ing. MIGUEL A. GONZALEZ LOPEZ, por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo. Gracias por su amistad.

Al Lic. VICTOR TREJO, por su gran amistad y toda la ayuda que me ofreció, así como su tiempo invertido para poder ver este trabajo finalizado.

A mis compañeros de la GENERACION 92-96 DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, por su ayuda y su amistad mostrada durante todo el tiempo que estudiamos juntos.

A TODAS las personas que de una y otra forma me han ayudado, impulsado y animado para llegar a ver realizado este sueño.

---

## INDICE

1.- INTRODUCCION	
2.- CAPITULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL SISTEMA	1
1.1. Descripción del sistema hidroneumático	1
1.2. Principios básicos de la mecánica de los gases	5
1.3. Principios básicos de hidráulica	16
3.- CAPITULO 2. TECNOLOGIA DISPONIBLE EN EL MERCADO	27
2.1. Sistemas hidroneumáticos convencionales	27
2.2. Operación de los sistemas convencionales	31
2.3. Sistemas hidroneumáticos con tanque de membrana	34
2.4. Operación de los sistemas con tanque de membrana	51
4.- CAPITULO 3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE TANQUE HIDRONEUMATICO	53
3 1. Determinación del gasto máximo instantáneo	53
3 2. Selección del equipo de bombeo	54
3 3. Determinación de las presiones de trabajo en el tanque y los niveles de agua	59
3 4. Determinación de la capacidad y tamaño del tanque mediante la ley de Boyle	63
5.- CAPITULO 4. EJEMPLOS DE DISEÑO	71
Ejemplo 4.1	71
Ejemplo 4.2	77
Ejemplo 4.3	82
6.- CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
7.- ANEXO A	91
8 - BIBLIOGRAFIA	95

---

## INTRODUCCION

Desde la aparición del género humano sobre la faz de la tierra, el agua ha sido la sustancia más importante de subsistencia y desarrollo del hombre. Simplemente el dejar de consumirla, puede acabar con la vida. El uso y consumo de ella, ha permitido que se pueda aplicar a la cosecha de alimentos que sustentan la vida, criar animales que son de ayuda para alimentar, vestir y proporcionar objetos que son de uso cotidiano; con ella, el hombre puede recibir aseo y así asegurar salud para su cuerpo, y hasta ha servido como medio de recreación y convivencia entre los individuos. Del buen manejo y aprovechamiento de este recurso natural, dependerá en gran medida la permanencia del hombre en la superficie terrestre.

El aire por su parte, es la esencia misma de la vida. Con la ausencia de él, la existencia de todo ser vivo se reduciría a unos cuantos minutos. Esta sustancia ha permitido que la vida se desarrolle y permanezca hasta nuestros días.

Durante el desarrollo del hombre, han surgido diferentes inventos con los cuales se ha intentado proporcionar cierta comodidad a la permanencia de él sobre la tierra; es así como podemos ver una gran cantidad de aparatos que han tratado de conseguir este objetivo.

La disposición de agua constante y en cantidad necesaria en el hogar, el trabajo, el lugar de estudio, etc. es un problema que durante muchos años ha involucrado a los ingenieros para poder resolverlo y dar una solución satisfactoria a estas necesidades.

En este trabajo, se presentan los fundamentos para el diseño de uno de los sistemas que ha ayudado a que la disposición de agua en las edificaciones, sea lo más eficiente posible: el sistema de tanque hidroneumático.

El sistema de tanque hidroneumático, es un tanque que opera con las dos sustancias esenciales mencionadas, el agua y el aire, las cuales manejadas apropiadamente junto con otros elementos, satisfarán las necesidades de comodidad exigidas por el hombre moderno.

En el capítulo 1 de este trabajo, se presenta una descripción detallada del tanque hidroneumático y sus componentes, así como de su operación y los diferentes sistemas hidroneumáticos utilizados actualmente. También se han incluido los principios básicos del comportamiento de los fluidos, ya que como se ha mencionado, el funcionamiento principal del tanque hidroneumático se basa tanto en el agua como en el aire.

En el capítulo 2, se presentan los modelos y marcas más comunes de tanques hidroneumáticos, los cuales están disponibles en el mercado actualmente. Esto se realizó con la finalidad de que las personas que cotejen este trabajo, puedan tener una idea general de los modelos de estos tanques, así como sus capacidades, sus dimensiones y sus formas, y en algunos casos, se presentan tablas con las cuales es fácil determinar un sistema de tanque hidroneumático para edificaciones donde los requerimientos de presión no son muy altos. De esta manera, es fácil en un anteproyecto, predecir cuál será el tanque que satisfaga los requerimientos de presión del edificio en cuestión.

En el capítulo 3, se describe la forma en la cual se puede diseñar un tanque hidroneumático, es decir, cómo calcular sus elementos, sus niveles de operación, los niveles de paro y arranque de la bomba, etc. Este diseño se presenta tanto para los tanques de forma horizontal, como para los de forma vertical.

En el capítulo 4, se presentan 3 ejemplos de diseño de tanque hidroneumático, los cuales son casos reales. Uno de ellos es un edificio de oficinas y los otros dos son edificios de departamentos. Cabe mencionar que como el objetivo de este trabajo es determinar el sistema de tanque hidroneumático que satisfaga correctamente las necesidades de presión de las edificaciones, las pérdidas que se presentan en la tubería por fricción ó por piezas especiales, son determinadas por medio de tablas, las cuales pueden ser usadas con confiabilidad al momento de realizar un anteproyecto.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones de este trabajo con respecto a los sistemas de tanque hidroneumático y además se hacen algunas recomendaciones de instalación, operación y mantenimiento de los sistemas para poder obtener de ellos los mayores beneficios.

La literatura correspondiente a los sistemas de tanque hidroneumático, actualmente es casi obsoleta, ya que los libros que los mencionan son de hace varias décadas; además, las innovaciones tecnológicas a base de "tanques de membrana" no aparecen en prácticamente ningún libro, por lo que al realizar este trabajo, se pensó seriamente en esto y se indagó en muchas compañías distribuidoras y en otras fuentes, para poder proporcionar información actualizada, la cual, al ser consultada en este trabajo, coincidiera con los adelantos tecnológicos que se presentan en los modelos de más reciente fabricación.

## CAPITULO 1

### FUNDAMENTOS TEORICOS DEL SISTEMA

El sistema de presión hidroneumático, tiene la particularidad de que funciona con dos de las sustancias más importantes que existen sobre la tierra: el aire y el agua.

Desde tiempos antiguos, muchos sabios han indagado acerca de las propiedades y características que comprenden dichas sustancias para el desarrollo de la vida humana. Se ha experimentado y calculado cuál es el comportamiento de estos elementos ante diferentes situaciones y se ha llegado a deducir y a comprobar las leyes y las propiedades que se les atribuyen.

Es necesario, además de conocer el funcionamiento y el diseño de los sistemas hidroneumáticos, entender cómo es que actúan tanto el aire como el agua de forma separada y también en forma combinada, es decir, teniendo movimiento ambos al mismo tiempo y en el mismo lugar.

En este capítulo, los objetivos son conocer de manera detallada, cual es el principio que rige el comportamiento de los sistemas de presión hidroneumática y las características, leyes y principios del agua y del aire, los cuales darán pauta para entender como se comportará cada uno de ellos en el interior de los tanques de presión hidroneumática.

#### 1.1. Descripción del sistema hidroneumático

##### 1.1.1. Propósito del sistema de presión hidroneumático

El sistema de presión hidroneumático es una modernización del antiguo método de abastecimiento de agua por medio del tanque elevado. Su principal propósito es controlar una presión de suministro limitada, de tal manera que el abastecimiento de agua continuo y satisfactorio, esté disponible en todas las instalaciones que atiende el sistema.

Los fundamentos del sistema que llevan a cabo este propósito consisten en una bomba adecuada, un tanque de presión y un mecanismo de control esencial para hacer que el sistema opere automáticamente con la mínima supervisión. La bomba es usada para abastecer la cantidad requerida de agua dentro del tanque con la presión apropiada, mientras el tanque actúa como un depósito de almacenamiento para las relaciones convenientes de agua y aire dentro de las presiones y niveles mantenidos por el mecanismo de control.

La expansión de aire bajo las presiones determinadas, regulan la cantidad de agua que puede ser usada por el sistema antes de que la bomba sea requerida nuevamente para llenar la reserva que se desea en el tanque. Esta relación de presión y de volumen es una ley de la física, bien conocida, que establece que a temperatura

constante, el volumen de un peso dado de gas varía inversamente a la presión absoluta; este principio es conocido como Ley de Boyle.

Los sistemas de presión hidroneumáticos tienen ventajas categóricas sobre los sistemas típicos a base de tanques elevados. Se ubican generalmente en un sitio conveniente para su instalación, servicio o reparación, protegidos contra averías de sus elementos; el sistema es completamente cerrado y cuando el aire filtrado adecuadamente se usa para rellenar nuevamente el tanque, existe completo aislamiento de posible contaminación.

### 1.1.2. Componentes del sistema típico

Con referencia a la figura 1.1, los componentes básicos del sistema de tanque hidroneumático son: a) tanque de presión, b) equipo de bombeo, c) compresor y d) tubería, válvulas y accesorios. La fuente de suministro del agua es una sistema (C), alimentada desde la red municipal.

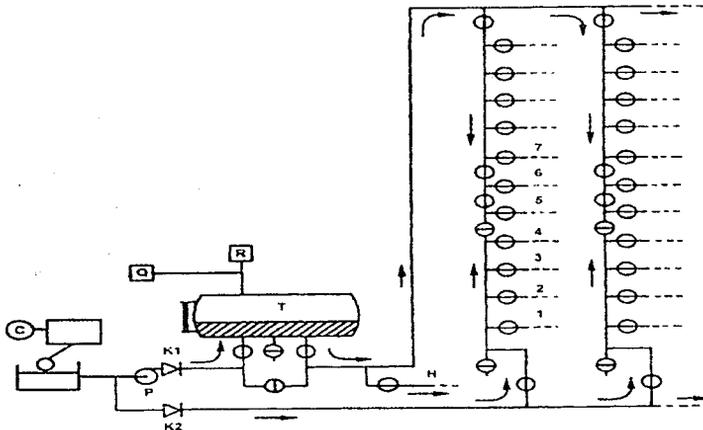


Figura 1.1. Sistema típico de tanque hidroneumático.

#### a) Tanque de presión

Es el elemento del sistema en donde se pone en contacto el agua con el aire, para que con la expansión de éste se impulse el agua; se representa con la letra T en la figura 1.1.

Cuando se especifica la construcción del tanque de presión, deben considerarse dos factores. Ellos son la presión mínima de trabajo en condiciones de seguridad que el tanque debe resistir en servicio y la posibilidad de corrosión que afectará la vida útil del tanque en condiciones de seguridad.

La presión mínima de trabajo en condiciones de seguridad para el tanque, se establece generalmente en el 125% de la presión máxima del sistema, pero si la máxima presión desarrollada por la bomba excede este valor, esta presión debe sustituirse.

La posibilidad de corrosión del tanque debe considerarse seriamente. Cuando las condiciones de corrosión no pueden ser prevenidas o minimizadas, es aconsejable especificar el espesor más grueso de metal, con el fin de asegurar una vida útil satisfactoria del tanque en condiciones de seguridad. Es recomendable que el espesor mínimo del metal sea especificado para todos los tanques en 4.8 mm (3/16"), aunque un espesor menor del metal pudiera satisfacer los requerimientos de presión.

Prácticamente en todos los estados de la Unión Americana, se tienen leyes o códigos que regulan la construcción de los tanques de presión hidroneumáticos. Los tanques son construidos generalmente para satisfacer los mínimos requerimientos del "Código para depósitos a presión no expuestos a fuego de la A.S.M.E." (Code for Unfired Pressure Vessels). De tal manera que los llamados tanques "No-código" no deberán ser usados en ningún estado de ese país donde su uso esté restringido o prohibido. Es deseable consultar la última edición del Código para así poder determinar todos los detalles necesarios para su construcción.

#### b) Equipo de bombeo

El tanque de presión hidroneumático se usa en lugar del tanque elevado y la presión del tanque controla la bomba doméstica. El colchón de aire se expande para mantener una presión casi constante mientras el agua es utilizada. El equipo de bombeo se representa con la letra P en la figura 1.1.

#### c) Compresor

El aire comprimido en el tanque se diluye lentamente dentro del agua y ocasionalmente habrá que añadir más aire utilizando un compresor. En algunas instalaciones, para evitar que el agua absorba aire, un diafragma flexible separa el aire del agua. También, para minimizar la corrosión causada por el oxígeno en el aire en ausencia de un diafragma, un tanque reemplazable de nitrógeno comprimido puede sustituir al compresor de aire. La válvula de alivio de presión, R, se coloca a fin de proteger al sistema en caso de que los controles del compresor fallen. El compresor se representa con la letra Q en la figura 1.1.

#### d) Tubería, válvulas y accesorios

Las válvulas bajo el tanque se instalan para que toda el agua proveniente de la bomba pase por el tanque. Si el tanque es evitado y sólo una conexión a él está abierta, el agua tenderá a estancarse ocasionando problemas de sabor y olor.

### 1.1.3. Tipos generales de sistemas de presión hidroneumáticos

Existen 4 tipos generales de sistemas de presión hidroneumático: (1) el tipo doméstico, (2) el tipo de bomba de pozo profundo, (3) el tipo "booster"<sup>1</sup> y (4) el tipo combinado, que consiste en una bomba de pozo profundo la cual en turno, abastece un sistema de tipo booster. Podría agregarse otro (5) conocido como el "sin-tanque" ó el "sistema de tipo de tanque con colchón de aire" que no es un sistema de presión hidroneumático verdadero, aunque cuenta con el funcionamiento de un tanque con colchón de aire relativamente pequeño para una operación exitosa. Todos los sistemas de presión hidroneumáticos funcionan de una manera semejante, y difieren sólo en la utilización de las bombas y los controles que son necesarios para cumplir las necesidades del sistema.

#### Tipo doméstico

Los sistemas de tipo doméstico se usan en instalaciones donde los requerimientos de demanda de agua y presión son relativamente bajos. Generalmente son lo suficientemente pequeños para ser construidos en una unidad integral compacta, aunque algunos sistemas utilizan tanques de presión instalados por separado. Casi todos los tipos de bombas se usan con este tipo de unidad: las centrífugas, las "jet", las de turbina, las de rotor helicoidal y las reciprocantes. El aire es abastecido al tanque de presión generalmente por medio de una válvula aspirante conectada al lado de la succión de la bomba.

<sup>1</sup> La palabra del idioma inglés "booster" se usa en el lenguaje técnico en español. Su traducción es: impulsador, fomentador, elevador.

## Tipo de Pozo Profundo

El arreglo de operación para las instalaciones de bombas de tipo de pozo profundo, puede seleccionarse de entre diversas combinaciones de control de volumen de aire de la forma siguiente:

1. El tipo de bombas de pozo profundo, similar al de Peerles Hi-lift (o bombas del tipo de pozo profundo cuando están equipadas con una válvula de pie en la succión) son instaladas para drenar parte de la tubería de descarga, de manera que el aire atrapado pueda ser forzado dentro del tanque con cada ciclo de bombeo. La válvula de pie en la succión de la bomba, retiene el agua en la columna de succión después de cada ciclo de bombeo. Ambas, la válvula de drenaje y la válvula de entrada de aire, abiertas, permiten al agua en parte de la tubería de descarga, drenarla y ser remplazada con aire. Cuando la bomba se enciende de nuevo, su presión cierra ambas: a la válvula de drenado y a la válvula de entrada de aire, y forza al aire en el interior del tanque. El exceso de aire es purgado del tanque para conservar el volumen apropiado del NIVEL ALTO DEL AGUA. El Control de Volumen de Aire Tipo W-1 de la "U.S. Gauge Company" logra esto mediante una combinación de flotador y una válvula de alivio de presión operando en serie; mientras el Tipo DS Duotrol de la "Automatic Control Company" funciona por medio de la operación de una válvula de alivio de aire de tipo solenoide. El ensamble típico de estos sistemas es presentado en la figura 1 del anexo A.

2. Las bombas de pozo profundo convencionales (que no son equipadas con válvulas de pie en la succión), permiten al agua que está en la columna de la bomba y en su tubería de descarga, regresar al interior del pozo después de cada ciclo de bombeo. En esta disposición del equipo, se abre una válvula de admisión de aire adecuada, con su esfera de vacío removida, que permite al aire entrar con niveles de agua en retroceso y cerrar nuevamente con una elevación del agua dentro de la válvula cuando arranca la bomba. La unión (niple) de la tubería, con la cual la válvula de admisión se conecta, es arreglada con una cuerda larga en el extremo de la tubería de descarga, de manera que pueda ser extendida lo suficientemente lejos dentro de la tubería para atrapar aire y forzarlo dentro del tanque de presión. La distancia que se extiende el niple dentro de la tubería, debe determinarse por tanteo. El exceso de aire es expulsado del tanque y el NIVEL ALTO DEL AGUA, mantenido de la misma manera que la disposición Número 1. El ensamble típico de esta disposición se muestra en la figura 2 del anexo A.

3. Los sistemas de bombas de tipo de pozo profundo convencionales, también pueden diseñarse con el tipo de compresor de desplazamiento del volumen de aire y control de nivel de agua. Se usa una válvula de admisión de aire en este arreglo, pero es colocada tan cerca como sea posible de la válvula de retención (check) de la tubería de descarga y con un niple de conexión de tubería estándar que permita por completo la ventilación del aire. Un arreglo similar al "Control del Nivel de Agua Nu-Matic" funcionará entonces para suministrar aire dentro del tanque y mantener el Nivel Alto De Agua deseado.

4. Los sistemas de bombas de tipo de pozo profundo convencionales, también pueden diseñarse para usar compresores de aire de tipo estándar. Se usa una válvula de admisión de aire de la misma forma en que fue descrito el arreglo Número 3 y un control de volumen de aire similar al de "Tipo DC Duotrol de la Automatic Control Company" que se usa en lugar del Control de Tipo Nu-Matic. El Tipo DC Duotrol mantiene el volumen de aire apropiado y el Nivel De Agua Alto operando el compresor de aire, el cual forza al aire dentro del tanque a través de una válvula de entrada de aire de tipo solenoide.

## Sistemas del tipo "booster"

Las bombas usadas con los sistemas del tipo "booster" convencionales captan el agua ya sea del sistema de abastecimiento municipal o de un depósito cerrado separado (cisterna). El volumen de aire y el NIVEL ALTO DEL AGUA en el tanque de presión se controla, ya sea por el Tipo Nu-Matic o del Tipo DC Duotrol con el compresor de aire separado. La figura 3 del anexo A, muestra un ensamble típico del arreglo cuando se usa el Control Nu-Matic, mientras que la figura 4 del anexo A muestra un ensamble típico del arreglo para un sistema de bombas dúplex cuando se usa el Tipo DC Duotrol.

## Sistemas combinados

Los sistemas de tipo neumático combinados consisten de una bomba de pozo profundo que abastece agua a un depósito de tipo cerrado desde donde un Sistema de Tipo Booster convencional toma sus requerimientos.

Cualquier tipo de bomba de pozo profundo puede usarse para bombear directamente dentro del depósito. Puede instalarse un tipo de control de interruptor flotante de dos circuitos en el depósito para controlar las bombas. Un circuito controla el arranque y el paro de la bomba de pozo profundo dentro de límites de operación relativamente cercanos, mientras el segundo circuito controla la bomba "booster" solamente cuando es insuficiente el agua disponible en el depósito que abastece el sistema de presión. Este interruptor flotante puede ser similar a un arreglo especial del Tipo S de la Automatic Control Company, dos circuitos Floatrol construidos con las especificaciones de las Bombas Peertes. Los controles de tipo estándar, pueden seleccionarse del Sistema de Tipo Booster. La figura 5 del anexo A muestra un ensamble típico de este arreglo.

### **Sistemas de tanque con colchón de aire**

El aire usado con el sistema de tanque con colchón de aire se inyecta manualmente de la forma en que lo hace una bomba neumática ordinaria. Un ensamble típico de este sistema es mostrado en la figura 6 del anexo A.

Todas las bombas del tipo pozo profundo deben controlarse contra la rotación inversa después de cada ciclo de bombeo ya sea mediante el uso de un trinquete anti-inverso o un arreglo de dilatación de tiempo. Esta recomendación es evidente porque el daño a la bomba es posible si el motor arrancara mientras la bomba estuviera operando en forma inversa durante el ciclo de flujo de regreso.

Sostener la presión en el tanque dentro de los límites requeridos, es posible mediante un interruptor de presión de tipo estándar que se usa con todos los sistemas de presión. El interruptor de presión se usa generalmente como un piloto para dar energía al circuito de encendido del motor.

Otros controles igualmente importantes, son también esenciales para la completa seguridad y el funcionamiento automático del sistema.

El encendido del motor y los mecanismos de protección, consisten de un interruptor de motor y un arrancador de motor. Por conveniencia, algunas veces estos dos mecanismos son construidos dentro de un gabinete sencillo, llamado arrancador combinado. Es aconsejable tener una estación de "Apagado Automático de Mano", instalada en el arrancador, de tal manera que el sistema pueda operar manualmente cuando se ajusten los diversos mecanismos de control, al hacer reparaciones, etc. Los mecanismos de protección del motor y los arrancadores son recomendados para cada motor usado en el sistema.

Absolutamente todos los tanques de presión hidroneumáticos, deben protegerse contra accidentes, presiones excesivas mediante el uso de una válvula de alivio de presión aceptable. La válvula de alivio debe colocarse en una presión más grande que la presión más alta del sistema, pero bien dentro del límite de trabajo seguro del tanque.

## **1.2. Principios básicos de la mecánica de los gases**

En virtud de la importancia que tiene para el diseño de sistemas de tanque hidroneumático el conocimiento del comportamiento del aire, a continuación se estudian las principales características que tienen influencia en el diseño.

### **1.2.1. Gases ideales y reales**

Los estados de agregación en los cuales se puede clasificar a toda la materia existente son tres: el sólido, el líquido y el gaseoso.

El estado particular de agregación de una sustancia está determinado por la temperatura y presión bajo la cual existe. Sin embargo, dentro de ciertos límites de temperatura y presión una sustancia puede encontrarse en más de un estado a la vez, e incluso en todos ellos cuando las condiciones son muy especiales. Por tal motivo, ha sido conveniente clasificar a los gases en dos tipos principales: a) *gases ideales*, y b) *gases no ideales o reales*. En los gases ideales, el volumen ocupado por las propias moléculas es insignificante en comparación con el volumen total, y ésto es válido para todas las presiones y temperaturas; además, la atracción

intermolecular es ínfima bajo cualquier medición. Para los gases reales, ambos factores son apreciables y la magnitud de ellos depende de la naturaleza, temperatura y presión gaseosa. Resulta claro que un gas ideal es hipotético, ya que cualquier gas debe contener moléculas que ocupan un volumen definido y ejercen atracciones entre sí. Sin embargo, con frecuencia la influencia de estos factores es insignificante y el gas puede considerarse ideal. Estas últimas condiciones se obtendrán a presiones bajas y a temperaturas relativamente elevadas, condiciones bajo las cuales el espacio "libre" dentro del gas es grande y pequeña la fuerza de atracción entre las moléculas.

### 1.2.2. Características de los gases

#### Constitución de los gases

Primordialmente un gas está constituido por una multitud de partículas, llamadas *moléculas*, que se encuentran en movimiento desordenado que no tiene fin. Continúan chocando contra las paredes del depósito que las contiene y continuamente se atropellan unas a las otras, sin detenerse jamás (figura 1.2).

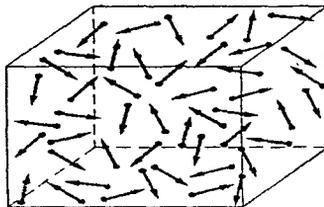


Figura 1.2. Estado de agitación de las moléculas de un gas encerrado en un recipiente.

Los gases también tienen temperatura, la cual es una medida de la energía cinética de traslación de cada una de las moléculas que forman el gas.

### 1.2.3. Propiedades generales de los gases

Los gases son fluidos aeriformes que revelan su existencia actuando sobre nuestros sentidos:

- Vista*. La figura 1.3 muestra que es posible observar el trasiego de un gas de un recipiente a otro, por ejemplo el color del cloro, etc.
- Tacto*. Podemos sentir el viento.
- Olfato*. Podemos percibir el olor del gas amoníaco, hidrógeno sulfurado, etc.

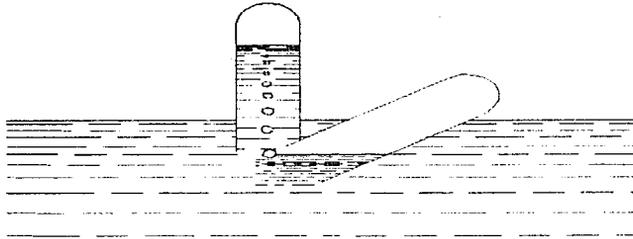


Figura 1.3. Revelación de un gas ante la vista.

Los gases son fluidos pesados. Para demostrarlo, se recurre a la experiencia siguiente:

En uno de los brazos de una balanza se suspende un balón de vidrio en el que se ha hecho el vacío y que está cerrado por una llave (figura 1.4). Se tara colocando pesos en el otro platillo de la balanza. Si después se deja entrar aire en el globo, abriendo la llave, se ve que la balanza se inclina del lado del balón. (Esta experiencia puede repetirse con otros gases y se obtienen resultados análogos).

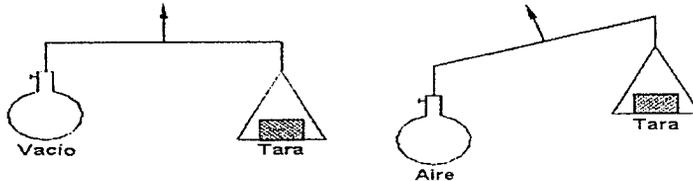


Figura 1.4. Demostración del peso de los gases.

Experiencias precisas han demostrado que a  $0^{\circ}\text{C}$  y a presión de 76 cm de mercurio, el litro de aire pesa 1.293 gramos (figura 1.5).

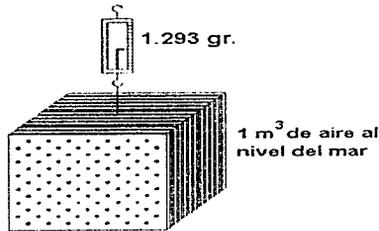


Figura 1.5. Peso del aire (este experimento tendría que hacerse en el vacío).

*NOTA: Por ser los gases pesados, a semejanza de los líquidos, las propiedades que resultan de la gravedad serán comunes a ambas clases de fluidos y los principios de la hidrostática se pueden extender a los gases.*

- a) Fuerza de presión: los gases ejercen fuerzas de presión normales sobre las superficies que los limitan.
- b) Presión: Las fuerzas de presión que ejercen los gases dan lugar a la presión.

*La presión de un gas en un punto dado queda definida por la fuerza que este gas ejercería sobre cada una de las caras de una superficie plana cuya área es la unidad y cuyo centro de gravedad coincidiera con el punto considerado.*

Si se enfría un gas que se conserva a volumen constante y la reducción de temperatura se lleva hasta  $273^{\circ}\text{C}$  bajo cero, se llega a una presión final cuyo valor es cero. Esto se explica teóricamente como sigue: de acuerdo con la teoría cinética de los gases, la presión que ejerce un gas contra las paredes del depósito que lo contiene, se debe al estado de agitación de sus moléculas (figura 1.6); ahora bien, si la presión vale cero, quiere decir que las moléculas ya no se mueven, como se ve en la figura anterior.

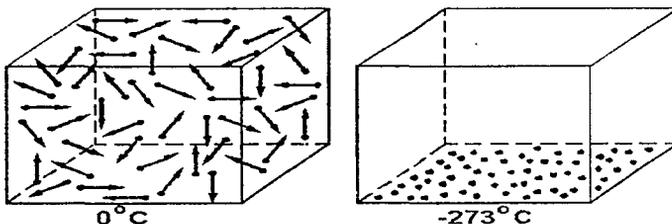


Figura 1.6. A la temperatura de  $-273^{\circ}\text{C}$  las moléculas de un cuerpo quedan en reposo (teóricamente).

### Elasticidad de los gases

La gran cantidad de aire que se puede introducir en un recipiente cerrado, pone de manifiesto la propiedad que tiene el aire de comprimirse, reduciendo su volumen notablemente, pero ello a expensas de su presión.

Recíprocamente, cuando se destapa dicho recipiente, se puede observar que el aire sale con violencia, lo que pone de manifiesto la propiedad de expandirse que tiene el aire comprimido.

Si en un depósito cilíndrico cerrado por un émbolo se introduce cierta cantidad de gas, se puede reducir su volumen ejerciendo una fuerza sobre el émbolo.

Es evidente que al reducir el volumen de un gas aumentando su presión, tiene que aumentar su peso específico, pues en un centímetro cúbico del gas comprimido hay un mayor número de moléculas que en un centímetro cúbico del gas antes de comprimir.

El volumen de un gas cambia notablemente al variar su presión y al modificar su temperatura. Así, si se tiene un globo lleno de aire encerrado en un refrigerador, su volumen es de cierto número de centímetros cúbicos, pero si se saca el globo al sol, se verá que aumenta notablemente su volumen.

### Compresibilidad

Es una propiedad de los gases en virtud de la cual es posible reducir notablemente el volumen que ocupa un gas.

## Expansibilidad

Es una propiedad de los gases en virtud de la cual los gases se expanden, es decir que ocupan todo el volumen del depósito en que se coloca.

Para demostrar la expansibilidad de los gases, se coloca un globo en la campana C de la máquina neumática; luego se hace el vacío en la campana, y se observa que el globo se infla inmediatamente (figura 1.7). El poco aire que existe en él tiende a ocupar el mayor volumen posible y en nada se opone a ello la presión exterior.

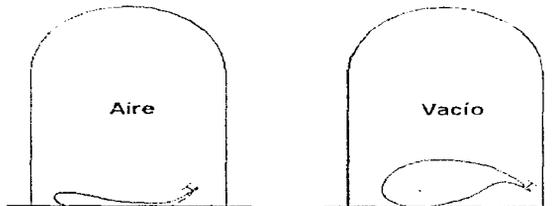


Figura 1.7. Expansibilidad de los gases.

A la propiedad que tienen los gases de cambiar fácilmente de volumen, se le llama **ELASTICIDAD DE LOS GASES**. Puede probarse que *esta elasticidad es perfecta* o, dicho de otro modo, que *recobran exactamente el mismo volumen, cuando la causa que provocó la variación de volumen ha desaparecido*.

### 1.2.4. Generalizaciones de la conducta de un gas ideal

Por el estudio tan detallado que se le ha dado a los gases, se han llegado a establecer sus leyes o generalizaciones que constituyen el punto de partida de la conducta gaseosa en cualquier discusión. Estas son: a) *la ley de Boyle*, b) *la ley de Charles o Gay Lussac*, c) *la ley de las presiones parciales de Dalton* y d) *la ley de difusión de Graham*.

#### a) Ley de Boyle

Supongamos que un gas fue sometido a una transformación en la cual su temperatura se mantuvo constante. Decimos entonces que ha experimentado una *transformación isotérmica* (del griego *isos* = igual + *thermos* = temperatura). Tomando en cuenta que la masa del gas también se mantuvo constante (no hubo salida ni entrada de gas en el recipiente), se concluye que la presión y el volumen del gas fueron las cantidades que variaron en la transformación isotérmica.

#### Determinación experimental

Para estudiar las variaciones del volumen de una masa gaseosa con la presión, se utiliza el aparato de Leblanc que consta de dos recipientes de vidrio A, B, móviles a lo largo de una regla vertical graduada y unidos por un tubo de caucho. El recipiente A puede ser de forma cualquiera, pero el recipiente B es un tubo cilíndrico graduado en centímetros cúbicos y provisto, en su extremidad superior, de un grifo R (figura 1.8).

Se colocan A y B uno frente a otro y se vierte mercurio en A, hasta que el nivel correspondiente a determinada división de la graduación del tubo B (8 por ej.) y se cierra entonces el grifo R, aprisionando de esa manera un volumen determinado de aire ( $8 \text{ cm}^3$ ) a la presión atmosférica (75 cm por ej.) (figura 1.8a).

Hecho esto se levanta el recipiente A, y el mercurio asciende entonces en B. Cuando llega a la división 6, es decir, cuando el volumen de aire se reduce a  $6 \text{ cm}^3$ , se anota sobre la regla graduada, la diferencia de los niveles del mercurio en A y B, que es igual a 25 cm. (figura 1.8b). La presión absoluta del aire es, por tanto:

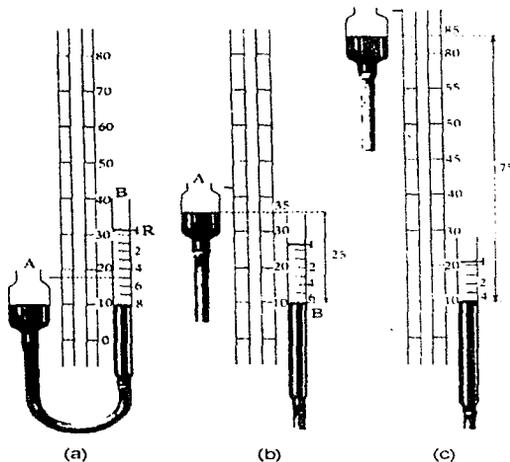


Figura 1.8. Ley de Boyle (determinación experimental).

$$25 + 75 = 100 \text{ cm de mercurio.}$$

Se sigue elevando el recipiente A hasta que el volumen del aire quede reducido a  $4 \text{ cm}^3$  y se anota la presión correspondiente que se encuentra igual:

$$75 + 75 = 150 \text{ cm (figura 1.8c).}$$

Entonces se ve que:

$$8 \times 75 = 6 \times 100 = 4 \times 150 = 600.$$

Se puede, por último, hacer descender A y elevar B y entonces el mercurio vuelve a descender hacia A; se continúa así hasta que el volumen de aire haya llegado a  $16 \text{ cm}^3$  y entonces se anota la presión correspondiente, que es:

$$75 - 37.5 = 37.5 \text{ cm.}$$

$$\text{Tendremos: } 16 \times 37.5 = 600.$$

Este resultado significa que el volumen  $V$  es inversamente proporcional a la presión  $p$ , y por consiguiente, el producto  $p \times V$  es constante. Robert Boyle en Inglaterra y Edmé Mariotte en Francia determinaron independientemente, pero en la misma época (siglo XVII) esta ley según la cual varía el volumen de una masa gaseosa, cuando su presión aumenta.

La ley conocida como **Ley de Boyle-Mariotte** se puede enunciar de la siguiente forma:

"Si la temperatura  $T$  de cierta masa gaseosa, se mantiene constante, el volumen  $V$  de dicho gas será inversamente proporcional a la presión  $p$  ejercida sobre él", es decir:

$$pV = \text{constante (si } T = \text{constante).}$$

### El diagrama $p$ - $V$

En la figura 1.9 se presenta el gráfico  $p$ - $V$  construido con los valores de  $p$  y  $V$ , de acuerdo a los valores obtenidos en la transformación isotérmica del experimento anterior. Puede contemplarse que la curva obtenida muestra la variación inversa del volumen con la presión (mientras  $V$  aumenta,  $p$  disminuye).

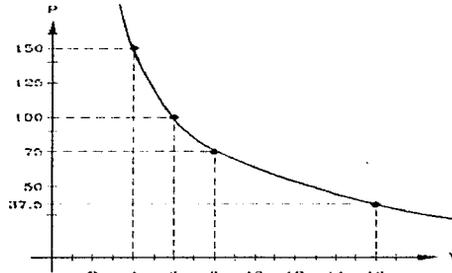


Figura 1.9. Gráfica "presiones-volumenes".

Como en esta transformación,  $p$  y  $V$  están relacionadas por una proporción inversa, se concluye conforme a lo ya visto que la curva presentada es una hipérbola. Como describe una transformación isotérmica, ésta curva también recibe el nombre de *isoterma* del gas.

### Influencia de la presión sobre la densidad

La densidad de un cuerpo cualquiera está dada por la expresión  $\rho = m/V$ . Para los cuerpos sólidos y líquidos, la variación en la presión ejercida sobre ellos prácticamente no altera su volumen  $V$ , de manera que la presión influye muy poco en la densidad de esos cuerpos.

Esto no sucede con los gases. En una transformación isotérmica, por ejemplo, cuando se aumenta la presión sobre una masa gaseosa, su volumen se reduce considerablemente. Por lo tanto, su densidad también aumenta mucho, mientras que el valor de  $m$  no se altera. En realidad, para un determinado valor de  $m$ , la ley de Boyle-Mariotte permite deducir lo siguiente:

- al duplicar  $p$ , el volumen  $V$  queda dividido entre 2 y  $\rho$  se duplica;
- al triplicar  $p$ , el volumen  $V$  queda dividido entre 3 y  $\rho$  se triplica;
- al cuadruplicar  $p$ , el volumen  $V$  queda dividido entre 4 y  $\rho$  se cuadruplica; etc.

Si comparamos la primera y última columnas de esta tabla concluimos que

$$\rho \approx p$$

es decir, manteniendo constante la temperatura de una masa gaseosa dada, su densidad es directamente proporcional a la presión del gas.

### Enunciados de la ley de Boyle-Mariotte

De lo visto en los párrafos anteriores podemos concluir que:

**A temperatura constante, el producto del volumen de una masa gaseosa por la presión es constante, (primer enunciado).**

Es decir, que si  $p$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  son las presiones correspondientes, respectivamente, a los volúmenes  $V$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ , de una misma masa gaseosa, se tiene:

$$pV = p_1V_1 = p_2V_2 = \text{constante.}$$

Y si se tiene en cuenta que  $pV = p_1V_1$  se tendrá que:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{p_1}{p}$$

de donde se deduce el segundo enunciado:

**A temperatura constante, los volúmenes de una misma masa gaseosa son inversamente proporcionales a las presiones que ella soporta.**

Por último, si  $d$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  son las densidades sucesivas, se tiene:

$$Vd = V_1d_1 = V_2d_2$$

dividiendo miembro a miembro tendremos:

$$\frac{d}{p} = \frac{d_1}{p_1} = \frac{d_2}{p_2}$$

de donde se deduce el tercer enunciado:

**A temperatura constante, la densidad absoluta o masa específica de un gas es proporcional a su presión.**

Si se considera que en el fenómeno que sucede dentro del tanque hidroneumático la temperatura del agua permanece constante, entonces se tiene, en este caso particular una transformación isotérmica, por lo cual es aplicable la ley de Boyle-Mariotte. Ahora bien, de los tres enunciados que promueve esta ley, el que será necesario aplicar para entender el funcionamiento del sistemas, es el segundo, en el cual conocemos el comportamiento de la presión y del volumen del aire contenido por el sistema.

### Representaciones gráficas

Los enunciados pueden expresarse con gráficas:

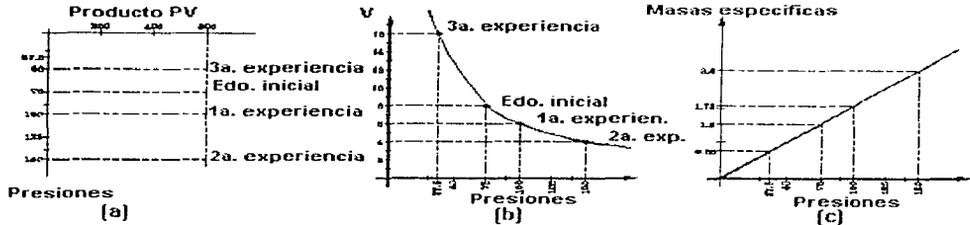


Figura 1.10. Representaciones gráficas de los enunciados de la ley de Boyle-Mariotte.

- 1.-  $pV = \text{constante}$  (figura 1.10a) = Recta paralela al eje de abcisas.
- 2.-  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}$  (figura 1.10b) = Hipérbola equilátera.
- 3.-  $\frac{d}{p} = \frac{d_1}{p_1} = \frac{d_2}{p_2}$  (figura 1.10c) = Recta que pasa por el origen (punto de cruzamiento de los ejes).

(Los resultados numéricos corresponden a las experiencias descritas anteriormente).

### Crítica de la ley de Boyle-Mariotte

Diversos experimentadores (Desprez, Regnault, Cailletet, Amagat, etc.) han estudiado la Ley de Boyle-Mariotte para fuertes presiones y han llegado a la conclusión de que dicha ley no es sino una ley aproximada, una ley límite, a la que los distintos gases se aproximan más o menos según las presiones iniciales y según su temperatura. Pero para todos los gases alejados de su punto de licuefacción (particularmente el aire y los gases antes llamados permanentes) las diferencias son tan débiles, bajo variaciones poco sensibles de presión y a la temperatura ordinaria, que puede hacerse caso omiso de ellas; puede, pues, aplicarse en la práctica la ley de Boyle-Mariotte en la mayor parte de cálculos de compresibilidad.

Un gas que obedeciera a la ley de Boyle-Mariotte sería un *gas perfecto*. El hidrógeno es el más perfecto de todos los gases.

Si se indican en las abcisas las presiones y en las ordenadas el producto  $pV$ , un gas que obedeciera rigurosamente a la ley de Boyle-Mariotte (gas perfecto) estaría representado o caracterizado por una paralela al eje de las  $c$ .

La figura 1.11 muestra que el hidrógeno se comprime menos de lo que indica la ley de Boyle-Mariotte; los otros se comprimen más al principio y luego menos, a medida que aumenta la presión.

Este tipo de críticas, nos permiten meditar en el comportamiento que tendrá el aire dentro del tanque hidroneumático. Sin embargo, como ya se mencionó, se pueden despreciar estas aseveraciones y aceptar que la ley de Boyle-Mariotte tendrá un funcionamiento prácticamente idéntico al que se hace mención en el segundo enunciado que cita esta ley, por lo que de ahora en adelante, se proseguirá aceptando esta consideración.

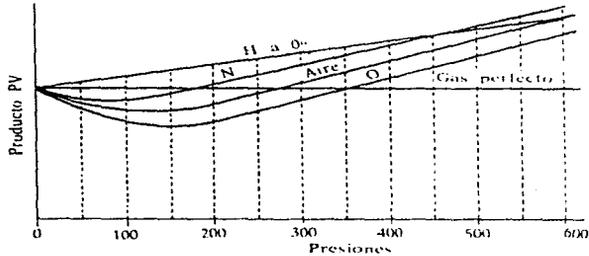


Figura 1.11. Compresión del hidrógeno.

**b) Ley de Charles o Gay Lussac**

Charles en 1787 observó que el hidrógeno, aire, dióxido de carbono y oxígeno se expandían en igual proporción al calentarlos desde 0° a 80°C, manteniendo la presión constante. Sin embargo, fue Gay-Lussac el primero que, en 1802, encontró que todos los gases aumentaban igual volumen por cada grado de elevación de temperatura, y que el incremento era aproximadamente 1/273 el volumen del gas a 0°C, o con mayor precisión, 1/273.15. Si designamos por  $V_0$  el volumen del gas a 0°C y por  $V$  su volumen a  $t$ ° C, entonces podremos escribir de acuerdo con Gay-Lussac:

$$\begin{aligned}
 V &= V_0 + \frac{t}{273.15} V_0 \\
 &= V_0 \left( 1 + \frac{t}{273.15} \right) \\
 &= V_0 \left( \frac{273.15 + t}{273.15} \right)
 \end{aligned}$$

Ahora podemos definir una nueva escala de temperatura tal que para una  $t$  dada corresponda otra establecida por la relación  $T = 273.15 + t$ , y 0°C por  $T_0 = 273.15$ , con lo cual la ecuación última toma una forma más simple

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}$$

Esta nueva escala de temperatura, de Kelvin o absoluta, es de importancia fundamental en toda la ciencia.

De forma más simple podemos mencionar que la LEY DE CHARLES dice así: *si el volumen de un gas permanece constante, la presión ejercida por el gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta.*

Esta ley se puede expresar también mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Presión inicial}}{\text{Temperatura absoluta inicial}} = \frac{\text{Presión final}}{\text{Temperatura absoluta final}}$$

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T}$$

De igual manera la LEY DE GAY-LUSSAC menciona: *si la presión de un gas permanece constante, su volumen es directamente proporcional a la temperatura absoluta.*

La ley anterior, se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Volumen inicial}}{\text{Temperatura absoluta inicial}} = \frac{\text{Volumen final}}{\text{Temperatura absoluta final}}$$

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}$$

### c) Ley de Dalton de las presiones parciales

Se ha visto que un gas tiende a ocupar todo el espacio del que dispone. Esta tendencia se manifiesta aún cuando el espacio esté al mismo tiempo ocupado por otro gas. Cuando esto sucede, los diferentes gases se interfunden o mezclan rápidamente. LA LEY DE DALTON enuncia que: *En una mezcla de varios gases sin acción química entre sí, cada gas ocupa el volumen total como si estuviera solo, y la presión total es igual a la suma de las presiones que ejercería cada gas si ocupase él solo el volumen.* En otras palabras:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

y

$$pV = p_1V_1 + p_2V_2 + p_3V_3 + \dots$$

donde  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$  son los volúmenes de los gases mezclados,  $p_1$ ,  $p_2$  y  $p_3$  las presiones respectivas (o presiones parciales).  $V$  la capacidad total del recipiente que contiene la mezcla y  $p$  la presión de esta mezcla. La presión parcial de cada constituyente puede concebirse como la presión que ejercería si estuviera aislado en el mismo volumen y a igual temperatura que en la mezcla. En función de las presiones parciales la ley de Dalton puede establecerse de nuevo así: *La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los componentes individuales de la mezcla.*

### d) Ley de la difusión de Graham

Gases distintos se difunden por un tubo o un escape de un recipiente que posee una abertura fina con velocidades diferentes que dependen de las densidades o pesos moleculares que poseen. La ley que gobierna tales difusiones fue enunciada por Graham en 1829 por primera vez y lleva su nombre. Esta ley dice: *que a temperatura y presión constantes las velocidades de difusión de diferentes gases varían inversamente con la raíz cuadrada de sus densidades o pesos moleculares.*

De manera que si designamos por  $u_1$  y  $u_2$  a las velocidades de difusión de los dos gases, y por  $\rho_1$  y  $\rho_2$  a sus densidades respectivas, obtendremos:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{\sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1}}$$

De nuevo como a la misma presión y temperatura ambos poseen igual volumen molar, resultará:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{\sqrt{\rho_2 \cdot \frac{m}{M_2}}}{\sqrt{\rho_1 \cdot \frac{m}{M_1}}} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

donde  $M_1$  y  $M_2$  son los pesos moleculares de los gases.

### 1.3. Principios básicos de hidráulica

#### 1.3.1. Características de los fluidos

##### Temperatura

La magnitud de la temperatura se puede relacionar con la actividad molecular que resulta de la transferencia de calor. Las escalas de medida se definen en términos de la expansión volumétrica de ciertos líquidos, comúnmente el mercurio: como un ejemplo se puede tomar la escala de temperatura Celsius o de grados centígrados, al cual se estableció de modo que el punto de congelación del agua corresponda al cero de la escala, y el de ebullición, en condiciones estándar a 100°C.

##### Densidad y peso específico

La *densidad*  $\rho$  representa la masa de fluido contenida en la unidad de volumen, en los sistemas absoluto y gravitacional sus dimensiones son  $[M L^{-3}]$  y  $[FT^{-2} L^{-3}]$ , respectivamente.

Estrechamente asociado con la densidad está el *peso específico*  $\gamma$  que representa el peso de fluido por unidad de volumen, son sus dimensiones  $[FL^{-3}]$ .

Ambas propiedades  $\rho$  y  $\gamma$  se relacionan mediante la ley  $\gamma = g \rho$ , en que  $g$  designa la aceleración local de la gravedad, que resulta de aplicar la segunda ley de Newton a la unidad de volumen de fluido.

Otra forma de cuantificar la densidad o el peso específico de un líquido se hace refiriéndolos a los correspondientes al agua, esto es:

$$\delta = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{agua}}};$$

se conoce como *densidad relativa* y no tiene dimensiones.

También se utiliza el concepto de *volumen específico* o volumen ocupado por la unidad de masa; esto es, queda definido como el recíproco de la densidad

$$v' = \frac{1}{\rho}$$

y tiene como dimensiones  $[L^3 M^{-1}]$ .

La densidad de los líquidos depende de la temperatura y es prácticamente independiente de la presión, por lo que se puede considerar incompresible; en cambio, en los gases, varía con la temperatura y la presión que actúa, de acuerdo con la llamada *ecuación de estado de los gases perfectos*. En ambos casos el peso específico depende, además, de la aceleración de la gravedad local.

##### Viscosidad

La *viscosidad* de un fluido es una medida de su resistencia a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas.

Las dimensiones de la viscosidad dinámica, en el sistema absoluto, son  $[ML^{-1}T^{-1}]$  y, en el gravitacional,  $[FL^{-2}T]$ . Para el sistema absoluto centímetro-gramo masa-segundo, la equivalencia es  $g_n/cm \text{ seg}$ , que es utilizada como unidad de viscosidad cinemática en este sistema y es conocida como *poise* en honor de Poiseuille:

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{g}_m}{\text{cm} \cdot \text{seg}}$$

Para el sistema gravitacional es más común la unidad:

$$1 \frac{\text{kg} \cdot \text{seg}}{\text{m}^2} = 98.0665 \frac{\text{g}_m}{\text{cm} \cdot \text{seg}}$$

La viscosidad dinámica es función, principalmente, de la temperatura y la presión. La dependencia respecto de la presión es prácticamente despreciable para los líquidos y pequeña o despreciable para la mayoría de los gases y vapores, a menos que la presión resulte muy grande. En tanto que la viscosidad de los líquidos disminuye con la temperatura, la de los gases aumenta.

Para los cálculos prácticos es más conveniente relacionar la viscosidad dinámica del fluido y su densidad, con la fórmula

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

donde  $\nu$  es la *viscosidad cinemática*.

### Elasticidad o compresibilidad

Los líquidos bajo una presión exterior varían muy poco de volumen, mientras que los gases siguen la *Ley de Boyle* que ya ha sido vista. En el movimiento de líquidos puede, casi siempre, prescindirse de la compresibilidad (Hidrodinámica). Incluso en los gases, son a menudo tan pequeños los cambios de volumen que pueden despreciarse; en estos casos, las leyes del movimiento son las mismas que para los líquidos. La compresibilidad no adquiere importancia hasta que se alcanzan velocidades comparables con la velocidad del sonido en el gas respectivo. Los fenómenos en los cuales los cambios de volumen de líquidos y gases permanecen tan pequeños que puedan despreciarse, se pueden englobar en la Mecánica de los *fluidos no elásticos*.

La *compresibilidad* de un fluido es una medida de cambio de volumen (y por lo tanto de su densidad) cuando se somete a diversas presiones. Cuando un volumen  $v$  de un líquido de densidad  $\rho$  y presión  $p$  se somete a compresión por efecto de una fuerza  $F$ , como se muestra en la figura 1.12, la masa total del fluido  $\rho v$  permanece constante, es decir, que:

$$d(\rho v) = \rho dv + v d\rho = 0$$

De donde resulta:

$$-\frac{v}{dv} = \frac{\rho}{d\rho}$$

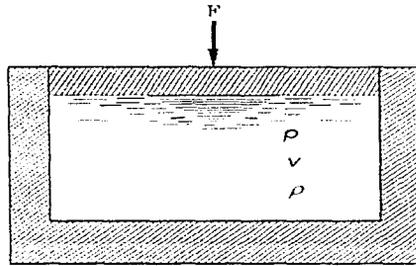


Figura 1.12. Compresibilidad de un fluido.

Al multiplicar ambos miembros por  $dp$ , se obtiene

$$E_v = -\frac{dp}{dv} \cdot v = +\frac{dp}{d\rho} \cdot \rho$$

La cantidad  $E_v$  se conoce como *módulo de elasticidad volumétrica* del fluido y es análogo al módulo de elasticidad lineal empleado para caracterizar la elasticidad de los sólidos. Por tanto, el módulo de elasticidad de los sólidos. Por tanto el módulo de elasticidad volumétrica se define como el cambio de presión dividido entre el cambio asociado en el volumen (o densidad) por unidad de volumen (o densidad), siendo una medida directa de la compresibilidad del fluido. Sus dimensiones son las de un esfuerzo [ $FL^{-2}$ ]. El signo negativo de la ecuación anterior indica una disminución en el volumen  $v$  al aumentar la presión  $p$ .

### Tensión superficial y capilaridad

En el límite entre dos fluidos o entre fluidos y sólidos obran fuerzas moleculares que tienden a una disminución de la superficie (tensión superficial). Consecuencia de ello es, por ejemplo, la forma esférica de las gotas que caen libremente. En el límite entre un líquido y un cuerpo sólido, como consecuencia de la tensión superficial, la superficie del líquido se eleva o se deprime mas o menos, según las propiedades de las sustancias contiguas.

Si un líquido está limitado por una pared sus moléculas son atraídas no sólo por las fuerzas del medio superior, sino además por las de la pared. Si las fuerzas moleculares de la pared son mayores que las de las moléculas vecinas de líquido, éste se extenderá sobre la pared; es decir, *la moja*. Ambas situaciones se muestran en la figura 1.13, donde puede observarse que en el punto de contacto entre la pared y el líquido las tangentes forman un ángulo  $\theta$ .

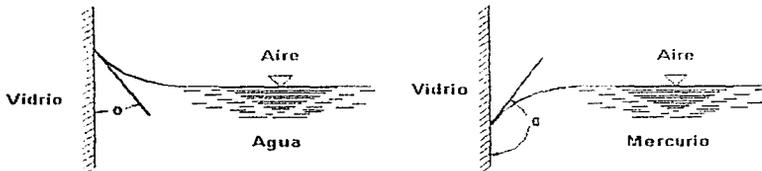


Figura 1.13. Atracción de las moléculas de los líquidos por la pared

El ángulo  $\theta$  de contacto se puede obtener a partir de las condiciones de equilibrio de la tensión superficial sobre las fronteras de los tres medios.

### Concepto de gasto o caudal

En la figura 1.14. un elemento  $dA$ , de la superficie  $S$  (limitada por la curva  $C$ ) y que contiene al punto cualquiera  $P$ , se puede representar por el vector diferencial de superficie:

$$d\mathbf{A} = dA \mathbf{n}$$

donde  $\mathbf{n}$  se define como un vector unitario normal a la superficie en el punto  $P$ , cuyo sentido positivo se establece por convención.

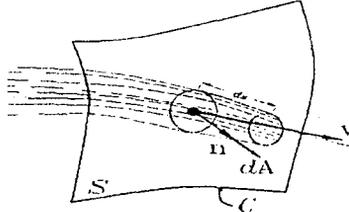


Figura 1.14. Concepto de gasto o caudal.

La velocidad  $\mathbf{v}$  que corresponde al punto  $P$  tiene en general una dirección distinta a la de  $d\mathbf{A}$ .

En un intervalo  $dt$ , el volumen de fluido que atraviesa el elemento de superficie  $dA$  queda determinado por el producto escalar de los vectores: el diferencial de arco  $ds$  sobre la línea de corriente que pasa por  $P$  y el vector diferencial de superficie  $d\mathbf{A}$ .

Entonces, considerando que  $ds = \mathbf{v} dt$ , el volumen de fluido que pasa a través del elemento  $dA$  vale:

$$dv = ds \cdot d\mathbf{A} = \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} dt$$

El flujo de volumen a través de toda la superficie  $S$  queda definido por la ecuación:

$$Q = \frac{dv}{dt} = \iint_A \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A}$$

cuyas dimensiones son  $[L^3 T^{-1}]$ . Este flujo de volumen se conoce como *gasto* o *caudal*.

Si el flujo de la superficie  $S$  se escoge de modo que las líneas de corriente sean normales a ella en cada punto, de la ecuación anterior, el gasto se puede calcular de la manera siguiente:

$$Q = \iint_A v dA$$

Se llama *velocidad media*, a través de la superficie  $S$  de área  $A$ , al promedio calculado así:

$$V = \frac{\iint v \cdot dA}{A} = \frac{Q}{A}$$

y equivale a suponer que la velocidad se distribuye uniformemente sobre la superficie, con un valor constante  $V$  y en dirección perpendicular a la misma.

### Ecuación de continuidad para una vena líquida

La vena líquida mostrada en la figura 1.15 está limitada por la superficie 3 (que generalmente coincide con una frontera sólida, o por ésta y una superficie libre) y por las secciones transversales 1 y 2, normales al eje que une los centros de gravedad de todas las secciones. Las velocidades en cada punto de una misma sección transversal poseen un valor medio  $V$ , que se considera representativo de toda la sección y de dirección tangencial al eje de la vena.

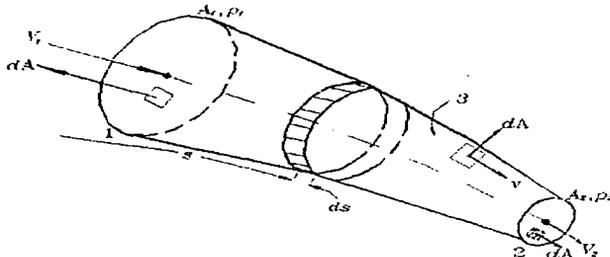


Figura 1.15. Ecuación de continuidad para una vena líquida.

Se considera el volumen elemental de líquido -mostrado en la figura- limitado lateralmente por la superficie que envuelve a la vena líquida, así como por dos secciones transversales normales al eje de la vena, separadas la distancia  $ds$ , donde  $s$  representa la coordenada curvilínea siguiendo el eje de la vena.

La cantidad neta de masa que atraviesa la superficie de frontera, del volumen elemental en estudio, es:

$$\left[ \rho VA + \frac{\partial(\rho VA)}{\partial s} ds \right] - \rho VA = \frac{\partial(\rho VA)}{\partial t} ds$$

y, la rapidez con que varía la masa dentro del mismo, es  $\partial(\rho VA ds)/\partial t$ . Por tanto, el principio de conservación de la masa establece que:

$$\frac{\partial(\rho VA)}{\partial s} ds + \frac{\partial}{\partial t}(\rho VA ds) = 0$$

Sin cometer prácticamente error se puede aceptar, en la mayoría de los problemas, que la longitud  $ds$  del elemento de volumen considerado, no depende del tiempo. Este puede salir de la derivada del segundo término de la ecuación anterior y simplificarse con el que aparece en el primero, de lo cual resulta:

$$\frac{\partial(\rho VA)}{\partial s} + \frac{\partial(\rho VA)}{\partial t} = 0 \quad (\text{a})$$

Recordando que  $\rho$ ,  $V$ ,  $A$  son funciones  $s$  y  $t$ , al desarrollar las derivadas parciales indicadas se obtiene:

$$\rho A \frac{\partial V}{\partial s} + \rho V \frac{\partial A}{\partial s} + VA \frac{\partial \rho}{\partial s} + \rho \frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

o bien, con  $V = ds/dt$ :

$$\rho A \frac{\partial V}{\partial s} + \rho \left( \frac{\partial A}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} \frac{\partial A}{\partial t} \right) + A \left( \frac{\partial \rho}{\partial s} + \frac{ds}{dt} + \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) = 0$$

Dividendo la ecuación anterior entre  $\rho A$  y recordando el desarrollo de la derivada total, resulta entonces:

$$\frac{\partial V}{\partial s} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = 0$$

que es la ecuación de continuidad para una vena líquida donde se produce un flujo no permanente y compresible. Un ejemplo clásico de su aplicación lo constituye el problema del golpe de ariete. En problemas de flujo no permanente a superficie libre (tránsito de ondas de avenida en canales y de mareas en estuarios), donde se considera que el líquido es incompresible, desaparece el último término de la última ecuación.

Si el escumamiento es permanente las derivadas con respecto a  $t$  que aparecen en la ecuación (a) se eliminan y esta ecuación resulta:

$$\frac{\partial(\rho VA)}{\partial s} = 0$$

o bien,

$$\rho VA = \text{constante}$$

Si, además, el fluido es incompresible:

$$VA = \text{constante}$$

Esto significa que es constante el gasto que circula por cada sección de la vena líquida en un flujo permanente; o bien, que para dos secciones transversales 1 y 2 de la misma, se cumple lo siguiente:

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

### Pérdidas

En ciertos problemas que involucran a los fluidos en la hidráulica, es necesario considerar los efectos viscosos y estudiar las fuerzas de fricción originadas por la turbulencia que acompaña al movimiento. Una parte de la energía de la corriente se utiliza para vencer las fuerzas de resistencia originadas por estos efectos o las debidas a cambios en la geometría de la conducción (cambios de dirección, ampliaciones, reducciones, etc.); también se utiliza en órganos de cierre (válvulas, compuertas, etc.) para regular el gasto.

Esa parte de la energía de la corriente se transforma en otro tipo de energía que en los problemas de hidráulica se considera como energía *perdida* en el movimiento y, por supuesto, es necesario determinar.

### Fórmula de Darcy-Weisbach

Para un flujo permanente, en un tubo de diámetro constante, la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía e inclinada en la dirección del movimiento. En 1850, Darcy, Weisbach y otros, dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular en un tubo la pérdida por fricción:

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

donde:

- $f$  factor de fricción, sin dimensiones
- $g$  aceleración de la gravedad, en m/seg<sup>2</sup>;
- $h_f$  pérdida por fricción, en m;
- $D$  diámetro, en m;
- $L$  longitud del tubo, en m;
- $V$  velocidad media, en m/seg.

El factor de fricción es función de la rugosidad  $\epsilon$  y del número de Reynolds  $R_n$  en el tubo, esto es:

$$f = f(\epsilon, R_n)$$

La fórmula de Darcy-Weisbach, se puede derivar por medio del análisis dimensional.

Si  $S_f$  representa la relación entre la pérdida de energía y la longitud del tubo en que ésta ocurre (*pendiente de fricción*), esta ecuación también es:

$$S_f = \frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g}$$

### Pérdidas locales

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas, generalmente, por cambios que se presentan en la geometría de la sección y de los distintos dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas). Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de fricción, localizadas en el sitio mismo del cambio de geometría o de la alteración del flujo. Tal tipo de pérdida se conoce como *pérdida local*. Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida; la fórmula general de pérdida local es:

$$h = K \frac{V^2}{2g}$$

donde:

- $h$  pérdida de energía, en m;
- $K$  coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo;

$V^2/2g$  la carga de velocidad, aguas abajo, de la zona de alteración del flujo (salvo aclaración en contrario) en m.

### Teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli, es la Ley Fundamental de la hidrodinámica.

La figura 1.16 muestra una porción de una corriente de un líquido confinada dentro de una tubería o conducto, y por consiguiente sujeta a presión que puede variar de sección a sección. Como el líquido no tiene fricción se puede considerar una condición ideal del escurrimiento, donde la turbulencia está ausente y cada partícula individual sigue un recorrido que es paralelo al de la partícula vecina.

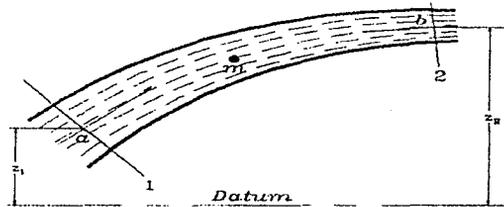


Figura 1.16. Paso de un líquido dentro de un conducto.

La figura 1.17 representa una masa elemental de líquido imaginario, situada momentáneamente en cualquier punto  $m$  de la línea de corriente  $ab$ .

Esta masa elemental tiene forma cilíndrica, y su eje es paralelo a la dirección del movimiento en ese punto. El área de su sección transversal es  $dA$ , y la longitud,  $ds$ , es igual a la distancia en que la masa se mueve en un tiempo  $dt$  segundos. Su velocidad instantánea,  $v$ , por consiguiente es igual a:

$$\frac{ds}{dt}$$

En un extremo la fuerza de presión ejercida por el líquido circundante es  $p dA$ , mientras que en el otro extremo es  $(p + dp) dA$ . La fuerza de presión contra sus lados actúa en una dirección normal a ellos y no tiene efecto sobre el movimiento. La acción de la gravedad sobre la masa es  $dA ds w$ , o  $dA ds g$ . Como la fuerza resultante en la dirección del movimiento debe ser igual al producto de la masa por la aceleración,  $a$ , en esa dirección, se tiene:

$$p dA - (p + dp) dA - dA ds g = dA ds a.$$

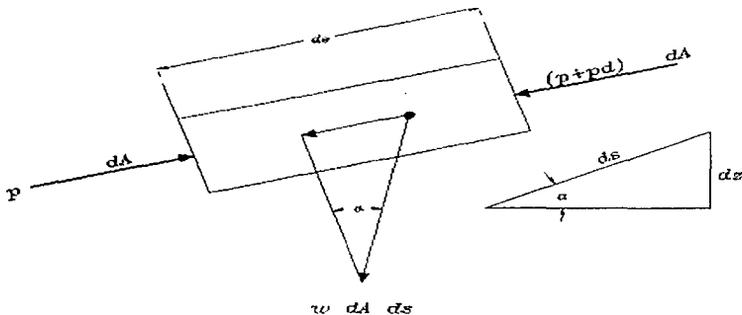


Figura 1.17. Masa elemental de un líquido imaginario.

De

$$v = \frac{dz}{dt}$$

$$v \, dv = \frac{dz}{dt} \, dv = a \, dz$$

y

$$a = v \frac{dv}{dz}$$

Sustituyendo este valor de a, simplificando y cambiando signos, la ecuación anterior produce la ecuación diferencial siguiente:

$$\frac{dp}{\rho} + g \, dz + v \, dv = 0$$

Si por  $\rho$  se sustituye  $\frac{w}{g}$

$$\frac{dp}{w} + dz + v \frac{dv}{g} = 0$$

Cada término separado puede integrarse entre los valores límites que la variable tiene conforme la masa se mueve desde la sección 1 hasta la sección 2 en la figura 1.16. De eso se tiene:

$$\frac{1}{w} \int_{p_1}^{p_2} dp + \int_{z_1}^{z_2} dz + \frac{1}{g} \int_{v_1}^{v_2} v \, dv = \frac{p_2}{w} - \frac{p_1}{w} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = 0$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} + z_2.$$

Esta expresión constituye el teorema de Bernoulli para un fluido incompresible (líquido). El teorema expresa que con un escurrimiento constante y con la fricción eliminada se tiene:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{w} + z = \text{una cantidad constante.}$$

en todos los puntos a lo largo del recorrido de una corriente. Cada uno de los tres términos representa una distancia *lineal*. El término  $\frac{p}{w}$ , es la carga correspondiente a la presión,  $p$ , y se conoce como *carga de presión*. El término  $z$  es simplemente la altura de la partícula arriba de *cualquier* plano de referencia que se considere, y se conoce como la *carga de elevación* o altura. A  $\frac{v^2}{2g}$  se le da el nombre de *carga de velocidad*, porque también representa una distancia.

$$(v^2 = \text{distancia}^2 : \text{tiempo}^2 ; g = \text{distancia} : \text{tiempo}^2 ; \text{en consecuencia } v^2/2g = \text{una distancia} )$$

La suma de las tres cargas se llama *carga total*,  $H$ .

En consecuencia, el teorema se puede expresar como sigue: *Con escurrimiento constante sin fricción, la suma de la carga de velocidad, la carga de presión y la carga de posición o altura es una cantidad constante a lo largo de cualquier línea de corriente.*

La figura 1.18 representa gráficamente el teorema. En las secciones (1) y (2) unos piezómetros, por medio de columnas, miden la presión *promedio* en estas secciones, la cual está en el *centroide* de la sección. Igualmente la elevación promedio de las partículas es cada sección es la elevación de la partícula en el centroide de la sección. Si ahora en cada sección el valor medio de  $\frac{v^2}{2g}$  se agrega o suma a la altura de la columna piezométrica, la suma de las tres cargas debe ser igual, e igual a  $H$  en las dos secciones.

Si el área de la sección transversal en (1) y (2) es de igual valor para que  $v_1$  y  $v_2$  sean iguales, puede advertirse por la figura que se logra una ganancia en elevación con una pérdida correspondiente de carga de presión. Similarmente, en una tubería *horizontal* o conducto, un incremento en la velocidad, producido por una reducción del área de la sección, producirá una pérdida de carga de presión. En otras palabras, cualquier cambio en una de las tres variables, produce un cambio en una o en las otras dos. Por supuesto, debe tenerse en cuenta que el efecto de la fricción ha sido despreciado y que la figura 1.18 únicamente representa relaciones *ideales*.

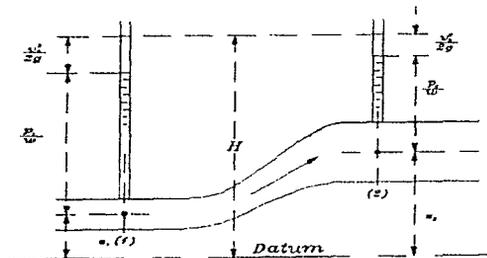


Figura 1.18. Representación gráfica del teorema de Bernoulli.

## CAPITULO 2

### TECNOLOGIA DISPONIBLE EN EL MERCADO

Al hablar con respecto a los sistemas de presión hidroneumáticos, nos percatamos de que a pesar de ser sistemas que no son muy recientes la literatura relativa al tema, no es fácil de encontrar, y en muchos casos, la información obtenida no tiene la actualidad como para ser aplicada a éstos tiempos modernos; más difícil aún, es conocer cuáles son las tecnologías disponibles y más modernas que se han aplicado últimamente a estos sistemas. Uno de los propósitos de este trabajo, es informar acerca de los distribuidores en nuestro país que manejan este tipo de sistemas, y sobre todo, conocer cuáles son las ventajas y desventajas que presentan, con la finalidad de escoger con facilidad la mejor opción que dé solución a las necesidades.

Los objetivos de este capítulo, son los siguientes: presentar las opciones de sistemas de presión hidroneumático, los cuales están disponibles en el mercado nacional; hacer una comparación de las tecnologías que diversos países ofrecen en sus modelos más recientes y comparar las ventajas y desventajas que éstos presentan con respecto a los sistemas de bombeo convencionales; indicar las modalidades con las cuales es sencillo escoger un sistema de presión hidroneumático, sobre todo para usos residenciales y en aquellos que no requieren de una elevada carga de presión por tener un reducido número de muebles y aparatos sanitarios (como escuelas, condominios pequeños, oficinas, etc.); presentar los diversos tipos y formas que actualmente tienen los sistemas hidroneumáticos, cotejar sus capacidades y niveles de operación, y obtener las formas de operación, control y mantenimiento que estos sistemas requieren, para poder dar un funcionamiento óptimo.

#### 2.1. Sistemas hidroneumáticos convencionales

Los sistemas hidroneumáticos convencionales, son sistemas de presión constante, utilizables en el hogar, industria, comercio, etc. En forma somera podemos dividirlos en dos tipos: los que utilizan tanques horizontales y los que utilizan tanque verticales. La diferencia más marcada entre estos dos, es la capacidad de agua que pueden admitir cada uno de ellos, ya que los tanques horizontales, tienen capacidades de agua mucho mayores que las de los tanques verticales.

Los sistemas de presión hidroneumática convencionales, constan de un depósito regulador (cisterna) de donde la bomba toma el agua para la impulsión. También constan del cuadro eléctrico, de las electrobombas y de un depósito de presión de pequeña capacidad.

La razón de todos estos elementos se fundamenta en que no es conveniente que el agua se tome directamente de la acometida mediante una bomba, por si existen cortes de agua o impulsiones que puedan provocar una depresión. Para ello se coloca el depósito regulador de toma (cisterna) que debe

tener unos volúmenes máximos y mínimos que detecta la bomba y la entrada del agua desde el distribuidor. Las bombas, en el caso de que se instalen más de una, pueden ser de diferentes tipos:

Volumétricas: a) Alternativas. b) Rotativas

o

Centrifugas: a) Monocelular. b) Multicelular

Su elección se realiza mediante el estudio de las curvas características de gasto de impulsión y de la altura manométrica

Por regla general, en edificios plurifamiliares o de relativa importancia, es indispensable la instalación de varias bombas que vayan alternando su funcionamiento, así como tener preparada una reserva para caso de avería. Estas se conectan con el grupo hidroneumático a presión.

El tanque de presión es un elemento que regula al consumo de agua ya que la almacena en su interior, de esta forma se consigue que la bomba no precise ponerse en marcha cada vez que se requiera algo de gasto en una llave.

En la figura 2.1 se muestra un esquema de los sistemas convencionales de tanques hidroneumáticos

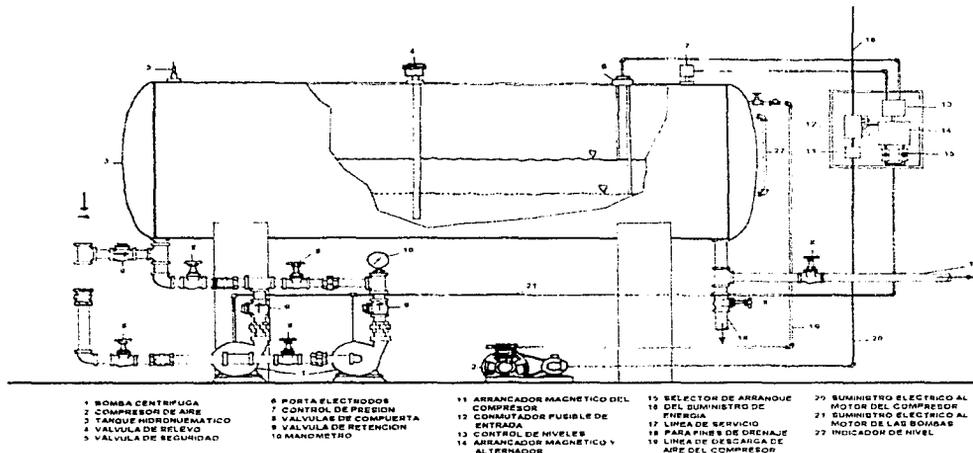


Figura 2.1. Sistema hidroneumático convencional horizontal.

Como ejemplo de equipo hidroneumático convencional, a continuación se describen las características de uno de ellos, tomadas del catálogo de la empresa "CINE, S.A."

- Elimina las variaciones de presión en la línea de servicio.

- Es un equipo totalmente automático.
- Da una respuesta inmediata a la demanda.
- Cuenta con un Alternador-Simultaneador para uniformizar el uso de las bombas y suplir la demanda máxima.
- Tiene una protección completa del equipo contra bajo nivel en cisterna, corto circuito y sobrecarga.
- Da un menor número de arranques y por lo tanto un menor consumo de energía.
- El nivel de Aire-Agua es constante en el tanque.

Los sistemas hidroneumáticos de la compañía CINE, tienen un tablero de control, el cual cuenta con las siguientes características:

- Tiene un gabinete metálico con puerta y chapa, protegido para exteriores.
- Los controles son totalmente alambrados en planta y fáciles de identificar.
- Sus relevadores y partes son fáciles de sustituir en caso de descompostura (100% nacionales).
- Tienen un selector de operación manual fuera-automático.
- El transformador de control cuenta con fusibles.
- Cuentan con luz piloto para cada motor.
- Cuentan con equipo de medición (opcional), y alarma de fase (opcional).

Los tanques hidroneumáticos de la Marca Barnes contienen una Bomba Tipo Inyector de 2 tubos paralelos. Esta bomba pertenece a la serie "U" de la "Universal Pumps" para 1/3 ó 1/2 H.P. y 68.5 ó 160 litros de capacidad en el tanque.

La marca BARNES tiene las siguientes especificaciones para las Bombas Tipo Inyector de 2 tubos paralelos:

**Bomba:** impelente cerrado de bronce, con sello de hule neopreno en forma de "U" que evita la recirculación. Está acoplada directamente al motor (sin cople rígido).

**Inyector:** de bronce; válvula de pie también de bronce.

**Motor:** tipo capacitor marca "G.E." de 50 ciclos (2500 R.P.M.) ó 60 ciclos (3450 R.P.M.) monofásico, con dos baleros. Flecha de acero inoxidable. Los motores de 1/3 H.P. y 1/2 H.P. son para 115 volts, de 3/4 H.P. y 1 H.P. para 115/230 volts (voltaje dual).

En el cuadro 2.1 se presentan los modelos de bombas de la marca BARNES para pozo somero ó cisternas hasta 6 metros usando sólo tubo de succión.

Cuadro 2.1. Bombas Barnes para pozos someros o cisternas.

Modelo 100B de 1 HP. 50 ciclos (sin inyector)			
Succión desde la bomba al nivel del agua	Presión de descarga		
	10 metros	15 metros	17.5 metros
Capacidad en litros/hora			
2.1 metros	7000	5200	3500
3.2 metros	4800	4500	3200
4.3 metros	3800	3800	2860
Modelo 100A de 1 HP. 60 ciclos (sin inyector)			
Succión desde la bomba al nivel del agua	Presión de descarga		
	14 metros	21 metros	25 metros
3.0 metros	8300	6200	4150
4.6 metros	5700	5300	3785
6.1 metros	4550	4550	3400

En el cuadro 2.2 se presentan los pesos de los sistemas de tanque hidroneumático.

Cuadro 2.2. Pesos de los sistemas hidroneumáticos marca "Barnes".

	kgs neto	kgs bruto
* Sin tanque:	25	30
* Con tanque:	46	61
	81	103
	81	103
	104	115

La bomba y el compresor de estos sistemas se controlan automáticamente por medio de control eléctrico, el cual provee aire al tanque a medida que lo necesite y en igual forma el agua por medio de la bomba.

En el cuadro 2.3 se presentan las dimensiones de los tanques de presión hidroneumáticos estándar de la Marca "Universal".

Cuadro 2.3. Dimensiones de los tanques hidroneumáticos "Universal".

Dimensiones: diámetro por altura (m)	Capacidad (m)	Peso (kgs)
0.304 x 0.914	68	22
0.406 x 1.220	159	36
0.508 x 1.524	310	63
0.609 x 1.524	454	98
0.762 x 1.830	833	179
0.914 x 1.830	1192	229
0.914 x 3.050	1987	305

Las principales características de estos tanques son las siguientes:

- Se pueden utilizar para una presión máxima de trabajo de 5.25 kg/cm<sup>2</sup> (75 lbs/pulg<sup>2</sup>).
- Se les realizó una prueba hidrostática hecha a 10.5 kg/cm<sup>2</sup> (150 lbs/pulg<sup>2</sup>).
- Cada tanque vertical tiene una abertura para supercargador de 38 mm de diámetro (1 1/4")
- Si la presión estática de la bomba excede de 5.25 kg/cm<sup>2</sup>, ó si usa compresor para la alimentación de aire, se requiere el empleo de una válvula de alivio, modelo No. 39.

- Pueden ser galvanizados o negros.

La compañía "Jacuzzi" tiene a disposición, el "Cargador Automático Jet" modelo 225A, el cual sirve para mantener el aire dentro de los tanque de presión hidroneumático.

El "Cargador Jet" está diseñado especialmente para mantener la relación correcta de aire y agua dentro del tanque de presión. Cuando el nivel de agua en el tanque de presión está por encima de la entrada del Cargador Jet, éste funcionará en conjunto con la bomba para rellenar nuevamente el colchón de aire. Cuando la bomba arranca, se crea un área de presión baja en la succión de la bomba por medio del impulsor rotatorio. La presión en el tanque excede ahora a las fuerzas de succión de la bomba, para fluir a través del cargador venturi. Resulta entonces un vacío parcial, el aire es atraído al interior a través de la válvula de entrada y dentro del cuerpo del cargador. Un deflector hace que el agua fluya hacia abajo de la paredes del cargador, separando al agua del aire.

Mientras el aire se acumula dentro del cargador, el nivel de agua baja hasta que la válvula de flotación cierra, de esta manera se hace que el flujo de agua se detenga entre el tanque y la bomba antes de que el aire pueda ser atraído dentro de la entrada de la succión de la bomba.

Con la válvula flotadora cerrada, el aire en el Cargador Jet es comprimido a la misma presión del tanque de presión y permanece así hasta que la bomba se detiene. Cuando esto sucede, la presión en la entrada de la succión de la bomba llega a ser igual a la de la presión del tanque, la válvula flotadora se levanta y el agua fluye desde el tanque a la bomba, y termina dentro del Cargador Jet. El aire acumulado en el cargador es entonces así forzado hacia fuera y dentro del tanque de presión.

Con cada ciclo de bombeo, ésta acción es repetida hasta que la presión suficiente es transferida dentro del tanque para permitir al nivel del agua en el tanque estar ligeramente abajo de la entrada del Cargador Jet en su presión de encendido. El Cargador Jet automáticamente empieza nuevamente a administrar aire cuando el nivel del agua del tanque se eleva por encima de la entrada del Cargador Jet.

En el cuadro 2.4 se presenta una tabla que se utiliza para seleccionar el supercargador de aire "Jacuzzi" de las series 225.

Cuadro 2.4. Supercargadores de aire Jacuzzi series 225.

Interruptor de presión adaptado a los siguientes límites (en kgs)	Capacidad del tanque, en litros.									
	160	310	455	545	680	830	1190	2000	3800	5700
	Modelo para el Super-Cargador									
1 40 - 2 80 (20-40)	225 A					225 B			225 C	
2 10 - 3 50 (30-50)	225 A			225 B			225 C			
2 80 - 4 20 (40-60)	225 A		225 B			225 C		DOS - 225 C		*
3 50 - 5 00 (50-70)	225 A		225 B			225 C		DOS - 225 C		*

Los supercargadores y los tanques hidroneumáticos estándar, se diseñan para una presión máxima de trabajo de 5 30 kg/cm<sup>2</sup> (75 lbs). Se recomienda una válvula de alivio de tamaño correcto en ó cerca del tanque, en caso de que la bomba sea capaz de desarrollar una presión estática mayor que 5.30 kg/cm<sup>2</sup>.

En la figura 2.2 se muestra un tipo de sistema hidroneumático que utiliza supercargadores.

## 2.2. Operación de los sistemas convencionales

Las dos actividades más importantes en la operación de los sistemas convencionales de tanques hidroneumáticos son: la puesta en servicio y el paro del sistema.

La entrada en funcionamiento y paro de la bomba se efectúan mediante un *prestató* de alta y baja, regulado en el punto más alto.

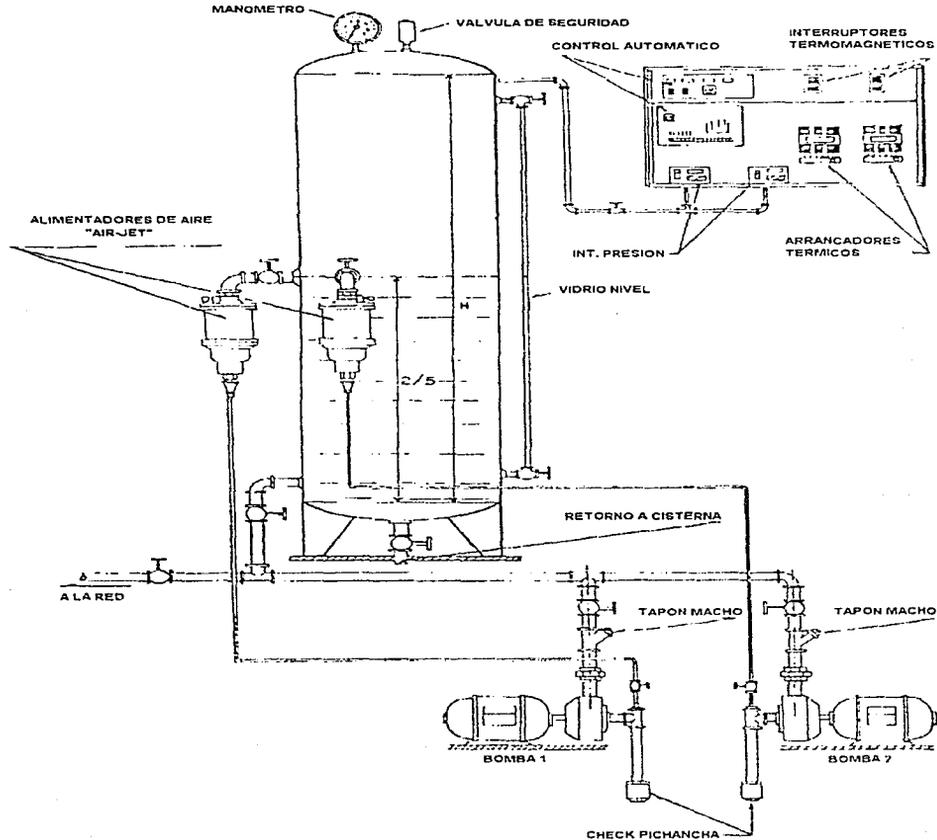


Figura 2.2. Sistema hidroneumático mediante supercargadores.

Cabe mencionar que en la actualidad el supercargador está entrando es desuso.

La presión de paro de la bomba es la presión máxima a que está sometido el tanque, y por consiguiente su máximo volumen al mismo tiempo que el máximo volumen del líquido almacenado dispuesto para resistir.

La bomba no entra en funcionamiento hasta que vuelve a recibir la orden del *preestado* de baja, que será indudablemente, cuando el tanque haya restituido el líquido almacenado, estando él mismo con la mínima presión.

Los tanques vienen en la mayoría de los casos cargados de gas, que puede ser nitrógeno u oxígeno (aire comprimido) y para el llenado y vaciado llevan una válvula debidamente protegida.

Otros llevan compresor o inyector de aire y suelen tener manómetros y válvulas de seguridad para más de 100 litros.

Para poner en servicio un sistema hidroneumático de gran capacidad (hoteles, oficinas, plantas de tratamiento de aguas, etc.), deben seguirse los pasos siguientes para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro:

- Poner en funcionamiento el compresor, accionando el interruptor a posición de *arranque* para dar presión "con aire" al tanque.
- Conectar las bombas accionando un interruptor a posición de *arranque* para impulsar el agua al tanque y llenarlo hasta una medida de 3/4 de su contenido (esta medida es variable).
- Abrir las válvulas de entrada de agua y aire al tanque, girando los volantes de los mismos en el sentido indicado para que entre la presión de aire y el agua.
- Abrir la válvula de suministro de agua a la instalación de la edificación, girando el volante en el sentido indicado, para que salga la presión de aire y cantidad de agua necesarias.
- Observar en el indicador de nivel del hidroneumático, la cantidad de agua y de aire que contiene, para esto, es necesario leer en el manómetro la presión, la cual está expresada (en la mayoría de los casos) en lb/in<sup>2</sup>.
- Cuando el manómetro señale baja presión, (es decir menos de 1/4 de lo normal), deben encenderse los compresores de aire, accionando un interruptor a posición de *arranque* para restituir esta presión.
- Cuando el aire sobrepasa la presión, se debe accionar la válvula de salida que se encuentra en la parte superior del tanque del hidroneumático, girando el volante de la válvula en el sentido indicado.
- Encender las bombas que impulsan el agua para completar el nivel del tanque que es 3/4 de su capacidad.

Para poner fuera de servicio un sistema de tanque hidroneumático de manera satisfactoria, será necesario seguir las siguientes indicaciones:

- Desconectar el compresor accionando un interruptor a posición de *paro* para que no entre el aire en el tanque de presión.
- Accionar el interruptor de las bombas a posición de *paro*, para detener el funcionamiento de éstas.
- Cerrar las válvulas de entrada de aire y de agua al tanque accionando los volantes de las mismas en el sentido indicado en ellas.
- Cerrar la válvula de salida de agua al sistema, accionando el volante de la válvula en el sentido indicado.

### 2.3. Sistemas hidroneumáticos con tanque de membrana

Los sistemas hidroneumáticos que cuentan con tanque de membrana, son aquellos en los cuales la entrada en funcionamiento y parada de la bomba, se efectúa mediante un *preestato* de alta y baja, regulado en el punto más alto.

La presión de parada de la bomba es la presión máxima a que está sometido el tanque, y consiguientemente el máximo volumen del tanque, y por ello, el máximo volumen del líquido almacenado dispuesto para resistir.

La bomba no entra en funcionamiento hasta que vuelve a recibir la orden del preestato de baja, que será, indudablemente cuando el tanque haya restituido el líquido almacenado, estando el mismo con la mínima presión.

Los tanques vienen en la mayoría de los casos cargados de gas, que puede ser nitrógeno u oxígeno (aire comprimido) y para el llenado y vaciado, llevan una válvula debidamente protegida.

Las etapas básicas del funcionamiento de los tanques de membrana (las cuales se pueden apreciar en la figura 2.3), son las siguientes:

1. Cuando se supera la presión mínima, el agua entra al tanque.
2. La membrana sube mientras aumenta la presión del gas.
3. Al llegar la presión al máximo valor, se detiene la entrada del agua y ésta queda almacenada con la presión suficiente.
4. La presión del gas fuerza al agua a salir del tanque al momento de una demanda.

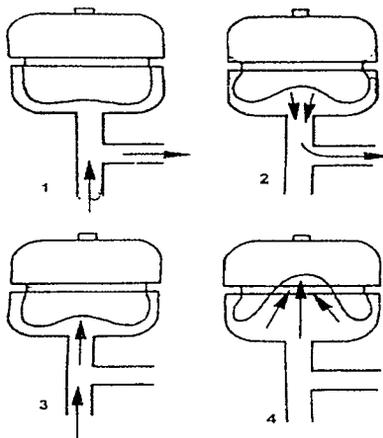
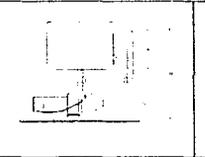


Figura 2.3. Etapas del funcionamiento de los tanques de membrana.

## Equipos hidroneumáticos para uso residencial

La compañía Impel-Myers manufactura los equipos que se muestran en el cuadro 2.5.

Cuadro 2.5. Paquetes de tanques hidroneumáticos Impel-Myers.

						
PAQUETE No.	1		2		3	
MODELO	HR50S-H30G		HR50S-MIL5		HR75S-MPD36	
PRESION DE ARRANQUE	1.4 kg/cm <sup>2</sup> (20 PSI)		1.4 kg/cm <sup>2</sup> (20 PSI)		-	
PRESION DE PARO	2.8 kg/cm <sup>2</sup> (40 PSI)		2.8 kg/cm <sup>2</sup> (40 PSI)		-	
GASTO (con 1 50 m de succion)	1.4 kg/cm <sup>2</sup> 2.1 kg/cm <sup>2</sup> 2.8 kg/cm <sup>2</sup> 4.2 kg/cm <sup>2</sup>	55 lpm 55 lpm 37 lpm -----	55 lpm 55 lpm 37 lpm -----	55 lpm 55 lpm 37 lpm -----	88 lpm 88 lpm 73 lpm 47 lpm	
MODELO DE BOMBA	HR50S		HR50S		HR75S	
POTENCIA	0.5 HP		0.5 HP		0.75 HP	
VOLTAJE			127 volts			
VELOCIDAD			3450 rpm			
DIAMETRO SUCCION			32 mm (1 1/4" NPT			
DIAMETRO DESCARGA	19 mm (3/4" NPT		19 mm (3/4" NPT		25 mm (1" NPT	
TIPO DE MOTOR			ABIERTO APG			
MODELO TANQUE	H30G		MIL-5		MPD-36	
TIPO DE EQUIPO	C/INYECTOR DE AIRE		DIAFRAGMA		DIAFRAGMA	
CAPACIDAD TOTAL	110 lts		17 lts.		135 lts	
DESPLAZAMIENTO DE AGUA ENTRE PARO Y ARRANQUE (1.4 A 2.3 kg/cm <sup>2</sup> )	Aprox. 38 lts		5.7 lts		50.5 lts	
DIMENSIONES (cm)						
A	92.3		37.3		82.8	
B	-----		-----		5.70	
C	40.6		28.8		50.8	
D	76.0		67.0		116.0	
PESO (Aproximado)	40 kg		24 kg		46 kg	
MATERIALES CONSTRUCCION BOMBA			Hierro Gris			
CUERPO			Lexan		Bronce	
IMPULSOR			Carbon/Cerámica			
SELLO MECANICO						
MATERIAL TANQUE	Acero Galvanizado		Acero con camisa plastica vulcanizada en la zona hidraulica			
INTERRUPTOR DE PRESION			Incluido			

\* Este equipo puede ser ajustado a 2.1 - 4.2 kg/cm<sup>2</sup> (30-50 PSI)

Cortesía de Impel-Myers U S A

La principal característica de los tanques mostrados en el cuadro 2.5, es la incorporación de una nueva tecnología, que consiste en un diafragma dentro del tanque, por lo que a este modelo, se le ha llamado "Tanque de Diafragma", el cual tiene entre sus principales características las siguientes:

- Un tanque de acero extra-ligero con recubrimiento epóxico para alta resistencia a la corrosión.

- Una válvula reemplazable de carga de aire que es colocada convenientemente y además es flexible para proporcionar una operación fácil y segura.
- Un Diafragma de Butyl, flexible y resistente, para asegurar la operación del tanque en todo el rango de presión.
- Un sello del Diafragma, con un retén de fijación en forma de argolla para asegurar una separación total entre el agua y el aire.
- Un recubrimiento de plástico interior vulcanizado en la zona hidráulica, para brindar una protección efectiva contra la oxidación.
- Una base hecha de material de alto impacto, diseñada para dar fuerza y estabilidad. Esta puede girar para dar una alineación fácil con la tubería de conexión.

Todos los tanques pueden usarse hasta 80°C. La presión máxima de trabajo no debe exceder los 7 kg/cm<sup>2</sup> (100 psi) y debe instalarse una válvula de alivio calibrada a 6 kg/cm<sup>2</sup> (80 psi)

### Tamaño apropiado del tanque de presión

Para determinar un tamaño apropiado de un tanque de diafragma presurizado, puede usarse la siguiente fórmula:

$$\frac{l/s \text{ Bomba} \times \text{Tiempo mínimo de carrera}}{\text{Multiplicador de la diferencia de niveles}} = \text{Tamaño del tanque de diafragma}$$

donde:

- l/s Bomba, es el gasto en l/s de una bomba.
- TIEMPO MINIMO DE CARRERA es el lapso que se requiere para que la bomba opere mientras se rellena el tanque de presión. IMPEL-MYERS recomienda al menos 1 minuto (60 segundos) de tiempo mínimo de carrera.
- MULTIPLICADOR DE LA DIFERENCIA DE NIVELES es un número obtenido del CUADRO DE VOLUMEN DEL MULTIPLICADOR DE LA DIFERENCIA DE NIVELES (cuadro 2.6) comparando el encendido del tanque de presión y el corte de presión.

Por ejemplo si el sistema enciende la bomba cuando la presión del tanque indica 1.4 kg/cm<sup>2</sup> y se cierra cuando ésta alcanza 2.8 kg/cm<sup>2</sup>, entonces el MULTIPLICADOR DE LA DIFERENCIA DE NIVELES es 0.35 (cuadro 2.6).

Para seleccionar un tanque para una bomba de 0.7 l/s con 1 minuto (60 segundos) de tiempo mínimo de carrera y un rango de presión de 1.4-2.8 kg/cm<sup>2</sup>, la fórmula quedaría como sigue:

$$\frac{0.7 \text{ l/s} \times 1 \text{ minuto (60 seg) de tiempo mínimo de carrera}}{0.35 \text{ diferencia de niveles}} = 120 \text{ litros. Tamaño del tanque de diafragma}$$

Usando el cuadro 2.7 puede seleccionarse el tanque que es más cercano en tamaño (normalmente se usa el tamaño siguiente más grande). Para este ejemplo el MPD36, un tanque de 136 litros con una diferencia de niveles de 50.5 litros, sería la selección correcta. La diferencia de niveles de 50.5 litros, significa que cuando el tanque está lleno, se tiene esa cantidad de agua disponible antes de que la presión del tanque indique 1.4 kg/cm<sup>2</sup> y enciende la bomba para rellenar el tanque.

Cuadro 2.6. Volumen del multiplicador de la diferencia de niveles (aproximada)

PRESION DEL TANQUE AL PARO DE LA BOMBA kg/cm <sup>2</sup> (KPa)	PRESION DEL TANQUE AL ARRANQUE PSI (KPa)					
	0.70 (69)	1.41 (138)	2.11 (207)	2.81 (278)	3.51 (345)	4.22 (414)
1.4 (138)	0.26					
2.1 (207)	0.41	0.20				
2.8 (276)	0.51	0.35	0.17			
3.5 (345)	0.57	0.42	0.29	0.14		
4.2 (414)	0.61	0.49	0.37	0.25	0.12	
4.9 (483)	0.65	0.54	0.43	0.32	0.22	0.10
5.6 (552)	0.68	0.58	0.52	0.39	0.29	0.19
6.3 (612)	0.70	0.61	0.56	0.44	0.35	0.26

Cuadro 2.7. Diferencia de niveles, dimensiones y pesos.

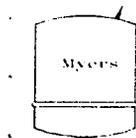
MODELO NO.	VOLUMEN (en litros)	DIFERENCIA DE NIVELES (en litros)			PRÉCARGA PRESURIZADA kg/cm <sup>2</sup>	DIMENSIONES (en cm)			PESO (kg)
		1.41- 2.81 kg/cm <sup>2</sup>	2.11- 3.52 kg/cm <sup>2</sup>	2.81- 4.22 kg/cm <sup>2</sup>		A	B	C	
MIL2	7.6	2.8	2.3	----	1.41	32	----	21	2.0
MIL5	17.4	5.7	5.3	----	1.41	37	----	28	3.4
MIL7	27.7	9.5	7.9	----	2.11	53	----	28	4.8
MIL14	53.0	19.8	16.3	14.1	2.11	54	----	39	10.0
MPD14	53.0	19.8	16.3	14.1	2.11	62	5.6	39	11.4
MPD20	76.0	28.1	23.5	20.5	2.11	82	5.6	39	13.6
MPD36	136.0	50.5	42.2	36.8	2.11	80	5.6	50	20.0
MPD52	197.6	72.9	61.2	53.2	2.81	97	5.6	58	35.0
MPD86	325.0	120.0	101.0	87.0	2.81	149	5.6	60	45.0
MPD119	450.0	167.0	140.0	122.0	2.81	194	5.6	60	73.0

Conexión de la serie MIL, 3/4" Macho.  
 Conexión MPD14, 20, 36 1" Hembra.  
 Conexión MPD52, 86 1 1/4" Hembra.

NOTA: Todos los tanques pueden ser usados arriba de los 82° C  
 LA MAXIMA PRESION DE TRABAJO ES DE 7.03 kg/cm<sup>2</sup>  
 NOTA: Instálase una válvula de alivio de presión en cualquier instalación  
 donde la presión de la bomba pueda exceder la presión máxima del tanque

MODELO NO.	VOLUMEN (en litros)	DIFERENCIA DE NIVELES (en litros)			PRÉCARGA PRESURIZADA kg/cm <sup>2</sup>	DIMENSIONES (en cm)				PESO (kg)
		1.41-2.81 kg/cm <sup>2</sup>	2.11-3.52 kg/cm <sup>2</sup>	2.81-4.22 kg/cm <sup>2</sup>		A	B	C	D	
MPDH7	27.7	9.5	7.9	----	2.11	32	53	28	31	7.3
MPDH14	53.0	19.8	16.3	14.1	2.11	43	54	39	35	11.6
MPDH20	76.0	28.1	23.5	20.5	2.11	43	68	39	35	13.6

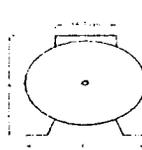
Conexión MPDH7, 3/4" Macho  
 Conexión MPDH14, 20, 1" Hembra



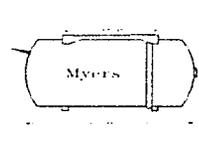
Serie MIL



Serie MPD



Serie MPDH



Serie MPDH

Dimensiones de los tanques Impel-Myers.

Como se puede ver, un tanque más grande da más diferencia de niveles, lo cual significa que se tendrá mayor cantidad de agua disponible antes de que la bomba sea requerida. Esto puede ser de suma importancia si la instalación se ubica en un área que está sujeta a frecuentes cortes del suministro de energía eléctrica. Un tanque más grande también puede significar que la bomba tendrá un ciclo (de apagado y de encendido) menor y operará por periodos de tiempo más largos, lo cual añadirá tiempo de vida a la bomba.

La figura 2.4 muestra la operación de los tanques de diafragma

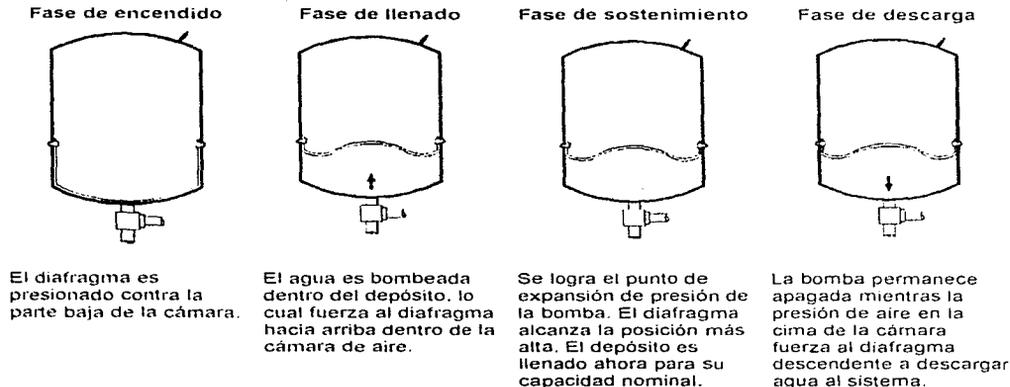


Figura 2.4. Fases de operación de los tanques de diafragma. Cortesía de Impel-Myers.

El cuadro 2.8 presentan las equivalencias entre diferentes modelos de sistemas de tanques hidroneumáticos.

Cuadro 2.8. Tabla de equivalencia entre tanques hidroneumáticos de membrana y convencionales.

MYERS	WELL-X-TROL	A. O. SMITH	STA. RITE	CLAYTON MARK	AQUATROL	CONVENCIONAL*
MIL2	WX101	V-6P	N/D	N/D	IL-2	22 86 litros
MIL5	WX102	V-15P	N/D	JPT14	IL-5	41 90 litros
MIL7	WX103	V25P	CA-15	JPT27	IL-7	80 00 litros
MIL14	WX200	V-45P	N/D	N/D	IL-14	160 00 litros
MPD14	WX 201	V-45	N/D	30-01	FSD-14	160 00 litros
MPD20	WX202	V-60	CA-42	42-02	FSD-20	160 00 litros
MPD36	WX203	V-100	CA-82	80-03	FSD-36	312 38 litros
MPD52	WX251	V-200	N/D	120-04	FSD-52	457 14 litros
MPD86	WX252	V-260	CA-120	170-45	FSD-96	838 09 litros
MPDH7	WX103PS	N/D	N/D	N/D	FSD-7H	80 00 litros
MPDH14	N/D	N/D	N/D	30-12H	FSD-14H	160 00 litros
MPDH20	N/D	N/D	N/D	40-17H	FSD-20H	160 00 litros

N/D No disponible.

\*Instalación a la atmósfera estandar

El cuadro 2.9 muestra una tabla de selección de los tanque de diafragma presurizados que manufactura la compañía Impel-Myers

Cuadro 2.9 Tabla de selección tanques de diafragma Impel-Myers.

Capacidad de la bomba (en lpm)	Establecimiento del interruptor de presión (kg/cm <sup>2</sup> )								
	1.41 - 2.81			2.11 - 3.52			2.81 - 4.22		
	Tiempo mínimo de carrera de la bomba								
	1 min.	1 ½ min.	2 min.	1 min.	1 ½ min.	2 min.	1 min.	1 ½ min.	2 min.
9.50	MPD14	MPD14	MPD14	MPD14	MPD14	MPD20	MPD14	MPD20	MPD20
19.0	MPD14	MPD20	MPD36	MPD20	MPD36	MPD36	MPD20	MPD36	MPD52
26.6	MPD20	MPD36	MPD52	MPD36	MPD36	MPD52	MPD36	MPD52	MPD52
38.0	MPD36	MPD52	MPD86	MPD36	MPD52	MPD86	MPD52	MPD86	MPD86
45.6	MPD36	MPD52	MPD86	MPD52	MPD86	MPD86	MPD52	MPD86	MPD119
57.0	MPD52	MPD86	MPD86	MPD52	MPD86	MPD119	MPD86	MPD86	MPD119
76.0	MPD86	MPD86	MPD119	MPD86	MPD119	MPD86*	MPD86	MPD119	MPD86*
95.0	MPD86	MPD119	MPD86*	MPD86	MPD86*	MPD86*	MPD119	MPD119	MPD119
114.0	MPD86	MPD86*	MPD86*	MPD119	MPD86*	MPD119*	MPD119	MPD86*	MPD119*
133.0	MPD119	MPD86*	MPD119*	MPD119	MPD86*	MPD119*	MPD86*	MPD119*	MPD86**

\* Se requieren 2 tanques  
 \*\* Se requieren 3 tanques.

De la figura 2.5 a la figura 2.9 se muestran las instalaciones típicas de los tanques MPD de la compañía Impel-Myers.

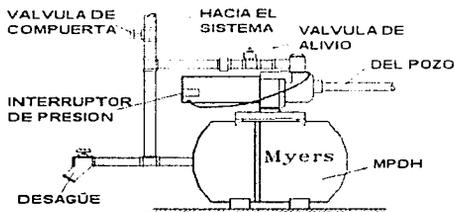


Figura 2.5. Bomba Jet con tanque MPDH.

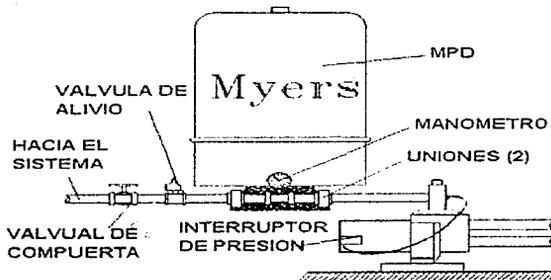


Figura 2.6. Bomba Jet montada sobre base.

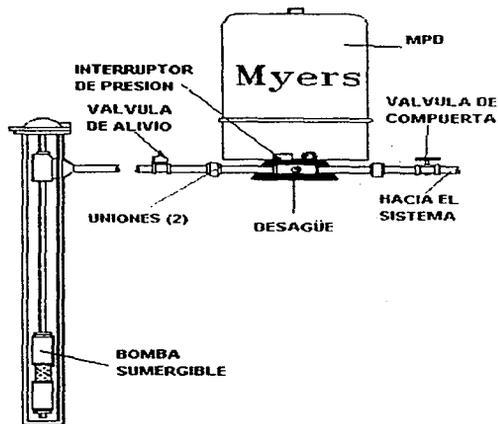


Figura 2.7. Bomba Sumergible.

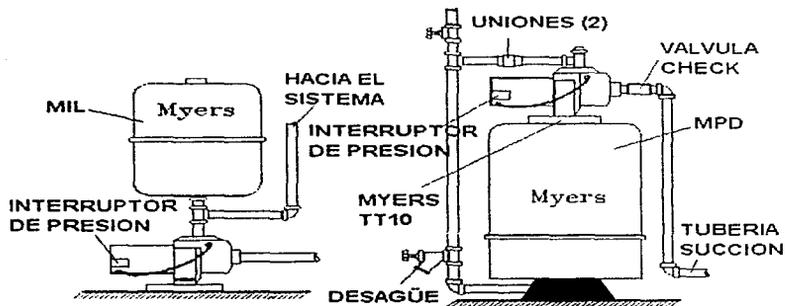


Figura 2.8. Bomba Jet con tanque MIL y Jet montada sobre tanque.

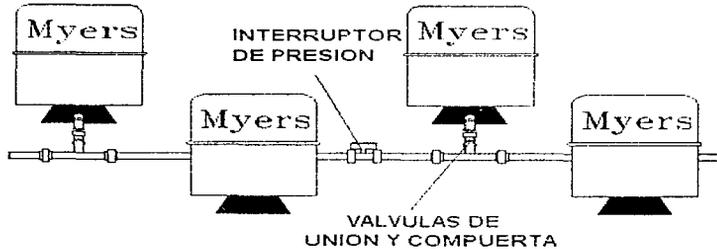
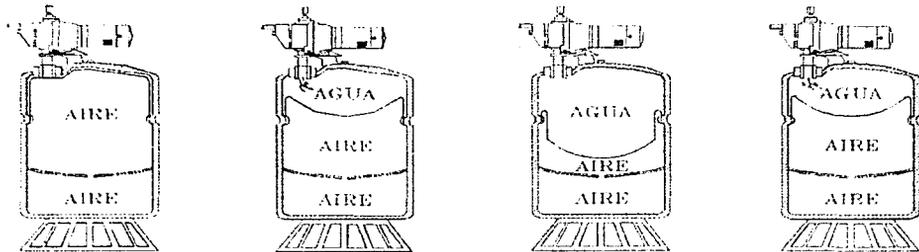


Figura 2.9. Instalación típica de MPD múltiple.

La Compañía Impel-Myers también ha desarrollado la tecnología "Aqua-Air", cuyas características se muestran en la figura 2.10.



1. El tanque tiene una cámara de aire separada que es presurizada antes de salir de la fábrica. El aire y el agua nunca se mezclarán. El sistema nunca fallará por falta de aire.
2. Cuando la bomba arranca, el agua entra al tanque al tiempo que la presión del sistema pasa a la presión mínima. Esta es la capacidad del agua del tanque.
3. Cuando la presión en la cámara de aire alcanza la presión máxima del sistema, la bomba para.
4. Cuando el agua es requerida, la presión en la cámara de aire empuja el agua hacia la instalación.

Figura 2.10. Tanques hidroneumáticos por el sistema "Aqua-Air". Cortesía de Impel-Myers U.S.A.

Los tanques tipo Aqua-Air tienen un diafragma interno sellado de hule-butyl que separa permanentemente la cámara de aire del agua. El aire y el agua nunca se pueden mezclar. La cámara de aire está presurizada antes de que el tanque salga de la fábrica. El diafragma mantiene la cámara de aire permanentemente presurizada, del tal forma que el tanque no necesita recargarse nunca y de esta manera no fallará por falta de aire. Esto asegura larga vida al motor y al interruptor de presión. Debido a que el diafragma se flexiona (no se contrae) éste nunca se desgasta. El tanque Aqua-Air suministra el gasto máximo con un rendimiento igual al de un tanque regular de aproximadamente el doble de tamaño. Una de las mejores características de este sistema es que es sin conexiones o tuberías externas en el tanque. Las unidades Goulds Aqua-Air son fáciles de instalar y ahorran espacio.

Entre los productos de la compañía Impel-Myers, también es conveniente mencionar las Bombas Jet para pozos llanos de 1/3 y 1/2 HP Modelo J de la marca Goulds, cuyas conexiones se presentan en el cuadro 2.10

Cuadro 2.10. Conexiones para pozos someros.

HP	1/3		1/2	
	FH3	Presión alta FH3H	FH5	Presión Alta FH5H
Adaptador	4K62	4K62	4K62	4K62
Ensamble boquilla	AN015	AN016	AN017	AN019
Difusor	AD3726	AD3524	AD3731	AD3528

**Sistemas Pozo Somero Marca "Goulds"**

- A. J03NS y J05NS bomba básica.
- B. J03AS y J05AS tanques horizontales de 45.5 litros (12 galones).
- C. J03ES y J05ES tanques horizontales de 113.5 litros (30 galones).
- D. J03WS bomba Aqua-Air 1/3 HP Series J con tanque Aqua-Air. El volumen del tanque es de 7.6 litros (2 galones).
- E. J05XS bomba Aqua-Air 1/2 HP Series J con tanque Aqua-Air. El volumen del tanque es de 17 litros (4.5 galones).
- F. J03KS y J05KS bomba 1/3 ó 1/2 HP Series J con tanque Aqua-Air. El volumen del tanque es de 52.6 litros (13.9 galones).
- G. J03LS y J05LS bomba 1/3 ó 1/2 HP Series J con tanque Aqua-Air. El volumen del tanque es de 75.5 litros (19.9 galones).

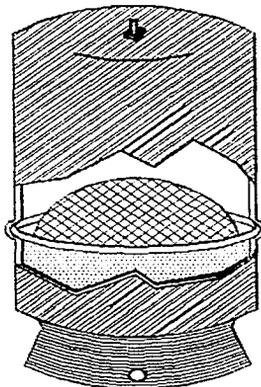


Figura 2.11. Tanque de diafragma (cortesía de Impel-Myers U.S.A.).

La Compañía "EVANS", ofrece también equipos hidroneumáticos, entre los cuales cuenta con tanques presurizados, pero con la modalidad de que la membrana es intercambiable.

Los tanques de membrana Evans están diseñados con sistemas CAD/CAM, y son fabricados empleando robots y dispositivos automáticos.

Las características principales que presenta esta compañía en sus modelos, son las siguientes:

- Se tiene una amplia sección de capacidades desde 8 hasta 500 litros.
- Se cuenta con diseños fuertes, de dos piezas (embutidos profundos).
- Cuentan con membrana intercambiable de hule butyl o hule natural.
- Presentan una separación permanente entre el agua y el aire.
- Diseños compactos para ahorrar espacios.
- Son ligeros y fáciles de instalar.
- Son probados y recargados de fábrica.
- Tienen una presión máxima de trabajo de  $8.10 \text{ kg/cm}^2$ .

Las ventajas que proporciona esta compañía en sus modelos son las siguientes:

- Mantener el agua potable, protegiéndola de todo contacto con partes metálicas.
- Se evita la corrosión al no haber contacto agua-metal.
- Elimina el control del volumen y cargador de aire del sistema convencional.
- La elasticidad de la membrana asegura una excelente descarga de agua con los más altos y variados rangos de presión.
- Aseguran un ciclo de agua más largo, incrementando la vida de la bomba, el motor y el interruptor.
- Son libres de mantenimiento, ya que contienen un cojin permanente de aire.
- Su diseño es compacto, ocupa espacios mucho menores al sistema convencional.

En el cuadro 2.11 se presentan las especificaciones generales de los modelos de tanques hidroneumáticos fabricados por la compañía EVANS.

Usando el cuadro 2.12, se puede seleccionar un tanque apropiado fácilmente para bombas de medidas estándar, con flujos promedio de las bombas en litros por minutos, funcionando con rangos estándares de presión de  $1.4\text{-}2.8 \text{ kg/cm}^2$ ,  $2.1\text{-}3.5 \text{ kg/cm}^2$ , ó  $2.8\text{-}4.2 \text{ kg/cm}^2$ , con tiempos mínimos de carrera ya sean de 1, 1.5 ó 2 minutos.

Como ejemplo podemos mencionar que si un sistema consiste de una bomba con flujo promedio de 30 LPM en el rango de presión de  $2.1\text{-}3.5 \text{ kg/cm}^2$  y un tiempo de carrera mínimo de 1 minuto, requerirá un tanque de 100 litros, (modelos EQAFH100 ó EQAFV100).

Cuadro 2 11 Especificaciones generales de los tanques hidroneumáticos de la Compañía "Evans".

	MODELO	CAPACIDAD (m <sup>3</sup> )	DIMENSIONES (en cm)			DA TUB. FLG. IPT.	PESO (kg)	VOL. (m <sup>3</sup> )	DESCARGA DEL TANQUE EN LITROS PARA VARIOS RANGOS DE PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )								
			DIA.	LONG.	ALT.				14.22	14.35	14.42	21.35	21.42	21.49	28.35	28.49	
									14.22	14.35	14.42	21.35	21.42	21.49	28.35	28.49	
EN LINEA	EOXCA	30	204	214	315	34"	25	0.075	30	37	43	25	32	38	22	28	
	EOXC8	150	270	250	425	34"	36	0.060	67	83	97	56	77	85	49	63	
	EOXCE	240	360	370	355	34"	45	0.070	93	115	135	78	100	118	68	88	
	EOXCE	360	400	410	400	34"	70	0.070	130	161	189	108	140	165	95	123	
	EOXCE	510	400	410	520	T	114	0.100	185	230	270	165	200	235	135	175	
	EOXVD	510	400	410	590	T	120	0.110	185	230	270	165	200	235	135	175	
	EOXVD	600	400	410	690	T	132	0.140	227	276	324	186	240	282	162	210	
	EOXVD	600	400	410	835	T	132	0.130	246	328	402	248	310	375	216	280	
	EOXVDC	1000	500	510	790	T	227	0.222	370	460	540	310	405	470	270	350	
	EOXVDC	4700	500	510	1000	114"	273	0.270	555	690	810	450	570	675	405	525	
VERTICAL	EOXVD	2200	650	610	1010	114"	360	0.400	740	900	1050	620	800	940	540	700	
	EOXVD	3100	650	650	1235	114"	420	0.520	1110	1360	1620	920	1200	1410	810	1050	
	EOXVD	5100	775	735	1400	114"	700	0.650	1850	2300	2700	1550	2000	2360	1360	1750	
	HORIZONTAL	EOXES	50	270	490	290	34"	45	0.040	93	115	135	78	100	118	68	88
		EOXHD	600	400	405	490	T	132	0.140	222	276	324	186	240	282	162	210
		EOXHD	1200	500	500	585	T	227	0.220	370	460	540	310	400	470	270	350
		EOXHD	2000	600	595	655	114"	300	0.240	740	900	1050	620	810	940	540	700
		EOXHD	3000	600	1135	705	114"	420	0.250	1110	1360	1620	920	1200	1410	810	1050
		% DE DESCARGA DEL TANQUE								3%	4%	5.6%	3%	4%	4%	2%	3%

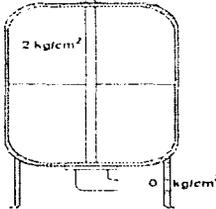
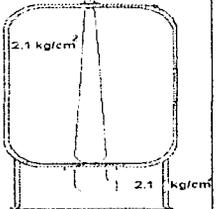
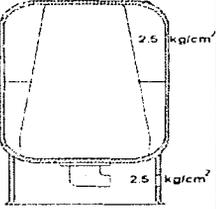
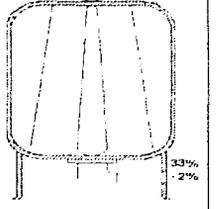
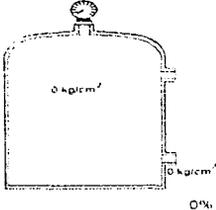
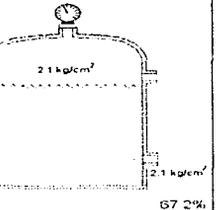
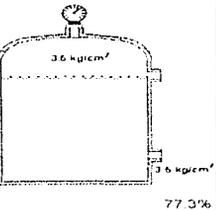
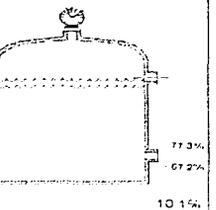
Cuadro 2 12 Selección del tanque presurizado "Evans" en función del flujo de la bomba

FLUJO PROMEDIO DE LABORADA (en lpm)	RANGOS DEL TIEMPO DE PRESIÓN (en minutos)								
	141-281			211-352			281-422		
	10	15	20	10	15	20	10	15	20
10	25	50	50	35	30	60	35	60	80
20	50	60	100	60	100	150	60	100	150
30	60	100	150	100	150	200	100	150	200
40	100	150	200	150	200	300	150	200	300
50	150	200	300	150	200	300	200	300	300
75	200	300	500	200	300	500	300	500	600
100	300	500	500	300	500	600	300	600	600
125	300	500	600	500	600	600	500	600	900
150	500	600	600	500	600	1000	600	900	1200
200	500	900	1000	600	1000	1200	600	1000	1500
250	600	1000	1500	900	1000	1500	900	1500	2000
300	900	1200	1500	1000	1500	2000	1200	1500	2000
350	1000	1500	2000	1200	1500	2000	1500	2000	2500
400	1000	1500	2000	1200	2000	2000	1500	2000	3000
500	1500	2000	2500	1500	2000	3000	2000	3000	3000

\* ESTAS CAPACIDADES SE LOGRAN CON VARIOS TANQUES DE 300 ABSOLUTOS

En el cuadro 2.13 se presenta un diagrama de comparación entre los tanques presurizados de membrana intercambiable de la compañía EVANS y los tanques galvanizados convencionales que se han venido utilizando. En esta comparación, el sistema opera en un rango de presión de 2.1-3.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Cuadro 2.13. Tabla de comparación entre tanques presurizados y tanques galvanizados convencionales.

CONDICIONES INICIALES	CONDICIONES DE ARRANQUE DE LA BOMBA	CONDICIONES DE PARO DE LA BOMBA	DESCARGA ENTRE EL PARO Y ARRANQUE DE LA BOMBA
 <p>2 kg/cm<sup>2</sup> 0 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>0%</p> <p>% DE AGUA EN EL TANQUE</p>	 <p>2.1 kg/cm<sup>2</sup> 2.1 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>2%</p> <p>% DE AGUA EN EL TANQUE</p>	 <p>2.5 kg/cm<sup>2</sup> 2.5 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>33%</p> <p>% DE AGUA EN EL TANQUE</p>	 <p>33% 2% 31%</p> <p>EFF. DEL TAN. PRESURIZ.</p>
 <p>0 kg/cm<sup>2</sup> 0 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>0%</p> <p>% DE AGUA EN EL TANQUE</p>	 <p>2.1 kg/cm<sup>2</sup> 2.1 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>17.2%</p> <p>% DE AGUA EN EL TANQUE</p>	 <p>3.6 kg/cm<sup>2</sup> 3.6 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>77.3%</p> <p>% DE AGUA EN EL TANQUE</p>	 <p>77.3% 67.2% 10.1%</p> <p>EFF. DE TANQUE GALVAN.</p>

En el ejemplo del Cuadro 2.13 se observa que para un rango de presión de 2.1-3.5 kg/cm<sup>2</sup> un tanque galvanizado de 100 litros descarga 10 litros, mientras que un tanque presurizado descarga 31 litros, es decir más del triple que un tanque convencional. En otras palabras, si se requiere una descarga de 31 litros, se puede usar un tanque presurizado de 100 litros, mientras que para utilizar un tanque convencional, se necesita que éste sea de más de 300 litros.

En el cuadro 2.14 se presenta una tabla de comparación entre los tanque galvanizados y los tanque presurizados de membrana intercambiable EVANS, en relación con su capacidad y sus rangos de presión máxima y mínima del interruptor.

La compañía "EVANS" también tiene en existencia, equipos hidroneumáticos de la marca "VALSI", los cuales tienen las mismas características y ventajas mencionadas anteriormente. En el cuadro 2.15 se incluye una tabla que sirve para encontrar el modelo más adecuado para muchos de los usos más comunes (como casas, condominios, etc.), con la cual, la obtención de la bomba es mucho más sencilla si se tiene bien determinado, el número de baños que se encuentran en el inmueble.

En el cuadro 2.16, se incluye una tabla que determina el conjunto "bomba(s)-tanque(s)", con la cual es fácil, después de haber obtenido el modelo de la bomba, encontrar el tanque más apropiado para el servicio en que se va a aplicar.

Cuadro 2.14. Tabla de comparación de tanques galvanizados y tanques presurizados de membrana intercambiable.

CAPACIDAD EN LITROS DE TANQUE GALVANIZADO CONVENCIONAL	RANGOS DE PRESION MINIMA DEL INTERRUPTOR (kg/cm <sup>2</sup> )								CAPACIDAD EN LITROS DE TANQUE PRESURIZADO EVANS
	1.41	1.41	1.41	2.11	2.11	2.11	2.81	2.81	
	RANGOS DE PRESION MAXIMA DEL INTERRUPTOR (kg/cm <sup>2</sup> )								
	2.81	3.51	4.22	3.51	4.22	4.92	4.22	4.92	
80 0	12 0	15 2	17 6	8 0	10 4	12 0	5 6	7 2	
	9.3	11.5	13.5	7.8	10.0	11.8	6.8	8.8	25.0
113 6	17 0	21 6	25 0	11 4	14 8	17 0	7 9	10 2	
	13.0	16.1	18.9	10.9	14.0	16.5	9.5	12.3	35.0
160 0	23 8	30 2	35 0	15 9	20 7	23 8	11 1	14 3	
	18.5	23.0	27.0	15.5	20.0	23.5	13.5	17.5	50.0
200 0	30 0	38 0	44 0	20 0	26 0	30 0	14 0	18 0	
	22.2	27.6	32.4	18.6	24.0	28.2	16.2	21.0	60 0
250 0	37 5	47 5	55 0	25 0	32 5	37 5	17 5	22 5	
	29.6	36.8	43.2	24.8	32.0	37.6	21.6	28.0	80 0
310 4	46 6	59 0	68 3	31 0	40 3	46 6	21 7	27 9	
	37.0	46.0	54.0	31.0	40.0	47.0	27.0	35.0	100 0
454 2	68 1	86 3	99 9	45 4	59 0	68 1	31 8	40 9	
	55.5	69.0	81.0	46.5	60.0	70.5	40.5	52.5	150 0
605 0	90 8	115 1	133 2	60 6	78 7	90 8	42 4	54 5	
	74.0	92.0	108.0	62.0	80.0	94.0	54.0	70.0	200 0
1000 0	150 0	190 0	220 0	100 0	130 0	150 0	70 0	90 0	
	111.0	138.0	162.0	93.0	120.0	141.0	81.0	105.0	300.0
1500 0	225 0	285 0	330 0	150 0	195 0	225 0	105 0	135 0	
	185.0	230.0	270.0	155.0	200.0	235.0	135.0	175.0	500.0

EFF T PRESS	37%	46%	54%	31%	40%	47%	27%	35%
EFF T GALV	15%	19%	22%	10%	13%	15%	7%	9%
FACTOR MULTIP	2.45			3.10			3.87	

La compañía "Barnes de México, S.A. de C.V." ofrece también equipo para instalaciones de sistemas hidroneumáticos. La "electrobomba inyectora BARNES" en su serie *Jet-Jb* es adecuada para estos sistemas.

Los sistemas de equipos hidroneumáticos integrados de la compañía BARNES, presentan las siguientes ventajas:

- No requieren del control de volumen de aire.
- El agua no está en contacto con el tanque, eliminando la posible contaminación del agua.
- Son compactos y silenciosos.
- Cada equipo es probado en fábrica.
- Se surten totalmente armados, incluyendo manómetro e interruptor de presión.

Las características más sobresalientes de estos equipos hidroneumáticos, son las siguientes:

- Tienen cuerpo, acoplamiento e inyector fabricados en hierro fundido clase 30 A.
- El impulsor y el difusor son fabricados en material Noryl, altamente resistente a la abrasión debido a su diseño que permite pasar el líquido libremente aumentando la eficiencia.

Cuadro 2.15 Selección de la bomba según el tamaño del inmueble. Equipos hidroneumáticos Valsi

MODELO BOMBA			JS1ME025	JS1ME050	JS2ME075	JS2ME100	3CME100	MC2ME100	3CME150	MC2ME150	3ME200	MT1A300	MT1A800	5ME750
Casas	TIPO DE VIVIENDA													
	Pantallas													
	1	1/2	■											
	1	2	■											
	1	3 1/2		■										
	1	5			■									
	2	2 1/2		■										
	2	3 1/2			■									
2	5				■									
Condominios	Pantallas	Depos.	Baños											
	1	2	1		■									
	1	4	1			■								
	2	4	1				■							
	2	8	1					■						
	3	10	1						■					
	3	12	1							■				
	4	16	1								■			
	4	32	1									■		
	4	64	1										■	
	2	8	2						■					
	3	12	2								■			
4	16	2									■			
4	32	2										■		
4	35	2											■	
Oleas y Colegios	Pantallas	Depos.	Muebles											
	2	12	Lavabo							■				
	2	16	WC con								■			
	2	24	vidriada									■		
3	16	Flujo										■		
3	24	reto											■	

ESTA TABLA CUBRE EL 90% DE LAS APLICACIONES MAS COMUNES, OTRAS APLICACIONES REQUERIRAN DE UN ESTUDIO ADICIONAL.

Cuadro 2.16 Conjuntos bomba(s)-tanques(s)

MODELO TANQUES BOMBAS	EQAC25	EQAC50	EQAF100	EQAF100	EQAFV100 EQAFH100	EQAFV150	EQAFV200	EQAFV300	EQAFV500	EQAFV1000 (2)	EQAFV2000 (3)	EQAFV5000 (4)	EQAFV5000 (5)	EQAFV5000 (6)	RANGO MAXIMO DE OPERACION (kg/cm <sup>2</sup> )
JS1M/E025	A	B													141-281
JS1M/E50		A	B	C											211-352
JS2M/E75				A	B	C									211-352
JS2M/E100					A	B	C								281-422
30M/E100							A	B	C						141-281
MC8M/E100							A	B	C						141-281
30M/E150								A	B	C					211-352
MC8M/E150								A	B	C					211-352
31M/E200									A	B	C				211-352
MT1A300									A	B	C				211-352
MT1A500										A	B	C			281-422
51M/E750												A	B	C	281-422

A) SERVICIO LIGERO.- CASA DE CAMPO, COMPLEJO DE RECREO, ETC.

B) SERVICIO NORMAL.- VIVIENDAS URBANAS.

C) SERVICIO PESADO.- ESCUELAS, INDUSTRIAS, ONES, CUARTELES, ETC.

(2), (3), Y (4) INDICAN EL NUMERO DE TANQUES NECESARIOS.

DUPLEX.- CUANDO UN EQUIPO SE INSTALA EN VIVIENDAS MULTIPLES O USOS PESADOS, SE SUGIERE COLOCAR DOS BOMBAS Y UN CONTROL ELECTRONICO QUE ALTERA LA MARCHA DE LAS BOMBAS, ESTO PROLONGA LA VIDA DE LOS MOTORES CONSIDERABLEMENTE ADEMAS DE OFRECER UN RESPALDO POR CUALQUIER FALLO DE UNO DE LOS MOTORES O BOMBAS.

- Sello mecánico de cerámica parte estacionaria, carbón parte rotatoria, cuenta con resorte de acero inoxidable
- Motor de operación en 60 ciclos, 3450 rpm, monofásico, tipo capacitor con protección térmica. Los motores de 1/2 HP trabajan en 115 Volts, los de 3/4 y 1 HP trabajan en 115/230 volts.
- La bomba cuenta con tapones para el interruptor de presión, manómetro, cebamiento y drenado.

En el cuadro 2.17 se presenta la tabla de selección para los sistemas hidroneumáticos integrados manufacturados por la compañía Barnes, y en el cuadro 2.18 se muestra la tabla de rendimiento de las bombas inyectoras serie JB que acompañan a los equipos hidroneumáticos. Para la selección del equipo, se recomienda hacerlo dependiendo del gasto requerido en horas pico, además de que la bomba trabaje 30 segundos como mínimo en cada ciclo, esto con la finalidad de enfriar al motor de la bomba

Cuadro 2.17. Sistemas hidroneumáticos integrados Barnes.

MODELO	H.P.	CAPACIDAD DEL TANQUE		AGUA DISPONIBLE POR CICLO AJUSTADO @ 1.41-2.81 kg/cm <sup>2</sup>		AGUA DISPONIBLE POR CICLO AJUSTADO @ 2.11-3.52 kg/cm <sup>2</sup>		EQUIVALENTE A TANQUE GALVANIZADO	
		LTS.	GALS.	LTS.	GALS.	LTS.	GALS.	LTS.	GALS.
JB50-JR2503	1/2	32	8.5	12	3.1	10	2.6	68	18
JB50-PC44	1/2	53	14.0	20	5.2	16	4.3	114	30
JB50-PC66	1/2	76	20.0	28	7.4	23	6.2	159	42
JB75-PC66	3/4	76	20.0	28	7.4	23	6.2	159	42
JB75-PC111	3/4	121	32.0	45	11.8	37	9.9	303	80
JB100-PC111	1	121	32.0	45	11.8	37	9.9	303	80
JB100-PC144	1	167	44.0	62	16.3	51	13.6	454	120
JB100-PC211	1	235	62.0	87	22.9	73	19.2	680	180

Cuadro 2.18. Tabla de rendimiento de las bombas inyectoras serie JB Barnes.

MODELO	H.P.	METROS DE SUCCION	PRESION DE DESCARGA EN kg/cm <sup>2</sup> Y GASTO EN LITROS POR MINUTO					PRESION AL CIERRE kg/cm <sup>2</sup>	SUCCION Y DESCARGA mm	PESO (kgs)
			1.41	2.11	2.81	3.52	4.22			
JB50	1/2	1.5	43	41	36	26	74	31.75 X 19.05	27	
		4.5	33	32	30	21	69			
		7.6	21	21	20	16	65			
JB75	3/4	1.5	75	74	73	68	24	65	31.75 X 19.05	28
		4.5	59	57	56	54	20	60		
		7.6	37	36	35	33	16	55		
JB100	1	1.5	89	89	88	88	59	70	31.75 X 25.40	30
		4.5	69	69	68	68	53	65		
		7.6	44	44	43	43	39	58		

"Barnes de México", también tiene disponible en el mercado, la "electrobomba centrífuga serie NB", que es adecuada para el uso de sistemas hidroneumáticos.

En la figura 2.12 se presenta la Curva de Rendimiento de la bomba centrífuga serie NB a 3450 revoluciones por minuto. La prueba se realizó con agua, gravedad específica 1.0 @ 20° C (68° F), otros líquidos pueden variar el rendimiento.

En el cuadro 2.19, se muestra la tabla de los diferentes modelos y especificaciones de la bomba centrífuga serie NB.

Las características de la bomba son las siguientes:

**Succión:** 3.18 cm (1-1/4") N.P.T. Horizontal  
**Descarga:** 2.54 cm (1") N.P.T. Vertical  
**Cuerpo:** Hierro Gris, A.S.T.M. A-48, Clase 30  
**Acoplamiento:** Hierro Gris, A.S.T.M. A-48, Clase 30  
**Taponos de cebado:** Galvanizados  
**Impulsor:** *DISEÑO:* 6 venas, del tipo cerrado, perfectamente balanceado, libre de obstrucción.  
*MATERIAL:* Thermax® con inserto de acero inoxidable.

**Sello:** *DISEÑO:* Tipo mecánico lubricado por agua.  
*MATERIAL:* Cerámica parte estacionaria, anillo de carbón y sello de exclusión parte rotatoria. Elastómero de Buna-N. Resorte de Acero Inoxidable

**Motor:** Se ensamblan a motores monofásicos (1 fase) arranque por capacitor y trifásicos (3 fases). Los motores monofásicos cuentan con baleros de bolas auto lubricados en ambos extremos. Flecha tratada térmicamente contra la oxidación.

Cuadro 2.19. Bomba centrífuga serie NB.

MODELO	H.P.	FASES	VOLTAJE	MAXIMO AMPERAJE	PESO (kgs)
NB50	0.50	1	115	10.9	18
NB75	0.75	1	115/220	14.2/7.0	20
NB100	1.00	1	115/220	14.7/8.0	25
NB100-3	1.00	3	220/440	4.2/2.1	25
NB150	1.50	1	115/220	20.4/10.2	25
NB200	2.00	1	115/220	24.0/12.0	25
NB200-3	2.00	3	220/440	6.5/3.2	25

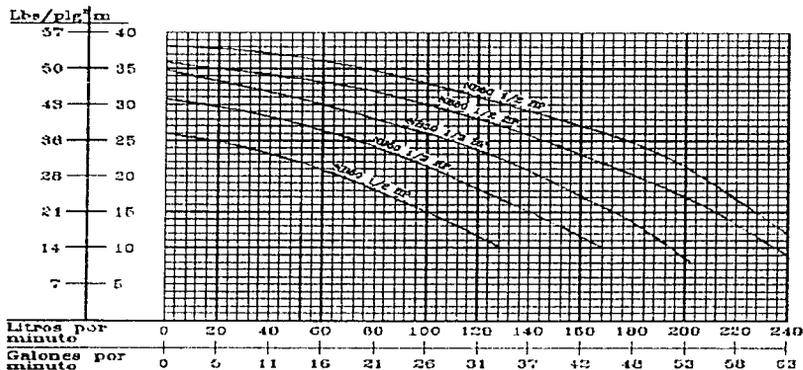


Figura 2.12. Curva de rendimiento de la bomba centrífuga serie NB.

#### 2.4. Operación de los sistemas con tanque de membrana

1. Cuando la bomba empieza a funcionar, no entra el agua en el recipiente hasta que se supera una presión mínima (o baja), ya que antes debe superar la que inicialmente pone el gas almacenado en el tanque.

2. A medida que el agua va entrando en el tanque, la membrana empieza a subir y la presión del gas aumenta de forma considerable.

3. Cuando la presión llega al máximo valor que tiene previsto como alimentación de la red, el prestatario hace parar automáticamente la entrada de agua a la bomba y queda almacenada agua a presión suficiente.

4. En el momento de la apertura de una llave, la presión de gas de detrás de la membrana fuerza al agua a salir del recipiente.

El funcionamiento en los casos 1, 2 y 3 se realiza con la red cerrada, así no se pierde rendimiento bomba.

Es importante tener en cuenta que la elección del sistema de sobreelevación del agua, en caso de inexistencia de presión, puede condicionar toda la distribución general del edificio.

No es lo mismo disponer de agua constante de la red pública, que poderla utilizar de un suministro propio.

En nuestro medio, el segundo caso es el más común, por lo que podría garantizarse el suministro de agua mediante su extracción de una cisterna o pozo por medio de una bomba de elevación que, o bien alimente un depósito con suficiente altura para garantizar la mínima columna de agua en todos los puntos interiores de consumo, o bien alimente un depósito de regulación desde el que se impulse el agua mediante un grupo de presión tradicional.

Asimismo es muy importante conocer las necesidades reales del suministro que se va a efectuar, el gasto preciso y la altura manométrica (presión) necesaria en cada caso.

Es frecuente que en edificios de gran altura, la ubicación de un solo grupo de presión haga inoperante la instalación, ya que hay que considerar que el agua, debe salvar la altura real más las pérdidas de carga producidas por rozamiento, y debe respetar unas presiones máximas en su impulsión, que pueden ser en algunos casos excesivas para otros puntos de la instalación que se esté realizando.

Parecería en principio absurdo tener que colocar un grupo de impulsión y a la vez válvulas reductoras en algunas derivaciones, por ello es recomendable un coherente estudio de las necesidades, y la subdivisión de las unidades de impulsión por zonas independientes para garantizar el mejor funcionamiento de todo el conjunto.

## CAPITULO 3

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE TANQUE HIDRONEUMÁTICO

El diseño de un sistema de presión hidroneumático, consiste en determinar las características que deben tener principalmente el tanque y el equipo de bombeo, así como en determinar los niveles de operación de éstos elementos.

En este capítulo, se presentan algunos criterios de diseño y determinación de las características del equipo a utilizar en estos sistemas. Para los edificios pequeños que no requieren una gran carga de presión, la determinación de los niveles de operación del equipo se puede realizar mediante el uso de tablas y gráficas. Sin embargo, para edificaciones donde sí es necesaria una gran carga de presión, la determinación del equipo y sus niveles de operación, es muy recomendable hacerla mediante el uso de métodos matemáticos, para que la operación del sistema hidroneumático, sea lo más eficiente posible.

La selección del equipo para un sistema hidroneumático involucra los siguientes puntos:

- a). determinación del gasto máximo instantáneo ( $Q_{mi}$ );
- b). selección de la capacidad del equipo de bombeo;
- c). determinación de las presiones máxima y mínima requeridas en el tanque; y
- d). selección conveniente del tamaño del tanque y establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.

#### 3.1. Determinación del gasto máximo instantáneo

El gasto máximo instantáneo es el mayor caudal que se demanda en cualquier sección de la instalación en cualquier momento del día. Cabe mencionar que el gasto máximo instantáneo no es igual a la suma de los gastos demandados por todos los muebles y aparatos sanitarios de la edificación, o muy difícilmente los será.

Existen diferentes métodos para poder realizar el cálculo del gasto máximo instantáneo: empíricos, probabilísticos, y el alemán de la raíz cuadrada. Dependiendo del criterio del proyectista, éste utilizará aquél que considere más conveniente para cada caso en particular.

### 3.2. Selección del equipo de bombeo

Existe un método para determinar, en forma preliminar, la capacidad conveniente de una bomba para un sistema de presión hidroneumático, el cual puede usarse antes de realizar un cálculo minucioso de la instalación hidráulica, a manera de anteproyecto.

Este método es por medio de la aproximación. Se basa en una estimación del consumo en los periodos de demanda pico, basada en registros de instalaciones similares. En el cuadro 3.1 se presenta la Tabla de Factor de Consumo de Agua, en la que el uso específico de varios muebles de plomería ha sido despreciado y cada mueble es considerado meramente como una unidad. De esta manera, el método de factor simplifica la selección de una bomba con capacidad suficiente para suministrar satisfactoriamente los requerimientos de consumo máximo o pico de un sistema de suministro.

El cuadro 3.1 está basado en el "método de factor" y ha sido calculado para usos directos con conexiones adicionales.

Cuadro 3.1 Tabla de Factor de Consumo de Agua.

Para el uso de estas tablas, debe determinarse el número exacto de muebles de todos los tipos que serán abastecidos por el sistema de agua. Esta tabla da la capacidad de la bomba deseada en litros/segundo cuando se multiplica por el factor apropiado indicado en las tablas.							
Edificios públicos. Factores en litros/segundo por mueble.							
Tipo de edificio	Número de muebles						
	hasta 30	31-75	76-150	151-300	301-600	601-1000	más de 1000
Edificios de departamentos	0.0347	0.0259	0.0208	0.0177	0.0158	0.0151	0.0063
Hoteles comerciales, Clubes	0.0505	0.0379	0.0303	0.0265	0.0227	0.0221	0.0145
Hospitales	0.0568	0.0480	0.0397	0.0341	0.0284	0.0252	0.0215
Edificios de oficinas	0.0631	0.0505	0.0410	0.0347	0.0284	0.0221	0.0240
Escuelas	0.0757	0.0568	0.0473	0.0404	0.0328	.....	0.0170
Edificios mercantiles	0.0757	0.0606	0.0492	0.0416	0.0341	0.0303	.....

#### Granjas

Los sistemas hidroneumáticos también pueden ser utilizados en granjas, donde se les dé un uso importante para la cría de ganado o para las hortalizas.

Número de muebles	Factor en l/s por mueble*
más de 5	0.1262
6-10	0.1073
11-18	0.0883
más de 18	0.0757

\* Estos factores están basados en el supuesto de que los requerimientos moderados de agua para el ganado, las aves de corral y los aspersores del sistema de riego, son satisfechos en otros periodos diferentes a los de la demanda pico para el consumo doméstico. Si se anticipa que las demandas grandes para el ganado, las aves de corral y los aspersores son esenciales, especialmente durante los periodos de demanda pico para uso doméstico, entonces las correcciones para la capacidad de la bomba añadidas, pueden ser hechas mediante la referencia de los requerimientos de agua y los consumos de agua. Un sistema exitoso de agua es aquél en donde la capacidad de la bomba está ligeramente excedida con relación a la proporción de consumo de agua durante periodos de demanda pico.

**Requerimientos auxiliares**

- (1) Se debe agregar el 20% de la capacidad de la bomba para todos los edificios donde la mayor proporción de ocupantes son mujeres.
- (2) Debe agregarse para cada instalación el 10% de la capacidad de la bomba cuando las albercas o lavanderías deban ser abastecidas a través de un sistema de presión.
- (3) En el caso de requerirse un abastecimiento extra de agua para procesos especiales, debe añadirse al menos dos veces la cantidad promedio necesaria a la capacidad de la bomba para tomar precauciones de la demanda pico.

**Determinación de las presiones de la bomba**

Los requerimientos de presión de un sistema hidroneumático, se definen mediante los siguientes pasos.

1. Determinar la carga estática, en metros, desde la fuente de abastecimiento del edificio hasta el mueble más desfavorable.
2. Calcular la pérdida de energía, en metros, a través de la línea de tubería, incluyendo pérdidas en la succión y en la descarga, válvulas y accesorios (ver cuadro 3.2).
3. Establecer los requerimientos mínimos de presión en el mueble más desfavorable (generalmente  $0.3 \text{ kg/cm}^2$ ). Si el mueble más desfavorable es una válvula de fluxómetro se requiere una presión mayor para una operación apropiada, ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ).
4. Establecer el diferencial de presión deseado (normalmente  $1.4 \text{ kg/cm}^2$ ), aunque diferenciales mayores pueden contribuir a una eficiencia mayor del sistema y deberá revisarse para determinar el mejor valor aceptable.
5. Protección contra incendio. Cuando el sistema considera capacidad para el combate de incendios, es deseable mantener una presión mínima de  $2.8 \text{ kg/cm}^2$  en el tanque, aún cuando los cálculos indiquen que una presión menor es adecuada para requerimientos domésticos.

Para entender mejor este procedimiento, se realizará un ejemplo en el cual se usarán los puntos vistos anteriormente.

**Ejemplo 3.1**

Determinar los requerimientos para la instalación de un sistema de presión hidroneumático en el sótano de una preparatoria. El origen del abastecimiento es un pozo profundo localizado adyacente al edificio de la escuela.

El agua para un total de 50 muebles de todos tipos y una piscina, será abastecida por el sistema. La carga estática desde el tanque de presión hasta el mueble más desfavorable es de 12.80 metros y la pérdida por fricción a través de la tubería es de 4.88 metros. La carga dinámica total desde el nivel de agua en el pozo hasta el tanque de presión es de 32 metros. La presión mínima requerida en el mueble más desfavorable es de 3 metros ( $0.3 \text{ kg/cm}^2$ ) y el diferencial de operación deseado para el sistema es de 14 metros ( $1.4 \text{ kg/cm}^2$ ).

Solución.

Para determinar la capacidad de la bomba:

Con referencia al cuadro 3.1:  $50 \times 0.0568$ .....2.84 l/s  
 10% más de capacidad extra para abastecer la piscina ( $1.10 \times 2.84$ ).....3.124 l/s

Para determinar la presión máxima de trabajo en el tanque:

1. Carga estática (al mueble más desfavorable)..... 12.80 m
2. Pérdida por fricción a través de la tubería..... 4.88 m
3. Presión mínima en el mueble más desfavorable..... 3 m
4. Presión de operación diferencial..... 14 m
- Presión de trabajo total en el tanque..... 34.68 m (3.468 kg/cm<sup>2</sup>)

Los interruptores de presión comerciales están calibrados para funcionar en ciertos valores de operación, así que para simplificar el problema, se seleccionará uno con el cual se estará más cerca de llegar a solucionar las condiciones particulares. Por lo tanto el interruptor de presión debe ser solicitado al distribuidor para operar con un diferencial de presión de 1.4 kg/cm<sup>2</sup>, que se introducirse rápidamente en 2.8 kg/cm<sup>2</sup> y recortar en 4.2 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la selección de la bomba:

- a) Presión máxima de presión en el tanque..... 42 m
- b) Carga dinámica total (nivel de agua dentro del pozo para el tanque)..... 32 m
- c) Carga requerida total para la bomba..... 74 m
- d) Redondeando los valores establecidos arriba, ahora solamente es necesario escoger una bomba del tipo de pozo profundo apropiada que alimentará al menos 3.2 l/s (50 G.P.M.) cuando se bombee para una carga requerida total de 75 metros.

Cuadro 3.2. Pérdidas por fricción (hf) para agua en metros por 30.47 metros de tubería de hierro forjado o acero.

½" NOMINAL		¾" NOMINAL		1" NOMINAL		1 ¼" NOMINAL		1 ½" NOMINAL		2" NOMINAL	
l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf
0.0442	0.2256	0.0631	0.0792	0.0631	0.0347	0.0946	0.0190	0.7571	0.3536	0.8833	0.1381
0.0631	0.5669	0.0946	0.2225	0.1262	0.1155	0.1262	0.0311	0.8833	0.4663	1.0094	0.1762
0.0946	0.8687	0.1262	0.3688	0.1893	0.2353	0.1893	0.0631	1.0094	0.5974	1.1356	0.2185
0.1262	1.4569	0.1577	0.5486	0.2524	0.3947	0.2524	0.1042	1.1356	0.7376	1.2618	0.2646
0.1577	2.1824	0.1893	0.7620	0.3155	0.5883	0.3155	0.1548	1.2618	0.8961	1.3880	0.3139
0.1893	3.0480	0.2208	1.0058	0.3785	0.8169	0.3785	0.2146	1.3880	1.0729	1.5142	0.3658
0.2208	4.0538	0.2524	1.2832	0.4416	1.0851	0.4416	0.2835	1.5142	1.2619	1.6403	0.4237
0.2524	5.2121	0.2839	1.5880	0.5047	1.3838	0.5047	0.3597	1.6403	1.4661	1.7665	0.4877
0.2839	6.4922	0.3155	1.9263	0.5678	1.7221	0.5678	0.4450	1.7665	1.6794	1.8927	0.5547
0.3155	7.8638	0.3785	2.7036	0.6309	2.0909	0.6309	0.5395	1.8927	1.9080	2.2082	0.7376
0.3470	9.4183	0.4416	3.5966	0.7571	2.9322	0.7571	0.7559	2.0189	2.1549	2.5236	0.9449
0.3785	11.125	0.5047	4.5720	0.8833	3.9014	0.8833	0.9997	2.1451	2.4140	2.8391	1.1735
0.4101	12.923	0.5678	5.7302	1.0094	5.0292	1.0094	1.2802	2.2712	2.6883	3.1545	1.4234
0.4416	14.843	0.6309	7.0104	1.1356	6.2789	1.1356	1.5911	2.3974	2.9809	3.4700	1.7038
0.4732	16.916	0.6940	8.4125	1.2618	7.6505	1.2618	1.9324	2.5236	3.2888	3.7854	2.0086
0.5047	19.111	0.7571	9.9365	1.3880	9.2050	1.3880	2.3104	2.6498	3.5966	4.1009	2.3439
0.5363	21.427	0.8202	11.521	1.5142	10.850	1.5142	2.7188	2.7760	3.9319	4.4163	2.7005
0.5678	23.865	0.8833	13.258	1.6403	12.679	1.6403	3.1608	2.9021	4.2672	4.7318	3.0785
0.5994	26.487	0.9464	15.148	1.7665	14.599	1.7665	3.6271	3.0283	4.6330	5.0472	3.5357
0.6309	29.230	1.0094	17.160	1.8927	16.642	1.8927	4.1453	3.1545	4.9987	5.3627	3.9014
0.6940	35.052	1.0725	19.232	2.0189	18.836	2.0189	4.6634	3.4700	6.0046	5.6781	4.3282
0.7571	41.452	1.1356	21.427	2.1451	21.153	2.1451	5.2426	3.7854	7.0714	5.9936	4.8158
0.8202	48.463	1.1987	23.774	2.2712	23.591	2.2712	5.8522	4.1009	8.2601	6.3090	5.3035
0.8833	55.778	1.2618	26.243	2.3974	26.212	2.3974	6.4922	4.4163	9.5402	6.9399	6.3703
0.9464	63.703	1.3880	31.699	2.5236	28.956	2.5236	7.1628	4.7318	10.911	7.5708	7.5286
		1.5142	37.185	2.6498	31.851	2.6498	7.8638	5.0472	12.344	8.2017	8.7782
		1.6403	43.586	2.7760	34.747	2.7760	8.5954	5.3627	13.898	8.8326	10.119
		1.7665	49.987	2.9021	37.795	2.9021	9.3574	5.6781	15.544	9.4635	11.582

	1,8927	56,997	3,0283	41,148	3,0283	10,149	5,9936	17,221	10,094	13,106
			3,1545	44,500	3,1545	10,972	6,3090	18,958	10,725	14,752
			3,4700	53,644	3,4700	13,167	6,9399	22,707	11,356	16,489
			3,7854	63,703	3,7854	15,544	7,5708	26,913	11,987	18,318
					4,1009	18,166	8,2017	31,394	12,618	20,208
					4,4163	20,970	8,8326	36,271	13,879	24,384
					4,7318	23,987	9,4635	41,757	15,141	28,956
					5,0472	27,188	10,094	47,548	16,403	33,832
					5,3627	30,541	10,725	53,340	17,665	39,319
					5,6781	34,137	11,356	59,740	18,927	44,500
					5,9936	37,795	11,987	66,446	20,188	50,596
					6,3090	42,062	12,618	73,456	21,450	56,997
					6,9399	50,596				
					7,5708	60,045				

2 1/2" NOMINAL		3" NOMINAL		4" NOMINAL		5" NOMINAL		6" NOMINAL		8" NOMINAL	
l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf	l/s	hf
1,3880	0,1311	3,4700	0,2405	6,3090	0,1902	6,3090	0,0622	18,927	0,1942	18,927	0,0497
1,5142	0,1530	3,7854	0,2816	6,9399	0,2268	7,5708	0,0872	20,188	0,2192	20,188	0,0561
1,6403	0,1768	4,1009	0,3261	7,5708	0,2673	8,8326	0,1158	21,450	0,2457	21,450	0,0628
1,7665	0,2021	4,4163	0,3719	8,2017	0,3100	10,094	0,1484	22,712	0,2737	22,712	0,0698
1,8927	0,2295	4,7318	0,4237	8,8326	0,3551	11,356	0,1847	23,974	0,3027	23,974	0,0771
2,0282	0,3048	5,0472	0,4785	9,4635	0,4023	12,618	0,2243	25,236	0,3322	25,236	0,0847
2,5236	0,3901	5,3627	0,5364	10,094	0,4542	13,879	0,2679	26,497	0,3658	28,390	0,1061
2,8391	0,4877	5,6781	0,5974	10,725	0,5090	15,141	0,3155	27,759	0,3993	31,545	0,1292
3,1545	0,5913	5,9936	0,6614	11,356	0,5669	16,403	0,3658	29,021	0,4328	34,699	0,1545
3,4700	0,7071	6,3090	0,7285	11,987	0,6279	17,665	0,4206	30,283	0,4694	37,854	0,1820
3,7854	0,8291	6,9399	0,8717	12,618	0,6919	18,927	0,4816	31,545	0,5060	41,008	0,2115
4,1009	0,9632	7,5708	1,0272	13,879	0,8291	20,188	0,5425	34,699	0,6066	44,163	0,2429
4,4163	1,1064	8,2017	1,1948	15,141	0,9784	21,450	0,6096	37,854	0,7132	47,317	0,2765
4,7318	1,2588	8,8326	1,3746	16,403	1,1400	22,712	0,6767	41,008	0,8321	50,472	0,3109
5,0472	1,4204	9,4635	1,5667	17,665	1,3106	23,974	0,7498	44,163	0,9540	53,626	0,3496
5,3627	1,5911	10,094	1,7709	18,927	1,4905	25,236	0,8291	47,317	1,0881	56,781	0,3871
5,6781	1,7739	10,725	1,9903	20,188	1,6794	26,497	0,9083	50,472	1,2283	59,935	0,4298
5,9936	1,9660	11,356	2,2189	21,450	1,8867	27,759	0,9888	53,626	1,3807	63,090	0,4755
6,3090	2,1671	11,987	2,4597	22,712	2,1092	29,021	1,0820	56,781	1,5392	69,399	0,5700
6,9399	2,5938	12,618	2,7127	23,974	2,3409	30,283	1,1735	59,935	1,7069	75,708	0,6706
7,5708	3,0480	13,879	3,1214	25,236	2,5817	31,545	1,2680	63,090	1,8806	82,017	0,7803
8,2017	3,5662	15,141	3,8405	26,497	2,8346	34,699	1,5179	69,399	2,2586	88,326	0,8992
8,8326	4,1148	16,403	4,4806	27,759	3,1090	37,854	1,7922	75,708	2,6700	94,635	1,0272
9,4635	4,6939	17,665	5,1511	29,021	3,3833	41,008	2,0940	82,017	3,1090	100,94	1,1643
10,094	5,3035	18,927	5,8522	30,283	3,6576	44,163	2,4171	88,326	3,5966	107,25	1,3076
10,725	5,9741	20,188	6,7056	31,545	3,9624	47,317	2,7584	94,635	4,1148	113,56	1,4600
11,356	6,6751	21,450	7,5590	34,699	4,7854	50,472	3,1151	100,94	4,6939	119,87	1,6185
11,987	7,3762	22,712	8,4430	37,854	5,6693	53,626	3,5052	107,25	5,2730	126,18	1,7861
12,618	8,1382	23,974	9,3574	41,008	6,6142	56,781	3,9319	113,56	5,9131	138,79	2,1397
13,879	9,8146	25,236	10,332	44,163	7,6200	59,935	4,3586	119,87	6,5837	151,41	2,5329
15,141	11,612	26,497	11,369	47,317	8,7173	63,090	4,8158	126,18	7,2542	164,03	2,9566
16,403	13,563	27,759	12,466	50,472	9,8755	69,399	5,7912	132,48	7,9858	176,65	3,4138
17,665	15,636	29,021	13,594	53,626	11,125	75,708	6,8580	138,79	8,7782	189,27	3,9014
18,927	17,830	30,283	14,782	56,781	12,435	82,017	8,0162	145,10	9,5707	201,88	4,4196
22,081	24,140	31,545	16,002	59,935	13,807	88,326	9,2659	151,41	10,424	214,50	4,9987
25,236	31,394	34,699	19,263	63,090	15,301	94,635	10,607	157,72	11,277	227,12	5,6083

**INSTALACIONES PARA EL SUMINISTRO DE AGUA EN EDIFICACIONES MEDIANTE EL SISTEMA DE TANQUE HIDRONEUMATICO**

28,390	39,624	37,854	22,799	69,399	18,440	100,94	12,039	164,03	12,161	239,74	6,2484
31,545	48,768	41,008	26,670	75,708	21,945	107,25	13,563	170,34	13,075	252,36	6,8885
34,699	58,826	44,163	30,784	82,017	25,694	113,56	15,148	176,65	14,051	283,90	8,6868
37,854	70,104	47,317	35,356	88,326	29,748	119,87	16,825	182,96	15,057	315,45	10,598
				94,635	34,137	126,18	18,592	189,27	16,093	346,99	12,954
										378,54	15,392

**Capacidad de las bombas**

La bomba o bombas para un sistema hidroneumático deben estar en posibilidad de operar entre una gama de presiones de descarga, variando entre la alta y la baja del tanque. Generalmente la baja presión y no la alta es la que determina el punto base para la selección de la bomba.

Considerando un sistema hidroneumático en operación real, en el nivel superior la bomba o bombas no actúan. Cuando el agua sale del tanque, la presión y el nivel del agua bajan y por lo tanto la bomba arranca. El nivel inferior de agua deberá ocurrir cuando la demanda está creciendo a su valor máximo. Por lo tanto para prevenir que el nivel del agua siga decreciendo, la bomba debe estar al parejo de la demanda.

Es de notar que la presión del tanque en su nivel inferior caerá ligeramente abajo de la mínima de diseño, mientras la bomba toma velocidad, pero en la práctica, esto no tiene ningún efecto adverso en la operación del sistema. En algunas condiciones puede parecer objetable, entonces que la presión del tanque se eleve unos cuantos kg/cm<sup>2</sup>, después de que el sistema ha sido instalado.

Cuando se usa una sola bomba, su capacidad deberá ser aproximadamente 1.5 veces el gasto máximo instantáneo a presión baja. Los controles para bombas dúplex son arreglados generalmente de tal manera que la segunda bomba arranque en caso de que el nivel continúe bajando cuando esté operando una sola bomba. Es conveniente que cada bomba funcione cuando menos al gasto máximo y a la presión más baja.

Habiéndose seleccionado la bomba o bombas para cubrir los requisitos de baja presión, la descarga a la alta presión deberá ser verificada solamente para asegurar si es la correcta, de tal manera que la bomba no funcione continuamente. Por ejemplo, supóngase una demanda máxima de 6.309 litros por segundo y un gasto promedio de 1.262 litros por segundo. A menos que la bomba descargue más de 1.262 l/s en la presión alta, nunca debe ser desconectada, puesto que apenas estará manteniéndose la demanda arriba de la presión mínima y no llenando la descarga extra para aumentar el nivel del agua.

En la figura 3.1 se muestran las curvas de operación de varias familias de bombas centrífugas. La característica de las bombas centrífugas es de hecho, que la potencia al freno aumenta con la disminución de la presión de descarga, y el tamaño del motor para las bombas que alimentan un tanque hidroneumático también debe estar basado en la baja presión. Refiriéndose a la figura 3.1, en el punto A con una altura de descarga de 45.72 m (4.572 kg/cm<sup>2</sup>) y potencia de 7 1/2 H.P., comparado con 4.75 H.P. en el punto B y con una altura de descarga de 53.34 m (5.334 kg/cm<sup>2</sup>). En consecuencia se deduce que la bomba debe tener un motor de 7 1/2 H.P., por las condiciones de baja presión.

Para asegurar que las bombas cubran las necesidades de diseño, las especificaciones deben dar los gastos de bombeo, tanto en baja como en alta presión.

Para determinar el tamaño de las bombas se toma en cuenta la carga positiva en la entrada. Así, si en un sistema similar al de la figura 3.2, la presión mínima del tanque fuera de 4.57 kg/cm<sup>2</sup> y la presión mínima de suministro a la entrada de la bomba de 1.406 kg/cm<sup>2</sup> entonces la bomba puede ser seleccionada para una carga de 3.164 kg/cm<sup>2</sup>. Es necesario aclarar que en nuestro medio no se autoriza la succión directa con el equipo de bombeo a partir de la red municipal de abastecimiento de agua.

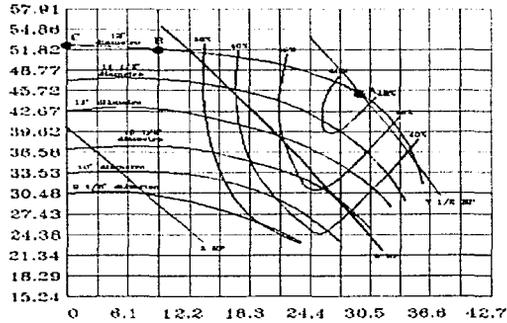


Figura 3.1. Curvas de operación de bombas centrífugas.

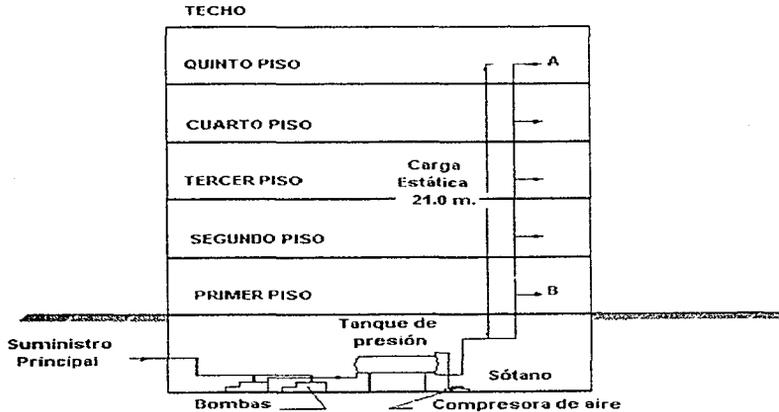


Figura 3.2. Sistema usual de distribución

### 3.3. Determinación de las presiones de trabajo del tanque y los niveles de agua

#### Nivel bajo de agua (NBA)

Es el menor nivel establecido en el tanque que corresponde a la presión más baja a partir de la cual el sistema está diseñado para operar Normalmente el NBA se establece, de tal manera que al menos el 10% de la

capacidad total del tanque quede por debajo de ese nivel, como un colchón de agua para evitar la posibilidad de pérdida de aire en el tanque.

### Nivel alto de agua (NAA)

Es el nivel superior establecido en el tanque que corresponde a la presión más alta bajo la cual el sistema está diseñado para operar.

### Selección del diferencial de presión

Seleccionando el mejor diferencial de presión de operación, pueden determinarse fácilmente los niveles de control en el tanque, los diferenciales de bombeo y la eficiencia del tanque usando las curvas de las figuras 3.3 y 3.4.

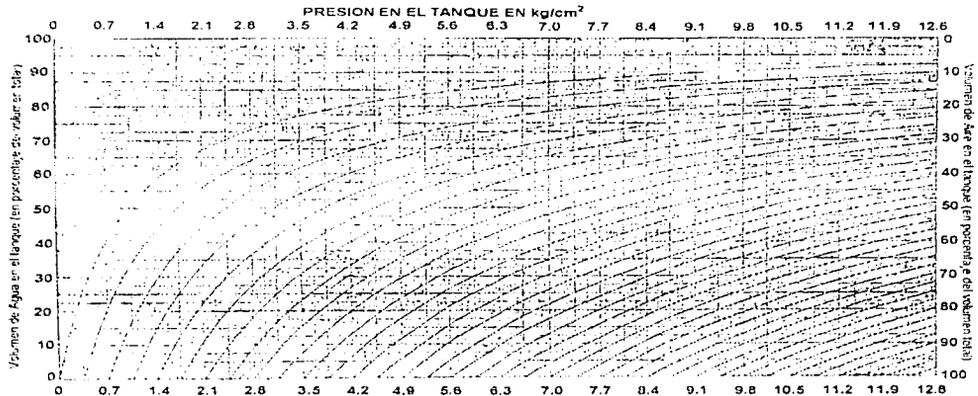


Figura 3.3. Diferenciales de volumen y presión para tanques hidroneumáticos.

En el ejemplo 3.1 se seleccionó arbitrariamente un diferencial de presión de operación de  $1.4 \text{ kg/cm}^2$ . Ahora se puede indicar cómo determinar el nivel alto de agua (NAA) deseado, el diferencial de volumen de bombeo, la eficiencia del tanque y si  $1.4 \text{ kg/cm}^2$  de diferencial de presión es la cantidad más deseable para el ejemplo.

Refiriéndose a la curva de la figura 3.3, se debe empezar en el punto que indica una reserva del 10% del volumen en el tanque y seguir esa línea horizontal hasta donde se intersecte la línea vertical de presión de  $2.8 \text{ kg/cm}^2$ . Seguir la curva de presión más cercana (en este caso la curva de  $2.46 \text{ kg/cm}^2$ ) hasta donde se intersecta con la línea vertical de  $4.2 \text{ kg/cm}^2$ . Entonces por interpolación se determina el punto que indique que el agua ocupará aproximadamente el 34% del total de la capacidad del tanque, cuando el aire ha sido comprimido de  $2.8 \text{ kg/cm}^2$  a  $4.2 \text{ kg/cm}^2$ . El nivel de agua equivalente a 34% del volumen del tanque, establece el NAA deseado.

El diferencial de bombeo es el diferencial de volumen entre el NBA y el NAA en el tanque. Este diferencial expresado en porcentaje, también indica la eficiencia del tanque. Así, 34% menos 10% indica que el diferencial de bombeo es 24% del total del volumen del tanque. Con el 24% del total del volumen del tanque disponible para bombeo, la eficiencia del tanque también es de 24%.

Ahora pueden establecerse los niveles tanto del NBA como del NAA en el tanque. El volumen en un tanque vertical cilíndrico es proporcional a su altura. Si se asume un tanque vertical de 183 cm de altura y la descarga del tanque está localizada en la parte baja, entonces el NBA es  $10/100 \times 183$  ó 18.3 centímetros sobre la parte baja del tanque y el NAA es  $34/100 \times 183$  ó 62.22 centímetros sobre la parte baja del tanque.

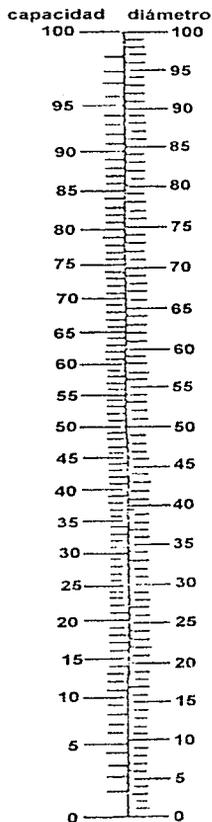


Figura 3.4. Conversión de la capacidad de la altura para tanques horizontales cilíndricos.

El volumen en un tanque horizontal cilíndrico no es proporcional a su diámetro (altura) así que es necesario referirse a la curva de la figura 3.4 para convertir el porcentaje de la capacidad al porcentaje del diámetro. Así, 10% de la capacidad del tanque es equivalente a aproximadamente 15.7% del diámetro y 34% de su capacidad es equivalente a aproximadamente 37.4% de su diámetro. Si se asume un tanque horizontal de 183 cm de diámetro, entonces el NBA es  $15.7/100 \times 183 = 28.73$  centímetros sobre la parte baja y el NAA es  $37.4/100 \times 183 = 68.44$  centímetros sobre la parte baja.

Resumiendo, se ha establecido cómo determinar el NBA y el NAA, el diferencial de bombeo y la eficiencia del tanque. La consideración restante es para determinar el diferencial de presión de operación más deseable.

Asumiendo, por ejemplo, que la presión diferencial será de  $2.1 \text{ kg/cm}^2$  con  $2.81 \text{ kg/cm}^2$  en el NBA y  $4.92 \text{ kg/cm}^2$  en el NAA, procediendo como se describe arriba y determinando que a  $4.92 \text{ kg/cm}^2$  el agua ocupará aproximadamente el 42% del total del volumen del tanque. El diferencial de bombeo es el 32% del volumen total del tanque y su eficiencia es también 32%. Esta es una ganancia de 8 puntos sobre la selección de presión de  $2.81\text{-}4.2 \text{ kg/cm}^2$ . El diferencial de bombeo gobierna el tamaño del tanque que será requerido y también puede afectar el tamaño de la bomba y su manejo a causa del rango en el diferencial de presión. Es deseable evaluar el costo de cada arreglo para determinar el sistema más eficiente.

### Presión del tanque

La presión del tanque debe ser controlada entre límites que resulten aceptables, entre la máxima y mínima de descarga. Estas presiones dependerán de las necesidades de cada instalación particular.

La presión de descarga del tanque debe ser todo el tiempo suficiente, para proporcionar la carga requerida en cualquier punto de uso en el edificio, teniendo en cuenta la carga necesaria para las pérdidas debidas a la circulación del agua en la tubería, así como la carga estática debida a la diferencia de nivel, entre el tanque y la salida del agua. La presión mínima aceptable en el tanque debe ser cuando menos una presión que satisfaga estos requisitos.

Deberá notarse que la determinación de la presión necesaria en el agua de suministro, es parte del diseño en cualquier edificio independientemente del origen del agua; el método de cálculo de un sistema hidroneumático no es diferente de aquél para un edificio con sistema de abastecimiento directo a la red de distribución interior.

El volumen del tanque entre los niveles del agua más alto y más bajo, es la cantidad de agua que debe ser desalojada antes de que la bomba vuelva a arrancarse. Entre mayor sea la cantidad disponible de agua, menor será el número de ciclos de bombeo.

Mientras que la mínima presión aceptable se basa usualmente en las necesidades del mueble más desfavorable, la máxima presión debe de considerarse para los más cercanos a él.

### Ejemplo 3.2

Determinar las presiones del tanque para el sistema mostrado en la figura 3.2, considerando los siguientes datos:

Presión requerida, punto A	1.40 $\text{kg/cm}^2$
Pérdidas de carga en la tubería hasta el nudo A	1.055 $\text{kg/cm}^2$
Carga estática (desde el tanque al punto A)	<u>2.103 <math>\text{kg/cm}^2</math></u>
Presión mínima requerida en el tanque	4.558 $\text{kg/cm}^2$

La presión en el punto B, a la presión mínima del tanque debe ser cuando menos de  $4.558 \text{ kg/cm}^2$ , siendo menor la carga estática y cualquier pérdida debida a la fricción en ese mismo punto. Esta es una presión relativamente alta para un sistema de plomería y no será conveniente llegar arriba de éste valor. Sobre esta base,  $5.273 \text{ kg/cm}^2$ , puede ser seleccionada como la máxima.

Eventualmente la presión del tanque subirá por encima de  $5.273 \text{ kg/cm}^2$  y podemos reducirla en el punto B (y en otros artefactos, si es necesario) por medio de válvulas reductoras de presión. Pero la ganancia en el agua

disponible del tanque y el resultado de la reducción del número de ciclos de bombeo, no es suficiente para justificar el uso de las válvulas reductoras de presión en el sistema.

### 3.4. Determinación de la capacidad y tamaño del tanque mediante la ley de Boyle

#### Tamaño del tanque

El tamaño del tanque hidroneumático es muy arbitrario. En sí el problema requiere propiamente las relaciones entre la presión alta y baja, los respectivos niveles de agua y la cantidad que debe ser desalojada del tanque.

#### Tanques verticales

Considérese un tanque cilíndrico vertical como el mostrado en la figura 3.5. Las relaciones básicas a partir de la ley de Boyle, se escriben a continuación:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

y como

$$V_1 = \frac{\pi D^2 h_3}{4} \quad \text{y} \quad V_2 = \frac{\pi D^2 h_4}{4}$$

entonces:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{h_4}{h_3}$$

La cantidad de agua desalojada entre el nivel superior e inferior puede ser expresada como sigue:

$$\text{Agua disponible} = V_2 - V_1 = \frac{\pi D^2 (h_4 - h_3)}{4}$$

Como debe evitarse la entrada del aire al sistema de distribución, se dejará un volumen de agua que permanezca abajo del nivel inferior, de un 10% del volumen total del tanque.

Por lo tanto la altura mínima del nivel inferior arriba de la salida del tanque es "h<sub>2</sub>" y la altura máxima de este nivel al tope del tanque es "h<sub>4</sub>", definiéndose de la siguiente manera:

$$h_4 \text{ máxima} = 0.90 H \quad (3.1)$$

$$h_2 \text{ mínima} = 0.10 H \quad (3.2)$$

de la figura 3.5:

$$h_1 \text{ máxima} = H - h_3$$

pero:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{h_4}{h_3} \quad \text{por lo que:} \quad h_3 = h_4 \frac{P_2}{P_1}$$

como  $h_3 = 0.90H$ , entonces:

$$h_3 \text{ mínima} = 0.90H \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (3.3)$$

$$h_1 \text{ máxima} = H - h_3 = H \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \right] \quad (3.4)$$

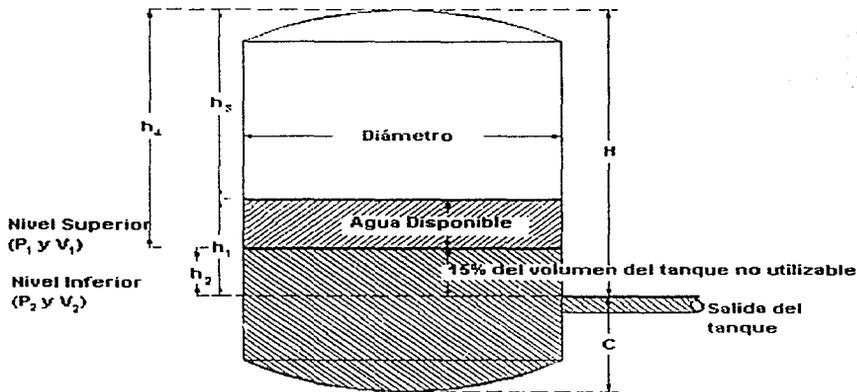


Figura 3.5. Relaciones de nivel-volumen de un tanque vertical.

Donde H es la altura nominal del tanque medida a partir de la salida del tanque. En el caso de que la salida sea en el fondo, "H" representará la altura total del tanque.

Las ecuaciones (3.2) y (3.4) representan los niveles inferior y superior respectivamente, para la máxima cantidad de agua que puede desalojar el tanque, para una combinación particular de presiones. El efecto de la curvatura en los extremos no se toma en cuenta en ambas ecuaciones. Si se considera otro valor diferente del 10% en el volumen de agua que debe permanecer en el tanque, las ecuaciones (3.2) y (3.4) serán diferentes.

#### Tanques horizontales

En el caso de un tanque horizontal los cálculos se complican más, ya que el volumen no es proporcional a la altura, como se ve en la figura 3.6.

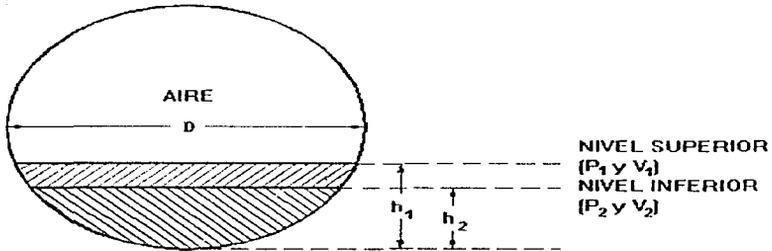


Figura 3.6. Relaciones de nivel-volumen de un tanque horizontal.

El diseño de tanques horizontales puede hacerse por medio del nomograma mostrado en la figura 3.7, que se construye con la ecuación de Boyle ( $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ) para el volumen de aire en un tanque hidroneumático, donde:

$P_1$  = Presión inicial (alta) en  $\text{kg/cm}^2$ .

$P_2$  = Presión final (baja) en  $\text{kg/cm}^2$ .

$V_1$  = Volumen inicial de agua a la presión  $P_1$ , expresado en porcentaje del volumen total del tanque.

$V_2$  = Volumen final de la presión  $P_2$ , expresado en porcentaje del volumen total del tanque.

El nomograma se construyó de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación } P_2 V_2 = P_1 V_1$$

Tomando logaritmos:

$$\log P_1 \log V_1 = \log P_2 \log V_2$$

haciendo

$$\log P_2 \log V_2 = q \quad (3.5)$$

$$\log P_1 \log V_1 = q \quad (3.6)$$

Las escalas para la ecuación (a) son:

$$X = M_1 \log P_2$$

$$Y = M_2 \log V_2$$

$$Z = M_3 q$$

y las escalas para la ecuación (b) son:

$$Z = M_3 q$$

$$S = M_2 \log P_2$$

$$W = M_1 \log V_1$$

Las graduaciones de  $P_2$ ,  $P_1$  y  $V_2$  comienzan en cualquier parte a lo largo de su eje, pero un punto de partida para la graduación de la escala  $V_1$ , se determina de acuerdo con tres valores  $P_2 = P_{20}$ ,  $V_2 = V_{20}$ , y  $P_1 = P_{10}$ , que satisfagan la ecuación. Para mayor facilidad se trazarán sobre las escalas  $V_1$  y  $V_2$  las alturas de agua  $h_1$  y  $h_2$  respectivamente, en porcentaje del diámetro del tanque.

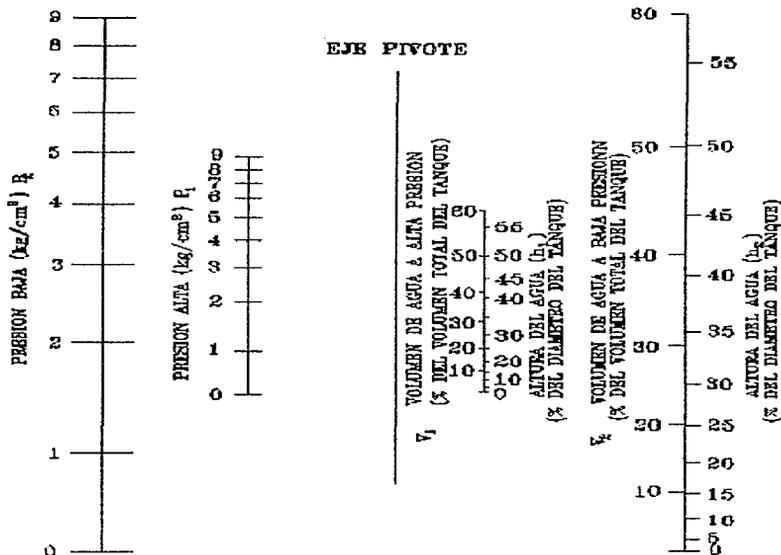


Figura 3.7. Relaciones entre presiones y niveles de agua en tanques hidroneumáticos horizontales.

#### Forma de uso del nomograma

Una vez fijados los requisitos de presión alta y baja en el nomograma, se traza una línea que una los valores de presiones correspondientes en las escalas  $P_1$  y  $P_2$ . Del punto donde ésta línea corta la línea índice, se traza otra a la escala  $V_2$  que es el volumen mínimo aceptable a nivel inferior. Por lo tanto esta línea corta a la escala  $V_1$  y se leerá también el volumen de agua a nivel superior y simultáneamente los valores  $h_1$  y  $h_2$  equivalentes a los volúmenes  $V_1$  y  $V_2$ .

Entonces:

Volumen del tanque  $\times (V_1 - V_2) =$  agua disponible desalojada.

$h_1 \times D =$  nivel superior del agua (en las mismas unidades que D).

$h_2 \times D =$  nivel inferior (en las mismas unidades que D).

Para cualquier par de presiones alta y baja en el tanque hidroneumático, habrá una infinidad de niveles de agua. Sin embargo, solamente una combinación dará la máxima cantidad de agua que debe desalojar el tanque. Obviamente, la gran porción de volumen ocupado por el aire comprimido a nivel superior, será mayor cuando el agua se desaloje por la expansión del aire. En el tanque horizontal como en el caso del tanque vertical, el nivel inferior ocupa el 10% del volumen total.

El volumen de agua que permanece a nivel inferior debe ser medido por encima de la salida del agua. En todas las ilustraciones del tanque horizontal y todos los cálculos hechos, se supuso la salida en el fondo del mismo. En el caso de que la salida sea en uno de los extremos, el 10% mínimo debe ser tomado como una cantidad arriba de la salida, como se muestra en la figura 3.8. Para corregir el volumen no utilizable, es decir el que queda abajo de la salida, se agrega al volumen representado por "a" el 10% requerido. (Todos los requisitos se pueden obtener en el nomograma). Este volumen (a la altura b) representará entonces el volumen del nivel inferior y será empleado en lugar del 10% normal.

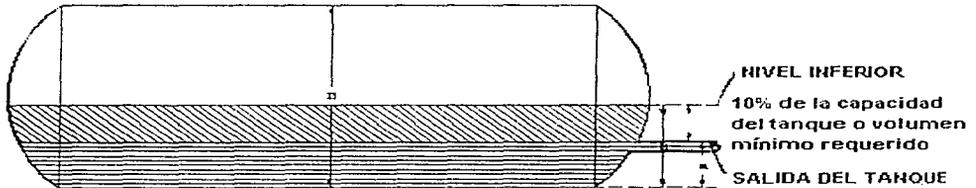


Figura 3.8. Salida en uno de los extremos de un tanque horizontal.

Por ejemplo, si se tuviera un tanque en el cual la altura "a" fuera de 15.24 cm, y el diámetro "D" del tanque fuera de 152.4 cm, el volumen no utilizable es 5 1/2 % de la capacidad del tanque. Entonces la altura b es:

$$b = 5.5 + 10 = 15.5\% \text{ del volumen del tanque.}$$

Este valor es, para este caso, el volumen mínimo que debe tener el tanque en nivel inferior y este nivel leído en el nomograma es de 26% del diámetro ó 40 cm. Teniendo así determinado el nivel inferior podremos encontrar el nivel superior en el nomograma y también la cantidad de agua en porcentaje del volumen del tanque que será desalojada entre los niveles.

### Selección del tanque

El tamaño de un tanque depende tanto del diferencial de volumen de la bomba ya establecido, como del número de ciclos de bombeo deseados. Las experiencias indican que el número promedio de ciclos de bombeo no necesita ser mayor de seis ciclos por hora y muy pocas veces menor de cuatro ciclos por hora.

Cuanto más grande sea el número de ciclos de bombeo, más pequeño será el tamaño del tanque requerido. Esto es importante cuando el costo inicial de una instalación es significativo.

Con menos ciclos se requerirá un tanque más grande, pero algunas veces se tienen consideraciones más importantes que la del costo inicial. Se recomiendan menos ciclos de bombeo en instalaciones de hospitales, sanitarios, hoteles, etc., donde arranques y paros frecuentes puedan presentarse y ser molestos y cuando se desea una reserva más grande, por ejemplo cuando la instalación es usada para protección contra incendio.

En el capítulo 2, se presentan varias opciones y modelos de tanques hidroneumáticos las cuales cuentan con las dimensiones y capacidades de cada uno de ellos. Si es necesario escoger alguno de estos tanques, será necesario referirse al mencionado capítulo.

Para fines de diseño se recomienda que el volumen disponible de agua en el tanque, es decir el volumen de agua desalojada, satisfaga por un minuto el gasto máximo instantáneo de la edificación.

El procedimiento a seguir para la selección del tanque se ilustra con un ejemplo:

Ejemplo 3.3.

En una edificación se han calculado las condiciones de presión con las cuales trabajará el edificio. Los valores obtenidos son los siguientes:

Presión alta: 5.27 kg/cm<sup>2</sup>

Presión baja: 4.57 kg/cm<sup>2</sup> (incluyendo el 10% del volumen residual)

Demanda máxima (gasto máximo instantáneo):

Q<sub>mi</sub> = 1.58 l/s

Determinar el tanque vertical más apropiado para el funcionamiento óptimo del sistema.

Solución.

De las relaciones vistas en el capítulo 1 tenemos:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{P_2 V_2}{P_1}$$

V = volumen total

$$xV = \frac{P_2 \cdot 0.90V}{P_1}$$

$$x = \frac{0.90 P_2}{P_1} = \frac{0.90(4.57)}{5.27} = 0.78$$

Agua desalojada = 0.90V - 0.78V = 0.12V

==> 12% del volumen del tanque

Como el Q<sub>mi</sub> es de 1.58 l/s, con 1 minuto de ésta demanda máxima se obtiene:

$$V = \frac{1 \text{ minuto} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \times 1.58 \text{ l/s}}{0.12} = 790 \text{ litros}$$

Cotejando la tabla de especificaciones de los tanques hidroneumáticos de la compañía "Evans" (cuadro 2.11), puede seleccionarse el tanque vertical modelo EQAFV500 cuyo volumen es de 900 litros y su diámetro es de 77.5 cm.

## Ejemplo 3.4.

Realizar el ejemplo 3.3 para un tanque horizontal.

Usando el nomograma se tienen las condiciones dadas

Volumen de agua a alta presión = 24% del volumen del tanque.

Volumen de agua a baja presión = 10% del volumen del tanque.

Agua desalojada =  $24 - 10 = 14\%$  del volumen del tanque.

Como el gasto máximo instantáneo es de 1.58 l/s y el volumen disponible es igual a 1 minuto de ésta demanda máxima, entonces se tiene que:

$$\text{El volumen del tanque} = V = \frac{1 \text{ minuto} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \times 1.58 \text{ l/s}}{0.14} = 677 \text{ litros}$$

En el cuadro 2.11, se puede observar que no existe un tanque que por sí solo proporcione ese volumen de agua, sin embargo, pueden utilizarse dos tanques modelo "EQAFH200" cuyos volúmenes son de 400 litros cada uno, y sus diámetros son de 60 cm.

Debe recordarse que la relación presión-volumen  $P_1V_1 = P_2V_2$ , se cumple solamente bajo condiciones de temperatura constante. Normalmente durante la compresión de aire, la temperatura aumenta y durante la expansión disminuye. Por lo tanto la transferencia de calor entre el aire que se encuentra dentro del tanque y el material de éste, depende de la temperatura ambiente y del tiempo. En consecuencia la compresión y la expansión rara vez es a temperatura constante y es más adecuado establecer la ecuación  $P_1V_1^n = P_2V_2^n$  en donde "n" varía entre 1 y 1.4; para cálculos prácticos "n" se toma como uno. El efecto de esta simplificación es que en el sistema de operación, el nivel superior real del agua, será un poco más bajo que el del punto de diseño y el nivel inferior un poco más alto que su punto de diseño; de donde resulta una cantidad menor de agua que la calculada. Las modificaciones a partir de las presiones de diseño alta y baja, se considerarán despreciables.

## CAPITULO 4

## EJEMPLOS DE DISEÑO

El objetivo de este capítulo, es presentar algunos ejemplos de diseño en edificaciones donde es posible utilizar el sistema de tanque hidroneumático. En estos, se pondrá mayor atención a la determinación de los niveles de operación de la bomba y del tanque y no tanto a como determinar los gastos y las pérdidas de energía que se tendrán en las redes de distribución.

**Ejemplo 4.1**

Se tiene un edificio de oficinas, el cual cuenta con planta baja y 5 pisos más. En cada piso se encuentran ubicados unos sanitarios. La planta baja, y los pisos 2 y 4 son sanitarios para damas, los cuales están compuestos por 1 vertedero, 6 lavabos y 6 excusados con válvula de fluxómetro, mientras que los pisos 1, 3 y 5 son sanitarios para varones, los cuales contienen 1 vertedero, 6 mingitorios con válvula de fluxómetro, 3 lavabos y 5 excusados con válvula de fluxómetro. Todos los muebles usan únicamente agua fría. Determinar las características del sistema hidroneumático que se necesitará para satisfacer la demanda de agua dentro de la edificación. El agua para el suministro será proporcionada por una cisterna localizada en el sótano de la edificación. La carga estática, tomada desde la localización del sistema hidroneumático hasta el último piso (considerando la altura de cada piso y del sótano de 3 metros), es de 21 metros.

**Solución.**

En la figura 4.1 se ve la distribución de los sanitarios para damas y en la figura 4.2 la de los sanitarios para varones. Se puede ver en las figuras 4.3 y 4.4 el trazo de las redes de distribución y el establecimiento de secciones de análisis de estas redes; esto con el fin de poder determinar más fácilmente el gasto máximo instantáneo de la edificación.



Figura 4.1. Sanitarios para damas.



Figura 4.2. Sanitarios para varones.



Figura 4.3. Red de distribución para los sanitarios de damas.

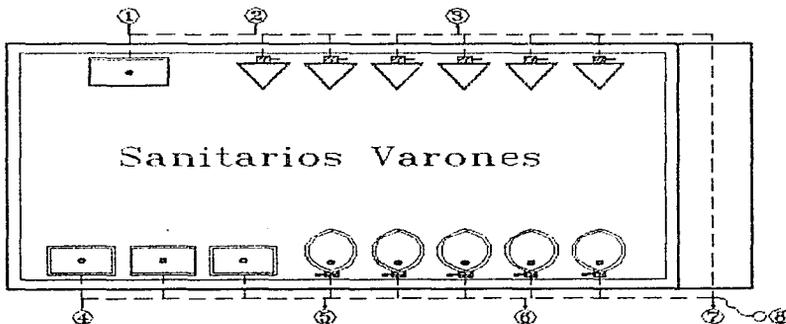


Figura 4.4. Red de distribución para los sanitarios de los varones .

**Determinación del gasto máximo instantáneo**

Determinación del QMI de los sanitarios para damas.

**DERIVACIONES**

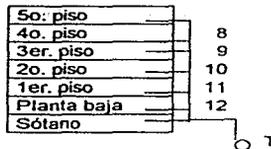
TRAMO	MUEBLE	CANTIDAD	UNIDAD MUEBLE	UNIDADES MUEBLE TOTALES	QMI (l/s)
A-B	Vertedero	1	3	3	0.20
B-C	Vertedero Lavabo	1 3	3 2	9	1.71
C-F	Vertedero Lavabo	1 6	3 2	15	1.99
D-E	Excusado	3	10	30	2.59
E-F	Excusado	6	10	60	3.47
F-G	Vertedero Lavabo Excusado	1 6 6	3 2 10	75	3.78

Determinación del gasto máximo instantáneo de los sanitarios para varones.

**DERIVACIONES**

TRAMO	MUEBLE	CANTIDAD	UNIDAD MUEBLE	UNIDADES MUEBLE TOTALES	QMI (l/s)
1-2	Vertedero	1	3	3	0.20
2-3	Vertedero Mingitorio	1 3	3 5	18	2.12
3-7	Vertedero Mingitorio	1 6	3 5	33	2.68
4-5	Lavabo	3	2	6	1.56
5-6	Lavabo Excusado	3 3	2 10	36	2.78
6-7	Lavabo Excusado	3 5	2 10	56	3.37
7-8	Vertedero Mingitorio Lavabo Excusado	1 6 3 5	3 5 2 10	89	4.08

Determinación del gasto máximo instantáneo de la edificación.



**COLUMNA**

TRAMO	MUEBLE	CANTIDAD	UNIDAD MUEBLE	UNIDADES MUEBLE TOTALES	QMI (l/s)
7-8	Vertedero	1	3	89	4.08
	Mingitorio	6	5		
	Lavabo	3	2		
	Excusado	5	10		
8-9	Vertedero	2	3	164	5.29
	Mingitorio	6	5		
	Lavabo	9	2		
	Excusado	11	10		
9-10	.....	.....	.....	253	6.41
10-11	.....	.....	.....	328	7.21
11-12	.....	.....	.....	417	8.06
12-T	.....	.....	.....	492	8.77

Por lo que el gasto requerido por la edificación, es entonces de 8.77 l/s.

TRAMO	QMI	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	(")
A-B	0.20	15.96	19.00	¾
B-C	1.71	46.66	51.00	2
C-F	1.99	50.34	51.00	2
D-E	2.59	57.43	64.00	2 ½
E-F	3.47	66.47	64.00	2 ½
F-G	3.78	69.37	76.00	3
1-2	0.20	15.96	19.00	¾
2-3	2.12	51.95	51.00	2
3-7	2.68	58.41	64.00	2 ½
4-5	1.56	44.57	51.00	2
5-6	2.78	59.49	64.00	2 ½
6-7	3.37	65.50	64.00	2 ½
7-8	4.08	72.08	76.00	3
8-9	5.29	82.07	102.00	4
9-10	6.41	90.34	102.00	4
10-11	7.21	95.81	102.00	4
11-12	8.06	101.30	102.00	4
12-T	8.77	105.67	102.00	4

**Determinación de la presión máxima y mínima requerida en el tanque.**

Para la determinación de estas presiones, es necesario calcular primero la carga requerida Hr. Esta carga está compuesta por los siguientes elementos:

$$H_r = H_e + \frac{P_2}{\gamma} + \sum_1^2 h_i$$

donde.

Hr = carga requerida

He = carga estática

$\frac{P_2}{\gamma}$  = presión mínima en el mueble más desfavorable

$\sum_1^2 h_i$  = pérdidas en la tubería

En este caso, la carga estática ( $H_e$ ) es de 21 metros. El mueble más desfavorable para la edificación, es el mingitono con válvula de fluxómetro, que se localiza en el piso 5, el cual requiere de una carga de presión ( $P_{2/1}$ ) de 1.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Como este ejemplo es un anteproyecto, para calcular las pérdidas en las tuberías, se recurrió a las tablas que se presentan en la figura 3.2 del capítulo 3, dado que con éstas podemos determinar de una forma preliminar, cuales serán las pérdidas. Cotejando dichas tablas, teniendo un diámetro de tubería de 4" y un gasto de 8.77 litros por segundo, las pérdidas serán entonces de 0.245 metros (dado que la longitud de la tubería es de aproximadamente 21 metros).

Entonces la carga requerida es de:

$$H_r = 21 + 10 + 0.245 \text{ m}$$

$$H_r = 31.245 \text{ m} = 3.125 \text{ kg/cm}^2.$$

Por lo que la presión mínima (baja) para el sistema de tanque hidroneumático será de:

$$P_2 = 3.125 \text{ kg/cm}^2.$$

Al sumar a esta presión, el diferencial de presión, se obtendrá la presión máxima de operación (o presión alta).

$$P_1 = 3.125 + 1.4$$

$$P_1 = 4.525 \text{ kg/cm}^2.$$

**Selección conveniente del tamaño del tanque y establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.**

Con las relaciones vistas anteriormente se tiene que:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{entonces:} \quad V_1 = \frac{P_2 V_2}{P_1}$$

$$"x" V = \frac{P_2 (0.90) V}{P_1}$$

$$"x" = \frac{0.90 P_2}{P_1} = \frac{0.90 (3.125)}{4.525} = 0.62$$

Por lo que el agua desalojada es entonces  $0.90V - 0.62V = 0.28V$ ; es decir 28% del volumen del tanque.

Con el gasto máximo instantáneo de 8.77 l/s y con un tiempo de carrera de 1 minuto, se tiene:

$$V = \frac{1 \text{ minuto} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \times 8.77 \text{ l/s}}{0.62} = 848.7 \text{ litros}$$

Cotejando el cuadro 3.11 de tanques hidroneumáticos de la compañía "Evans", se puede escoger para este caso, el tanque vertical de membrana modelo "EQAFV500" con diámetro de 77.5 cm, con una altura de 142 cm y con capacidad de 900 litros.

**Determinación de los niveles de paro y arranque.**

De la ecuación 3.4 se tiene:

$$h_1 = H \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \right]$$

$$h_1 = 1.42 \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{3.125}{4.525} \right) \right]$$

entonces el nivel de paro para el tanque es de:  $h_1 = 48$  cm.

De la ecuación 3.2 se tiene:

$$h_2 = 0.10 H$$

$$h_2 = 0.10 (1.42) = 0.142 \text{ m.}$$

entonces el nivel de arranque para el tanque es de:  $h_2 = 14.2$  cm.

**Selección de la capacidad de la bomba**

Para seleccionar la bomba, se recurrirá a las curvas características de la bomba modelo 5553B-2" de 3460 RPM con un impulsor F2A1H1, de la compañía Manufacturera Fairbanks Morse S.A. de C.V., mostradas en la figura 4.5.

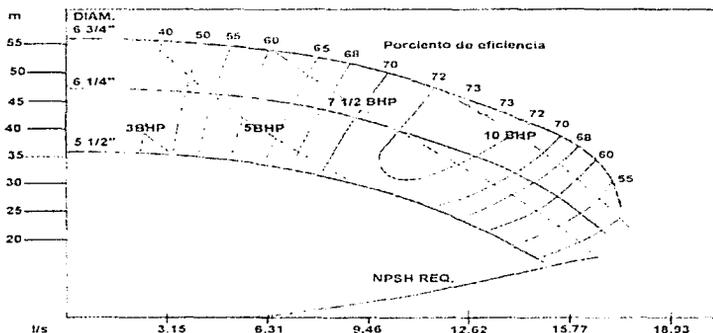


Figura 4.5. Curvas características de la bomba 5553B-2" de la compañía Manufacturera Fairbanks Morse S.A. de C.V.

Tomando como referencia el gasto de 8.77 litros por segundo y la carga total de 45.25 metros, de la gráfica se puede observar que se puede escoger para este problema una bomba de 7 ½ HP de 3460 revoluciones por minuto con una eficiencia del 69%.

## Ejemplo 4.2

Determinar las características del sistema de tanque hidroneumático que satisfaga adecuadamente las necesidades de abastecimiento de agua para un edificio de departamentos, en el cual cada departamento cuenta con 2 baños y 1 cocina. Cada baño está amueblado con 1 lavabo, 1 excusado y 1 regadera; la cocina está amueblada con 1 fregadero, 1 lavadero y 1 llave para conectar una lavadora automática. Los lavabos, las regaderas, los fregaderos y las tomas para lavadora necesitan de agua caliente. El edificio es de 5 niveles y cada nivel está compuesto por 4 departamentos. El agua para el suministro será proporcionada por una sistema localizada en el sótano de la edificación. La carga estática, tomada desde la localización del sistema hidroneumático hasta el último piso (considerando la altura de cada piso de 2.70 metros y del sótano de 2 metros), es de 15,5 metros.

## Solución.

En la figura 4.6 se ve la distribución de los sanitarios y la cocina de cada uno de los departamentos. Se puede ver en la figura 4.7 el trazo de la red de distribución y la división en secciones de esta red, esto con el fin de poder determinar más fácilmente el gasto máximo instantáneo de la edificación.

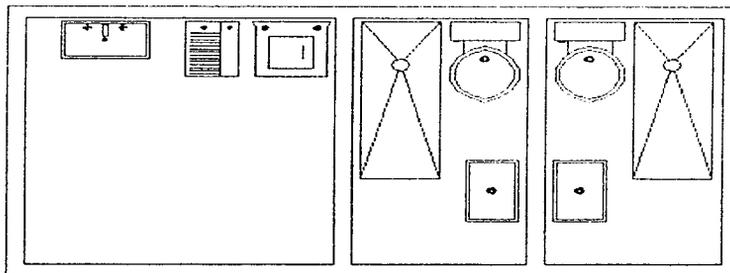


Figura 4.6. Distribución de los baños y cocina de cada departamento.

## Determinación del gasto máximo instantáneo.

Determinación del QMI de cada departamento.

Como en este caso se utiliza tanto agua caliente como agua fría, los gastos de diseño para cada una de las redes son diferentes. Los valores de los gastos se determinan de la siguiente manera: los ramales de agua fría se diseñan con el 75% del consumo del aparato (unidades mueble totales), mientras que los ramales de agua caliente se diseñan con el 56% del consumo del aparato (unidades mueble totales).

## DERIVACIONES

TRAMO	MUEBLE	CANTIDAD	U.M.	U.M.T.	U.M.AF	QD <sub>AF</sub>	U.M.AC	QD <sub>AC</sub>
1-2	Regadera	1	2	2	1.50	0.13	1.12	0.11
2-3	Regadera	1	2					
	Excusado	1	3	5	3.75	0.25	2.80	0.19
4-3	Lavabo	2	1	2	1.50	0.13	1.12	0.11
3-5	Regadera	1	2					
	Excusado	1	3	7	5.25	0.39	3.92	0.26
	Lavabo	2	1					



**DERIVACIONES**

COLUMNA	MUEBLE	CANTIDAD	U.M.	U.M.T.	U.M.AF	QD <sub>AF</sub>	U.M.AC	QD <sub>AC</sub>
10-11	Regadera	8	2					
	Excusado	8	3					
	Lavabo	8	1					
	Lavadora	4	5	88	66	2.20	49.28	1.78
	Lavadero	4	3					
	Fregadero	4	2					
11-12	Regadera	16	2					
	Excusado	16	3					
	Lavabo	16	1					
	Lavadora	8	5	176	132	3.31	98.56	2.75
	Lavadero	3	3					
	Fregadero	8	2					
12-13				264	198	4.13	147.84	3.51
13-14				352	264	4.84	197.12	4.12
14-T				440	330	5.74	246.4	4.60

Para edificaciones en donde se utiliza tanto agua caliente como agua fría, el gasto de diseño con el cual se diseñará el tanque hidroneumático, será el de agua fría, correspondiente al 100% de las unidades mueble (440) del edificio, con las cuales se obtiene un gasto de 7.11 l/s.

TRAMO	QMI (l/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	(")
1-2	0.15	13.82	12.70	½
2-3	0.38	23.00	25.40	1
4-3	0.15	13.82	12.70	½
3-5	0.46	24.20	25.40	1
5-6	0.57	26.94	25.40	1
6-7	0.63	28.32	32.00	1 ¼
7-8	0.80	31.92	32.00	1 ¼
8-9	0.89	33.66	32.00	1 ¼
9-10	0.95	34.78	32.00	1 ¼
10-11	2.52	56.64	51.00	2
11-12	3.86	70.10	76.00	3
12-13	4.84	78.50	76.00	3
13-14	5.82	86.08	102.00	4
14-T	7.11	95.14	102.00	4

**Determinación de la presión máxima y mínima requerida en el tanque.**

Para la determinación de estas presiones, es necesario calcular primero la carga requerida Hr. Esta carga está compuesta por los siguientes elementos:

$$H_r = H_e + \frac{P_2}{\gamma} + \sum_1^2 h_f$$

En este caso, la carga estática (He) es de 15.5 metros. El mueble más desfavorable para la edificación, es la regadera que se localiza en el quinto nivel, lo cual requerirá de una carga de presión (P<sub>2</sub>/γ) de 0.3 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la determinación de la carga requerida, debe considerarse la pérdida en la red de agua caliente, que es mayor a la red de agua fría, debido a la existencia del calentador de agua.

Para calcular las pérdidas en las tuberías, se recurrirá a las tablas de la figura 3.2 del capítulo 3. Cotejando dichas tablas, teniendo un diámetro de tubería de 4" y un gasto de 7.11 litros por segundo, las pérdidas serán entonces de 0.1209 metros (dado que la longitud de la tubería es de aproximadamente 15.5 metros).

Entonces la carga requerida es de:

$$H_r = 15.5 + 3 + 0.1209 \text{ m}$$

$$H_r = 18.62 \text{ m} = 1.862 \text{ kg/cm}^2.$$

Por lo que la presión mínima (baja) entonces es de:

$$P_2 = 1.862 \text{ kg/cm}^2.$$

Al sumar a esta presión, el diferencial de presión, se obtendrá la presión máxima de operación (o presión alta).

$$P_1 = 1.862 + 1.4$$

$$P_1 = 3.26 \text{ kg/cm}^2.$$

**Selección conveniente del tamaño del tanque y establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.**

Con las relaciones vistas anteriormente se tiene que:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{entonces:} \quad V_1 = \frac{P_2 V_2}{P_1}$$

$$"x" V = \frac{P_2 (0.90) V}{P_1}$$

$$"x" = \frac{0.90 P_2}{P_1} = \frac{0.90 (1.862)}{3.26} = 0.514$$

Por lo que el agua desalojada es entonces  $0.90V - 0.51V = 0.39V$ ; es decir 39% del volumen del tanque.

Con el gasto máximo instantáneo de 7.11 l/s y con un tiempo de carrera de 1 minuto, se tiene:

$$V = \frac{1 \text{ minuto} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \times 7.11 \text{ l/s}}{0.51} = 836.47 \text{ litros}$$

Cotejando el cuadro 2.11 de tanques hidroneumáticos de la compañía "Evans", se puede escoger para este caso, el tanque vertical de membrana modelo "EQAFV500" con diámetro de 77.5 cm, con una altura de 142 cm y con capacidad de 900 litros.

**Determinación de los niveles de paro y arranque.**

De la ecuación 3.4 se tiene:

$$h_1 = H \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \right]$$

$$h_1 = 1.42 \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{1.86}{3.26} \right) \right]$$

entonces el nivel de paro para el tanque es de:  $h_1 = 69$  cm.

De la ecuación 3.2 se tiene:

$$h_2 = 0.10 H$$

$$h_2 = 0.10 (1.42) = 0.142 \text{ m.}$$

entonces el nivel de arranque para el tanque es de:  $h_2 = 14.2$  cm.

#### Selección de la capacidad de la bomba

Para la selección adecuada de la bomba, se recurrirá al cuadro 4.1, en el cual se presentan las características de las motobombas centrífugas "Maesa". En este cuadro puede apreciarse que la motobomba centrífuga modelo "BCM 72", con 10 H.P. y una descarga de 550 litros por minuto, suplirá las necesidades requeridas por el sistema.

Cuadro 4.1. Motobombas centrífugas "Maesa".

MOTOBOMBAS CENTRIFUGAS "MAESA"					
CARACTERISTICAS					
MODELO	H.P.	volts	succión (")	descarga (")	lpm
BCM142	1/4	127	1	3/4	40
BCM122	1/2	127	1 1/4	1	65
BCM342	3/4	127/220	1 1/4	1	70
BCM112	1	127/220	1 1/4	1	75
BCM152	1 1/2	127/220	1 1/2 1 1/4	1 1/2 1	110
BCM202	2	220/440	2 2	1 1/2 2	160
BCM302	3	220/440	2	2	180
BCM502	5	220/440	2	2	300
BCM752	7 1/2	220/440	3 3	3 3	550
BCM102	10	220/440	3 3	3 3	660

**Ejemplo 4.3**

Determinar para un edificio de departamentos, las características del sistema de tanque hidroneumático que satisfaga adecuadamente las necesidades de abastecimiento de agua. Cada departamento cuenta con 1 baño y 1 cocina. Cada baño está amueblado con 1 lavabo, 1 excusado y 1 regadera; la cocina está amueblada con 1 fregadero y 1 lavadero, como se muestra en la figura 4.8. Los lavabos, las regaderas y los fregaderos requieren de agua caliente. El edificio es de 3 niveles y cada nivel está compuesto por 2 departamentos. El agua para el suministro será proporcionada por una sistema localizada en el sótano de la edificación. La carga estática, tomada desde la localización del sistema hidroneumático hasta el último piso (considerando la altura de cada piso de 2.70 metros y del sótano de 2 metros), es de 10.1 metros.

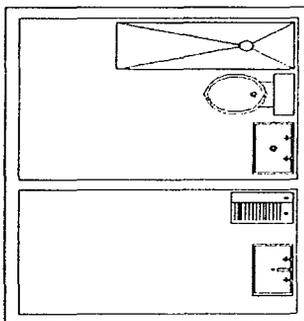


Figura 4.8. Distribución del baño y cocina en cada departamento.

**Solución.**

En la figura 4.9 se puede observar el trazo de la red de distribución y la división en secciones de esta red.

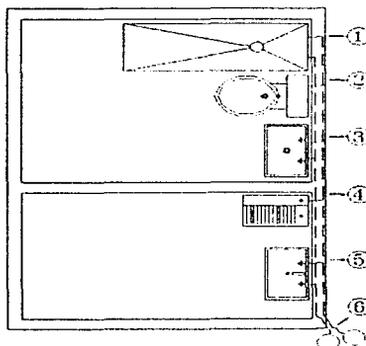


Figura 4.9. Red de distribución del baño y cocina de cada departamento.

**Determinación del gasto máximo instantáneo.**

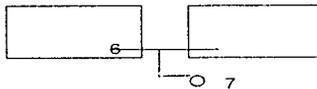
Determinación del QMI de cada departamento.

Como en el ejemplo anterior, los ramales de agua fría se diseñarán con el 75% del consumo del aparato (unidades mueble totales), mientras que los ramales de agua caliente se diseñarán con el 56% del consumo del aparato (unidades mueble totales).

**DERIVACIONES**

TRAMO	MUEBLE	CANTIDAD	U.M.	U.M.T.	U.M.AF	QD <sub>AF</sub>	U.M.AC	QD <sub>AC</sub>
1-2	Regadera	1	2	2	1.50	0.13	1.12	0.11
2-3	Regadera	1	2	5	3.75	0.25	2.80	0.19
	Excusado	1	3					
3-4	Regadera	1	2	6	4.50	0.32	3.36	0.22
		Excusado	1					
	Lavabo	1	1					
4-5	Regadera	1	2	9	6.75	0.45	5.04	0.38
	Excusado	1	3					
	Lavabo	1	1					
	Lavadero	1	3					
5-6	Regadera	1	2	11	8.25	0.50	6.16	0.43
	Excusado	1	3					
	Lavabo	1	1					
	Lavadero	1	3					
	Fregadero	1	2					
6-7	Regadera	2	2	22	16.50	0.78	12.32	0.64
	Excusado	2	3					
	Lavabo	2	1					
	Lavadero	2	3					
	Fregadero	2	2					

Determinación del gasto máximo instantáneo de la edificación.

**DERIVACIONES**

COLUMNA	MUEBLE	CANTIDAD	U.M.	U.M.T.	U.M.AF	QD <sub>AF</sub>	U.M.AC	QD <sub>AC</sub>
7-8	Regadera	4	2	44	33.00	1.34	24.64	1.06
	Excusado	4	3					
	Lavabo	4	1					
	Lavadero	4	3					
	Fregadero	4	2					

8-T	Regadera	6	2	66	49.50	1.79	36.96	1.44
	Excusado	6	3					
	Lavabo	6	1					
	Lavadero	6	3					
	Fregadero	6	2					

Nuevamente se tomará el gasto de diseño del 100% de las unidades mueble de agua fría (66) como el gasto de la edificación, por lo que entonces 2.20 l/s será el gasto de diseño para este problema.

TRAMO	QMI	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	(")
1-2	0.15	13.82	12.70	½
2-3	0.38	22.00	25.40	1
3-4	0.42	23.12	25.40	1
4-5	0.53	25.98	25.40	1
5-6	0.60	27.64	25.40	1
6-7	0.95	34.78	38.10	1 ½
7-8	1.63	45.56	51.00	2
8-T	2.20	52.93	51.00	2

#### Determinación de la presión máxima y mínima requerida en el tanque.

Para la determinación de estas presiones, es necesario calcular primero la carga requerida Hr. Esta carga está compuesta por los siguientes elementos:

$$H_r = H_e + \frac{P_2}{\gamma} + \sum_1^2 h_i$$

En este caso, la carga estática (He) es de 10.1 metros. El mueble más desfavorable para la edificación, es la regadera que se localiza en el tercer nivel, por lo cual requerirá de una carga de presión ( $P_2/\gamma$ ) de 0.3 kg/cm<sup>2</sup>.

De nuevo se recurrirá a la tabla de la figura 3.2 del capítulo 3 para determinar las pérdidas en la tubería. Cotejando dichas tablas, teniendo un diámetro de tubería de 2" y un gasto de 1.79 litros por segundo, las pérdidas serán entonces de 0.2429 metros (dado que la longitud de la tubería es de aproximadamente 10.1 metros).

Entonces la carga requerida es de:

$$H_r = 10.1 + 3 + 0.2429 \text{ m}$$

$$H_r = 13.34 \text{ m} = 1.334 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo que la presión mínima (baja) entonces es de:

$$P_2 = 1.334 \text{ kg/cm}^2$$

Al sumar a esta presión, el diferencial de presión, se obtendrá la presión máxima de operación (o presión alta).

$$P_1 = 1.334 + 1.4$$

$$P_1 = 2.734 \text{ kg/cm}^2$$

**Selección conveniente del tamaño del tanque y establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.**

Con las relaciones vistas anteriormente se tiene que:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{entonces:} \quad V_1 = \frac{P_2 V_2}{P_1}$$

$$"x" V = \frac{P_2 (0.90) V}{P_1}$$

$$"x" = \frac{0.90 P_2}{P_1} = \frac{0.90 (1.334)}{2.734} = 0.44$$

Por lo que el agua desalojada es entonces  $0.90V - 0.44V = 0.46V$ ; es decir 46% del volumen del tanque.

Con el gasto máximo instantáneo de 2.20 l/s y con un tiempo de carrera de 1 minuto, se tiene:

$$V = \frac{1 \text{ minuto} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \times 2.20 \text{ l/s}}{0.44} = 300 \text{ litros}$$

El cuadro 2.7 de los tanques hidroneumáticos de la compañía "Impel-Myers", presenta el tanque de membrana modelo "MPD86" con diámetro de 60.0 cm, con una altura de 149 cm y con un volumen de 325 litros que proporciona una solución satisfactoria al sistema.

**Determinación de los niveles de paro y arranque.**

De la ecuación 3.4 se tiene:

$$h_1 = H \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \right]$$

$$h_1 = 149 \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{1.334}{2.734} \right) \right]$$

entonces el nivel de paro para el tanque es de:  $h_1 = 84$  cm.

De la ecuación 3.2 se tiene:

$$h_2 = 0.10 H$$

$$h_2 = 0.10 (1.49) = 0.149 \text{ m.}$$

entonces el nivel de arranque para el tanque es de:  $h_2 = 14.9$  cm.

**Selección de la capacidad de la bomba**

Para seleccionar la bomba, se recurrirá a las curvas características de la bomba centrífuga serie NB de la compañía "Bames de México" mostradas en la figura 2.12 del capítulo 2, con las cuales se aprecia que con el gasto de 2.20 litros por segundo (132 litros por minuto) y la carga total de 27.26 metros, la bomba que da la solución más cercana a los requerimientos del sistema, es la modelo NB150 con 1 ½ H.P.

## CAPITULO 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**Conclusiones.**

El sistema de tanque hidroneumático, cada vez va teniendo más aplicaciones en los sistemas de abastecimiento de agua en edificaciones, ya que como se puede apreciar en los capítulos anteriores, las cualidades que éste presenta con respecto a los sistemas convencionales de abastecimiento son en gran medida mayores, pues su tamaño, conveniencia, colocación, etc., permiten al usuario obtener una solución adecuada a sus requerimientos de presión hidráulica. Como pudimos ver, las partes principales de un sistema de tanque hidroneumático son una bomba con características óptimas para administrar el agua dentro del tanque y el tanque de presión.

Actualmente son diversas las compañías que se encargan de la manufactura, distribución y venta de los sistemas hidroneumáticos, por lo que es fácil encontrar prácticamente en cualquier parte de la república, casas distribuidoras de dichos sistemas, en las cuales se pueden cotejar diversos modelos, capacidades, marcas, etc., que vienen presentados en catálogos con los cuales se puede seleccionar el sistema hidroneumático que cumpla satisfactoriamente con las necesidades de las edificaciones. En el capítulo 2 de este trabajo, se presentaron algunas opciones de sistemas hidroneumáticos para uso residencial; sin embargo, si se requiere un sistema para complejos industriales o para grandes requerimientos de cantidad de agua y presión, pueden existir dos soluciones: a) suplir las necesidades del sistema con varios tanques de grandes capacidades ó dimensiones, ó sistemas de bombeo programados (con más de 1 bomba), y b) solicitar en las casas distribuidoras catálogos que permitan obtener la información necesaria de sistemas que satisfagan estas grandes demandas.

Como se estudió en el capítulo 3, el diseño de un sistema hidroneumático, no presenta mayor dificultad. Si el proyectista o diseñador conoce los fundamentos de la mecánica de los gases y de la hidráulica y sabe aplicarlos a las redes de distribución de agua en las edificaciones, la determinación de los niveles tanto del tanque como de la bomba, son sencillos de obtener, prueba de ello es que en el capítulo 4, los ejemplos de diseño presentados, no necesitaron la realización de grandes cálculos ó complejas operaciones para poder determinar el sistema que cumpliera con los requerimientos de presión. Los datos que son necesarios para el diseño de un sistema de tanque hidroneumático para una edificación son: el gasto máximo instantáneo ( $Q_{mi}$ ) y la carga requerida ( $H_r$ ).

Los sistemas de tanque hidroneumático, han tenido una buena aceptación en el mercado, y a raíz de las innovaciones del sistema con los llamados "tanques de membrana", es muy posible que en los próximos años, el uso de estos sistemas se incremente significativamente.

La tendencia en nuestros días, es que todo esté cambiando rápidamente para proporcionar al hombre mayor comodidad o el menor esfuerzo. Sin lugar a dudas, la tecnología irá absorbiendo también a los sistemas de tanque hidroneumático como lo ha venido haciendo con muchos de los enseres que son de gran utilidad para el desarrollo de la vida humana, pues como se ha podido observar, los avances de la misma, han hecho que los sistemas convencionales de presión que hasta hace unos años eran lo más novedoso, hayan quedado muy rezagados con los nuevos sistemas que hoy en día son realizados con membranas intercambiables, por lo que no sería extraño que en unas décadas, las investigaciones y los adelantos científicos presenten nuevos diseños de estos tanques, los cuales harán parecer obsoletos a los sistemas de tanque hidroneumático actuales.

### **Recomendaciones.**

En los siguientes párrafos, se dan ciertas recomendaciones para el buen funcionamiento de los sistemas de tanque hidroneumático, las cuales se presentan para que al momento de adquirir, poner en funcionamiento ó dar mantenimiento a estos sistemas, se prevea su operación satisfactoria, así como asegurar una larga vida útil a cada sistema. Recuérdese que la operación eficiente de un sistema, dependerá de varias circunstancias, entre las cuales destacan las siguientes: a) realizar con detenimiento y cuidado los cálculos para determinar los requerimientos del sistema; b) verificar cuidadosamente cada una de las operaciones realizadas para la determinación de los niveles de operación tanto de la bomba como del tanque; c) adquirir el tanque hidroneumático y la bomba más adecuados al sistema, el cual deberá cumplir satisfactoriamente los requerimientos del mismo, y d) operar tanto la bomba y el tanque hidroneumático, de acuerdo con las sugerencias que presentan los fabricantes y distribuidores de los sistemas en los instructivos correspondientes.

### **Sustentación del tanque.**

La instalación de un tanque vertical es relativamente sencilla y no requiere ningún procedimiento especial, pero la instalación de un tanque horizontal requiere de algunas consideraciones y recomendaciones. Por ejemplo, las monturas, silleteros ó apoyos que sostendrán el tanque horizontal deben estar con niveles ligeramente diferentes, de tal manera que el tanque se incline hacia la tubería de desagüe y provea de esta manera un drenaje completo del tanque. Cuando el tanque se coloca sobre apoyos de concreto, es recomendable hacer el radio del apoyo lo suficientemente amplio para que el material de aislamiento pueda aplicarse entre el tanque y el concreto. Este material de aislamiento, debe cumplir con 3 propósitos: a) proporcionar cierta elasticidad para compensar las expansiones y contracciones que puedan ocurrir a causa de las diferencias de presión en el tanque; b) debe ofrecer protección contra la corrosión externa del tanque en las posiciones de los apoyos, y c) deberá protegerlo en contra de grietas o rendijas en donde se pueda permitir humedad que se presente sobre las superficies ásperas del concreto.

Un método de aislamiento probado satisfactoriamente ha sido el uso de un plástico llamado "tableta mediana de fieltro", aunque éstas pueden ser substituidas por varias capas de una cubierta de fieltro satisfactoria. Cada tableta debe ser cortada de tal manera que se pueda extender al menos tres centímetros más allá de los bordes del apoyo de concreto. El tanque es marcado para establecer esas tabillitas en su posición correcta. El fieltro es entonces saturado completamente con alquitrán, de preferencia con un tipo de cubierta caliente y entonces las tabillitas son colocadas firmemente en sus posiciones respectivas dentro de las marcas en el tanque. Cuando el tanque es colocado (bajado) cuidadosamente en su posición sobre los apoyos, es conveniente controlar, y si es necesario, sellar cualquier grieta o rendija en donde se pueda permitir humedad que se presente cerca del tanque.

La acumulación de humedad en las posiciones de los apoyos que pudieran causar corrosión en el tanque, pueden eliminarse vaciando una lechada de cemento en cada apoyo, de tal manera que sea imposible que se presente cualquier tipo de humedad.

La práctica de buenas instalaciones indican que los apoyos del tanque no deben estar espaciados más allá de 2.15 metros.

En lugar de los apoyos de concreto, se usan en algunas ocasiones apoyos de metal. Es recomendable que cuando se usen éstos, sean alirantados (contraventados) convenientemente.

## **Tubería.**

### **Datos generales.**

La tubería en un sistema de presión hidroneumático deberá estar constituida con los mejores estándares prácticos de tuberías, esto es, todos los conductos deben ser cortados para ajustarse a su posición sin esfuerzos mecánicos, bien escariados, todas las cuerdas deben ser realizadas limpiamente antes de acoplarlas y en estos acoplamientos deben usarse los productos adecuados, tales como cinta teflón, para evitar fugas tanto de agua como de aire.

Para un buen funcionamiento de la planta, son esenciales otras consideraciones, algunas de las cuales están indicadas a continuación.

- Es conveniente la instalación de tuercas unión en cada línea de tubería tan cerca como sea conveniente de cada parte principal del sistema que pueda requerir una remoción de las partes para darle servicio o hacer una reparación.
- Cuando la resistencia del suelo u otras condiciones locales no sean favorables, se deben incluir codos adicionales y tuberías tanto en las tuberías de entrada como de salida del tanque con el fin de permitir movimientos que darán flexibilidad en el caso de que el tanque sufra desnivelaciones. Si se fijan firmemente las tuberías a los apoyos del tanque con abrazaderas adecuadas, se prevendrán los esfuerzos causados por la acción de giros de las conexiones que se transmiten a los empaques de hule de aislamiento a la conexión de descarga de la bomba ó a las conexiones del sistema.
- Aunque la tubería de presión de encendido puede conectarse directamente en la parte de contenido de aire del tanque, es mucho mejor práctica conectarla en la tubería de salida de agua, cercana al tanque, para proporcionar un sello de agua en las uniones de las tuberías y así evitar las fugas de aire.
- Todas las válvulas de retención (check) usadas ya sea para el agua o para las tuberías de aire, deben ser del tipo que no cierra de golpe. Aunque son ligeramente más caras que las válvulas comunes, en realidad son económicas por su contribución a un sistema de operación más silencioso. Si se usan válvulas diferentes a las mencionadas en sistemas donde la economía es el principal requerimiento, pueden ser de las de composición de disco, o del tipo de disco con cubierta de cuero.

### **Válvulas**

Cuando en los sistemas convencionales se usa un compresor separado para abastecer aire al tanque de presión, es recomendable que la válvula check de la tubería de aire sea colocada tan cerca como sea posible del tanque. La práctica indica la conveniencia de instalar válvulas doble check en esta tubería para asegurarla contra cualquier posibilidad de fuga de presión de regreso.

Las válvulas doble check deben también ser consideradas para la instalación en la tubería de descarga de la bomba dentro del tanque para todos los sistemas donde no sean deseables fugas de presión de regreso dentro de la tubería de suministro.

Las válvulas de paro en las tuberías de agua deben ser preferiblemente del tipo de composición de disco, aunque pueden usarse válvulas de compuerta. Las válvulas de paro en las tuberías de aire deben ser, ya sea del tipo de aguja o del tipo de composición de disco.

### **Protección de aire.**

El aire que entra a un sistema de presión hidroneumático convencional no debe contaminarse con polvo, humo, insectos, vapores, etc. Por lo tanto será necesario entubar el aire tan puro como sea posible desde la fuente, y después proporcionar una protección adicional usando un filtro convenientemente instalado en el extremo inicial de la tubería. Este filtro debe ser colocado en un lugar adecuado pues será necesario limpiarlo o reemplazarlo en intervalos frecuentes de tiempo.

Las tuberías de drenaje que permitan entrada sin restricción dentro del sistema durante intervalos periódicos, deben ser también protegidas contra la entrada de polvo, vapores, insectos, etc. dentro del sistema. Esta protección puede ser realizada mediante el uso de un filtro instalado de forma satisfactoria al final de la tubería de drenaje.

#### **Sistemas de operación y control.**

La operación apropiada de un sistema de presión hidroneumática, se basa principalmente en el funcionamiento simultáneo de dos métodos distintos de control dentro del tanque. Uno de los métodos abastece y mantiene el volumen adecuado de aire estableciendo el Nivel Alto Del Agua mientras el otro mantiene los requerimientos diferenciales de presión.

El suministro de aire y el mantenimiento deseado del Nivel Alto De Agua, puede alcanzarse mediante tres formas básicas diferentes:

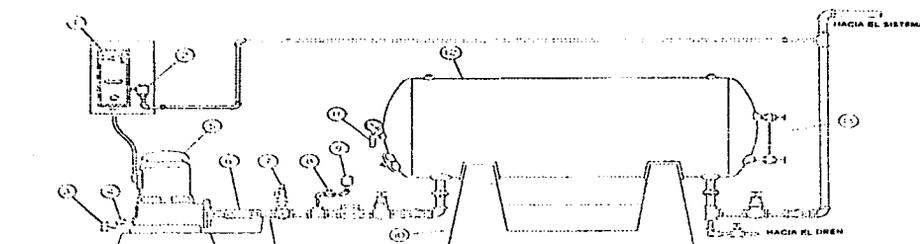
1. Por medio de un arreglo de válvulas que permita al agua en parte de la descarga de la bomba drenar y ser remplazada con aire. El aire atrapado es entonces forzado dentro del tanque. Este método es usado generalmente en las instalaciones con bombas de pozo profundo y es realizado por un mecanismo de control similar al "Control de Volumen de Aire Tipo WV-1" de la U.S. Gauge Company, ó al "Tipo DS Duotrol" de la Automatic Control Company.
2. Por medio de un arreglo de desplazamiento de aire construido especialmente que opera automáticamente a través de la combinación de un flotador y válvulas que funcionan mediante el sostenimiento de presión en el tanque. Este método puede usarse con cualquier tipo de sistema hidroneumático y es realizado por un mecanismo de control similar al Control del Nivel de Agua Nu-Matic.
3. Por medio de un compresor de aire estándar separado, que es operado mediante un control de nivel de agua de tipo flotador. Este método es usado generalmente con las instalaciones de tipo booster y es realizado mediante un control similar al del "Tipo DC Duotrol" de la Automatic Control Company.

#### **Ubicación del tanque hidroneumático.**

Existen muchos lugares en un sistema donde puede instalarse un tanque. El más común es una conexión con el cabezal de descarga del sistema de bombeo. Otro es directamente después de la bomba, y finalmente en cualquier parte fuera del sistema (en el techo por ejemplo). Los beneficios varían dependiendo de las circunstancias. Por ejemplo, en un edificio muy elevado, la colocación del tanque encima del techo puede eliminar la necesidad de tener una instalación con presión de trabajo que pueda manejar tanto a la presión booster del sistema más la altura estática del agua. Los tanques de presión de trabajo alto, son muy caros. Al colocar el tanque en el techo, éste nunca tendrá el efecto de la presión de la altura estática del edificio. Colocando el tanque en la entrada de la descarga permite una localización sencilla para equipo mecánico.

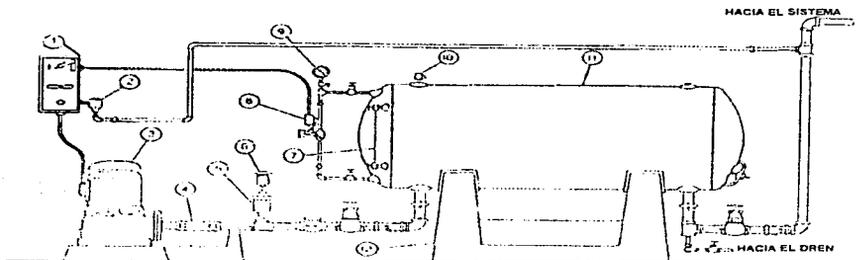
Colocando la conexión del tanque después de la bomba, permite al tanque ver la presión final más alta disponible. Esto se permite para el tanque más pequeño. Debe cuidarse la instalación de una válvula de retención (check) aguas arriba de la conexión del tanque si se tira fuera del tanque o si no hay un previsor de regreso de gasto.

## ANEXO A



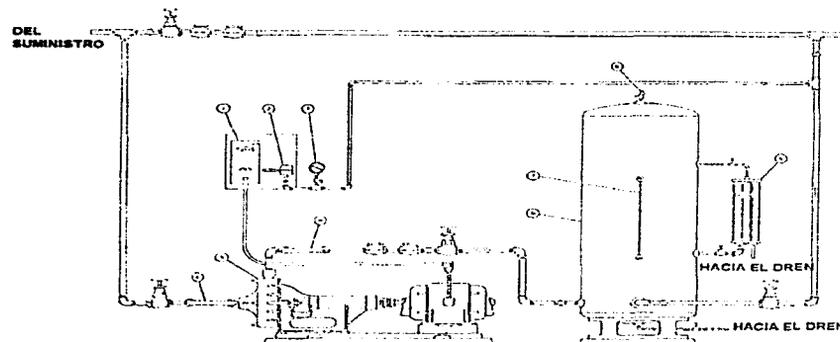
- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1.- Arrancador de combinación    | 8.- Válvula de entrada de aire           |
| 2.- Interruptor de presión       | 9.- Filtro de aire                       |
| 3.- Coladera                     | 10.- Apoyos del tanque                   |
| 4.- Válvula de drenaje para agua | 11.- Control de Volumen de aire Tipo W-1 |
| 5.- Bomba de pozo profundo       | 12.- Tanque de presión                   |
| 6.- Conexión de manguera de hule | 13.- Medidor de agua                     |
| 7.- Válvula de alivio de presión |  |

Figura 1. Sistema de presión hidroneumático típico de tipo de pozo profundo (con válvula de pie en la succión de la bomba y Control de Volumen de aire Tipo W-1).



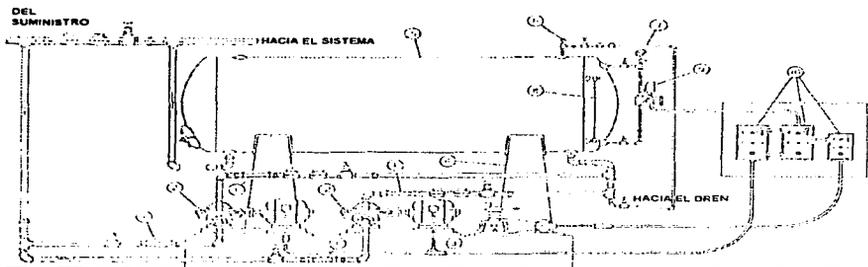
- |                                      |                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1.- Arrancador de combinación        | 7.- Medidor de agua               |
| 2.- Interruptor de presión           | 8.- Tipo DS Duotrol               |
| 3.- Bomba de pozo profundo           | 9.- Medidor de presión            |
| 4.- Conexión de manguera de hule     | 10.- Válvula de alivio de presión |
| 5.- Válvula flotadora de ventilación | 11.- Tanque de presión            |
| 6.- Filtro de aire                   | 12.- Apoyos del tanque            |

Figura 2. Sistema de presión hidroneumático típico de tipo de pozo profundo (sin válvula de pie en la succión de la bomba; con Tipo DS Duotrol de la "Automatic Control Company").



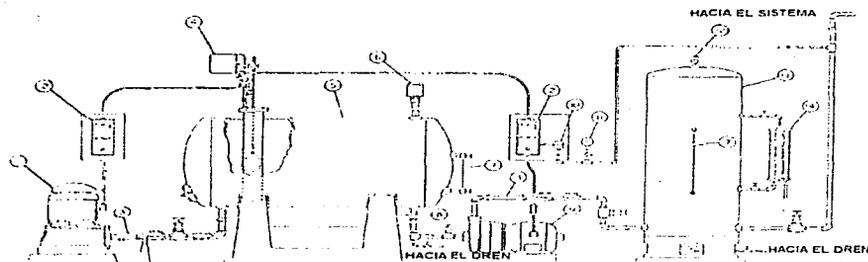
- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1.- Arrancador de combinación    | 6.- Tanque de presión                 |
| 2.- Interruptor de presión       | 7.- Medidor de agua                   |
| 3.- Medidor de presión           | 8.- Válvula de alivio de presión      |
| 4.- Conexión de manguera de hule | 9.- Control de nivel de agua Nu-Matic |
| 5.- Bomba y motor                |                                       |

Figura 3. Sistema de presión hidroneumático típico de tipo "booster" (con Control de nivel de agua Nu-Matic).



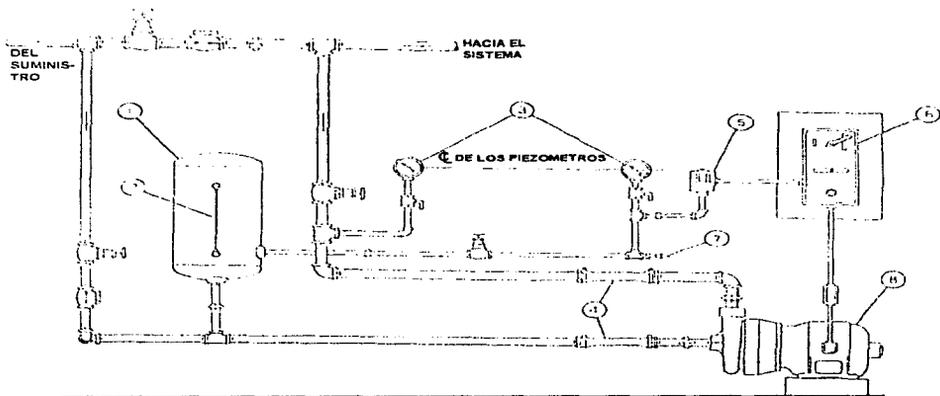
- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1.- Conexión de manguera de hule | 6.- Válvula de alivio de presión  |
| 2.- Bomba y motor                | 7.- Medidor de presión            |
| 3.- Compresor de aire y motor    | 8.- Medidor de agua               |
| 4.- Apoyos del tanque            | 9.- Tipo DC Duotrol               |
| 5.- Tanque de presión            | 10.- Arrancadores de combinación. |

Figura 4. Sistema de presión hidroneumático típico de tipo "doble booster" (con Tipo DC Duotrol de la "Automatic Control Company").



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1.- Bomba de pozo profundo       | 8.- Apoyos del tanque                  |
| 2.- Arrancador de combinación    | 9.- Bomba "booster"                    |
| 3.- Conexión de manguera de hule | 10.- Interruptor de presión            |
| 4.- Flotador                     | 11.- Medidor de presión                |
| 5.- Tanque de reserva            | 12.- Válvula de alivio de presión      |
| 6.- Filtro de aire               | 13.- Tanque de presión                 |
| 7.- Medidor de agua              | 14.- Control de nivel de agua Nu-Matic |

Figura 5. Sistema de presión hidroneumático típico de tipo combinado (con flotador en la reserva de la "Automatic Control Company" y Control de nivel de agua Nu-Matic en el tanque de presión).



- |                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1.- Tanque con colchón de aire   | 5.- Interruptor de presión    |
| 2.- Medidor de agua              | 6.- Arrancador de combinación |
| 3.- Medidor de presión           | 7.- Válvula del tanque        |
| 4.- Conexión de manguera de hule | 8.- Bomba centrífuga          |

Figura 6. Sistema típico del tanque con colchón de aire.

**BIBLIOGRAFIA****ATRIUM**

**Biblioteca Atrium de las instalaciones, volumen 3**  
Grupo Editorial Océano, Barcelona, 1992.

Shuldener Henry y Fullman James  
**Problemas de suministro de agua y plomería en edificios**  
Editorial Limusa, México, 1985.

Zepeda C. Sergio  
**Manual de instalaciones**  
Editorial Limusa, México, 1991.

Peerless Pump Division  
**Hydro-pneumatic pressure systems**  
Editado por Peerless Pump Division, U.S.A., 1991.

Instituto Nacional de Obras Sanitarias  
**Cartilla de adiestramiento para operadores de plantas de tratamiento de aguas claras**  
Editado por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias, México, 1994.

Mosqueira R. Salvador  
**Física Elemental**  
Editorial Patria, México, 1980

Maron y Prutton  
**Fundamentos de Fisicoquímica**  
Editorial Limusa Wiley, México, 1968

**Enciclopedia autodidáctica Quillet, tomo II**  
Editorial Cumbre, México, 1979

Russell George E.  
**Hidráulica**  
Compañía Editorial Continental, México, 1979.

Sotelo Avila Gilberto  
**Hidráulica General**  
Editorial Limusa, México, 1985.

Academia Hütte de Berlin  
**Manual del Ingeniero**  
Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1965.

## **CATALOGOS:**

Pressurized Diaphragm Tanks  
**Compañía: Myers**

Equipos hidroneumáticos para uso residencial  
**Compañía: Impel-Myers**

Equipos hidroneumáticos integrados  
**Compañía: Barmesa**

Automatic Jet Charger  
**Compañía: Jacuzzi**

Equipos hidroneumáticos con tanque presurizado de membrana intercambiable  
**Compañía: Evans**

Electrobombas centrífugas volumétricas auto aspirantes  
**Compañía: Saer Elettropompe**

Manual de instalación y operación  
**Compañía: Maesa**