



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS
RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

Erick Amaury Argueta Méndez

Asesorado por el Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, febrero de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES,
VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

ERICK AMAURY ARGUETA MÉNDEZ

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

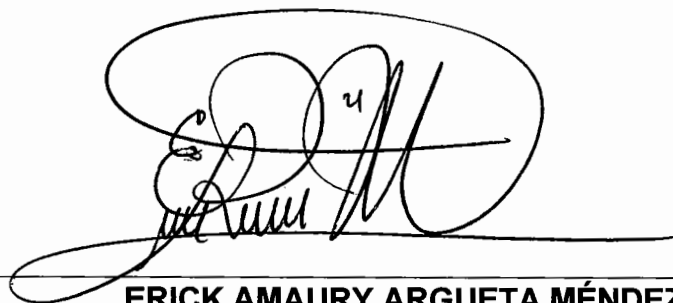
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES,
VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 de octubre de 2008.



A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Erick Amaury Argueta Méndez'. Below the signature is a horizontal line.

ERICK AMAURY ARGUETA MÉNDEZ

Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental. Avalúos

Colegiado 2548

17 de noviembre 2010

Ingeniero

Pedro Aguilar Polanco

Jefe del Departamento de Hidráulica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Aguilar:

*Después de analizar y revisar el trabajo de graduación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS"**, presentado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil, **ERICK AMAURY ARGUETA MÉNDEZ**, tengo a bien manifestar que dicho trabajo ha sido ejecutado conforme a los requisitos establecidos.*

Por lo anterior en mi calidad de Asesor, me permito solicitar se proceda con los trámites respectivos para su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente,



~~*Ing. Civil, Guillermo Francisco Melini Salguero*~~

Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
16 de noviembre de 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Guatemala

Estimado Ingeniero Montenegro.

Atentamente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante Erick Amaury Argueta Méndez, titulado IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo; y existiendo la APROBACIÓN DEL MISMO, por parte del Asesor Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Erick Amaury Argueta Méndez, titulado **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero de 2011

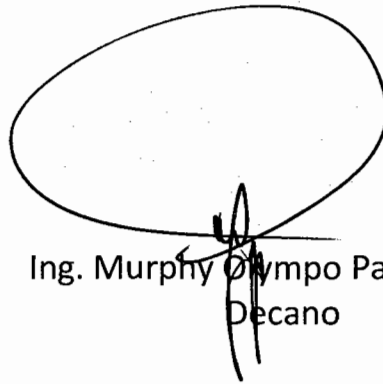
/bbdeb.



DTG. 063.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS**, presentado por el estudiante universitario **Erick Amaury Argueta Méndez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 25 de febrero de 2011

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- MIS PADRES** Elmar Amaury Argueta Rodas y Amada Méndez de Argueta, las personas que hicieron posible que lograra llegar a este punto, que gracias a su ejemplo y guía me he mantenido firme en mi camino y derecho de pensamiento, gracias por su amor y comprensión.
- MIS HERMANOS** Alex, Evelyn y Shirly, su apoyo incondicional y el amor que me han brindado me ha dado fuerzas para seguir adelante en el difícil camino de la vida, personas invaluable en mi corazón.
- MIS SOBRINOS** Alex, Joshua y Kevin, que brindan alegría día a día con sus ocurrencias.
- MIS TIOS** Dr. Mario Gilberto Argueta Rodas y Profa. Flor de María Rodríguez Alburéz, en quienes encontré a unos segundos padres que me abrieron las puertas de su hogar y de su corazón, gracias por todo su cariño.
- MIS PRIMOS** Mario y Francis, que dejaron de ser mis primos y se convirtieron en mis hermanos, que siempre me apoyaron y cuidaron, les agradezco profundamente todo su cariño.

**MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS
DE TRABAJO** Ing. Arturo García Serrano, Ing. Walter Sosa, Gloria Reyes,
Carlos López, quienes se han convertido en una nueva
familia para mi, y me han brindado su amistad y cariño en
todo momento, su apoyo ha sido imponderable, mil gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Con su gran bondad nos permite alcanzar las metas que nos proponemos, nos da la salud y nos rodea de personas que nos apoyan.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

En especial a la Facultad de Ingeniería, por llenarme de conocimientos y formarme académicamente como profesional.

LOS DOCENTES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Quienes compartieron sus experiencias y conocimientos.

ING. GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

Por la asesoría brindada en la realización de este trabajo de graduación y por compartir sus conocimientos durante el transcurso de mis clases, siendo un catedrático sin reserva de conocimientos.

ING. PEDRO AGUILAR POLANCO

Por la revisión y corrección prestada en la elaboración del presente trabajo de graduación, cuyas sugerencias fueron de gran ayuda y fundamentales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	I
GLOSARIO.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1 GENERALIDADES.....	1
1.1 Sistemas hidroneumáticos.....	1
1.2 Teoría sobre sistemas hidroneumáticos.....	2
1.2.1 Tipos de sistemas hidroneumáticos.....	2
1.2.2 Características.....	5
1.2.3 Partes que componen un sistema hidroneumático.....	7
1.2.4 Funcionamiento.....	9
1.2.5 Vida útil del sistema.....	11
1.2.6 Fallas mecánicas que influyen en el funcionamiento de un sistema hidroneumático	12
1.3 Ventajas ante un sistema común de almacenamiento.....	14
1.3.1 Ventajas.....	14
1.3.2 Desventajas.....	15
1.4 Información requerida para el diseño de un sistema hidroneumático.....	16
1.4.1 Generalidades.....	16
1.4.2 Ciclos de bombeo.....	18
1.4.3 Presiones.....	19

1.4.4	Cálculo de caudal necesario.....	22
1.4.5	Pérdidas de carga.....	22
1.4.6	Medición de cotas.....	24
2	SELECCIÓN DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.....	25
2.1	Tablas de rendimiento y especificaciones técnicas del fabricante.....	25
2.1.1	Número de bombas.....	25
2.1.2	Potencia requerida por la bomba y el motor.....	26
2.1.3	Dimensionamiento del tanque a presión.....	26
2.2	Tamaño del equipo en función del espacio con que se cuenta..	28
2.3	Elección del sistema según el caudal de diseño.....	30
2.4	Costo del equipo.....	31
3	COMPARACIÓN DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO CON UN SISTEMA TRADICIONAL.....	33
3.1	Sistema hidroneumático comparación de rendimiento ante tanques elevados.....	33
3.2	Sistema hidroneumático comparación de rendimiento cisternas con bomba centrífuga normal.....	34
3.3	Comparación en costo y rendimiento entre un sistema hidroneumático y los métodos de almacenamiento tradicionales.....	35
4	CARACTERÍSTICAS NECESARIAS EN LA RESIDENCIA PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.....	39
4.1	Capacidad eléctrica.....	39
4.2	Espacio adecuado y suficiente para la instalación.....	40
4.3	Abastecimiento suficiente de agua.....	40
4.3.1	Dimensionamiento de un tanque cisterna para abastecimiento del sistema hidroneumático a utilizar...	41
5	APLICACIONES DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS.....	45

5.1	Residenciales.....	45
5.2	Bombeo a tanques de distribución de agua potable.....	45
5.3	Riego de plantaciones.....	46
5.4	Otras aplicaciones.....	46
5.4.1	Lavandería.....	47
5.4.2	Fraccionamientos.....	47
5.4.3	Edificios de apartamentos.....	47
5.4.4	Hoteles.....	47
5.4.5	Industria purificadora de agua.....	47
6	EJEMPLOS.....	49
6.1	Residencias de tres niveles.....	49
6.1.1	Cálculo de caudal requerido.....	50
6.1.2	Cálculo de tubería.....	50
6.1.3	Cálculo de pérdidas de carga.....	52
6.1.4	Cálculo de presión mínima.....	52
6.2	Dimensionamiento del tanque a presión.....	53
6.2.1	Ciclo de bombeo.....	54
6.2.2	Cálculos.....	54
6.2.3	Volumen útil del tanque.....	54
6.2.4	Porcentaje del volumen utilizable.....	54
6.2.5	Volumen total.....	55
6.2.6	Sistema de riego.....	57
6.2.7	Cálculo.....	57
6.2.8	Dimensionamiento del tanque a presión.....	61
6.2.9	Ciclos de bombeo.....	61
6.2.10	Volumen útil del tanque.....	61
6.2.11	Porcentaje del volumen utilizable del tanque.....	62
6.2.12	Volumen total.....	62

6.3 Dimensionamiento de un tanque cisterna para abastecimiento del sistema hidroneumático a utilizar.....	63
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Presurizador con bomba periférica.....	3
2	Bomba <i>jet</i> en acero inoxidable con tanque horizontal y vertical.....	4
3	Bomba <i>jet</i> en hierro gris tanque vertical.....	4
4	Equipo hidroneumático con dos bombas multietapas con tanque vertical en acero.....	5
5	Equipo hidroneumático con tres bombas multietapas con tanque vertical de acero.....	5
6	Esquema de funcionamiento.....	11
7	Hidroneumático residencial.....	17
8	Ejemplo del perfil de un tanque cisterna.....	44

TABLAS

I.	Tabla para selección de tubería pvc para aplicaciones a presión.....	16
II.	Tabla de dotación máxima recomendada por la OMS.....	22
III.	Tabla para el cálculo del caudal diario.....	22
IV.	Tabla para selección de sistemas hidroneumáticos basada en el consumo promedio habitante día.....	28
V.	Tabla de precios de sistemas hidroneumáticos.....	31
VI.	Tabla ejemplo para cálculo de demanda total diaria.....	41

GLOSARIO

Abrasión	Acción mecánica de rozamiento que provoca la erosión o desgaste de un material o tejido.
Álabe	Cada una de las paletas curvas de una rueda hidráulica o una turbina.
Bridado	Unión entre tuberías, ya sea para aumentar su longitud o para un cambio de dirección.
Carcasa	En general, conjunto de piezas duras y resistentes, que dan soporte (interno) o protegen (exteriormente) a otras partes de un equipo.
Cavitación	Efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido, pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli (principio de Bernoulli). Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan, debilitando metalúrgicamente el material, causando cavitaciones o erosión.

Dispositivo de encendido simultáneo	Comúnmente llamado simultaneador, es un dispositivo de control de encendido para el arranque simultáneo de dos o más bombas de agua.
Electrodos	Conductor utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío (en una válvula termoiónica), un gas (en una lámpara de neón), etc.
Flujo	Movimiento de una sustancia líquida o gaseosa, es decir, un fluido.
Fluxómetro	Mecanismo que al ser accionado por el usuario, produce en los inodoros y urinarios, una descarga de agua abundante y corta para efectuar el lavado eficaz de la taza.
Manómetro	Instrumento de medida que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente, dos tipos: los de líquidos y los de gases.

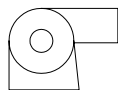
Pérdida de nivel dinámico de succión	Comúnmente llamado descebado, esto se traduce en que la bomba ha perdido el líquido necesario para mantener el equilibrio dinámico en la tubería de succión, con lo cual no puede continuar el proceso de bombeo hasta recuperar dicho nivel a la boca de succión de la bomba.
Presostato	También conocido como interruptor de presión, es un instrumento que cierra o abre un circuito eléctrico, dependiendo de la lectura de presión de un fluido.
Presurizado	Componente que mantiene una presión constante en su interior, ya sea fija o derivada del uso de un compresor que la mantenga a un nivel determinado.
Rodete	Rotor situado dentro de una tubería o un conducto encargado de impulsar un fluido. Generalmente se utiliza este término para referirse al elemento móvil de una bomba centrífuga, pero en ocasiones también se utiliza para referirse al elemento móvil de turbinas y ventiladores.
Termoiónica	También llamada válvula termoiónica, válvula de vacío, tubo de vacío o bulbo, es un componente electrónico

utilizado para amplificar, conmutar, o modificar una señal eléctrica mediante el control del movimiento de los electrones en un espacio "vacío" a muy baja presión, o en presencia de gases especialmente seleccionados.

Vacuómetro Instrumento que mide, con gran precisión, presiones absolutas inferiores a la presión atmosférica. Se le utiliza tanto en la industria como en el campo de la investigación científica y técnica.

Válvula de alivio Válvula que permite drenar o disminuir la compresión en el interior de los conductos.

LISTA DE SÍMBOLOS



Bomba

Hp

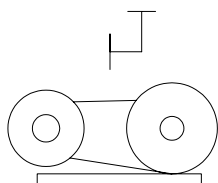
Caballos de fuerza (*horse power*)

Qd

Caudal de diseño

Tc

Ciclos de bombeo

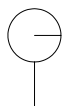


Codo 90°

Compresor

P.S.I.

Libras por pulgada cuadrada



Manómetro

M.C.A

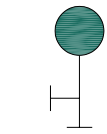
Metros columna de agua

Pmáx

Presión máxima

Pmín

Presión mínima



Presostato



Tee 90°



Válvula de paso



Válvula de pie



Válvula de retención



RESUMEN

Mediante el presente trabajo se pretende, conocer las ventajas y desventajas que conlleva la utilización de un sistema hidroneumático residencial.

En el capítulo uno se presentan las generalidades de estos sistemas, así como los tipos de sistemas de que se dispone en el mercado; además se listan las ventajas y desventajas que estos sistemas presentan. En el capítulo dos se brindan pautas para la selección del sistema hidroneumático adecuado a cada propósito. El capítulo tres presenta una comparación entre los sistemas hidroneumáticos y los sistemas tradicionales, tales como los tanques elevados y los sistemas de bombeo tradicionales. El capítulo cuatro enumera las características necesarias en la residencia para el adecuado funcionamiento de un sistema hidroneumático. El capítulo cinco muestra la versatilidad de estos sistemas, enumerando algunos de los usos que éstos puedan tener y por último en el capítulo seis se presentan varios ejemplos.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema hidroneumático para residencias no mayores de tres niveles, con un máximo de diez personas, optimizando la presión y reduciendo costos.

Específicos

1. Describir los elementos principales de un sistema hidroneumático residencial.
2. Indicar las ventajas y desventajas del uso de un sistema hidroneumático
3. Proporcionar criterios para diseñar un sistema de acuerdo a las necesidades requeridas, no importando el uso que se le pueda dar.
4. Proporcionar criterios para la selección del equipo hidroneumático adecuado, tratando de minimizar el costo y aumentar la eficiencia del sistema.

INTRODUCCIÓN

Podría considerarse que la creciente demanda de vivienda en el país ha hecho necesario poner en práctica otros métodos constructivos, así como el uso de nuevos aditamentos que requieren el uso de sistemas y equipos que garanticen su buen funcionamiento, además de la reducción de los espacios para la construcción. Esto ha hecho necesario optimizar el uso de los espacios y de los procesos.

De lo mencionado anteriormente, se toma la decisión de desarrollar este trabajo de graduación, con el cual se explica el diseño, usos e instalación de los sistemas hidroneumáticos. Éstos fueron diseñados con el propósito de competir con los sistemas tradicionales de distribución y almacenamiento de agua potable, optimizando la presión de uso, así como el espacio, ya que éstos pueden instalarse en espacios reducidos y ser prácticamente invisibles dentro de la estructura, manteniendo la estética en el diseño, dando como resultado que todos los equipos, aditamentos y accesorios de la red de aguas blancas de la estructura funcionen de acuerdo a las normas establecidas, que el uso industrial sea seguro y satisfactorio, y que el uso de estos sistemas en riego vaya en aumento, dado que reduce el desperdicio y el uso de personal, colaborando de esta forma con la reducción de costos directos e indirectos a corto y largo plazo.

En resumen los sistemas hidroneumáticos facilitan los procesos que necesitan de una presión de agua constante, ya sean habitacionales, o industriales, minimizan costos y optimizan espacios que pueden ser utilizados para otro propósito.

1. GENERALIDADES

1.1 Sistemas hidroneumáticos

Los sistemas hidroneumáticos sirven para mantener la presión constante en las tuberías de aguas blancas dentro de una casa, oficina o planta purificadora. Estos sistemas permiten que el líquido salga a la presión y flujo adecuado, sin importar la distancia a la que se encuentren los equipos y artefactos que demandan agua.

Los sistemas hidroneumáticos han demostrado ser una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas frente a otros sistemas. Evita construir tanques elevados, colocando un sistema de tanques parcialmente llenos con aire a presión; lo cual provoca que la red hidráulica mantenga una presión, mejorando el funcionamiento de lavadoras, filtros, regaderas, llenado rápido de depósitos en inodoros, operaciones de fluxómetros y riego por aspersión, entre otros; lo cual demuestra la importancia de estos sistemas en diferentes áreas de aplicación. Asimismo evitar la acumulación de algas y suciedad en tuberías por flujo a bajas velocidades. Este sistema no requiere tanques ni red hidráulica de distribución en las azoteas de los edificios (evitando problemas de humedades por fugas en la red) que dan tan mal aspecto a las fachadas y además quedan espacios libres para diferentes usos.

1.2 Teoría sobre sistemas hidroneumáticos

Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión, funcionando de la siguiente manera: el agua que es suministrada desde la acometida pública u otra fuente, es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde, a través de un sistema de bombeo, será impulsada a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red), y que posee volúmenes variables de agua y aire.

Cuando el agua entra al recipiente aumenta el nivel de agua, se comprime el aire y aumenta la presión, cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados ($P_{\text{máx.}}$), se produce la señal de parada de bomba y el tanque queda en la capacidad de abastecer la red; cuando los niveles de presión bajan, a los mínimos preestablecidos ($P_{\text{mín.}}$) se acciona el mando de encendido de la bomba nuevamente. Como se indicó, la presión varía entre $P_{\text{máx}}$ y $P_{\text{mín}}$, y las bombas prenden y apagan continuamente. El diseño del sistema debe considerar un tiempo mínimo entre el encendido de las bombas, conforme a sus especificaciones; un nivel de presión ($P_{\text{mín}}$), conforme al requerimiento de presión de instalación; y una presión ($p_{\text{máx}}$), que sea tolerable por la instalación hidráulica y proporcione una buena calidad de servicio.

1.2.1 Tipos de sistemas hidroneumáticos

a. Presurizador o Hidrocell

Consiste en un sistema de presurización completo, en forma de paquete, que proporciona agua a presión constante en toda la red hidráulica de la casa.

Figura 1. Presurizador con bomba Periférica (1/2 H. P. o 3/4 H. P.)



b. Hidroneumáticos simples

Consiste en un sistema hidroneumático (agua-aire) completo, en forma de paquete, que proporciona agua a presión en toda la red hidráulica de la residencia.

Requiere de suministro de electricidad y conectar la succión de la bomba a la cisterna, tinaco o depósito de agua y descarga del equipo a la tubería. Está diseñado para uso residencial y comercial. Fabricado con el criterio de alta calidad para lograr una excelente operación durante muchos años sin problemas de mantenimiento.

Figura 2. Bomba *jet* en acero Inoxidable Tanque horizontal (acero)



Figura 3. Bombas *jet* en hierro gris tanque vertical (fibra de vidrio) y bomba multietapas tanque vertical (acero)



c. Hidroneumáticos múltiples

Funcionan de igual manera que los sistemas hidroneumáticos simples con la diferencia que éstos utilizan dos o más bombas para generar la presión en el tanque, dado que se utilizan en estructuras más grandes que requieren de una mayor presión para alcanzar los niveles más altos, o por el uso de maquinaria industrial que requiere de mucha más presión de lo normal. Están fabricados con el criterio de alta calidad para lograr una excelente operación durante muchos años sin problemas de mantenimiento.

Figura 4. Equipo hidroneumático con dos bombas multietapas con tanque vertical en acero



Figura 5. Equipo hidroneumático con tres bombas multietapas con tanque vertical



1.2.2 Características

a. Sistema presurizador o hidrocél

Por su diseño al tener el presurizador pegado a la descarga, el recorrido de aspiración es mínimo y es posible reducir pérdidas de carga.

- Fácil de instalar, ya que se suministra completamente armado y probado, solo requiere de alimentación eléctrica, conectar la succión del equipo a la fuente de alimentación de agua y a la descarga de la red de la tubería.
- Operación automática
- No necesita tanque ni equipo de control como interruptor de presión y manómetro, el control de encendido y apagado se realiza debido a su tarjeta electrónica.
- Bajo consumo de energía.
- Rango de suministro de 1 a 3 baños completos (incluyendo cocina y una lavadora), trabajando la instalación al 100%, con tubería de 1/2" de diámetro.

b. Sistemas hidroneumáticos simples

- Es fácil de instalar, ya que se suministran completamente armados y probados, sólo se requiere de alimentación eléctrica, y conectar la succión del equipo a la fuente de agua y a la descarga de la red de tuberías.
- Bomba periférica tipo *jet* (hierro gris o acero inoxidable) o bomba multietapas.
- Bomba en capacidades de 1/2 H. P. hasta 1.0 H. P.
- Tanque en acero con membrana (modelos de 19 a 60 lts.) o diafragma en fibra de vidrio con membrana intercambiable.
- Bajo consumo de energía
- Rango de suministro de 1 a 5 baños completos (incluyendo cuarto de servicio y cocina), trabajando la instalación al 100%, con tubería de 1/2" de diámetro.

c. Sistemas hidroneumáticos múltiples

- Fácil de instalar, ya que se suministran completamente armados y probados, sólo se requiere de alimentación eléctrica, y conectar la succión del equipo a la fuente de agua y a la descarga de la red de tuberías
- Banco de 2 a 4 bombas multietapas, verticales u horizontales (velocidad variable a partir de 3 bombas).
- Tablero de encendido simultáneo con protecciones contra sobrecorriente, luces piloto, activación manual o automática. En caso que la demanda sea mayor al flujo de una sola bomba el sistema lo detecta y hace funcionar el número de bombas requerido para mantener una presión constante en toda la línea.
- Tubo concentrador de flujo, con unión removible para fácil mantenimiento.
- Tanque precargado (en acero o fibra de vidrio), adecuado a la demanda.
- Base en hierro para fijar las bombas y el tablero de encendido simultáneo, esto facilita su instalación y mantenimiento.

1.2.3 Partes que componen un sistema hidroneumático

El sistema hidroneumático deber estar construido y dotado de los componentes que se indican a continuación:

- a.** Un tanque de presión, el cual consta, entre otros, de un orificio de entrada y otro de salida para el agua (en éste se debe mantener un sello de agua para evitar la entrada de aire en la red de distribución) y uno para la inyección de aire en caso de faltar el mismo.

- b.** Un número de bombas acorde con las exigencias de la red (una o dos para viviendas unifamiliares y dos o más para edificaciones mayores).
- c.** Interruptor eléctrico para detener el funcionamiento del sistema, en caso faltara el agua, cualquiera que fuere el suministro.
- d.** Llaves de purga en las tuberías de drenaje.
- e.** Válvula de retención en cada una de las tuberías de descarga de las bombas al tanque hidroneumático.
- f.** Conexiones flexibles para absorber las vibraciones.
- g.** Llaves de paso entre la bomba y el equipo hidroneumático; y entre éste y el sistema de distribución.
- h.** Manómetro. (*)
- i.** Válvula de seguridad.
- j.** Dispositivo para control automático de la relación aire/agua. (*)
- k.** Interruptores de presión para arranque a presión mínima y parada a presión máxima, arranque aditivo de la bomba en turno y control del compresor. (*)
- l.** Indicador exterior de los niveles en el tanque de presión, para la indicación visual de la relación aire/agua.

- m.** Tablero de potencia y control de los motores.
- n.** Dispositivo de drenaje del tanque hidroneumático, con su correspondiente llave de paso. (*)
- o.** Compresor u otro mecanismo que reponga el aire perdido en el tanque hidroneumático.
- p.** Filtro para aire, en el compresor o equipo de inyección.

(*) NOTA: para los sistemas instalados en viviendas unifamiliares y bifamiliares, los requerimientos señalados en los incisos h, j, k y n podrán suprimirse.

1.2.4 Funcionamiento

Es un sistema constituido básicamente por un tanque herméticamente cerrado, también llamado tanque presurizado, en el cual se almacena agua y aire a presión, por medio de una membrana que los separa, membrana que se encarga de mantener la presión de aire, con valores convenientes para su distribución y utilización en una red de agua potable o de riego.

El aire a presión actúa como elemento elástico (resorte) impulsando la salida del agua contenida en el tanque conforme a los requerimientos de un consumo que se alimenta desde el mismo.

Como consecuencia de la salida del agua contenida en el tanque disminuye la presión interior en el mismo hasta que un proceso de inyección de agua repone la consumida, llevando la presión a un nuevo valor y cerrando un ciclo.

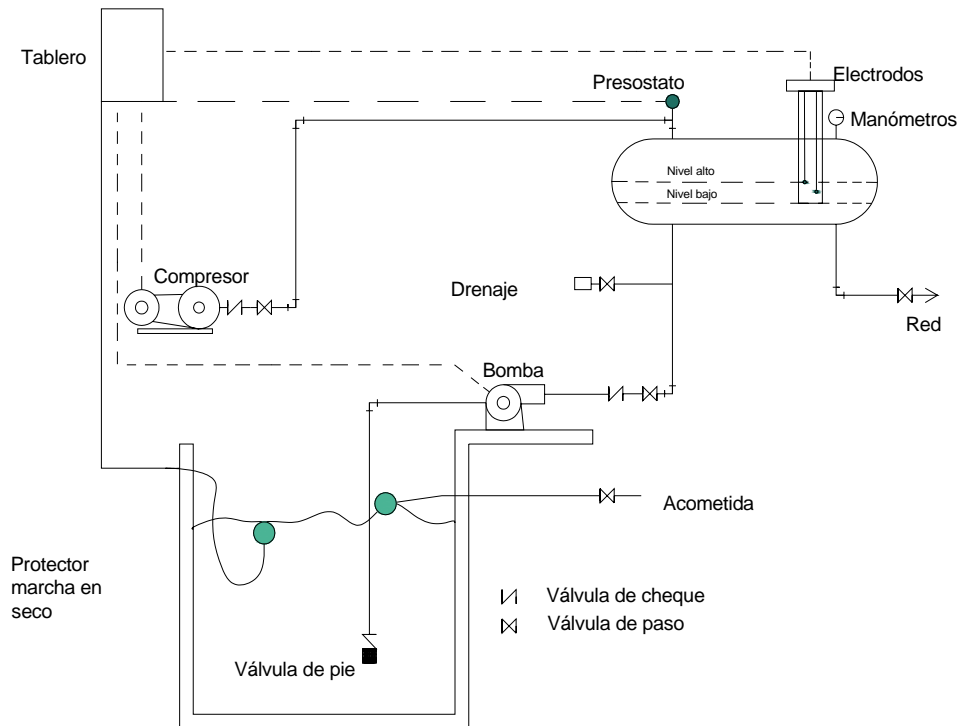
Agregando una bomba para inyectar agua en el tanque queda configurado el funcionamiento del sistema hidroneumático según el siguiente esquema de pasos:

- La bomba inyecta agua a presión en el tanque comprimiendo el aire contenido en el mismo. En un ciclo inicial el tanque está lleno solamente de aire a la presión atmosférica y la entrada de agua comprime el aire interior, aumentando la presión hasta llegar a un valor máximo previamente establecido, valor que medido por un presostato (interruptor accionado por la presión en el tanque) detiene el funcionamiento de la bomba.
- La salida de agua del tanque (por utilización o consumo) se produce a expensas de la presión acumulada en el mismo (disminución). Cuando se llega a un valor mínimo prefijado, medido por un presostato, se pone nuevamente en marcha la bomba.
- Se completa en esta forma el ciclo del sistema hidroneumático, entre la presión máxima en que el presostato, que también es conocido como interruptor de presión, es un instrumento que abre o cierra un circuito eléctrico, dependiendo de la lectura de presión, detiene la bomba en la presión mínima en la que el presostato la vuelve a poner en marcha, comenzando así un nuevo ciclo.

Puede decirse que toda instalación para distribución de agua (uso sanitario, incendio, riego, etc.) puede ser abastecida desde un sistema hidroneumático.

A continuación se presenta un esquema que ejemplifica el funcionamiento:

Figura 6. Esquema de funcionamiento



1.2.5 Vida útil del sistema

La vida útil de un sistema hidroneumático, en este caso residencial y para edificios de poca altura, dependerá del programa de mantenimiento que pueda darse al sistema, ya que la vida media de un equipo de este tipo supera los diez años, si se le da un mantenimiento adecuado, para ello se anexa a este trabajo de graduación un manual de mantenimiento para sistemas hidroneumáticos (anexos , página 2), con el cual se podrá alargar la vida del equipo, no se toma en cuenta el aumento poblacional ya que por ser un sistema residencial el aumento de la demanda no es significativo.

1.2.6 Fallas mecánicas que influyen en el funcionamiento de un sistema hidroneumático

Entre los problemas mecánicos comunes que puede presentar un sistema hidroneumático se pueden considerar los siguientes:

a. Si la bomba prende y apaga con mucha frecuencia

- Poco volumen de aire
 - En el visor de agua que tiene el tanque se observa si el nivel de agua está más arriba de las 2/3 partes de la altura del tanque.
 - En caso afirmativo, se encenderá el compresor de modo manual para incrementar la presión de aire y reducir el nivel de agua, hasta que el nivel baje.
- Compresor desconectado
 - Se verifica la posición del selector de encendido del compresor, puede ser que esté en apagado.
 - Colocar el selector en modo automático.
 - Si no es este el caso, revisar el fusible.
 - Si ninguna de estas medidas da resultado, consultar al técnico.
- Fuga de aire en el tanque
 - Se vierte agua jabonosa sobre el tanque, fundamentalmente en las costuras de soldadura, esto sucede si también hay ruptura en la membrana interna.

- Si se producen burbujas, hay un orificio en ese punto y habrá que soldarlo.
- Control de volumen defectuoso
 - Descartadas las causas antes descritas, es probable que se trate de este elemento, en cuyo caso se llamará al técnico para que lo desmonte, revise y cambie si es necesario.
- Interruptor de presión
 - Revisar los contactos y la graduación.
 - Llamar al técnico para que lo ajuste, repare o cambie si es necesario.
- Fugas de agua en la tubería

b. Si las bombas no prenden o apagan automáticamente

- Verificar en el tablero la posición del selector de encendido.
- Verificar en el tablero de control el estado de los fusibles.
- En caso de no tratarse de ninguno de los elementos señalados, se acudiría al técnico de mantenimiento para que revise el equipo.

c. Solución ideal a las fallas descritas

El sistema hidroneumático es un equipo delicado, por consiguiente, es conveniente que cualquier falla en la operación del mismo sea reportada y corregida por personal especializado, de lo contrario se corre el riesgo de causar desperfectos mayores.

Se debe verificar el nivel de aceite del compresor, si el modelo lo requiere, al menos una vez al mes.

1.3 Ventajas ante un sistema común de almacenamiento

1.3.1 Ventajas

- La presión de agua es regulada a voluntad.
- Tiene su propio depósito de agua, por lo que, ante cortes de energía se mantiene una reserva presurizada disponible para utilizar. Agotada ésta, el agua fluye a presión normal.
- No importa la distancia de ubicación del sistema en planta ni en altura con respecto a la demanda.
- La bomba trabaja con rendimiento adecuado durante breves períodos, hasta alcanzar la presión de corte. Esto, además de darle mayor vida útil al equipo, genera un menor costo de operación.
- Es totalmente automático.
- Este sistema, cada vez más utilizado en el mundo, permite alimentar simultáneamente distintos servicios como consumo sanitario domiciliario, riego, máquinas de lavado, servicios contra incendio, procesos industriales, etc.
- Silencioso.
- Excelente presión en toda la red hidráulica, mejorando el funcionamiento de lavadoras, filtros, regaderas, llenado rápido de depósitos en inodoros, operación de fluxómetros y riego por aspersión, entre otros. Así mismo evita la acumulación de suciedad y algas en las tuberías por flujo a baja velocidad.
- No requiere tanques en las terrazas que den mal aspecto a las fachadas y sobrecarguen la estructura de la construcción.

- No requiere red hidráulica de distribución en las terrazas, quedando libres para diferentes usos, evitando humedades por fugas en la red.
- Totalmente higiénicos, ya que no hay tanques abiertos en contacto con el polvo, microbios, insectos y pequeños animales.

1.3.2 Desventajas

En este tipo de sistemas no son numerosas las desventajas que pueden mencionarse ya que fueron diseñados y fabricados con el propósito de competir con los sistemas ya existentes y de esa manera mejorar de gran forma el uso y distribución del agua dentro de las estructuras para las que fueron diseñadas, optimizando presiones.

- Una de las desventajas más notables en estos sistemas es el uso de energía eléctrica, ya que el sistema depende por completo de ella, y al no haber corriente el servicio de agua se detiene por completo.
- Otra de las desventajas es la falta de agua en las tuberías a causa del mal servicio, falta o corte del mismo, aunque este problema puede resolverse de varias formas, como son el uso de cisternas subterráneas o tinacos a nivel del suelo para tener una reserva aceptable y mantener continuo el flujo de agua sin importar el servicio externo.
- Tiene un consumo de energía como se detalla en el capítulo cinco, en los requerimientos eléctricos de la residencia que aunque mínimo es una desventaja en relación a los tanques elevados que funcionan con solo el efecto de la gravedad.

1.4 Información requerida para el diseño de un sistema hidroneumático

1.4.1 Generalidades

Primeramente deben tomarse en cuenta ciertas consideraciones generales para el cálculo.

El cálculo del sistema hidroneumático requiere de dos pasos previos como lo son el cálculo de la dotación diaria (caudal de bombeo) y de la carga dinámica total de bombeo.

Los diámetros de la tubería de impulsión se calcularán en función del gasto de bombeo, pudiendo seleccionarse conforme a la siguiente tabla, diámetros para la tubería principal de impulsión, pudiendo reducirse el diámetro de la red distribuidora dentro de la vivienda hasta un diámetro de ½", dependiendo de los accesorios a utilizar.

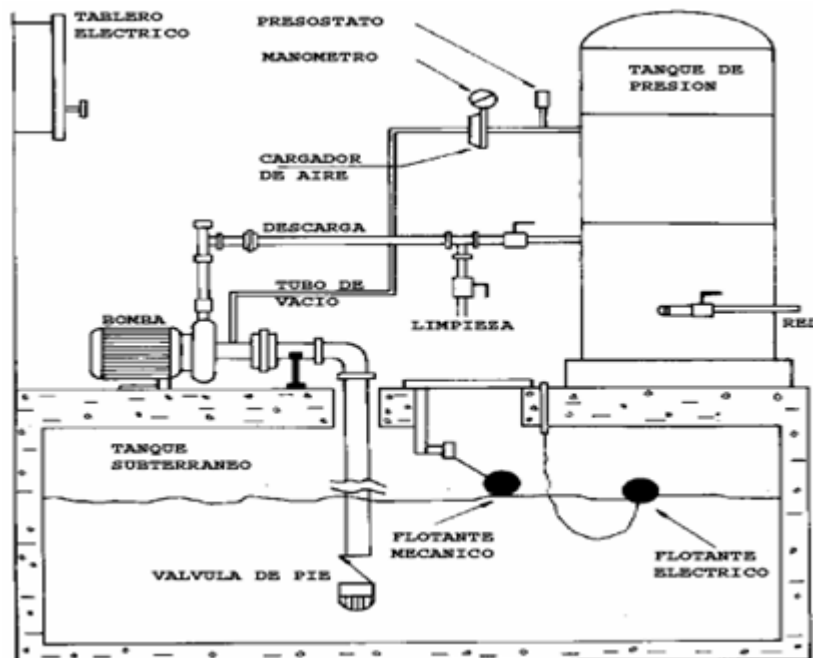
Tabla I. **Manual de diseño y selección de tubería de pvc para aplicaciones a presión**

Caudales				Diámetros	
				Nominal Plg.	Interno Plg.
Lts/Seg					
de	0.05	hasta	0.39	1/2"	0.50
de	0.40	a	0.85	3/4"	0.82
de	0.86	a	1.50	1"	1.04
de	1.51	a	2.30	1 1/4"	1.39
de	2.31	a	3.40	1 1/2"	1.61
de	3.41	a	6.00	2"	2.07
de	6.01	a	9.50	2 1/2"	2.47
de	9.51	a	13.50	3"	3.07
de	13.51	a	24.00	4"	4.02

Fuente: Asociación Guatemalteca de Fabricantes de Tuberías en PVC

- Puede estimarse el diámetro de la tubería de succión, de la misma forma que la de impulsión utilizando la tabla anterior.
- En la tubería de impulsión e inmediatamente después de la bomba, deberá instalarse una válvula de retención y una de compuerta.
- En el caso de que la tubería de succión no trabaje bajo carga (succión negativa), deberá instalarse una válvula de pie en su extremo, para prevenir la pérdida del nivel de succión de las bombas.
- La altura dinámica total (ADT) de bombeo es la resultante de la sumatoria de:
 - a. Diferencia de cotas entre el sitio de colocación de la válvula de pie y la cota superior del agua en el artefacto más desfavorable o más alto.
 - b. Las fricciones ocurridas en la succión de la bomba, descarga de la misma e instalación hasta la cota más alta.

Figura 7. Hidroneumático residencial



1.4.2 Ciclos de bombeo

Para el cálculo de un sistema hidroneumático de bombeo se tomarán en consideración los llamados ciclos de bombeo, es decir, el número de arranques del equipo de bombeo en un período de una hora.

Cuando se dimensiona un tanque se debe considerar la frecuencia del número de arranques del motor de la bomba. Si el tanque es demasiado pequeño, la demanda de distribución normal extraerá el agua útil del tanque rápidamente y los arranques de las bombas serán demasiado frecuentes. Un ciclo muy frecuente causa desgaste innecesario de la bomba y un consumo excesivo de potencia.

Por convención se usa una frecuencia de 4 a 6 ciclos por hora, el ciclo de cuatro (4) arranques por hora se usa para el confort del usuario y se considera que con más de seis (6) arranques por hora puede haber un sobrecalentamiento del motor, desgaste innecesario de la bomba y excesivo consumo de energía eléctrica.

El punto en que ocurre el número máximo de arranques, es cuando el caudal de demanda de la red alcanza el 50% de la capacidad de la bomba. En este punto el tiempo que funcionan las bombas iguala al tiempo en que están detenidas. Si la demanda es mayor que el 50%, el tiempo de funcionamiento será más largo; cuando la bomba se detenga, la demanda aumentada extraerá el agua útil del tanque más rápidamente, pero la suma de los dos períodos, será más larga.

1.4.3 Presiones

a. Presión mínima

La presión mínima de operación ($P_{\text{mín}}$) del cilindro del sistema hidroneumático deberá ser tal que garantice, en todo momento, la presión requerida (presión residual) en la toma más desfavorable, es decir, en el punto más alto al que debe llegar el agua y podrá determinarse con la siguiente fórmula:

$$P_{\text{mín}} = h + \Sigma hf + \frac{V^2}{2g} + hr$$

En donde:

h = Altura geométrica entre el nivel inferior y el nivel superior del líquido

Σhf = La sumatoria de todas las pérdidas (tanto en la tubería como en accesorios) que sufre el fluido desde la descarga del tanque hasta la toma más alejada.

$\frac{V^2}{2g}$ = Energía cinética o presión dinámica.

hr = Presión residual

En cuanto a la presión mínima se recomienda que no sea menor a 14 M.C.A. (20 psi), sin embargo, no se fija límite máximo que se pueda utilizar, por lo que hay que tener en cuenta que al aumentar el diferencial de presión, aumenta la relación de eficiencia del cilindro considerablemente y por lo tanto reduce el tamaño final del mismo; pero también aumentar demasiado el diferencial puede ocasionar inconvenientes pequeños, tales como un mayor

espesor de lámina del tanque, elevando así su costo y obligando a la utilización de bombas de mayor potencia para vencer la presión máxima, o graves, tales como fugas en las piezas sanitarias y acortamiento de su vida útil, o el total reemplazo del sistema hidroneumático.

La elección de la presión máxima se prefiere dejar a criterio del proyectista.

b. Presión diferencial y máxima

Se recomienda que la presión diferencial no sea inferior a 14 metros columna de agua (20 PSI). Sin embargo, no fija un límite máximo que se pueda utilizar, por lo que hay que tener en cuenta que al aumentar el diferencial de presión, aumenta la relación de eficiencia del cilindro considerablemente y por lo tanto reduce el tamaño final del mismo; pero aumentar demasiado el diferencial puede ocasionar inconvenientes, pequeños, tales como un mayor espesor de la lámina del tanque, elevando su costo y obligando a la utilización de bombas de mayor potencia para vencer la presión máxima, o graves, tales como fugas en las piezas sanitarias y acortamiento de su vida útil. La elección de la presión máxima (P_{max}) se deja a criterio del diseñador.

1.4.4 Cálculo del caudal necesario

Se conocen varios métodos para el cálculo de caudales necesarios para el funcionamiento de un sistema de este tipo, pero en este caso se presenta uno de los más usados y de fácil cálculo, la estimación de la demanda se hará de acuerdo a la siguiente fórmula, la cual es de uso únicamente domiciliar, es decir, para viviendas unifamiliares o edificios pequeños de no más de 15 personas.

$$Q_d = \frac{(\text{DOTACIÓN})(\text{No. HABITANTES} + \text{ÁREA DE RIEGO})}{86,400} = (\text{Lps})$$

Donde:

Q_d = caudal de demanda en litros por segundo.

Dotación = Total litros de la demanda diaria por habitante.

No. Habitantes = Número de habitantes estimados en la vivienda.

Área de riego = Área verde existente en la residencia que requiera de riego.

Esta fórmula abarca un rango de cinco (5), hasta un máximo de treinta (30) piezas, puesto que las viviendas unifamiliares con más de treinta piezas son casos atípicos. Por lo cual para este tipo de sistemas es permitido el uso de una sola unidad de bombeo.

Consideraciones

El cálculo del caudal dependerá, en este caso, del número y tipo de artefactos y equipos instalados y del probable uso simultáneo y del destino del edificio. La tabla siguiente indica la dotación máxima recomendada por la OMS (Organización Mundial de la Salud); por otra parte hay que tomar en cuenta que la dotación utilizada generalmente en el país no excede de los 150 litros/habitante/día:

Tabla II. **Dotación máxima recomendada**

TIPOS DE EDIFICIOS	DOTACIÓN MÍNIMA RECOMENDABLE
HABITACIONAL	250 LT/HAB/DÍA
OFICINAS	70 LT/EMPLEADO DÍA Ó 20 LT/M2 DE ÁREA RENTABLE
AUDITORIOS	5 LT/ESPECTADOR/FUNCIÓN
ESCUELAS	30 LT/ALUMNO/DÍA
CAFETERÍAS	15 - 30 LT/COMENSAL
LAVANDERÍAS	40 LT/KG. DE ROPA SECA
RIEGO DE JARDINES	3-5 LT/M2/DÍA

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS)

De la tabla anterior, que es un promedio de los caudales para una zona residencial de clase media alta según la OMS, se tendría por ejemplo lo siguiente:

Tabla III. **Cálculo del caudal diario**

USO	DOT. MÍNIMA	CANTIDAD	VOLUMEN DIARIO HABITANTE DÍA
RESIDENCIA	LT/HAB/DÍA	No. De HAB.	No. DE HAB. POR DOT. MÍNIMA
JARDÍN	LT/M2/DÍA	ÁREA EN M2	LT/M2/DÍA POR ÁREA
		TOTAL DEMANDA DIARIA	SUMATORIA EN LTS

Fuente: Sistemas Hidroneumáticos de Centroamérica, manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistemas hidroneumáticos y de bombeo, año de 1998, México

1.4.5 Pérdidas de carga

No son más que las pérdidas que ocurren en la tubería así como en todos los accesorios que conforman la red de distribución y la tubería de succión del sistema hidroneumático.

La fórmula para calcular la pérdidas de carga es la de Blasius (manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistemas hidroneumáticos y de bombeo, sistemas hidroneumáticos de Centroamérica, año de 1998), ya que permite usarla con tuberías menores de 50 milímetros con un número de Reynold's $< 10^5$.

$$h_c = 0.473 \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} L$$

Donde:

- Q** = caudal en l/h
- D** = diámetro en (mm)
- L** = longitud en (m)
- hc** = Pérdidas de carga (M.C.A.)

Teniendo la fórmula sólo resta completar los datos que deben sustituirse en la misma como lo son la velocidad; el diámetro interno de la tubería; y el caudal, en litros por hora.

Criterio de diseño de acuerdo a la presión obtenida

Por tratarse una estructura pequeña, la pérdida de carga es menor, por lo que se adopta el criterio general de no manejar una presión menor a los 14 m.c.a. (20 psi), generando una presión de 20 psi en toda la residencia y una velocidad de 2 m/s, la cual genera una combinación ideal entre velocidad y presión para el uso de cualquier equipo o toma de agua en cualquier parte de la edificación, sin correr el riesgo de falla.

1.4.6 Medición de cotas

El objetivo de la medición de las cotas es conocer las pérdidas de carga en la tubería, así como la altura de la toma más alejada a donde debe llegar el líquido y que la presión en ese punto sea la misma que en la toma más cercana al sistema hidroneumático, así como la carga de succión que va desde la fuente de abastecimiento al sistema hidroneumático.

En las páginas 18 y 19 de los anexos se ejemplifica de qué manera se deben medir las cotas que proporcionan información vital para el buen funcionamiento de cualquier tipo de equipo de bombeo que se utilice, sin importar la estructura o el tamaño de la misma.

2 SELECCIÓN DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO

Para la selección del sistema debe tomarse en cuenta, antes que nada, el caudal diario que debe hacer circular el sistema, tipo de bomba o motor y calcular la potencia que ésta debe generar para que el depósito que provee la presión sea abastecido de forma correcta y constante cuando sea necesario, es decir, cada vez que los ciclos de bombeo se repitan.

La primera consideración al seleccionar el tamaño de las bombas, es el hecho de ser capaces, por sí solas, de abastecer la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales, proveyendo al menos el 140% de la demanda máxima probable.

2.1 Tablas de rendimiento y especificaciones técnicas del fabricante

2.1.1 Número de bombas

En el caso de viviendas que albergan un máximo de 10 personas se recomienda el uso de una sola bomba, en cualquier otro tipo de edificaciones deben seleccionarse dos o más unidades de bombeo, en los anexos se presentan tablas que esquematizan el equipo de bombeo adecuado para este caso (Páginas 13, 14 y 15 de los anexos).

2.1.2 Potencia requerida por la bomba y el motor

La potencia de la bomba para un sistema hidroneumático podrá calcularse con la fórmula presentada a continuación:

$$\text{HP} = \frac{Q \text{ (lps)} * H \text{ (metros)}}{76 * (n)}$$

Donde:

HP = Potencia de la bomba en caballos de fuerza

Q = Caudal en litros por segundo que la bomba debe impulsar.

H = Carga total de la bomba, en este caso la altura geométrica y las pérdidas por fricción.

n = Eficiencia de la bomba, que a los efectos del cálculo teórico se estima en un 60%.

2.1.3 Dimensionamiento del tanque a presión

El dimensionamiento del tanque a presión, se efectúa tomando en cuenta como parámetros de cálculo: el caudal de bombeo (Qb), los ciclos por hora (U) y las presiones de operación, el procedimiento es resumido en cuatro pasos y cada uno con su respectiva fórmula:

- a. Determinación del tiempo de los ciclos de bombeo (Tc).

Representa el tiempo transcurrido entre dos arranques consecutivos de las bombas, y se expresa como sigue:

$$T_c = \frac{1 \text{ hora(en seg.)}}{U}$$

b. Determinación del volumen útil del tanque (Vu).

Es el volumen utilizable total del tanque y representa la cantidad de agua a suministrar entre la presión máxima y la presión mínima, con el caudal en litros por hora, el divisor representa el número de ciclos por hora que se desea.

$$V_u = \frac{T_c * Q(\text{bombeo})}{4}$$

c. Cálculo del porcentaje de volumen utilizable y el volumen total del tanque, se podrá calcular a través de la siguiente ecuación:

$$\% V_u = 90 * \frac{(P_{\max} - P_{\min})}{P_{\max}}$$

Donde:

P_{máx} = presión máxima del sistema

P_{mín} = presión mínima del sistema

Nota: tanto la P_{máx} como la P_{mín} serán dadas como presiones absolutas.

d. Cálculo del volumen total del tanque (Vt)

$$V_t = \frac{V_u}{\%V_u/100}$$

**Tabla IV. Selección de sistemas hidroneumáticos
basada en consumo promedio habitante día**

No. de llaves	1 a 5	6 a 9	9 a 13	13 a 21	21 a 28
No. De pisos	1	2	2 ó 3	2 ó 3	3
Capacidad del tanque	20 lts.	20 lts.	50 lts.	76 lts.	126 - 167 lts.

Fuente: Aquasistemas de Guatemala, Cálculo de distribución de agua para edificios, 2002, Guatemala.

La forma de escoger un sistema de bombeo de los fabricantes es sencilla, ya que al tener el cálculo de las pérdidas, que en este caso los fabricantes y distribuidores las consideran insignificantes solo toman en cuenta la altura geométrica de la estructura, en este caso la altura máxima de la toma de agua más desfavorable se supone a 6.59 metros medida que se muestra en el ejemplo de la medición de cotas, en los anexos, el único cálculo que ellos hacen es el de la potencia de la bomba, la cual al no ser una altura considerable y al ser la presión mínima del sistema menor a 14 m.c.a se aproxima a ésta, de igual manera hacen un conteo de las tomas para tener una idea del tamaño del tanque requerido, y aumentan en un porcentaje dependiendo del número de tomas para contar con la reserva antes mencionada.

2.2 Tamaño del equipo en función del espacio con que se cuenta

La elección del equipo según el espacio puede hacerse de varias maneras, a continuación se listan las principales así como su razón de ser, con lo cual el ingeniero o instalador podrá decidir lo que prefiere y como lo prefiere.

- **Por estética:** este caso es uno de los más predominantes, ya que en las construcciones actuales el diseño de las estructuras no acepta que ciertos elementos como tanques elevados de gran tamaño desmejoren el mismo, con lo cual el uso de un sistema hidroneumático se vuelve ideal e imprescindible para la estética de un diseño, ya que puede ubicarse casi en cualquier parte de la estructura y ser imperceptible en el diseño general, lo cual no lo cumplen otros sistemas que requieren el uso de redes y tubería extra en los techos, ocupando espacio que puede utilizarse con otro propósito, con lo cual el uso de los sistemas hidroneumáticos puede resolver este inconveniente para los diseñadores, ejecutores y el cliente final.
- **Por espacio:** ésta podría tomarse como la principal de las razones para el uso de un sistema hidroneumático, ya que en estos días debe optimizarse el uso de los espacios en los diseños y el uso de los tanques elevados además de lo indicado en el inciso anterior, también ocupan un espacio considerable dentro de la estructura, sin dejar de lado el espacio necesario para las instalaciones, como la tubería y sus accesorios sobre la estructura, ocupando espacio que podría ser bien utilizado como un ambiente u otro uso del espacio que pudiera necesitarse.

Los tanques presurizados se pueden elegir de varios tamaños, además de eso los tanques pueden ser horizontales y verticales, como se muestra en las Pág. 12 y 13 de los anexos donde se muestran las formas y tamaños en que se encuentran los tanques en el mercado, en conclusión el sistema hidroneumático se elegirá de acuerdo al espacio con que se cuenta ya que se puede ubicar en espacios reducidos.

2.3 Elección del sistema según el caudal de diseño

El caudal de diseño determina muchos de los aspectos de un sistema hidroneumático, los principales, son: el tamaño de la bomba, el tamaño del tanque presurizado, y por ende el espacio necesario para su instalación, el diseño según el caudal deberá hacerse de acuerdo a la demanda de la edificación a la que se le va a proveer el servicio, ya que de ello depende que el sistema funcione bien y que los usuarios nunca queden sin el vital líquido, debe estimarse el caudal mínimo como se vio en capítulos anteriores, luego de ello, con el caudal obtenido se hace un cálculo para estimar el caballaje mínimo requerido de la bomba, con lo cual se obtiene un estimado del tamaño de la bomba, ya que la potencia depende el tamaño de la misma

Luego de ello se procede a la elección del tanque presurizado, el cual su tamaño dependerá del caudal necesario en una hora de uso, ya que dependiendo del número de ciclos de bombeo en una hora el caudal se renueva, acumulando un valor porcentual y un volumen total, el volumen porcentual es el porcentaje mínimo del volumen del tanque que éste debe contener para mantener la presión constante.

Con el porcentaje anterior es posible calcular el volumen total del tanque, que es el volumen máximo que contendrá después de completar los ciclos de bombeo, luego de ello debe tomarse en cuenta una regla muy importante a la hora de dimensionar un tanque presurizado, como lo es que el mismo debe cumplir con el 140% de la demanda máxima, con lo cual se obtiene un caudal, el cual el ejecutor o distribuidor puede variar y aumentar en otro porcentaje para obtener un caudal mayor para tener una reserva suficiente para abastecer la edificación en caso de falta de agua o energía eléctrica, por un período prudencial.

Con los cálculos anteriores y el espacio disponible se tiene la libertad de elegir el tipo de tanque requerido y que sea más funcional, ya que los hay en diferentes formas y tamaños.

2.4 Costo del equipo

El costo del equipo está en función del tamaño del mismo, el cual depende totalmente del caudal y la altura geométrica de la estructura, en este caso se hará la comparación de tres marcas y se elaborará un promedio de precios para establecer un precio acorde al tamaño del equipo necesario, para tener una idea y comparar con otros métodos de almacenamiento y distribución que se usan actualmente, se evaluarán tres marcas reconocidas en el mercado, la primera será llamada marca No. 1, ya que es una de la más vendidas en Guatemala, No. 2 la segunda en el mercado, y como No.3 una marca importada mexicana con un valor un tanto superior en algunas capacidades, pero que igualmente no compite demasiado con las marcas 1 y 2.

Tabla V. Precios de sistemas hidroneumáticos

REFERENCIA AL 19 DE MARZO DEL AÑO 2010.

Bomba de 0.5 hp, con un tanque de 20 galones (76lts), con todos sus implementos, incluyendo instalación.

Son aproximadamente 9 empresas las que cuentan con los equipos.

Capacidad en galones	Precio marca no. 1	Precio marca no. 2	Precio marca no. 3	Precio promedio
20 galones/ 76 lts	Q4,600.00	Q4,330.00	Q4,187.00	Q4,372.33
30.1 galones/ 112 lts	Q6,100.00	Q5,780.00	Q5,750.00	Q5,876.67
42 galones/ 153 lts	Q6,725.00	Q6,600.00	Q6,658.00	Q6,661.00
50 galones/ 182.5 lts	Q7,270.00	Q7,190.00	Q7,400.00	Q7,286.67
90 galones/ 328.5 lts	Q9,250.00	Q8,850.00	Q8,780.00	Q8,960.00
125 galones/ 456.25 lts	Q10,065.00	Q10,120.00	Q9,909.00	Q10,031.33

Como puede verse en el cuadro anterior en tres de las marcas más comercializadas en nuestro medio los promedios de los precios oscilan entre los Q. 4,180.00 a Q. 4,600.00 con este valor es posible estimar en capítulos posteriores en qué forma podría hacerse la comparación con otros sistemas, y de las ventajas del uso de un sistema hidroneumático como sustituto de los demás sistemas tradicionales, en las tablas anteriores puede verse que las tres marcas tienen un tanque presurizado que cumple con lo requerido en la edificación, con lo cual la única limitante sería el valor del mismo, si la inclinación fuera únicamente por la economía el tanque de la marca No.3 será muy útil, aunque los dos primeros cuentan con mejor garantía y existencia de repuestos, de esta manera el costo sirve de guía para escoger el sistema adecuado.

3 COMPARACIÓN DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO CON UN SISTEMA TRADICIONAL

3.1 Sistema hidroneumático comparación de rendimiento ante tanques elevados

En este inciso se define en que forma el sistema hidroneumático presenta un mayor rendimiento en cuanto a los tanques elevados, la comparación se basa en la presión que éstos proporcionan, ya que la presión que genera el tanque elevado está de acuerdo a la altura del mismo, y mientras más cercana está la toma de agua al tanque elevado la presión se reduce considerablemente, con lo cual es difícil el funcionamiento de algunos artefactos como duchas cercanas al tanque, ya que necesitan una presión constante y alta para levantar los contactos internos de la misma, por lo cual ésta no cumpliría su propósito, como es de esperarse; además la presión poco constante en la tubería con un tanque elevado da lugar a la acumulación de suciedad en la tuberías, (cuadro comparativo No. 1 Pág. 36), cosa que no pasa al utilizar un sistema hidroneumático.

En resumen para este inciso el rendimiento de un tanque elevado es inferior al de un sistema hidroneumático ya que el tanque elevado no es capaz de mantener una presión constante en toda la estructura como lo haría un sistema hidroneumático, además la instalación de un tanque elevado es más trabajosa que la de un sistema hidroneumático.

La única limitante de un sistema hidroneumático es el uso de energía eléctrica ya que se necesita una toma cercana y de no haber debe instalarse una, además, para un tanque elevado deben tomarse en cuenta más a fondo las pérdidas y la instalación de un sistema de bombeo para proveer de agua al mismo, con lo cual se incrementa aún más el costo ya que el circuito por el cual viaja el agua se incrementa al doble, ya que hay una línea de subida y una de bajada de agua, cosa que no debe tomarse siquiera en cuenta con un sistema hidroneumático.

3.2 Sistema hidroneumático comparación de rendimiento cisternas con bomba centrífuga normal

El rendimiento de un tanque cisterna sencillo con una bomba instalada, además de no proporcionar una presión constante, como se muestra en el cuadro comparativo No. 2, Pág. 37 a continuación, al no haber servicio de energía eléctrica o agua, corta por completo el abastecimiento en la residencia dejando así sin abasto cualquier toma o aparato que dependa de ella, sin dejar de lado que una bomba sin un adecuado tanque a presión como el que utiliza un sistema hidroneumático alcanza su vida útil en menos de la cuarta parte del tiempo de lo que lo alcanzaría una bomba con dicho tanque, ya que la bomba se mantendría encendida la mayor parte del tiempo, (cuadro comparativo No.2, Pág. 37).

Un sistema hidroneumático que cuenta con un ciclo de bombeo, alarga la vida de la bomba y cuenta con una reserva de agua presurizada, que mantendrá habilitados los principales servicios por un tiempo prudencial, mientras se restablece, cualquiera que fuere la causa, aunque la instalación es igualmente sencilla a la de un sistema hidroneumático, a la hora de ponerse en marcha el consumo de energía de una bomba sencilla hacia una cisterna al

permanecer encendida la mayor parte del tiempo se considera una gran desventaja, ya que el consumo de energía eléctrica es en extremo alto, y da lugar, al igual que un tanque elevado, a la formación de suciedad en las paredes de la tubería al no mantener constante la presión en las misma.

3.3 Comparación en costo y rendimiento entre un sistema hidroneumático y los métodos de almacenamiento de agua tradicionales

La comparación en costo puede hacerse tomando en cuenta el precio del sistema hidroneumático, contra la suma total de los elementos que conforman la instalación total de cada uno de los otros sistemas, a continuación se observan las comparaciones y se tendrán claras las ventajas que conlleva utilizar un sistema hidroneumático en una residencia o cualquier uso que pueda dársele, ya que es muy extenso su número de aplicaciones.

CUADRO COMPARATIVO No. 1

SISTEMA HIDRONEUMÁTICO		MÉTODOS CONVENCIONALES TANQUE ELEVADO	
RENDIMIENTO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS	COSTO	RENDIMIENTO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS	COSTO
Presión constante.	Q. 4,300.00 Promedio.	Presión muy variable.	Q. 1,950.00 promedio de precio para un tanque de 1,500 litros el cual no cumple la demanda diaria y debe mantenerse la bomba en constante funcionamiento a este debe sumarse el precio de la bomba de al menos 3/4 hp de Q. 1,630.00 promedio, mas el costo de la tubería extra para la distribución del tanque a la red. Q. 250.00 con lo cual nos da un total de Q. 3,830.00 sin incluir mano de obra. (valores ilustrativos, recabados al mes de marzo del 2010.)
No permite la formación de suciedad en las tuberías.		Permite la formación de suciedad en las tuberías.	
Vida media de 15 años o más dependiendo del mantenimiento.		Vida media promedio de 10 años.	
Requiere de mantenimiento técnico especializado para extender la vida útil.		Requiere de bomba para su llenado lo cual incrementa el precio considerablemente.	
La bomba es parte del sistema y se incluye en el precio total.		Requiere de tubería y elementos extras en la parte superior para la distribución en la red principal.	
Requiere de mano de obra especializada para su instalación.		No requiere mano de obra especializada para su instalación.	
No requiere de instalaciones extras en la estructura superior, es decir, puede utilizarse el espacio con otro propósito.			

CUADRO COMPARATIVO No. 2

SISTEMA HIDRONEUMÁTICO		MÉTODOS CONVENCIONALES	
RENDIMIENTO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS	COSTO	RENDIMIENTO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS	COSTO
Presión constante.	Q. 4,300.00 Promedio.	Presión muy variable.	El precio de la cisterna esta en función de su tamaño con lo cual una cisterna de 7m ³ tiene un valor de Q. 1,100.00 por metro cúbico incluyendo mano de obra y material con lo cual el precio del cisterna es de Q. 7,700.00, valor al que debe sumarse el valor de la bomba de al menos 3/4 hp de Q. 1,630.00 promedio, con lo cual nos da un valor total de Q. 9,330.00.
No permite la formación de suciedad en las tuberías.		Permite la formación de suciedad en las tuberías.	
Vida media de 15 años o más dependiendo del mantenimiento.		Vida media promedio del cisterna 30 años, vida media de la bomba 4 años, debido a que debe permanecer encendida prácticamente todo el tiempo.	
Requiere de mantenimiento técnico especializado para extender la vida útil.		Requiere de bomba para su llenado lo cual incrementa el precio considerablemente.	
La bomba es parte del sistema y se incluye en el precio total.		No requiere de tubería y elementos extras en la parte superior para la distribución en la red principal.	
Requiere de mano de obra especializada para su instalación.		Requiere mano de obra especializada para su instalación.	
No requiere de instalaciones extras en la estructura superior, es decir, puede utilizarse el espacio con otro proposito.			

4 CARACTERÍSTICAS NECESARIAS EN LA RESIDENCIA PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO

Las características de la residencia deben ser específicamente tres, las cuales son básicas e imprescindibles, las mismas se enumeran y explican a continuación:

4.1 Capacidad eléctrica

La capacidad eléctrica que la edificación necesita, depende del equipo de bombeo, es decir, de la capacidad de la bomba que se utilizará para alimentar el tanque presurizado, en este caso particular no es necesaria una mayor a la fuente con la que cuenta la residencia, las potencias de las bombas oscilan entre 0.5 hp y 2 hp, con lo cual el requerimiento de energía también oscila de los 110 v a los 220 v.

Es posible afirmar que si la bomba a utilizar es de 0.5 hp funcionará perfectamente con una toma domiciliar, no sin descartar que es necesario hacer una conexión por separado, poniendo preferentemente un *flip on* un *switch* para control y corte de energía, el cual podría salir del tablero principal de la edificación o instalarse en la toma de energía directa para el sistema hidroneumático, esto para dar servicio de mantenimiento o reparación al sistema, en cuanto a la capacidad eléctrica deben usarse los elementos adecuados para evitar inconvenientes y calentamiento de cables, el sistema usa

una línea sencilla de conexión, la cual va conectada directamente al sistema hidroneumático o a la caja de control si el sistema lo tuviere.

4.2 Espacio adecuado y suficiente para la instalación

En el espacio deberán tomarse en cuenta varias consideraciones, ya que no solo depende del área de suelo para la instalación sino también de la cercanía de los servicios, como lo son la acometida o fuente de abasto para el sistema, conexiones adecuadas de energía, no sin antes conocer el tamaño y forma del sistema hidroneumático a utilizar, ya que son sistemas versátiles y que si se es cuidadoso se podrían instalar en el menor espacio posible, logrando de ésta manera, optimizar el espacio aún más, para darle un uso diferente, un sistema de este tipo puede instalarse al lado de una pileta, un garaje, un jardín o en una pequeña bodega, siempre y cuando los servicios estén cercanos, o sea fácil llevarlos al lugar exacto de la instalación, no así otros tipos de sistemas que requieren de más espacio para instalarse o deben instalarse a gran altura.

4.3 Abastecimiento suficiente de agua

Este inciso hace ver de forma clara la importancia de tener el caudal necesario, ya que de éste depende el buen funcionamiento de un sistema hidroneumático, el abasto de agua en este medio, por experiencia se sabe que es irregular, y que en ocasiones el agua escasea por varios días, tomando en cuenta esta consideración se toma la decisión de proveer a la vivienda de una cisterna de almacenamiento subterránea, la cual combina perfectamente con un sistema de este tipo ya que no altera de ninguna forma la fachada o aspecto de la residencia y puede diseñarse en cualquier parte de la misma, tomando en

cuenta algunas de las consideraciones anteriores como lo son, la cercanía de los servicios, facilitando así la instalación de las tuberías y todos los servicios que conlleva un sistema hidroneumático.

Como complemento a este inciso y a este estudio, se dimensionará una cisterna que cumpla con las exigencias, optimizando el funcionamiento del sistema, y evitando así que éste se quede sin reserva suficiente para trabajar, sin importar que la fuente externa del servicio falle hasta por varios días.

4.3.1 Dimensionamiento de un tanque cisterna para abastecimiento del sistema hidroneumático a utilizar

Para dimensionar un tanque cisterna, basta con analizar el consumo diario calculado, luego de dimensionar el sistema hidroneumático, para poder tener un volumen con el cual iniciar los cálculos, es posible utilizar una tabla como la que se muestra a continuación:

Tabla VI. **Cálculo del volumen de un tanque cisterna**

USO	DOT. MÍNIMA	CANTIDAD	VOLUMEN DIARIO HABITANTE/DÍA
RESIDENCIA	250 LT/HAB/DÍA	12 HAB.	3,000 LT. DIARIOS
JARDÍN	4 LT/M2/DÍA	100 M2	400 LT. DIARIOS
		TOTAL DEMANDA DIARIA	3,400 LTS

Fuente: RODRIGUEZ-AVIAL, Mariano. "Instalaciones sanitarias para edificios". Quinta Edición. Ed. Dossat. S.A. Plaza de Santa Ana, Madrid. AÑO 2004

Una de las formas de calcular el volumen del tanque es multiplicar por 2 el total de la demanda diaria, con esto se tiene un volumen que funcionará perfectamente para el propósito, proveyendo una reserva de al menos cinco días de agua para una residencia de 10 personas, con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$\text{Volumen total} = 3,400 \text{ Lts/día} \times 2 \text{ días} = 6,800 \text{ Lts.}$$

Para efectos de cálculo y conveniencia se aproxima el resultado a 7,000 Lts. Con lo cual se obtiene el volumen total para la cisterna que es de:

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 7 \text{ m}^3$$

Con lo anterior, se tiene suficiente para dimensionar el tanque cisterna a conveniencia y adaptarla al espacio que pueda tenerse, en este caso el espacio no es un problema, solo es necesario elegir el lugar y la forma de la misma, para que todo sea práctico será situada del lado donde se encuentre la acometida municipal de agua para que el abasto y la conexión a la misma sea sencilla y no requiera de mucha tubería y accesorios extras, dependerá del diseñador o del propietario de la residencia si desea incrementar el volumen de la misma como efecto de reserva y contar con ella en ciertas ocasiones que sea necesario. Para el cálculo de las dimensiones de la cisterna basta con un simple despeje de una fórmula básica de volumen, la cual da como resultado el largo de las aristas que formarán el tanque cisterna, a continuación se ejemplifica el cálculo de las mismas:

Por motivos prácticos se diseñará un tanque cisterna cuadrado, además de ser fácil de situar en cualquier lugar, el cálculo de su volumen y dimensiones es el más sencillo, para facilitar el cálculo del mismo, las medidas serán a conveniencia:

Ya que se conoce el volumen del tanque será sencillo encontrar las medidas del mismo,

VOLUMEN: volumen obtenido en metros cúbicos

ANCHO: en metros

LARGO: en metros

ALTURA: no se conoce aún.

Para estimar la medida faltante la fórmula del volumen del cubo es la adecuada, además de ser una fórmula sencilla de despejar:

$$V = (A) (L) (H)$$

Donde:

V = Volumen total del tanque

A = Ancho

L = Largo

H = Altura

Esta fórmula da como resultado la altura inicial deseada del tanque cisterna.

Habiendo encontrado la altura inicial, en este caso la profundidad, se procede a tomar en cuenta ciertos criterios para el diseño, ya que a la altura encontrada debe sumársele 0.10 metros, los cuales son la separación necesaria entre la losa y el agua en la parte superior, además de 0.10 metros necesarios en el fondo para mantener un nivel de agua último, el cual es un factor de seguridad para evitar que la bomba trabaje en seco, con lo cual se obtienen las siguientes dimensiones:

VOLUMEN: en metros cúbicos

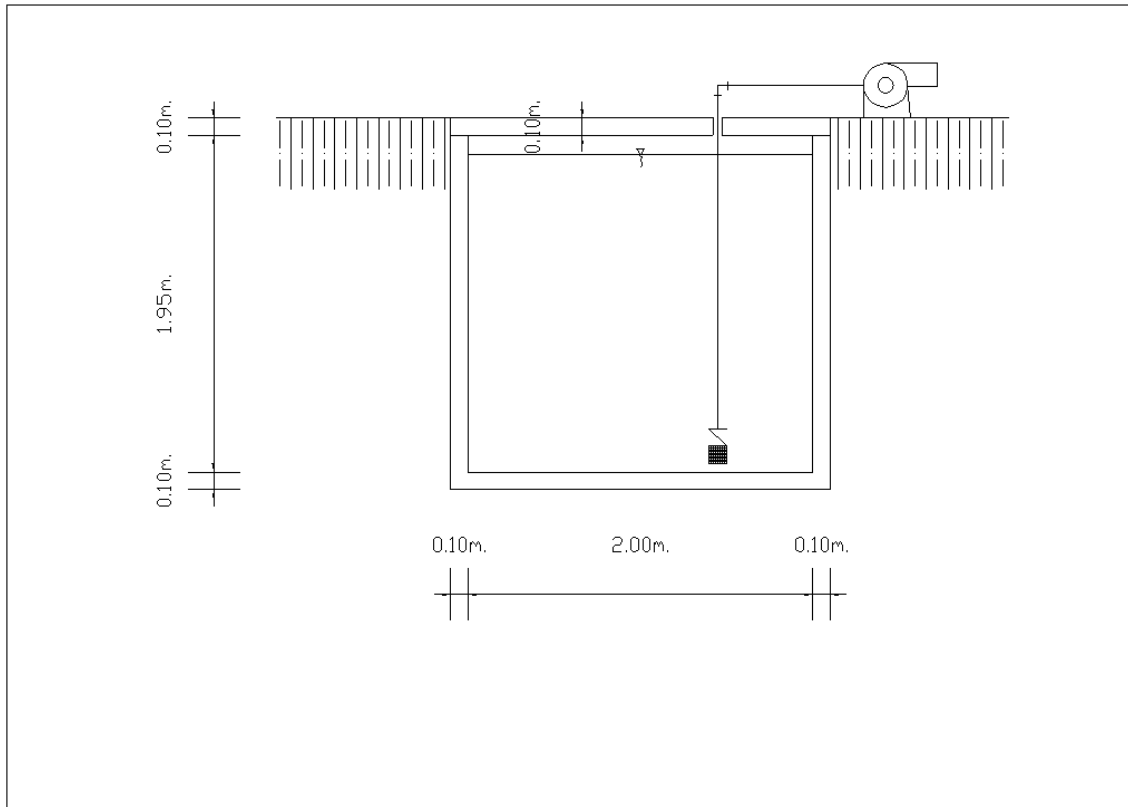
ANCHO: en metros

LARGO: en metros

ALTURA: $H + 0.10 + 0.10 =$ Altura total metros como altura total.

Las dimensiones se muestran en el siguiente esquema que demuestra en qué manera se manejan los criterios y medidas anteriormente calculadas.

Figura 8. Ejemplo del perfil de un tanque cisterna



5 APLICACIONES DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS

5.1 Residenciales

Los sistemas hidroneumáticos residenciales a los cuales se refiere este inciso abarcan lo expuesto en los capítulos anteriores, en donde se encuentra el procedimiento de cálculo, diseño e implementación de los mismos.

5.2 Bombeo a tanques de distribución de agua potable

El uso de sistemas hidroneumáticos para bombeo a tanques es un recurso utilizado hoy en día para prescindir de personal, ya que se requiere que una persona supervise constantemente el nivel de agua y el funcionamiento de la bomba, cosa que no es necesaria con este tipo de sistemas, ya que el sistema hidroneumático mantiene el nivel constante de agua en el tanque, para que en el momento en que el servicio externo falle o el mismo sistema hidroneumático falle, el nivel del tanque elevado sea lo suficiente para mantener una reserva y que el servicio a la red distribuidora principal se mantenga por un tiempo prudencial, mientras se restablece el servicio, o se le da mantenimiento, además de proporcionar presión constante a la red principal en caso sea necesario vaciar el tanque de almacenaje por reparaciones o solo para darle mantenimiento y limpieza, ya que el sistema puede trabajar independientemente del tanque y brindar la presión necesaria incluso mejor que el tanque.

5.3 Riego de plantaciones

Los sistemas hidroneumáticos son versátiles y sus aplicaciones incontables, por lo cual el riego de plantaciones es una de las más utilizadas después del uso habitacional, ya que como se mencionó en el inciso anterior, puede prescindirse de bastante personal, ya que al tener un control de volumen de agua, de presión y poderse conectar a un temporizador, cumple con los horarios y presión para el cultivo que sea, sobre todo en cultivos con micro aspersión y goteo, ya que mantiene la presión constante y permite un riego uniforme en áreas de tamaño constante, con lo cual se consiguen cosechas adecuadas y sin que hayan sectores faltos de humedad.

5.4 Otras aplicaciones

Las aplicaciones son incontables, a continuación se enumeran algunas de ellas con el objeto de tener una idea de cuándo se puede o debe utilizarse, ya que con el uso de un sistema hidroneumático es posible reducir costos, facilitar y aligerar muchos trabajos y operaciones que requieren de presión constante y abundante volumen de agua:

- Lavanderías
- Fraccionamientos
- Edificios de departamentos
- Hoteles
- Industrias
- Riego en general
- Bombeo a tanques de distribución de agua potable, Capítulo 5. Inciso 5.2.

5.4.1 Lavanderías

Disminuirá drásticamente sus ciclos de lavado al llenar más rápido las tinajas de lavadoras. Haciendo más eficiente el negocio, acelerando los ciclos de lavado de cada equipo. En otras palabras se lavará más y en menor tiempo.

5.4.2 Fraccionamientos

Un sistema hidroneumático puede surtir agua a presión a todo un fraccionamiento a un costo mucho menor que lo que implicaría construir un tanque elevado.

5.4.3 Edificios de departamentos

No es necesario instalar tinacos en las azoteas. Por un lado éstos elevan el costo de los edificios al tener que reforzar las losas y columnas para soportar el peso del agua. Con un sistema hidroneumático se podrá enviar agua desde la cisterna hasta el último piso del edificio a un menor costo.

5.4.4 Hoteles

Pueden ofrecer mayor comodidad a sus clientes y dar un valor agregado al huésped, ofreciendo el servicio de agua a presión en las habitaciones.

5.4.5 Industrias purificadoras de agua

Automatización de las operaciones de llenado y retrolavado de filtros. Ocupando al personal en labores más rentables. Un sistema hidroneumático hace innecesarios los interruptores en las áreas de llenado y reduce el tiempo

perdido para retro lavar los equipos. Con este sistema se pueden instalar válvulas automáticas y se pueden retrolavar los filtros automáticamente en horas de la noche.

6 EJEMPLOS

6.1 Residencias de tres niveles

Consideraciones iniciales

El cálculo del caudal dependerá, en este caso, del número y tipo de artefactos y equipos instalados y del probable uso simultáneo y del destino del edificio; ya que se analizará una vivienda de tres niveles se hará uso de la información en la tabla siguiente:

Tabla II. Dotaciones

TIPOS DE EDIFICIOS	DOTACIÓN MÍNIMA RECOMENDABLE
HABITACIONAL	250 LT/HAB/DÍA
OFICINAS	70 LT/EMPLEADO DÍA Ó 20 LT/M2 DE ÁREA RENTABLE
AUDITORIOS	5 LT/ESPECTADOR/FUNCIÓN
ESCUELAS	30 LT/ALUMNO/DÍA
CAFETERÍAS	15 - 30 LT/COMENSAL
LAVANDERÍAS	40 LT/KG. DE ROPA SECA
RIEGO DE JARDINES	3-5 LT/M2/DÍA

De la tabla anterior, que es un promedio de los caudales para una zona residencial de clase media alta, se tiene lo siguiente:

USO	DOT. MÍNIMA	CANTIDAD	VOLUMEN DIARIO HABITANTE/DÍA
RESIDENCIA	250 LT/HAB/DÍA	12 HAB.	3,000 LT. DIARIOS
JARDÍN	4 LT/M2/DÍA	100 M2	400 LT. DIARIOS
TOTAL DEMANDA DIARIA			3,400 LTS

6.1.1 Cálculo del caudal requerido

$$Q_d = 3400 \text{ l/h/día} = 3400 = 0.03935 \text{ l.ps.}$$

$$Q_d = \frac{3400 \text{ l/h/día}}{24(3600)} = \frac{3400}{86400} = 0.03935$$

6.1.2 Cálculo de tubería

Por ejemplo, para una edificación de tres niveles la estimación de la tubería sería:

LONGITUD TUBERIA	LONGITUD
Primer Nivel	79.33
Segundo Nivel	43.94
Tercer Nivel	14.91
LONGITUD TOTAL	138.18

Estimación de longitudes de tubería y longitudes equivalentes por accesorios

CONECCIONES	CANTIDAD	LONG. EQUIVALENTE (m)	LONG. EQUIVALENTE TOTAL (m)
Codos 90° 1/2 " Ø	38	0.60	22.80
Tee 1/2 " Ø	38	0.20	7.60
Válvula de compuerta	1	0.12	0.12
Total Longitud Equivalente			30.52m

La longitud total para el análisis de las pérdidas de carga en tuberías y accesorios será la suma de la longitud total de la tubería más la suma total de las longitudes equivalentes obtenidas en los accesorios; con los datos anteriores se obtiene lo siguiente:

Longitud total de la tubería = 138.18 metros.
 Longitud total equivalente accesorios = 30.52 metros.
TOTAL LONGITUD = 168.70 metros.

DATOS NECESARIOS PARA COMPLETAR LA FÓRMULA:

$$Q = 0.03935 \text{ lps} = 141.67 \text{ lph}$$

$$D = \frac{1}{2} \text{ "Ø} = 13 \text{ mm}$$

6.1.3 Cálculo de pérdidas de carga

$$h_c = 0.473 \frac{141.67^{1.750}}{13.00^{4.750}} = 168.70$$

$$h_c = \frac{464,219.74}{195,537.89} = 2.37 \text{ m.c.a.}$$

6.1.4 Cálculo de presión mínima P_{mín}

$$P_{\min} = 6.59 + 2.3740 + \frac{2^2}{2(9.81)} + \cancel{h_r} \nearrow 0$$

En este caso h_r es igual a cero ya que el tanque que provee el agua en su superficie está a la presión atmosférica.

$$P_{\min} = 8.9640 + 0.2039 = 9.168$$

Con los datos obtenidos es posible calcular la potencia que requiere la bomba para el sistema hidroneumático, pueden consultarse las tablas de rendimiento y especificaciones técnicas del fabricante. (Pág. 14 y 16 de los anexos)

$$H_p = \frac{(0.03935) (6.59)}{76 (0.6)} =$$

$$HP = \frac{0.259}{45.6} =$$

$$HP = \boxed{0.005686}$$

En conclusión, con la potencia de la bomba, ya que es la mínima requerida se tiene la libertad de elegir una bomba y motor desde 0.5 hp, que es suficiente para abastecer el sistema, debiendo tomar en cuenta las consideraciones del tanque presurizado a utilizar que podría variar de alguna forma la potencia de la bomba, por lo cual se procede al dimensionamiento del tanque, ya que la distancia de bombeo es únicamente de la bomba al tanque presurizado y puede verse que la potencia es mínima.

6.2 Dimensionamiento del tanque a presión

Por convención, es decir, por referencia y conveniencia se utilizarán 4 ciclos de bombeo por hora (como se explicó en el capítulo 1 inciso 1.4.2).

6.2.1 Ciclos de bombeo

Los ciclos de bombeo determinan el número de arranques del sistema en un periodo de una hora, y los pasos se describen a continuación:

6.2.2 Cálculos

$$T_c = \frac{1 \text{ hora}}{U}$$

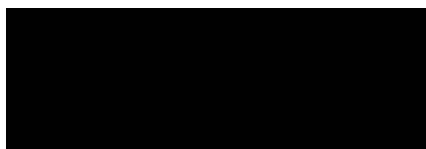
$$T_c = \frac{3600 \text{ seg}}{4}$$

$$T_c = 900$$

6.2.3 Volumen útil del tanque

$$V_u = \frac{T_c * Q(\text{bombeo L/s})}{4}$$

$$V_u = \frac{(900) (0.03935)}{4}$$



6.2.4 Porcentaje del volumen utilizable del Tanque

$$\%V_u = \frac{90 * (P_{\max} - P_{\min})}{P_{\max}}$$

$$\%V_u = \frac{90 * (40 - 20)}{40}$$

$$\%V_u = \boxed{45\%}$$

6.2.5 Volumen total

$$V_t = \frac{V_u}{\%V_u/100}$$

$$V_t = \frac{8.85375}{0.45}$$

$$V_t = \boxed{19.675 \text{ L} = 20 \text{ L.}}$$

Ya que la capacidad del tanque requerida es de 20 litros aproximadamente puede recurrirse a las tablas de especificaciones y tamaño de tanque que se encuentran en el mercado, a continuación se muestran ejemplos, entre los cuales se hará la elección que más convenga, se elegirá el más funcional y el que cumpla con todas las expectativas del sistema, las formas y tamaños se muestran en las Pág. 12 y 13 de los anexos.

Para la elección de este sistema hidroneumático es necesario tomar en cuenta que los tanques oscilan desde los 10 litros de capacidad en adelante y que debe utilizarse un valor menor al que se necesita para cumplir con la

presión mínima, aunque si es permitido utilizar mayores, pero como norma y requerimiento jamás menores.

A continuación se muestra una tabla usada por los distribuidores de sistemas hidroneumáticos para hacer la elección de los mismos luego de calcular las presiones y tomar en cuenta la cantidad de tomas de agua, además con este método se puede hacer una elección del tanque a presión tomando en cuenta una reserva como ya se explicó.

Selección de sistemas hidroneumáticos basada en consumo promedio habitante día

No. de llaves	1 a 5	6 a 9	9 a 13	13 a 21	21 a 28
No. de pisos	1	2	2 ó 3	2 ó 3	3
Capacidad del tanque	20 lts.	20 lts.	50 lts.	76 lts.	126 - 167 lts.

En este ejemplo resuelto, según el número de tomas de agua puede verse que convendría seleccionar un tanque de 50 a 76 litros, con lo cual se cumple con tener una reserva de agua en caso de falta de la misma o falta de energía eléctrica, con lo cual se tendría un tiempo prudencial para poder terminar cualquier actividad o simplemente contar con una reserva útil con la presión necesaria.

6.2.6 Sistema de riego

Consideraciones iniciales

Lo primero que debe tomarse en cuenta para el diseño es el caudal que se requiere, es decir, uno que satisfaga las condiciones de humedad que requiere el cultivo, además debe tomarse en cuenta que la presión debe ser adecuada para llegar al borde del área que cubre cada aspersor en este caso un círculo de 10 metros cuadrados de área por cada aspersor, es sabido que los aspersores funcionan a baja presión, con lo cual es aún más sencillo el diseño, se inicia estimando el caudal necesario, la presión de funcionamiento lo determina el fabricante del aspersor, ya que no debe exceder de 40 psi.

6.2.7 Cálculo

Para el cálculo del caudal, debe tomarse en cuenta la clase de cultivo, y el tipo de suelo, para este ejemplo, se hará uso del cultivo del maíz con lo que se requiere de 9 metros cúbicos de agua por cada 10,000 metros cuadrados de siembra.

Conociendo este dato, es posible calcular el caudal necesario para el diseño del sistema, suponiendo que se cuenta con un área de 10,000 metros cuadrados.

Área a sembrar:	10,000 metros cuadrados.
Caudal necesario:	9 metros cúbicos/hora por cada 10,000 metros de área.

$$Q_d = \frac{9000 \text{ l/h}}{3600} = \frac{9000}{3600} = 2.5 \text{ l/s}$$

Ya que se tiene el caudal, falta el cálculo de la presión mínima, que al igual que la máxima en el caso de los aspersores viene dada por el fabricante, en este caso se utiliza 20 psi como presión mínima y 40 psi como presión máxima.

Lo que es necesario calcular es la longitud de la tubería, para poder estimar las pérdidas por fricción, debe obviarse el cálculo de cotas, ya que en un sistema de riego de este tipo no hay altura geométrica, porque el sistema completo está instalado a nivel del suelo, con lo cual se reducen algunos cálculos.

Estimación de longitudes de tubería y longitudes equivalentes para accesorios

CONECCIONES	CANTIDAD	LONG. EQUIVALENTE (m)	LONG. EQUIVALENTE TOTAL (m)
Codos 90° 1 " Ø	3	0.90	2.70
Tee 1 " Ø	26	1.50	39.00
Válvula de compuerta	1	0.20	0.20
Total Longitud Equivalente			41.90m

LONGITUD TUBERIA	LONGITUD
Tubería	1,325.00
LONGITUD TOTAL	1,325.00

Longitud total de la tubería = 1,325.00 metros.
 Longitud total equivalente por accesorios = 41.90 metros.
TOTAL LONGITUD = 1,366.90 metros

$$h_c = 0.473 \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} L$$

Donde:

Q = Caudal en l/h
D = Diámetro en (mm)
L = Longitud en (m)
hc = Pérdidas de carga (M.C.A.)

$$h_c = 0.473 \frac{9000^{1.750}}{25.00^{4.750}} = 1,366.90$$

$$h_c = \frac{5,376,780,109.000}{4,367,320.268} = 1231.13$$

Para este caso basta una bomba, ya que es un área pequeña, los datos con los que se cuenta bastan para su cálculo, utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{HP} = \frac{Q (\text{lps}) * H(\text{metros})}{76 * (n)}$$

Donde:

HP = Potencia de la bomba en caballos de fuerza

Q = Caudal en litro por segundo que la bomba debe impulsar.

H = Carga total de la bomba en este caso la altura geométrica y las pérdidas por fricción calculadas en el capítulo anterior.

n = Eficiencia de la bomba, que a los efectos del cálculo teórico se estima en un 60%.

$$\text{HP} = \frac{(2.5) (1)}{76 (0.6)} =$$

$$\text{HP} = \frac{2.5}{45.6} =$$

$$\text{HP} = \boxed{0.05}$$

Se utilizara una bomba de 0.5 hp, esto debido a que no debe vencerse ninguna cota de elevación, únicamente distribuir el agua a presión en un área pequeña, en lo referente a la altura, por motivos de cálculo, se tomará un metro, para tener una cota como factor de seguridad.

6.2.8 Dimensionamiento del tanque a presión

Al iniciar los cálculos para dimensionar el tanque es imprescindible conocer los ciclos de bombeo, tomando en cuenta que es recomendable no exceder de 6 arranques de la bomba y no utilizar menos de 4, con esto se mantiene el intervalo de funcionamiento óptimo del equipo.

6.2.9 Ciclos de bombeo

$$T_c = \frac{1 \text{ hora}}{U}$$

$$T_c = \frac{3600 \text{ seg}}{4}$$

$$T_c = 900$$

6.2.10 Volumen útil del tanque

$$V_u = \frac{T_c * Q(\text{bombeo L/s})}{4}$$

$$V_u = \frac{900 * 2.5}{4}$$

6.2.11 Porcentaje del volumen utilizable del tanque

$$\%V_u = \frac{90 * (P_{\max} - P_{\min})}{P_{\max}}$$

$$\%V_u = \frac{90 * (40 - 20)}{40}$$

$$\%V_u = \boxed{45\%}$$

6.2.12 Volumen total

$$V_t = \frac{V_u}{\%V_u/100}$$

$$V_t = \frac{562.5}{0.45}$$

$$V_t = \boxed{1,250.00 \text{ L}} = \boxed{1.25 \text{ m}^3}$$

En el caso del riego de plantaciones, el tamaño del tanque, es de 1.25 metros cúbicos, que equivale a 315 galones, ya que debe surtir presión durante una hora, un área de 10,000 metros cuadrados, con un caudal de 9,000 litros, y debe funcionar una vez al día, únicamente cuando el clima lo requiere, se

pondrá a funcionar una hora por la noche, quedará a discreción del propietario si incrementa el tamaño del tanque para tener una reserva.

6.3 Dimensionamiento de un tanque cisterna para abastecimiento del sistema hidroneumático a utilizar

Para dimensionar un tanque cisterna, basta con analizar el consumo diario calculado luego de dimensionar el sistema hidroneumático, para poder tener un volumen con el cual iniciar los cálculos, es posible utilizar la tabla No. VI que se muestra en la pagina No. 41.

Una de las formas de calcular el volumen del tanque es multiplicar por 2 el total de la demanda diaria, con esto se obtiene un volumen que funcionará perfectamente para este propósito, proveyendo una reserva de al menos cinco días de agua para una residencia de 10 personas y agrandando las dimensiones un poco surtiría un sistema de riego, aclarado esto se obtiene lo siguiente:

$$\text{Volumen total} = 3,400 \text{ Lts/día} \times 2 \text{ días} = 6,800 \text{ Lts.}$$

Para efectos de cálculo y conveniencia se aproximará el resultado a 7000 litros, con lo cual se tiene el volumen total para la cisterna que es de:

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 7 \text{ m}^3$$

Ya que se conoce el volumen del tanque será sencillo encontrar las medidas del mismo,

VOLUMEN: 7.00 metros cúbicos
ANCHO: 2.00 metros
LARGO: 2.00 metros
ALTURA: No se conoce aún.

Para estimar la medida faltante se hará uso de la fórmula del volumen del cubo que es muy adecuada al caso, además de ser una fórmula sencilla de despejar:

$$V = (A) (L) (H)$$

Donde:

V = 7.00 metros cúbicos volumen total del tanque
A = Ancho
L = Largo
H = Altura

Ya que se conoce el volumen del tanque será sencillo encontrar las medidas del mismo,

VOLUMEN: 7 metros cúbicos
ANCHO: 2 metros
LARGO: 2 metros
ALTURA: aún desconocida

Para estimar la medida que se busca, se hará uso de la fórmula del volumen del cubo, como se muestra a continuación:

$$V = (A) (L) (H)$$

$$7 = (2) (2) (H)$$

$$\frac{7}{4} = (H)$$

$(H) = 1.75 \text{ metros}$

Habiendo encontrado la altura para el tanque, en este caso la profundidad, se procede a tomar en cuenta algunos criterios para el diseño, ya que a la altura encontrada debe sumársele 0.10 metros, los cuales son la separación necesaria entre la losa y el agua en la parte superior, además de 0.10 metros necesarios en el fondo para mantener un nivel de agua último, el cual es un factor de seguridad para evitar que la bomba trabaje en seco, por lo cual se tienen las siguientes dimensiones:

VOLUMEN: 7 metros cúbicos

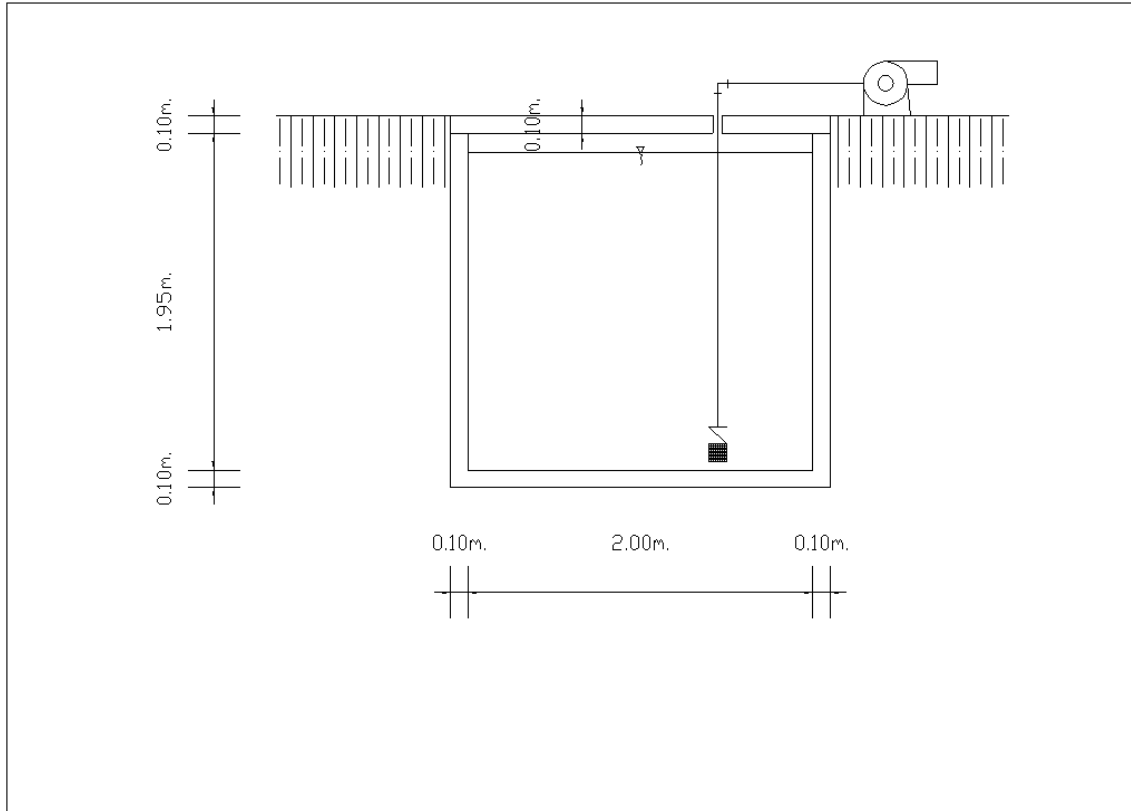
ANCHO: 2 metros

LARGO: 2 metros

ALTURA: $1.75 + 0.10 + 0.10 = 1.95$ metros como altura total.

Las dimensiones que se muestran en el siguiente esquema de muestra en qué manera se manejan los criterios y medidas anteriormente calculadas.

Figura No. 8 Ejemplo del perfil de un tanque cisterna



CONCLUSIONES

1. El conocimiento acerca de la implementación de sistemas hidroneumáticos en general es necesario, ya que hoy en día, constituye una opción más que justificada y viable por la cantidad de ventajas ante los sistemas tradicionales, como lo son: la presión constante, no permiten la acumulación de suciedad y algas en las tuberías, entre otras. Además de los beneficios que conlleva su instalación, como su bajo mantenimiento, el uso de poca tubería e implementos extras, el mejor funcionamiento de aparatos de uso doméstico, etc.
2. Conocer el caudal de diseño determinará el buen o mal funcionamiento del sistema hidroneumático que se instale, así como la elección del tanque presurizado a utilizar, ya que de él depende que la presión se mantenga constante por toda la tubería.
3. El espacio a utilizar es esencial para hacer válidas muchas de las ventajas de los sistemas hidroneumáticos sobre otros métodos de distribución de agua, ya que son versátiles y se adaptan a cualquier lugar y espacio disponible, al utilizarse un tanque vertical el espacio utilizado será mínimo.
4. El mantenimiento de un sistema hidroneumático es bajo, debido a que, al no permanecer encendida la bomba por periodos largos de tiempo el desgaste es mínimo.

5. Las comparaciones hechas entre el sistema hidroneumático, y los equipos regulares de distribución de agua en una residencia, logran comprobar que alcanzan al menos un 60% más de eficiencia sobre cualquier otro tipo de sistema tradicional.
6. La capacidad eléctrica de estos equipos se adapta a las condiciones eléctricas de una residencia.
7. Es necesario que, a la hora de efectuar la instalación eléctrica para el sistema hidroneumático, se cuente con un interruptor independiente de corte (*flip on*), el mismo puede estar en la caja de flipones en la entrada domiciliar, o antes de la caja de control del sistema hidroneumático, para que sea fácil el corte de la energía en caso de reparación, mantenimiento o reemplazo del sistema.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de adquirir un sistema hidroneumático consultar a una persona profesional, sea cual fuere el uso que se le de al mismo, ya que de una acertada escogencia depende que el sistema funcione adecuadamente.
2. Implementar un mantenimiento periódico y de carácter preventivo, necesario para aumentar en un porcentaje alto la vida media del equipo. Además de reducir el consumo de energía si el equipo funciona correctamente, se contará con un servicio y una presión constante, durante mucho tiempo, a bajo costo.
3. Conocer perfectamente el lugar y el espacio donde va a colocarse el sistema hidroneumático, acercándolo lo más posible al tanque cisterna y a la instalación eléctrica.
4. En Guatemala, debido a que en ciertas épocas del año escasea el agua, se recomienda contar con un sistema de respaldo de almacenamiento, como lo es una cisterna, que es la mejor opción, o en su defecto, un tanque plástico al nivel del suelo, para que el sistema hidroneumático en ningún momento se quede sin caudal y pueda presentar desperfectos, o simplemente, la residencia se quede sin servicio por mucho tiempo.

5. Al momento de efectuar la compra del tanque presurizado, éste debe ser dimensionado de forma que sea capaz de mantener una reserva, para calcularla elevar el volumen neto del mismo desde un 25% o hasta donde se considere prudente para no afectar el funcionamiento de la bomba y no sufrir un incremento significativo en el precio.

6. No exceder de 6 ciclos de bombeo por hora, ya que incidiría notablemente en el consumo de energía, así como la reducción de la vida útil del sistema hidroneumático; sin embargo, con cuatro ciclos se mantendría al mínimo el uso de la bomba.

BIBLIOGRAFÍA

- AQUASISTEMAS DE GUATEMALA, SOCIEDAD ANÓNIMA. *Cálculo de Distribución de Agua para Edificios*. Guatemala, Guatemala: 2002. 65 p.
- CISNEROS MARTINES, Luis. *Manual de Bombas*. 3ra. ed. Barcelona, España: Blume, 1977. 180p.
- FRANQUINI B. Joseph; FINCMORE E., John. *Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería*. 7ª. ed. España: McGraw – Hill, 1997. 650 p.
- HIDROTÉCNIA, S.A. *Manual de Usuario y Mantenimiento de Sistemas Hidroneumáticos*. Guatemala, Guatemala: Hidrotecnia, S.A. 2008. 200 p.
- http://www.obra1.com/registroidi/Paginas/RIM2001_1027.htm, 23 Marzo de 2009.
- IMPORTADORA HIDRAULICA, S.A. *Tablas de rendimiento de Equipos de Bombeo*. Guatemala, Guatemala: 2007. 20p.
- KARASSIK, Igor I.; CARTER, Roy. *Bombas Centrífugas*. 1ra. Ed. México: Editorial Continental, S.A., 1978. 425 p.
- MENAUGHTON, Kenneth. *Bombas: Selección y Mantenimiento*. 1ra. Ed. México: McGraw – Hill, 1990. 710 p.
- OSSA DUQUE, Juliana. *Sistemas hidroneumáticos*. Antioquía: 3 de noviembre de 2007. Disponible en Web: <<http://www.obra1.com/registroidi/14120PRD.htm>> 7 de julio de 2008.

- OSSA DUQUE, Juliana. *Sistemas Hidroneumáticos*. Antioquía: 4 de octubre de 2002. Disponible en Web:
<<http://mgbcapital.hypermart.net/bombb.htm>> 10 de julio de 2008.
- RODRÍGUEZ-AVIAL, Mariano. *"Instalaciones Sanitarias para Edificios"*. 5ta. Ed. Santa Ana, Madrid: Dossat. S.A., 2004. 420 p.
- RODRÍGUEZ-AVIAL, Mariano. *Instalaciones Sanitarias para Edificios*. 5ª. ed. Plaza de Santa Ana, Madrid. Disponible en:
<<http://www.fabelec.cl/PBP/PBP2.htm>> 10 de julio 2008.
- SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS, C.A. *Manual de Procesamiento para el Cálculo y Selección del Sistema de Bombeo*. Trinidad, Caracas, Venezuela: 1995. Disponible en Web:
<<http://www.sishica.com/sishica/download/Manual.pdf>> 20 de abril 2010.
- SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS DE CENTROAMÉRICA. *Manual de Procedimiento para el Cálculo y Selección de Sistemas Hidroneumáticos y de Bombeo*. México: 1998. 201 p.
- TYLERG, Hicks. BME, *Bombas, su Elección y Aplicación*. Única edición México: Compañía editorial Continental, S.A., 1979. 325 p.

ANEXOS

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO E HIDRONEUMÁTICOS

INTRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

- EQUIPO PRESIÓN CONSTANTE
- EQUIPO HIDRONEUMÁTICO

INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el Manual de Operación y Mantenimiento para sistemas de Bombeo e Hidroneumáticos.

El presente manual incluye tanto los posibles problemas operativos que puedan presentarse en equipos hidroneumáticos y sistemas de bombeo en general, como las labores requeridas para un mantenimiento preventivo que garantice la correcta operación de los sistemas.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

A continuación se presenta en primer lugar una descripción de las partes y accesorios de un equipo hidroneumático y sistema de bombeo en general a fin de que el personal a cargo conozca la terminología pertinente.

En segundo lugar se presentan las labores más importantes dentro del mantenimiento de éstos sistemas para luego explicar en forma breve las labores de mantenimiento correcto en caso de fallas en los equipos. Donde la falla principal se asocia al hecho de que una de las bombas del equipo no envíe agua al sistema de distribución.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

I. Inspección del equipo de control (tablero)

- a.** Rastros de suciedad, polvo, óxido: se limpiará la suciedad y el polvo con aspiradora, o con un cepillo de cerdas suaves; las partes metálicas oxidadas serán raspadas y repintadas.
- b.** Revisar las terminales de las conexiones: apretando todas las uniones, empalmes y otros. Normalmente el sobre calentamiento es causado por empalmes y uniones flojas. Estos puntos son notorios por su color negro. (signo de quemadura).
- c.** Verificar que todas las partes mecánicas funcionen correctamente.
- d.** Si las conexiones son instaladas en un lugar muy sucio o en un ambiente corrosivo, hay que efectuar esa inspección más a menudo.
- e.** No utilizar limas o papel de lija para rectificar contactos.
- f.** Buscar el recalentamiento de las diferentes partes. Inspeccionar la bobina, eliminar polvo, grasa, corrosión, conexiones flojas y descargas superficiales.
- g.** Terminales flexibles: buscar cables endurecidos o hilos rotos/quemados.
- h.** Caja metálica: ver en el interior y exterior de la caja si ésta tiene polvo, oxido, corrosión, signos de golpes o tuercas y tornillos flojos, verificar si su amperaje corresponde al del motor.

- i. Instrumentos de control:
 - Limpieza y verificación de su funcionamiento cada mes (visor, presostatos, manómetros y electrodos).
 - Válvula de seguridad, cada mes debe graduarse de 5 a 10 lbs., por encima de la presión de trabajo.
- j. Vibración en la bomba:
 - Desalineación: verificar la alineación angular, como paralela entre la bomba y la impulsión, alinear según el fabricante “b.”.
 - Anclajes de las bombas: revisar y verificar las partes (tornillos y tuercas) que ajustan a la base de la bomba.

II. Revisión de compresor

- a. El compresor no debe funcionar más de 10 a 15 minutos seguidos (como máximo).
- b. Se debe revisar el nivel de aceite cada mes y cambiar aceite cada 3 (tres) meses
- c. Verificar el estado de las paredes del compresor para detectar posibles fugas.
- d. Si el compresor presenta pérdida de presión y no tiene fugas el tanque, podría tratarse de un tanque con bolsa desechable, en cuyo caso es necesario reemplazarla.

III. Revisión de las bombas y tuberías

- a. Inspeccionar las tuberías de las bombas a la descarga (uniones, codos).

- b. Revisar las válvulas de drenaje, retención, de compuerta, etc., y cambiar las que no funcionen. Mantenimiento correctivo.
- c. Verificar el funcionamiento de los manómetros ubicados antes y después de las bombas.
- d. Revisión del motor: verificación de su consumo eléctrico (amperaje, voltaje, frecuencia) y su temperatura externa.

IV. Mantenimiento anual y preventivo

Cada 3,000 horas de servicio o un año se debe realizar una reconstrucción completa de motor y consiste en:

- a. Revisión de la válvula de pie y su tubería, e inspeccionar las condiciones en que se encuentra la válvula para evitar la cavitación de las bombas.
- b. Revisión de la bomba.
- c. Cambiar los sellos mecánicos.
- d. Cambiar el eje de la bomba si fuera necesario.
- e. Chequeo del impelente y paredes de la carcasa.

V. Sistema eléctrico

- a. Cambiar componentes, cables cada 3 (tres) años o 9,000 horas de trabajo.
- b. Cambio de bobinas cada año de servicio.

VI. Tanque de presión

- a. Verificar espesor de paredes y soldadura mediante equipo de ultrasonido, cada cinco (5) años.

- b. Limpieza pintura interior, purga general del tanque cada 10 (diez) años (si lo amerita) consultar con el fabricante del mismo.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

I. Problemas en las bombas

Se apaga la bomba con problemas a través de su interruptor y se verifican los siguientes aspectos en la misma:

- a. Ruido anormal de su funcionamiento: cavitación (caudal insuficiente entrando a la carcasa y al alabe impulsor), demasiada profundidad de succión que se verificará con el vacuómetro o el indicador combinado (verificar con la curva de eficiencia del fabricante el NPSH).
- b. Aire retenido: se debe purgar el aire contenido dentro de la carcasa de la bomba, que puede también causar ruido y afectar el buen funcionamiento de la bomba.
- c. Defectos mecánicos: verificar rotura de piezas externas o internas, desgaste de cojinetes, desalineación de la bomba o del impulsor.

II. No hay descarga de agua

- a. Verificar el nivel de agua en el tanque de almacenamiento y verificar el estado del flotante eléctrico, verificar si las llaves de entrada y salida del tanque presurizado están totalmente abiertas.
- b. Bomba con nivel de succión bajo: ésto significa que el tubo de succión quedo vacío, por lo tanto se hace necesario llenar por

completo el tubo de aspiración desde la válvula de pie hasta la carcasa de la bomba.

- c. Si una vez realizado el paso “b”, la bomba no descarga agua observar si hay fugas en las juntas y accesorios del tubo de aspiración, sacar aire acumulado en la carcasa, comprobar el desgaste de empaques o tornillos de unión, verificar la pérdida de agua excesiva o flujo en los sellos mecánicos.
- d. Giro en la dirección Incorrecta: esto puede ocurrir cuando hay un cambio de fases, por lo tanto se hace necesario verificar el giro del motor con la flecha direccional en la carcasa de la bomba.
- e. Obstrucción total o parcial del impulsor y las tuberías: desarmar la bomba e inspeccionar el impulsor, las tuberías y válvulas, limpiarlas o cambiarlas en caso de encontrar alguna obstrucción mecánica.

III. Presión insuficiente.

- a. Marcha demasiado lenta: comprobar si el motor está bien conectado a la red y recibiendo voltaje y corriente adecuados.
- b. Defectos mecánicos: observar si el rodete está defectuoso o si hay desgaste de anillos o de los empaques. Reemplazar si hay secciones de alabe muy desgastadas por abrasión del agua o tiempo de operación.

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS EQUIPO HIDRONEUMÁTICO

I. En caso de racionamiento de agua.

Cerrar “UNICAMENTE” la llave de paso que alimenta el edificio. “En ningún caso apagar el sistema”. En el momento que restablezcan el suministro de agua al edificio, abrir “esta” misma llave un poco hasta llenar las tuberías del edificio, totalmente. Luego girar el volante de la llave hasta su tope.

Si esta operación (cerrar la llave) no se efectúa, el cilindro perderá la cámara de aire ocasionando el encendido y apagado constante de las bombas, produciendo el desgaste de las mismas y dañando irremediablemente los componentes.

II.- Cuando el tanque de agua llegue a su nivel más bajo, el equipo se apagará automáticamente, y se encenderá un bombillo rojo en el tablero de control. (si el sistema contara con tablero)

En estos casos, también se recomienda cerrar la llave de paso que alimenta el edificio hasta que se apague la luz del tablero, la cual indica que el nivel de agua en el estanque es apropiado para el buen funcionamiento del sistema.

III. Cuando las bombas no encienden en modo manual ni en modo automático:

Efectuar las siguientes operaciones:

- a. Colocar los selectores en posición cero (*OFF u ON*).
- b. Verificar que los fusibles estén ajustados, o en buen estado.

- c. Pulsar reajustar (*reset*) en los motores (botón de color rojo, azul, ó blanco), colocado en la parte inferior derecha.
- d. Verificar que al tablero de control le esté llegando electricidad suficiente para su funcionamiento. Si efectuadas estas operaciones, persiste la falla comunicarse con el distribuidor o fabricante si fuese posible.

IV. La bomba no levanta presión o no bombea agua.

Esta falla ocurre cuando hay entradas de aire en la tubería de succión, a través de juntas, uniones, o por la manguera del cargador de aire. Para corregir hay que verificar cuidadosamente cada una de las juntas de las tuberías y de ser posible comprobar la hermeticidad de cada unión. Cuando es por la manguera del cargador se puede hacer una comprobación sencilla, al soltar la manguera de la conexión en la bomba, tapando con el dedo el orificio del conector y probando de nuevo el bombeo, si no levanta presión no es problema del cargador si no de la tubería de succión si levanta la presión, el problema es la conexión del cargador a la bomba, la cual hay que ajustar correctamente.

V. La bomba prende y apaga continuamente

- a. En estos casos, es muy probable que el tanque de presión haya perdido la cámara de aire que permite la compresión, se debe sacar el tapón que se encuentra en la parte inferior del tanque y permitir el drenaje total del agua en el equipo, asegurándose de permitir a través de las válvulas y otros elementos la entrada de aire al tanque para facilitar la salida del agua.
- b. Colocar de nuevo el tapón de drenaje, encender el equipo.

- c. En equipos con compresor se realizará el mismo procedimiento antes explicado (el de purga), encender el compresor de aire manualmente hasta lograr la recuperación de la cámara de aire perdida. Se debe tener la precaución de que el compresor no funcione más de 15 minutos seguidos para evitar un recalentamiento del mismo.

VI. Una vez que se logre parcialmente el nivel de aire, el equipo automáticamente recuperará la totalidad de dicha cámara volviendo a funcionar en condiciones normales.

No permitir que personal no especializado realice trabajos en bombas, tableros, o accesorios, y tratar de recabar la mayor información posible para que los técnicos puedan proceder a solucionar los problemas existentes con mayor eficacia y rapidez.

EQUIPO PRESIÓN CONSTANTE

I. En caso de querer racionar el agua.

Se deberá apagar el equipo hasta el momento en que se decida volver a suministrar agua, y se procederá de la siguiente forma:

- a. En el momento de apagar el equipo: se pondrán en posición de apagado, aquellas bombas que hasta ese momento están funcionando y por último, la bomba que estaba trabajando (bomba de turno). De esta forma no se registran arranques descontrolados de bombas ni golpes de ariete en las redes (tubería principal).

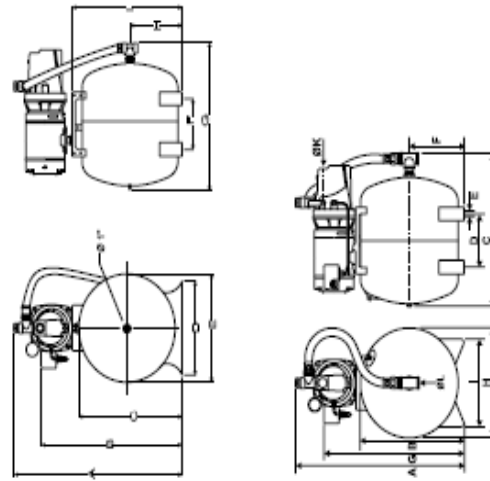
- b.** Encender el equipo: se colocara la bomba Numero 1 “MANUAL” hasta que el manómetro registre la presión de trabajo, luego se irán colocando las restantes bombas en “AUTOMÁTICO” y por último, la bomba número 1 que estaba en manual se colocará en automático.
- c.** Cuando el tanque de agua llegue a su nivel más bajo, el equipo se apagará automáticamente y se encenderá un bombillo rojo en el tablero de control (si el equipo contara con uno), para estos casos se recomienda apagar el equipo hasta que el bombillo se apague como señal que el tanque ha recuperado su nivel de trabajo, y proceder a efectuar el mismo procedimiento indicado en el punto b.

De esta forma se puede estar seguros de no sobrecargar la línea de corriente con que se alimenta el tablero de mando evitando las consecuencias que podría ocasionar dicha sobrecarga.

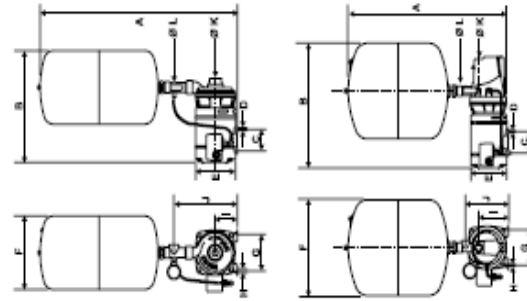
DIMENSIONES DE EQUIPOS HIDRONEUMATICOS

BOMBEO

Horizontal



En Línea



Vertical

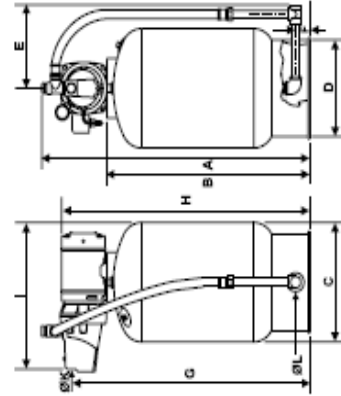


TABLA DE DIMENSIONES cm (pulgadas)

MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	O	K
EAC050-020L	76,2(30,0)	39,4(15,5)										
EAJ025-020L	67,3(26,5)	41,9(16,5)	7,6(3,0)	0,9(0,35)	21,7(6,2)	25,4 (10,0)	12,2(4,8)	3,0(1,2)	8,7(3,4)	24,9(9,8)		3/4"
EAJ050-053L	72,6(28,6)	49,5(19,5)				40,6(16,0)			13,2(5,2)	22,9(9,0)		
EAJ050-053H	71,0(28,0)	45,2(17,8)	58,0(22,8)	24,8(9,8)	20,3(8,0)	64,9(25,6)	58,4(23)	40,6(16,0)	32,4(12,7)			1"
EAJ050-076V	99,1(39,0)	72,9(28,7)	40,6(16,0)	32,5(12,8)	22,9(9,0)	5,1(2,0)	85,1(33,5)	96,5(38,0)	48,3(19,0)	54,4(21,4)		
EAJ075-126V	135,9(53,5)	108,7(42,8)	40,6(16,0)	32,5(12,8)	22,9(9,0)	5,1(2,0)	121,9(48,0)	133,4(52,5)	54,4(21,4)	56,9(22,4)		1 1/4"
EAJ100-167V	120,1(47,3)	93,0(36,6)	53,3(21,0)	43,2(17,0)	22,9(9,0)	5,1(2,0)	106,2(41,8)	117,6(46,3)	63,5(25,0)			
EAH050-020H	59,0(24")	-	51,0(20)	26,5(10,4)	26,6(10,4)	25,0(9,84)	19,0(7,4)	14,5(5,70)	29,0(11,4)			-

ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO

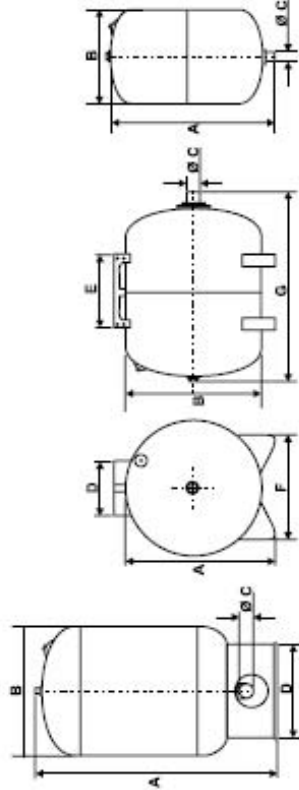
DIMENSIONES DE TANQUES HIDRONEUMÁTICOS

BOMBEO

Tanques

USOS:
 EL COMPLEMENTO IDEAL PARA LOS EQUIPOS HIDRONEUMÁTICOS, FÁCILES DE
 INSTALAR ALTAMENTE RECOMENDADAS PARA USO RESIDENCIAL, GRANJAS Y
 EQUIPOS INDUSTRIALES PEQUEÑOS.

BENEFICIOS:
 • MANTIENE EL AGUA LIMPIA, POR EVITAR EL CONTACTO CON CUAQUIER METAL.
 • VENTILACION INTERNA QUE NO PERMITE LA CONDENSACION DEL AGUA.



SELECCION DE TANQUES HIDRONEUMÁTICOS EN FUNCION DEL FLUJO DE LA BOMBA

FLUJO PROMEDIO DE BOMBA LPM	20-40 PSI (14-28 mts. de agua)		30-60 PSI (21-42 mts. de agua)		40-60 PSI (28-42 mts. de agua)		
	1'	1.5'	2'	1.5'	2'	1.5'	2'
10	20x25	25	20x25	25	76	20x25	76
20	25	26	126	76	126	76	126
30	76	126	167	167	167	126	167
40	126	167	235	167	235	167	225
50	167	235	306	167	235	306	306
75	235	306	450	225	450	306	450
100	306	450	600	306	600	450	600
125	306	450	2 x 306	450	2 x 306	306+450	450
150	2 x 306	306+450	450	306+450	2 x 450	450	2 x 450
200	2 x 306	306+450	2 x 450	306+450	2 x 450	306+450	2 x 450
250	2 x 306	2 x 306	2 x 450	2 x 450	3 x 450	2 x 450	2 x 450
300	2 x 450	2 x 450	3 x 450	3 x 450	4 x 450	3 x 450	4 x 450
350	3 x 450	3 x 450	4 x 450	4 x 450	5 x 450	4 x 450	5 x 450
400	4 x 450	4 x 450	5 x 450	5 x 450	6 x 450	5 x 450	6 x 450
500	5 x 450	5 x 450	6 x 450	6 x 450	7 x 450	6 x 450	7 x 450

MODELOS	TANQUE	CAPACIDAD LITS (GAL)	Ø CONEXION
EQTHD-450V	VERTICAL	450 (119)	1"Ø
EQTHD-306V	VERTICAL	306 (81)	1"Ø
EQTHD-235V	VERTICAL	235 (63)	1"Ø
EQTHD-167V	VERTICAL	167 (44)	1"Ø
EQTHD-126V	VERTICAL	126 (33)	1"
EQTHD-076V	VERTICAL	76 (20)	1"
PW44S-50L	HORIZONTAL	50 (13)	3/4"
PW44-50L	LINEAL	50 (13)	3/4"
PW20S-20L	HORIZONTAL	20 (5.3)	3/4"
PW15-18L	LINEAL	18 (4.7)	3/4"
TA24	HORIZONTAL	24 (6.34)	1"
	ACERO INOX MEMBRANA		

Bombas Jet de 1/2 HP hasta 1HP serie JRS



GENERALIDADES

Bombas Jet para casas desde 2 baños hasta 4 baños. Se diseñan para operar con tanques presurizados para mantener la casa operada con una presión cómoda.

Disponible solamente con motores eléctricos monofásicos de 115 y 230V.



Bomba Jet JRS55

TABLA DE RENDIMIENTO

La curva de rendimiento de la bomba nos dice el caudal que puede generar a las presiones que estabamos. Se ve afectada por la altura de succión, que se refiere a la altura vertical en pies de la bomba sobre el agua.

Carga de agua Vertical	1/2 HP - JRS55		3/4 HP - JRS75	
	Alturas			
Elevación de succión total (pies)	Puntos de descarga - Elevación total		Puntos de descarga - Elevación total	
	20'	30'	30'	40'
5	11.3	12.8	8.8	10.0
10	11.0	12.4	7.8	9.4
15	9.2	9.0	6.5	7.8
20	7.4	7.5	5.5	6.7
25	5.7	5.5	4.8	5.1

Carga de agua Vertical	1 HP - JRS105	
	Alturas	
Elevación de succión total (pies)	Puntos de descarga - Elevación total	
	30'	40'
5	22.0	21.8
10	18.5	18.8
15	14.0	15.1
20	11.1	11.8
25	8.5	9.0



Típica configuración con Tanque de 20 Galones

Bombas Centrífugas BC91 de 1/2HP hasta 1HP



GENERALIDADES

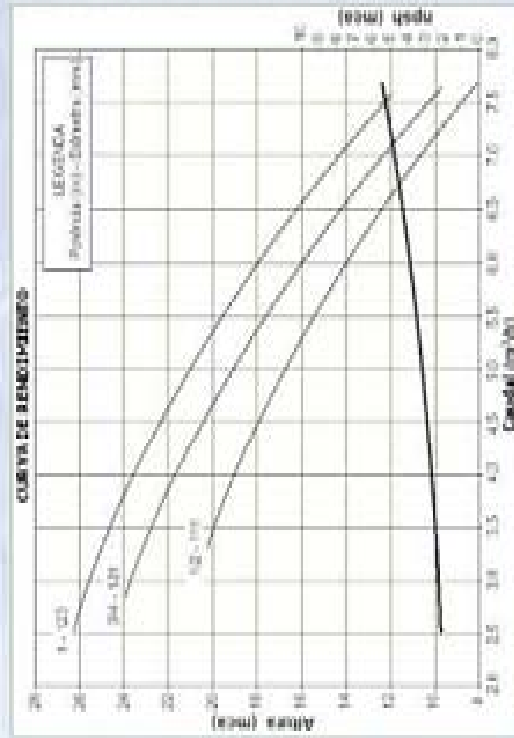
Bombas centrífugas para usos generales. Típicamente instaladas para llenar tanques elevados en las casas. Disponible con motores eléctricos monofásicos en 115 y 230 v.



Bomba centrífuga BC91 de 1/2 HP

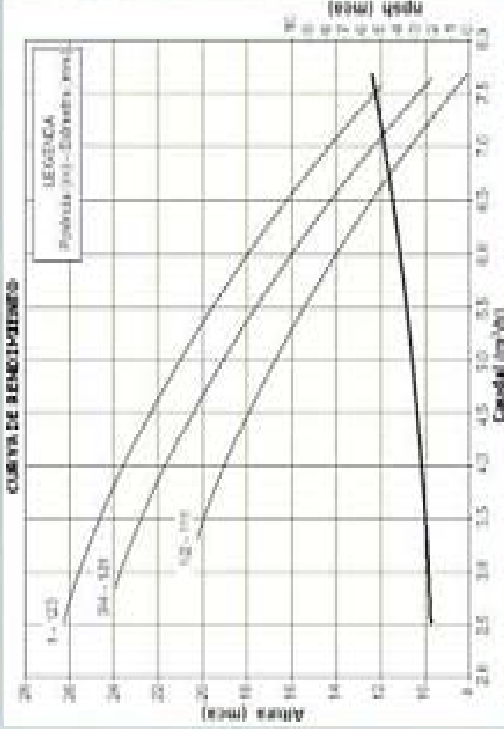
CURVA DE RENDIMIENTO

La curva de rendimiento de la bomba nos dice el caudal que puede generar a las Alturas requeridas, denominadas Cabezas Dinámicas Totales.

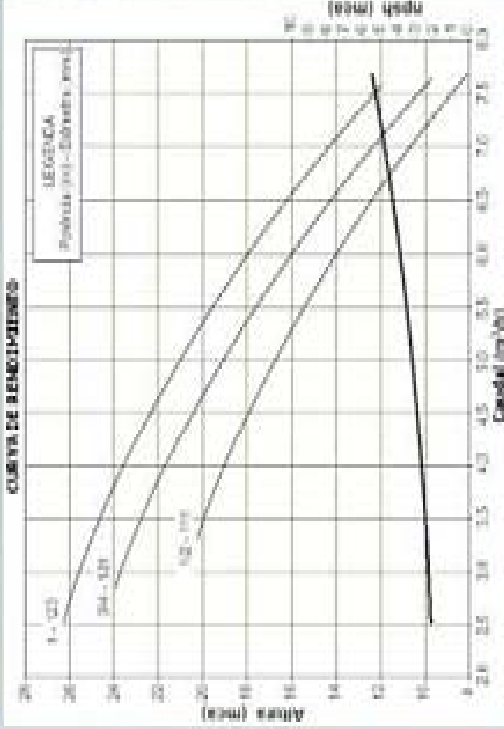


CURVA DE RENDIMIENTO

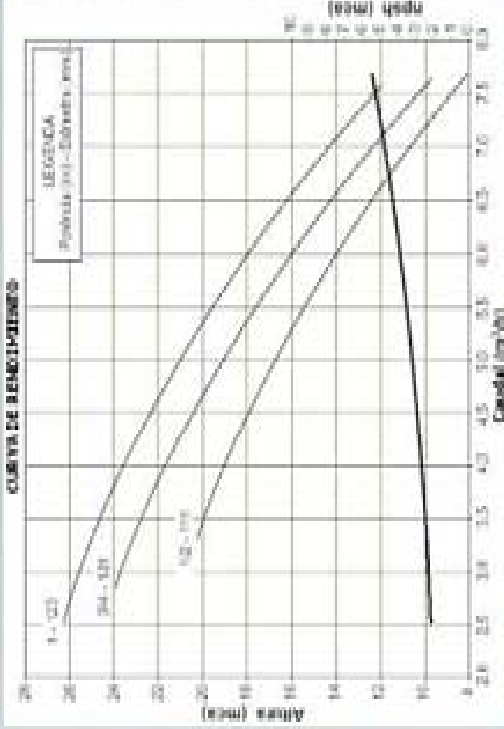
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



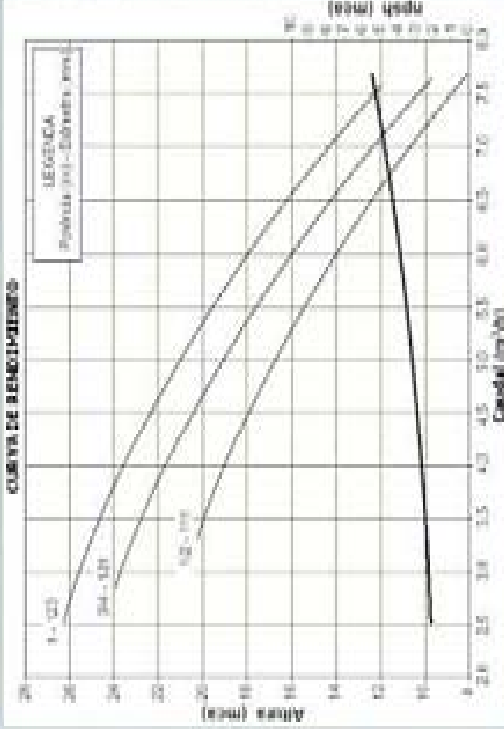
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



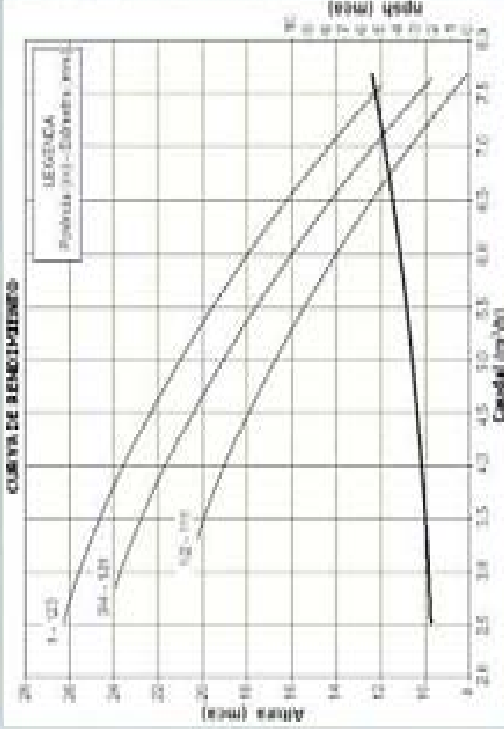
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



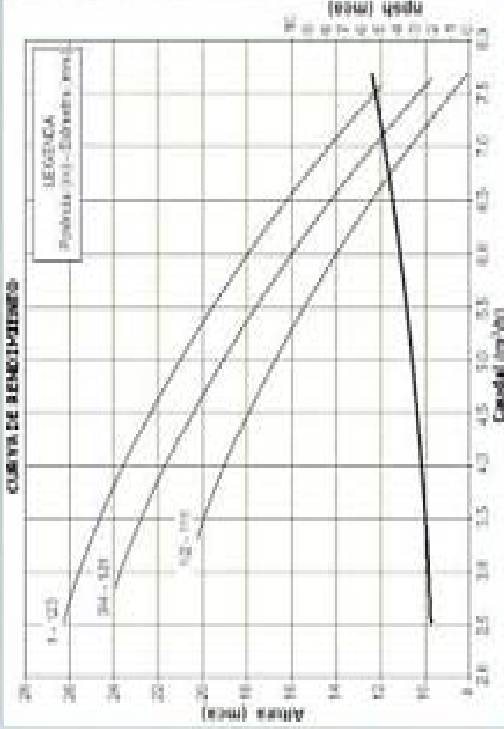
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



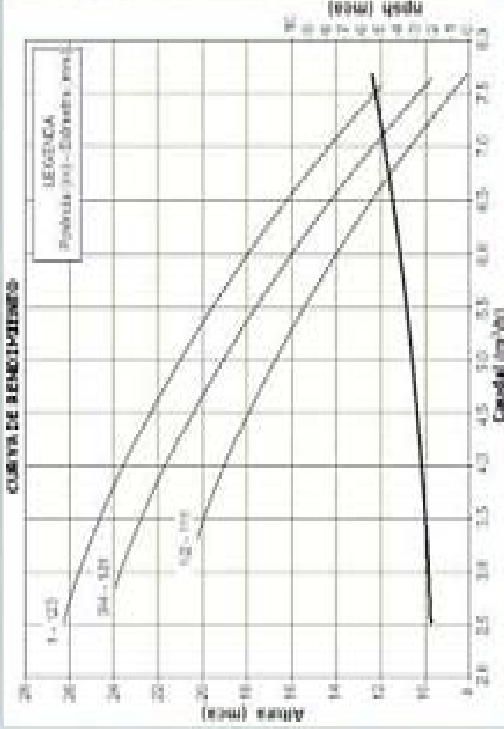
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



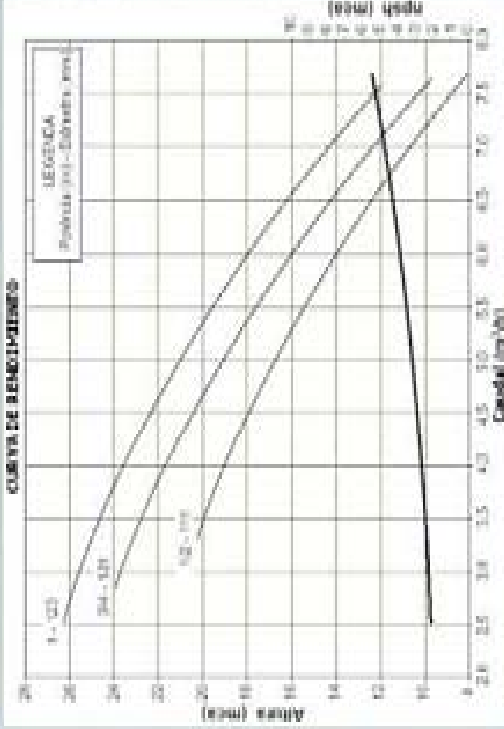
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



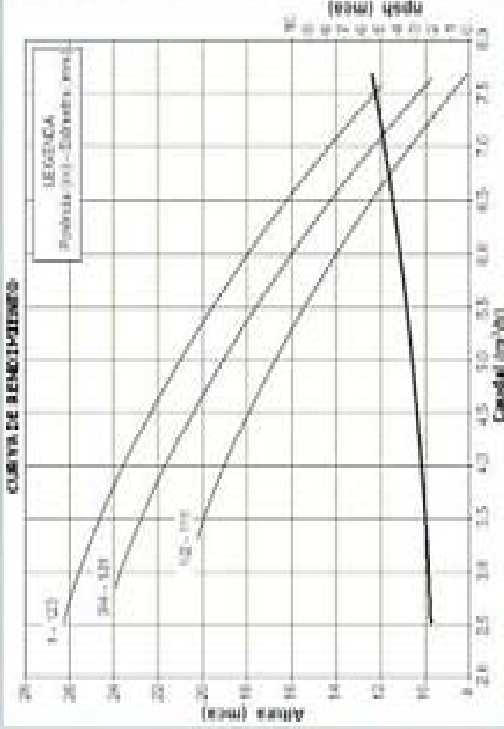
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



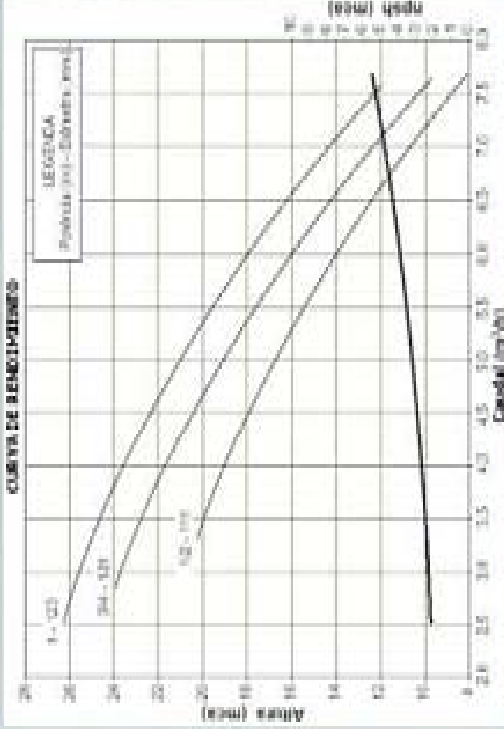
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



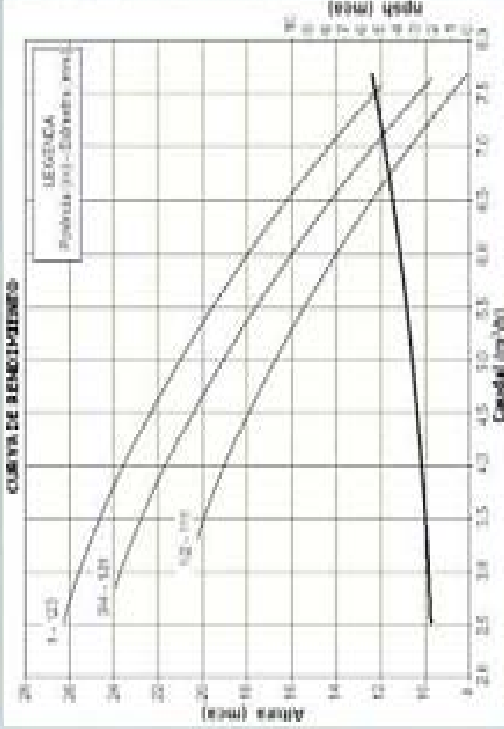
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



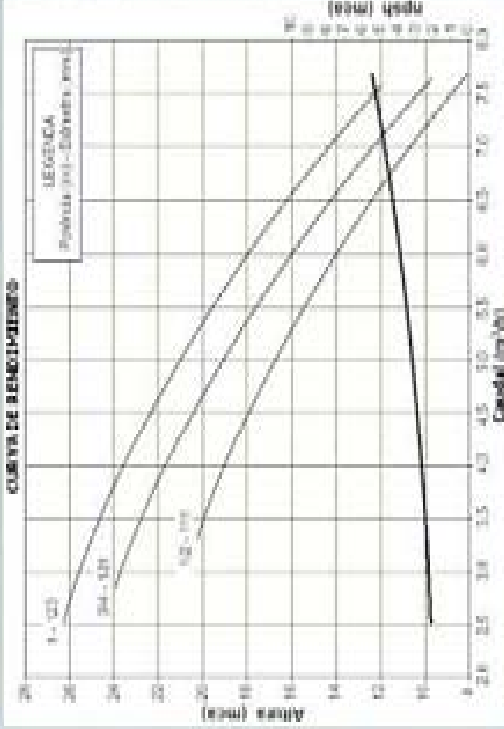
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



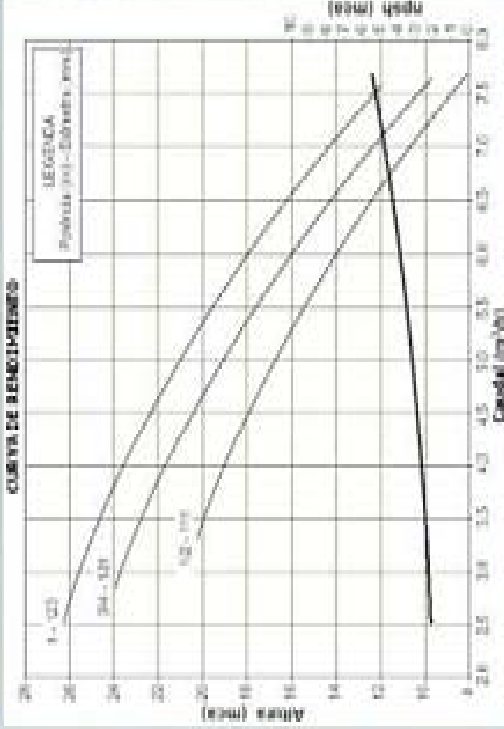
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



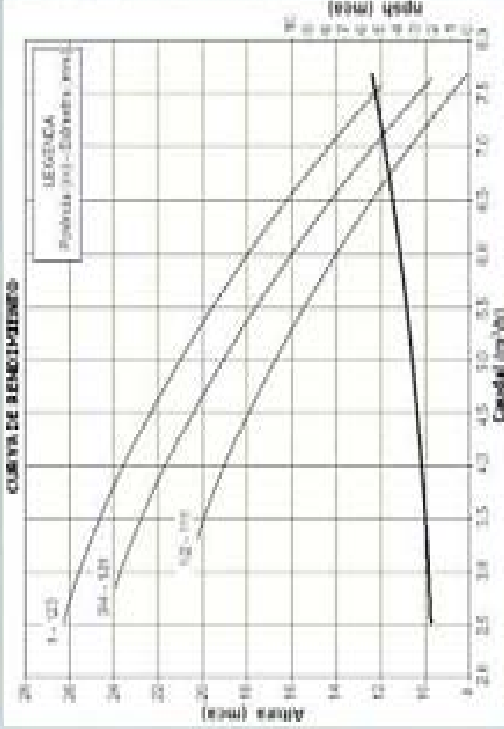
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



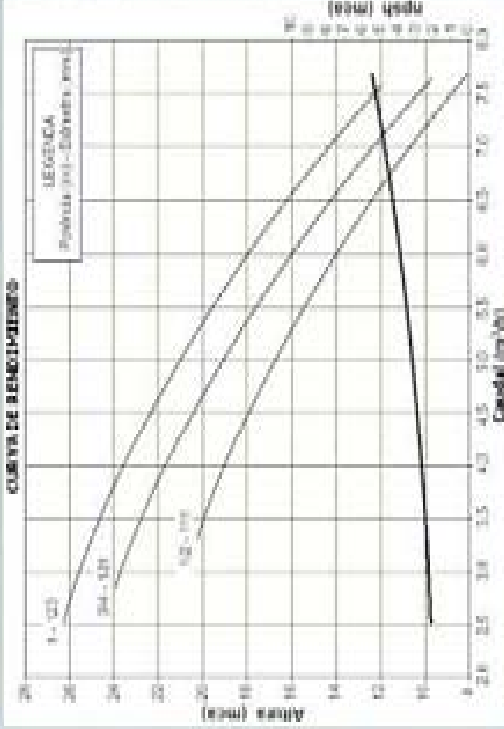
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



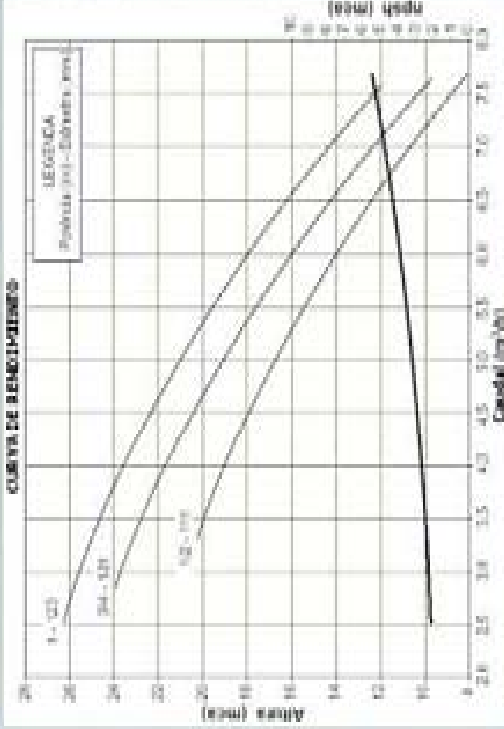
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



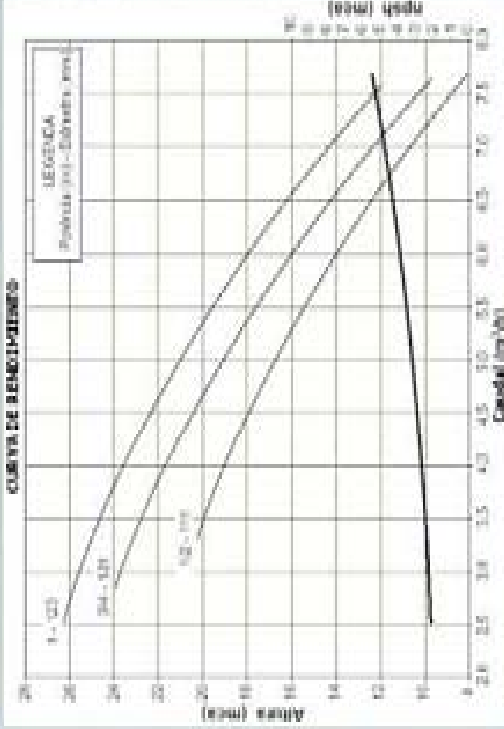
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



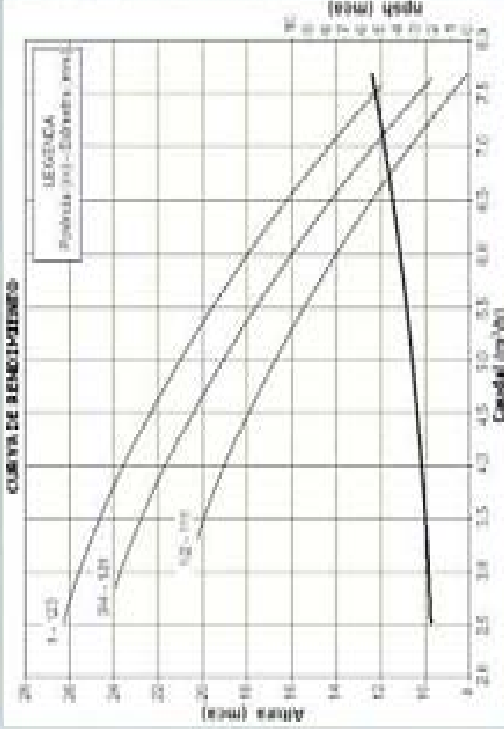
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



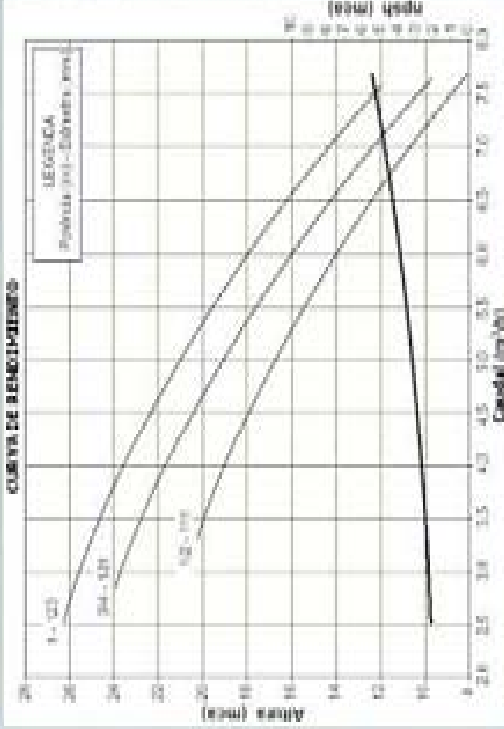
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



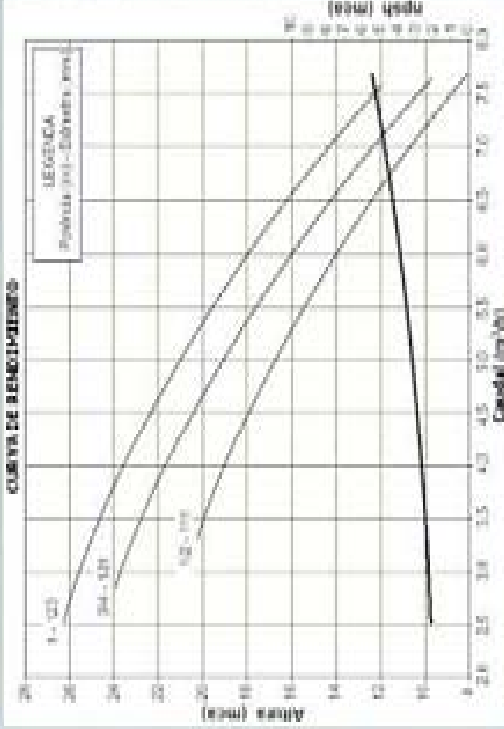
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



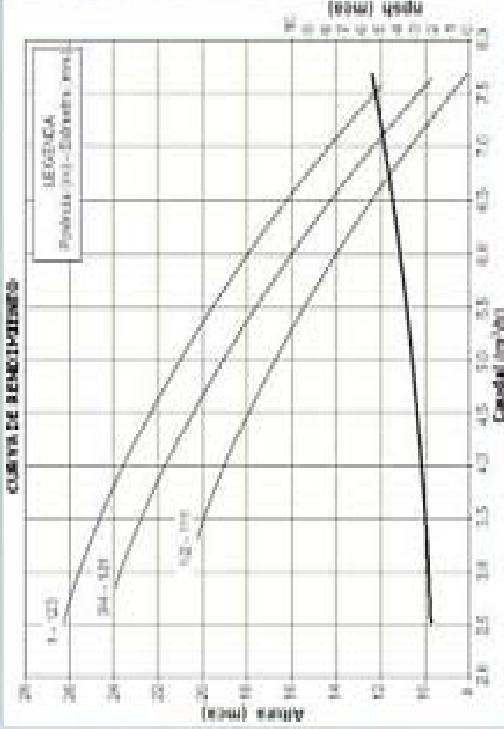
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



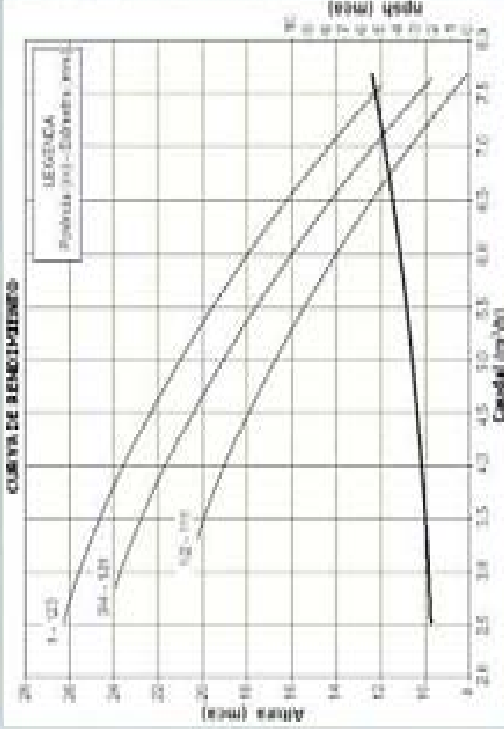
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



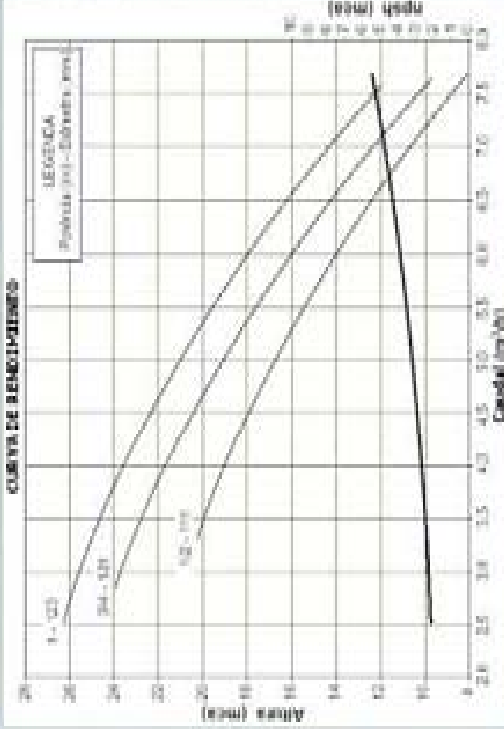
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



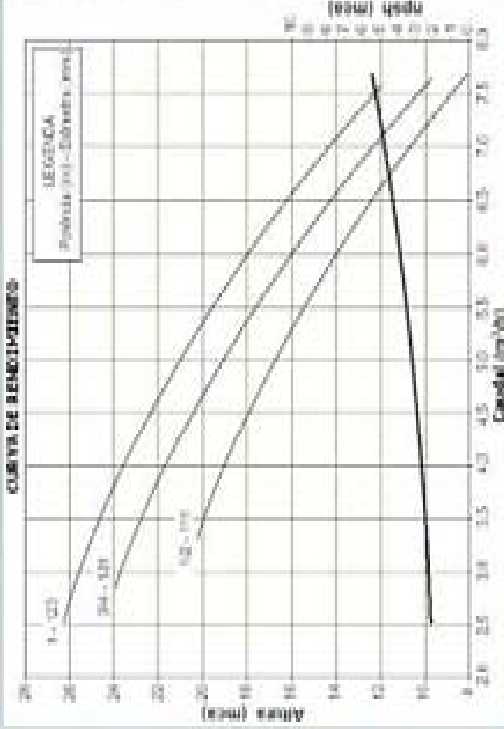
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



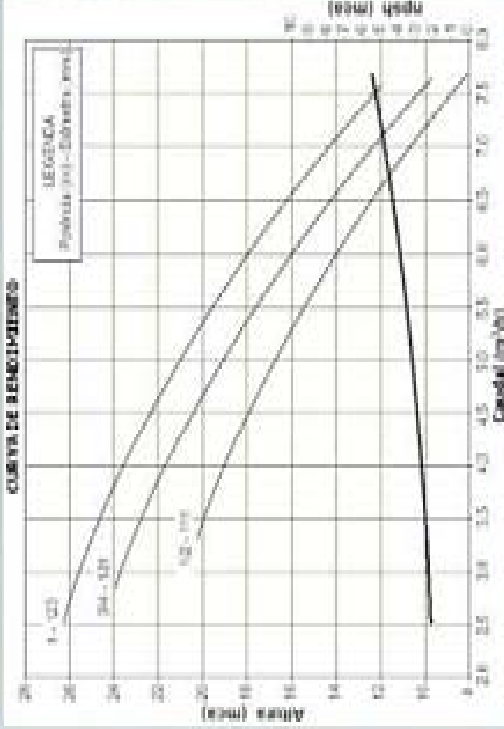
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



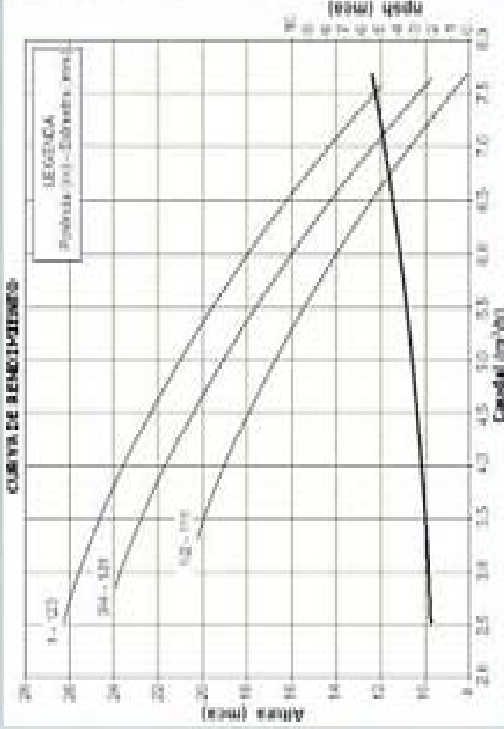
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



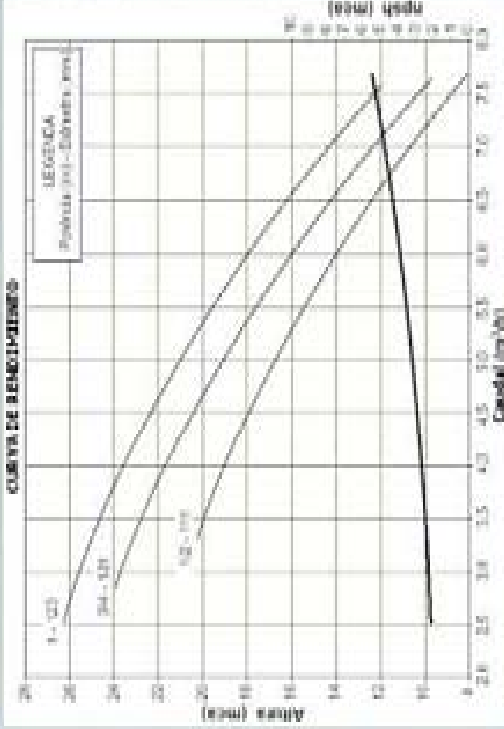
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



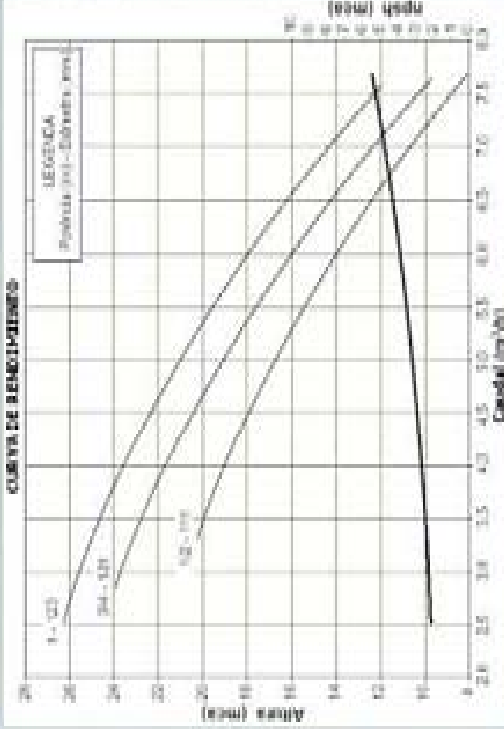
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



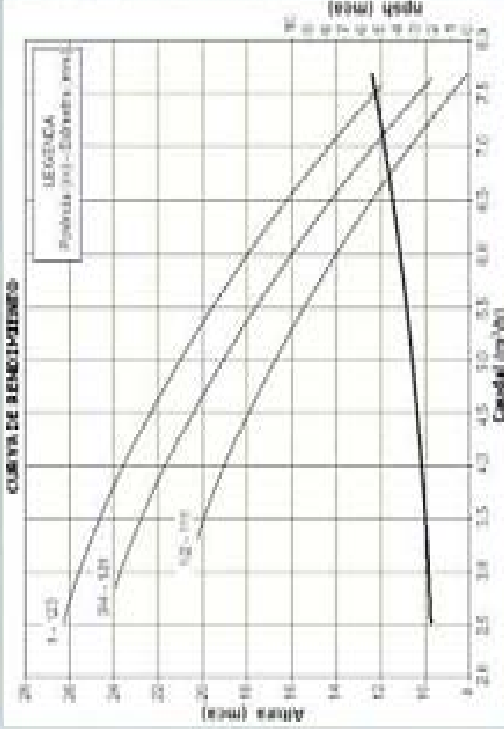
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



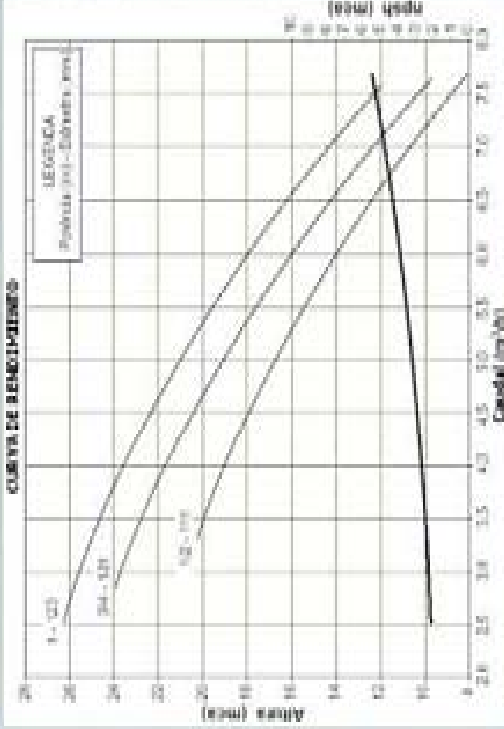
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



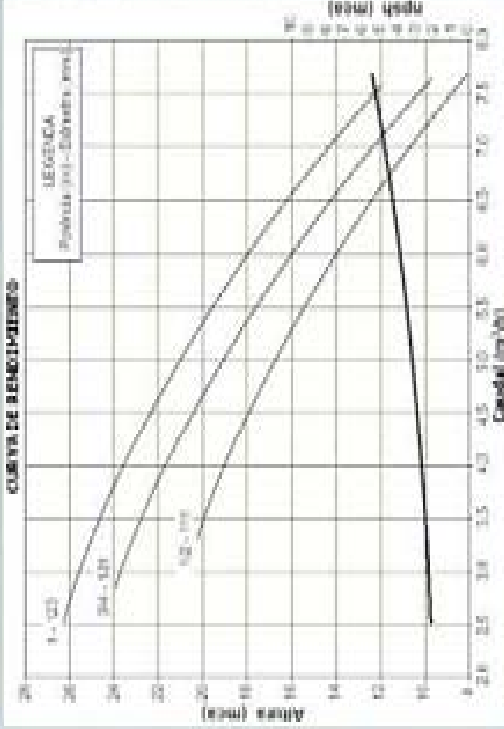
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



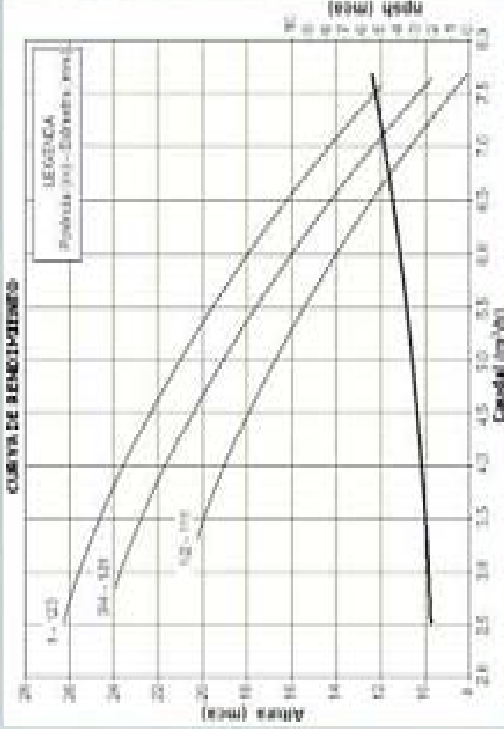
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



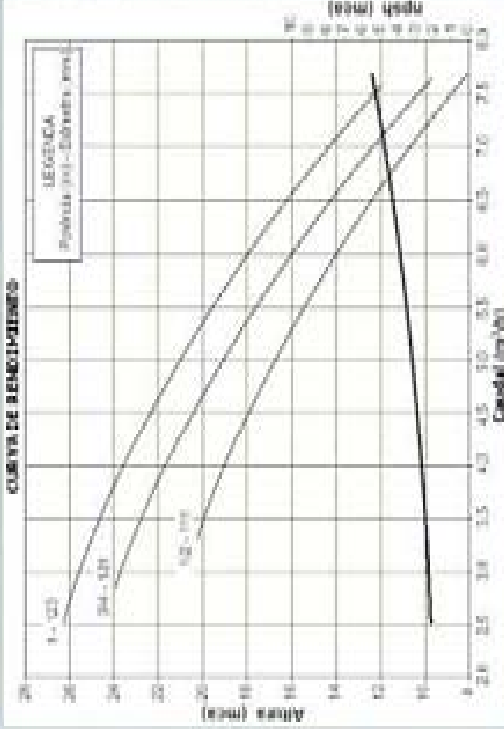
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



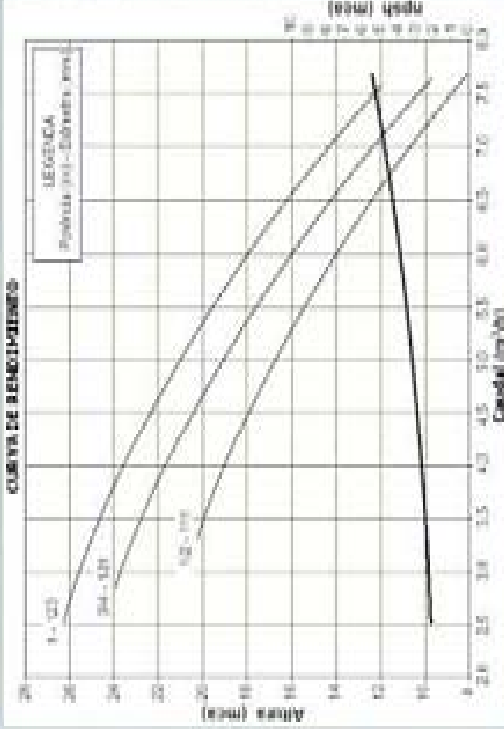
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



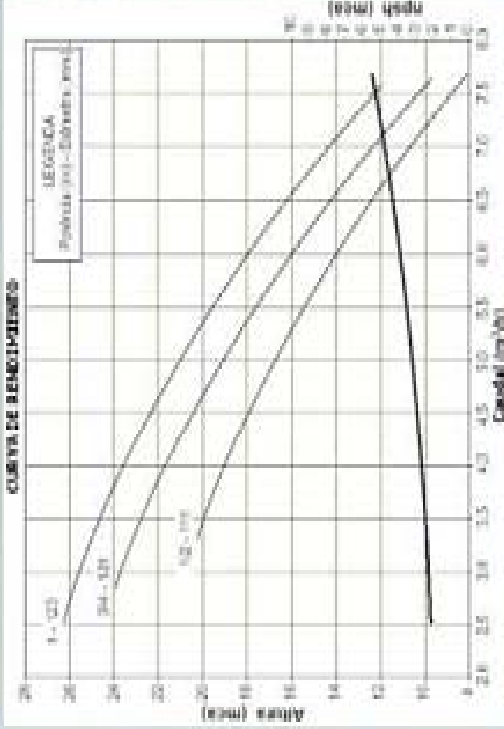
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



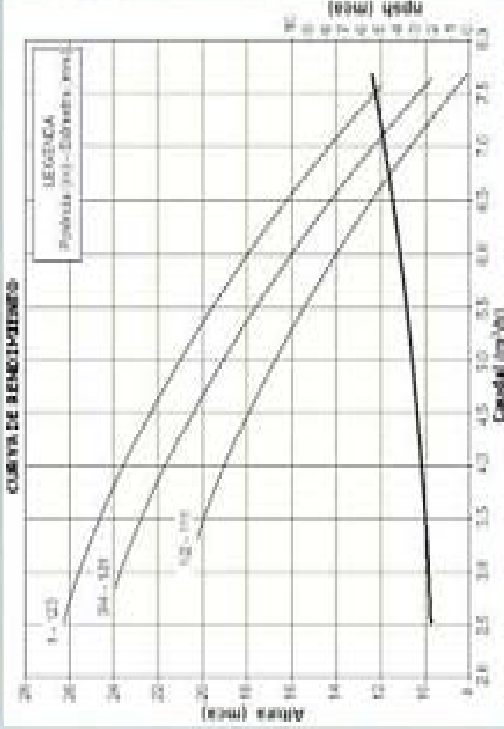
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



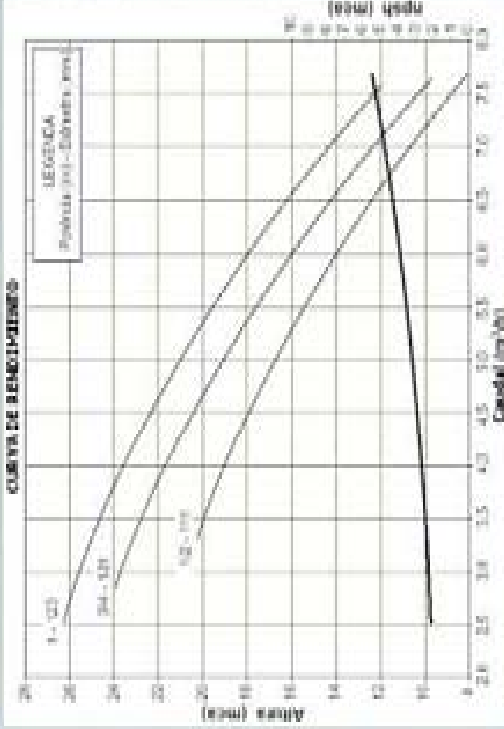
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



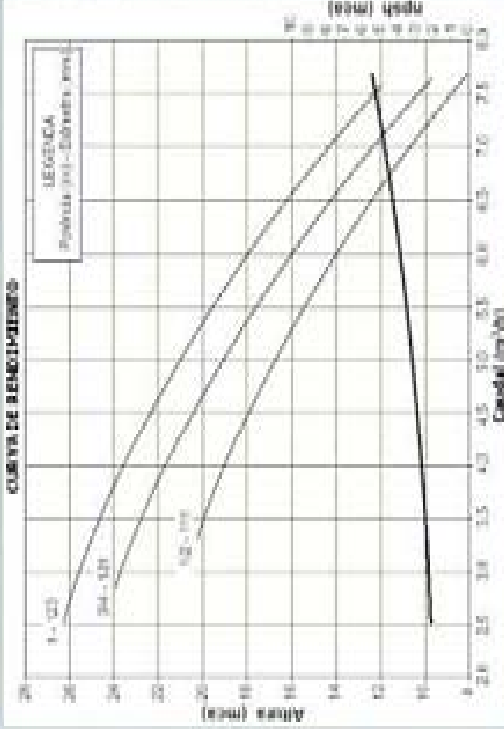
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



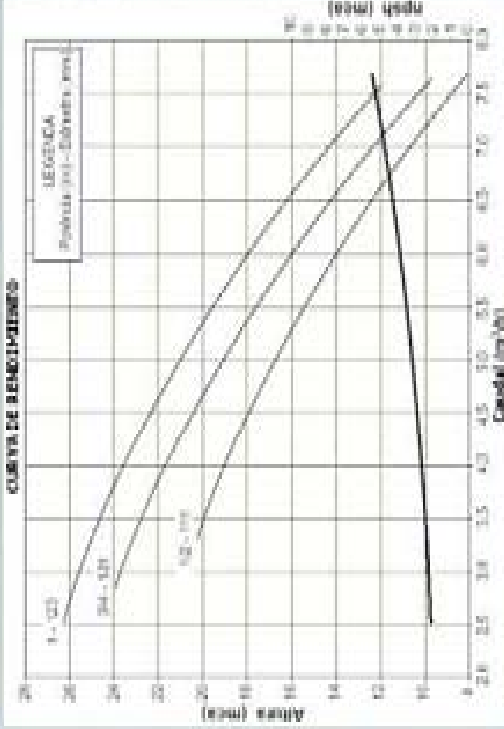
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



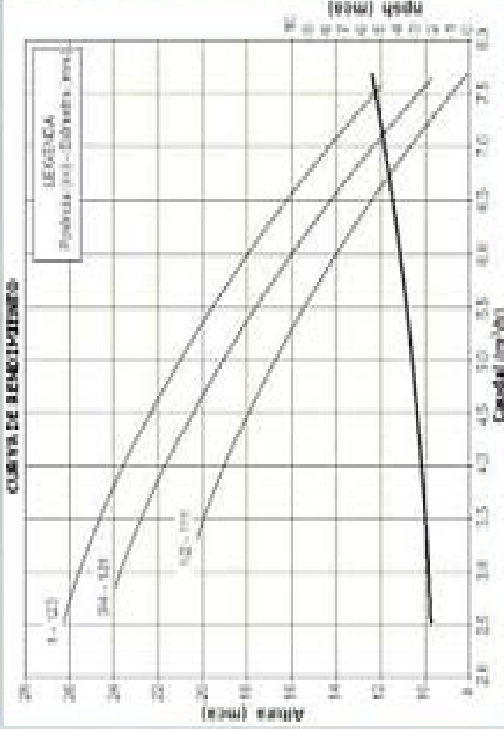
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



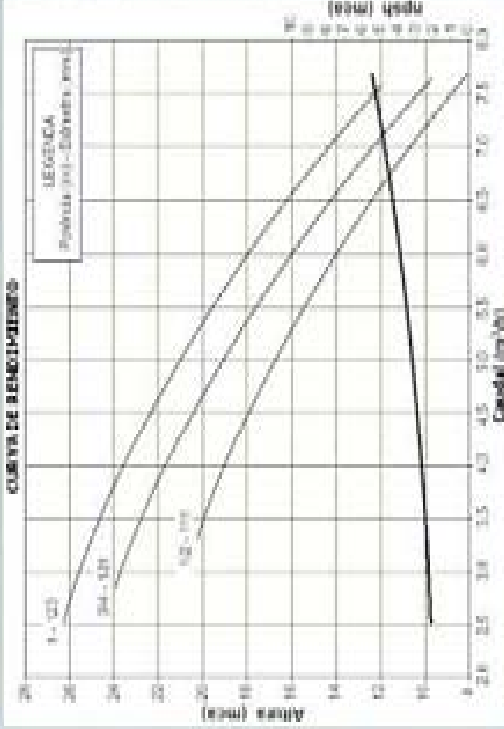
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



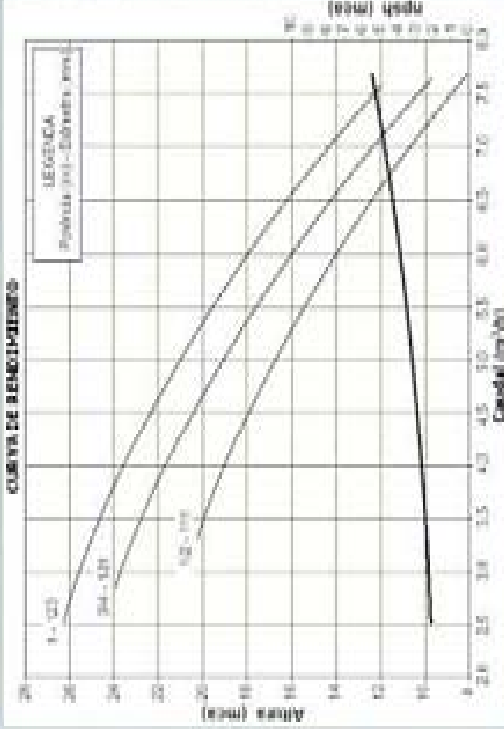
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



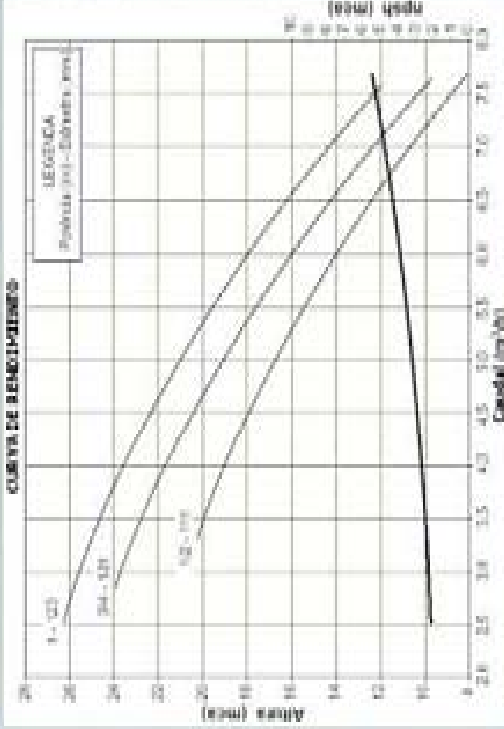
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



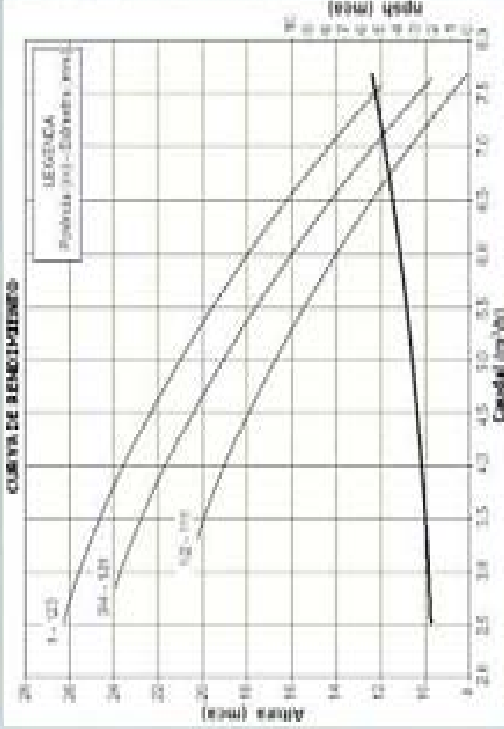
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



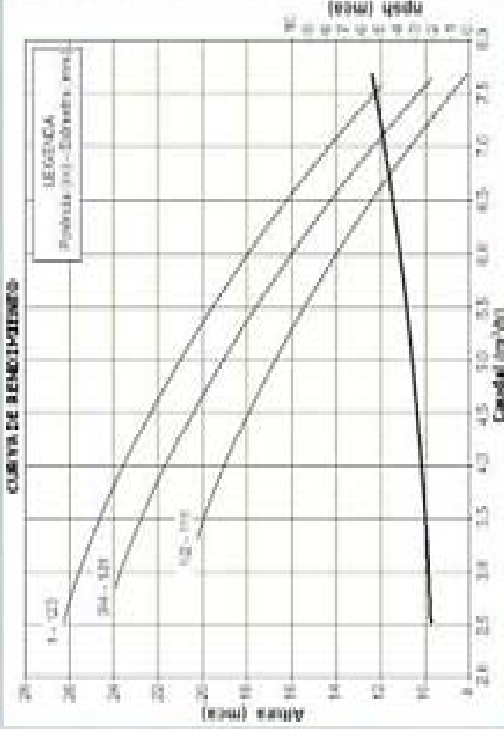
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



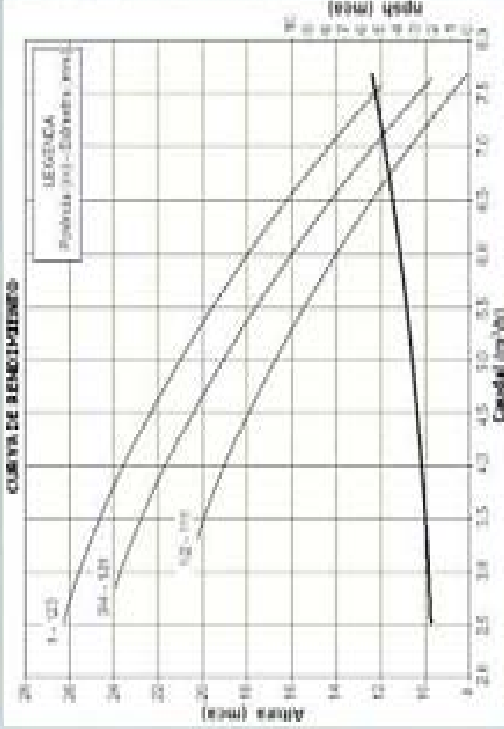
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



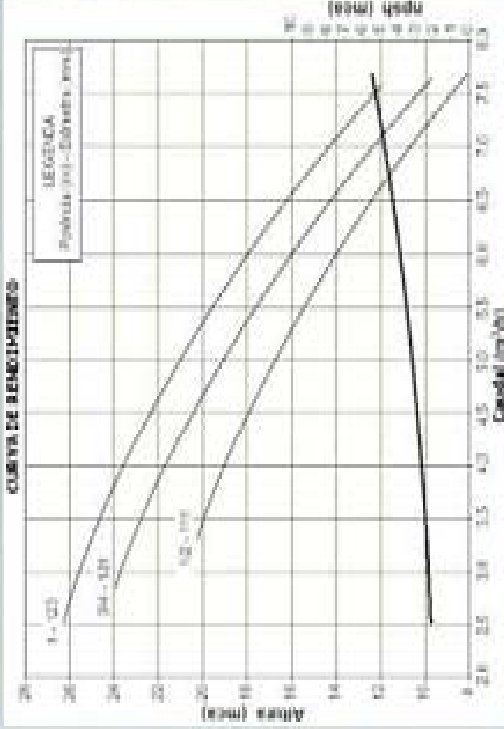
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



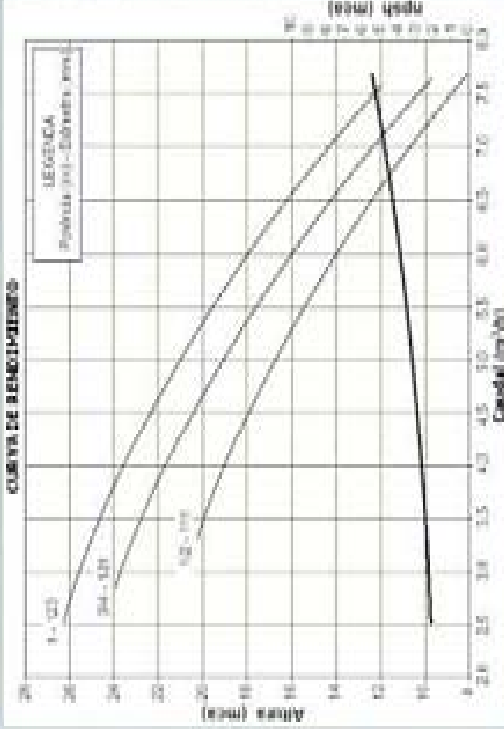
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



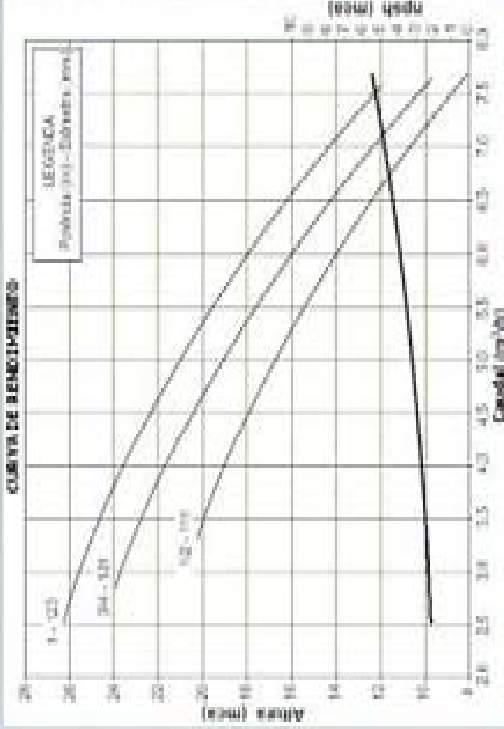
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



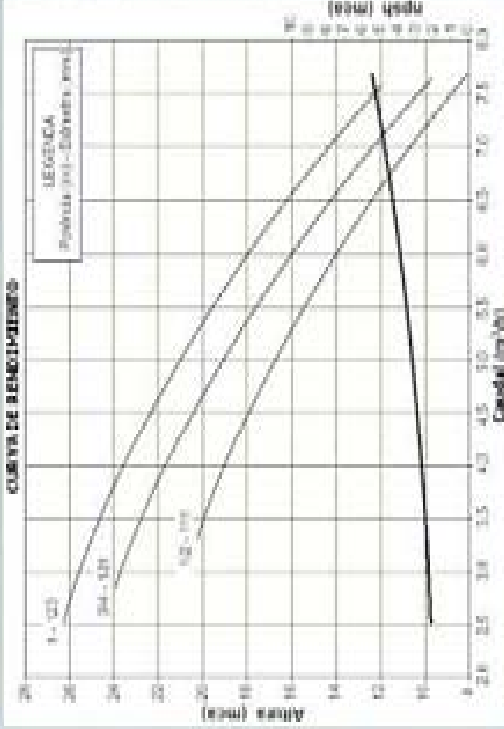
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



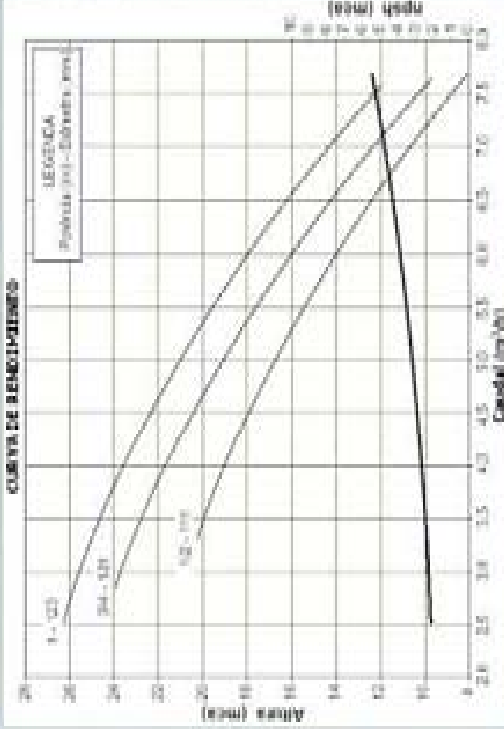
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



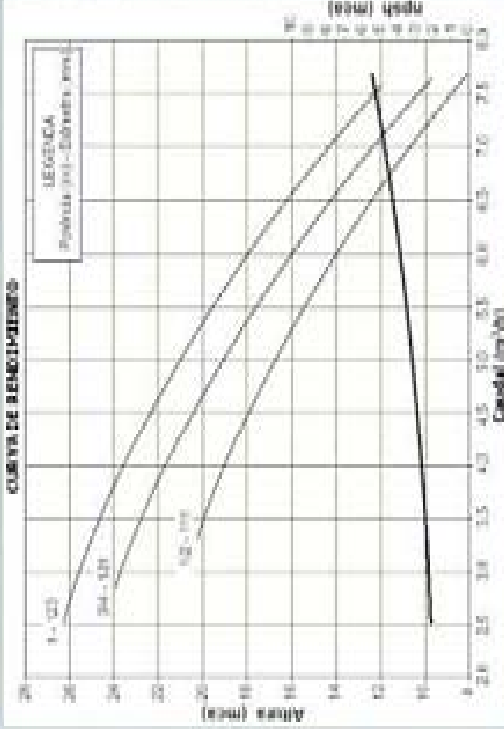
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



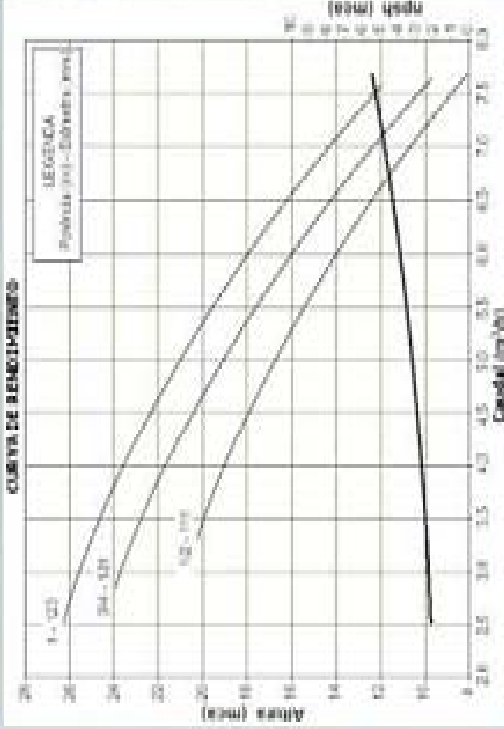
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



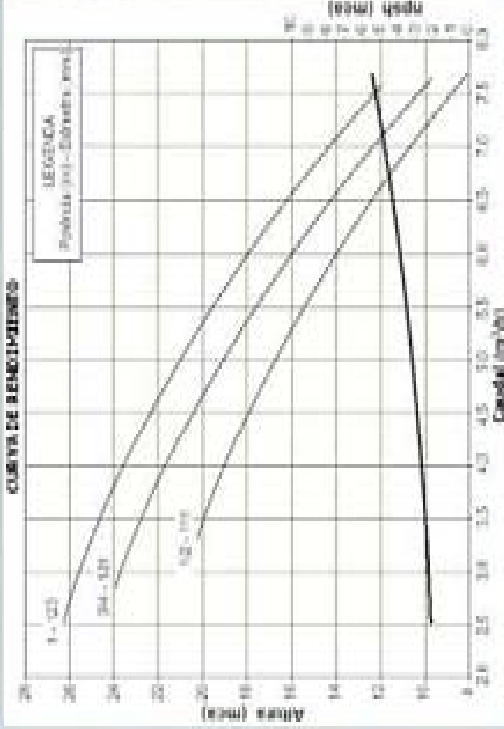
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



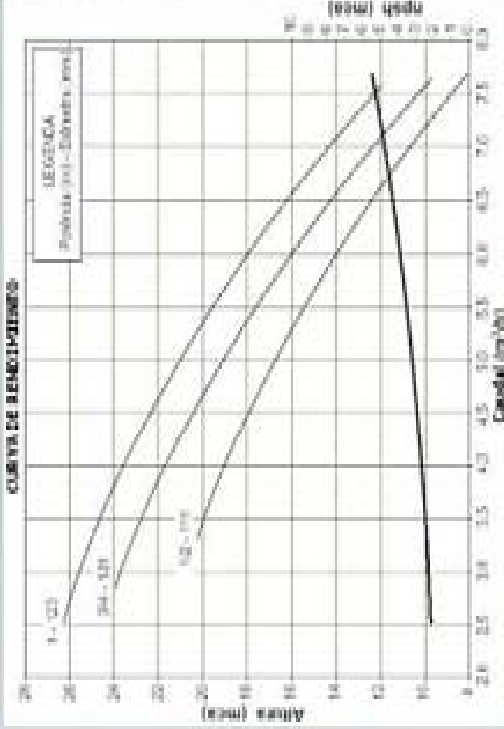
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



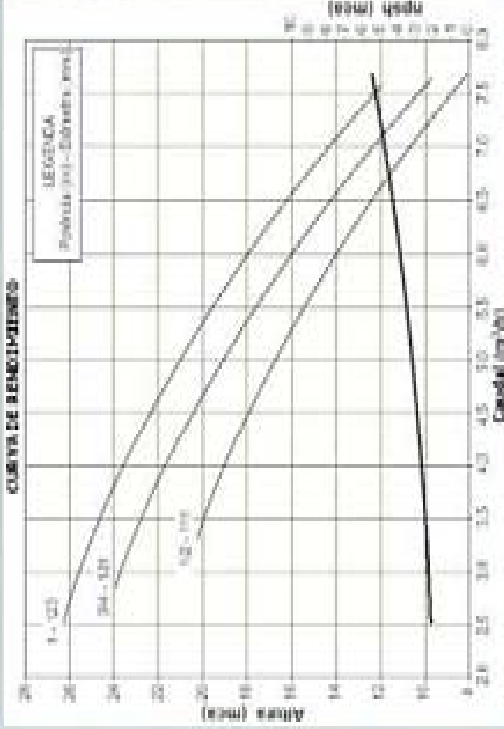
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



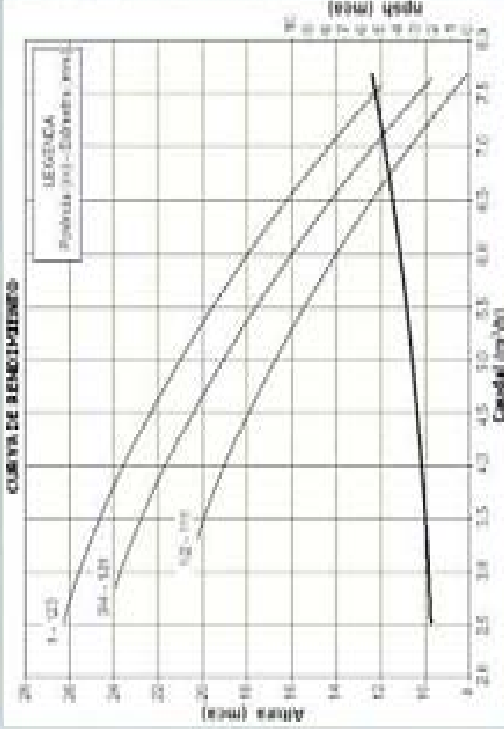
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



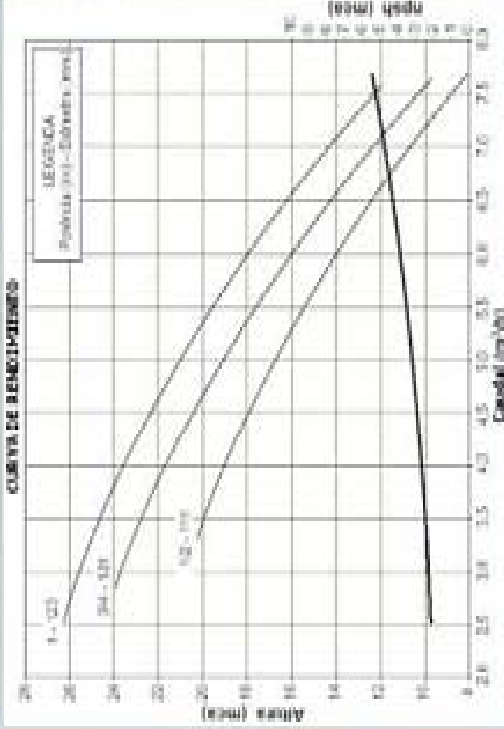
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



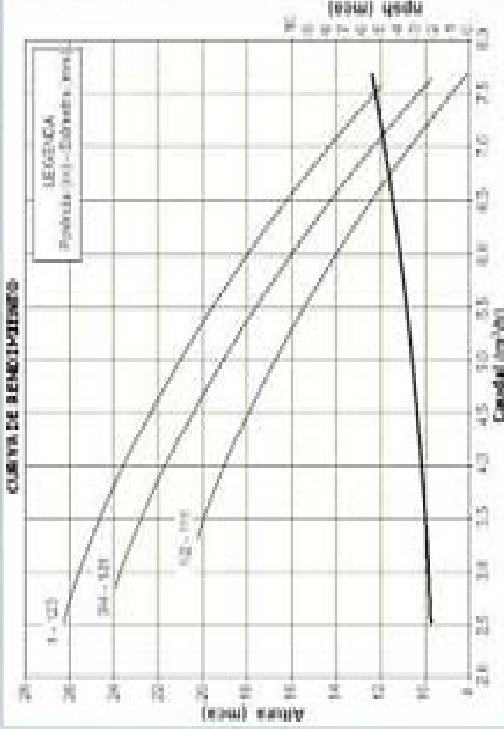
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)



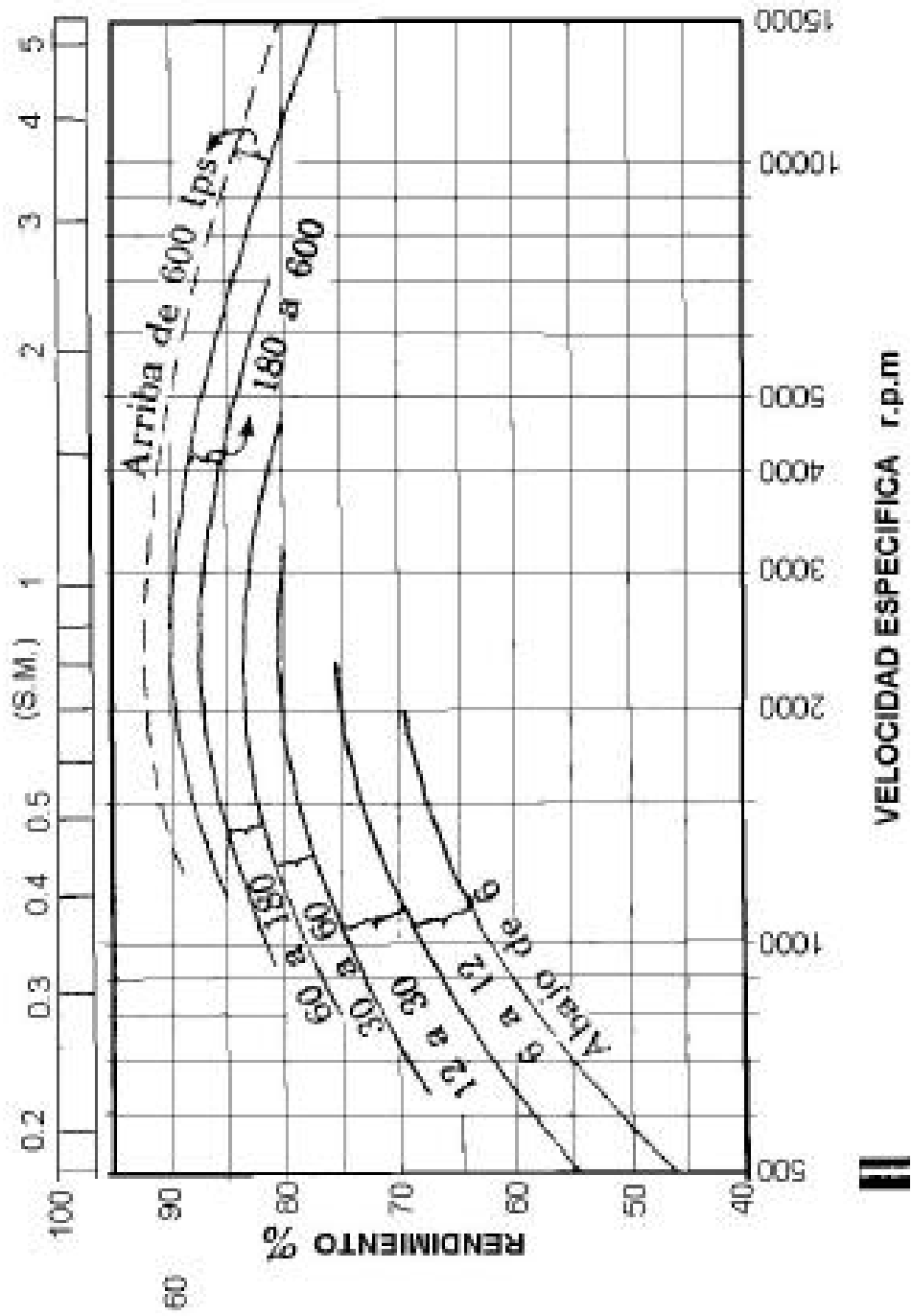
LEONARDO
Poboa (a) - Edmundo (a)

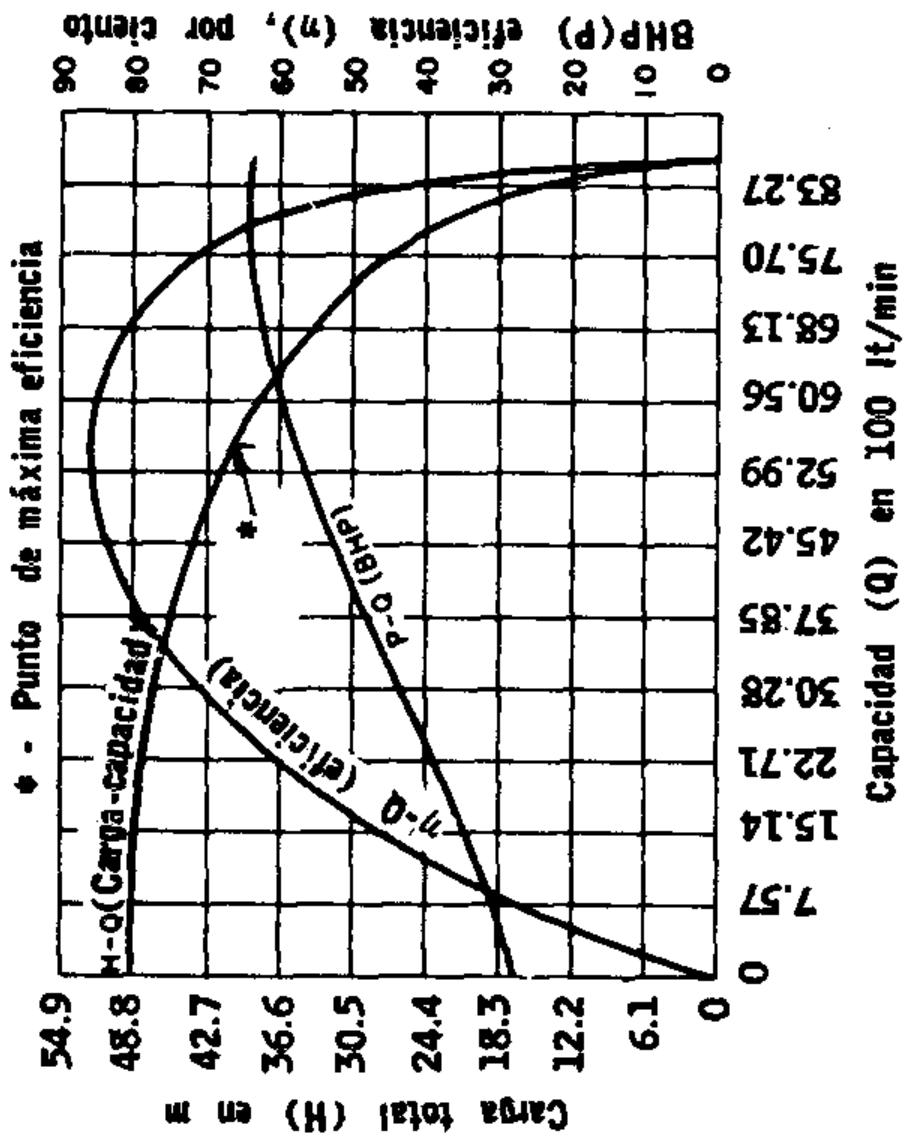


LONGITUD EQUIVALENTE DE CONEXIONES A TUBERÍA EN MTS.

Diámetro (pulgadas)	Codo 90°	Codo 45°	Te giro de 90°	Te paso recto	Válvula de compuerta	Válvula de globo	Válvula de ángulo
3/8	0.30	0.20	0.45	0.10	0.06	2.45	1.20
1/2	0.60	0.40	0.90	0.20	0.12	4.40	2.45
3/4	0.75	0.45	1.20	0.25	0.15	6.10	3.65
1	0.90	0.55	1.50	0.27	0.20	7.60	4.60
1 1/4	1.20	0.80	1.80	0.40	0.25	10.50	5.50
1 1/2	1.50	0.90	2.15	0.45	0.30	13.50	6.70
2	2.15	1.20	3.05	0.60	0.40	16.50	8.50
2 1/2	2.45	1.50	3.65	0.75	0.50	19.50	10.50
3	3.05	1.80	4.60	0.90	0.60	24.50	12.20
3 1/2	3.65	2.15	5.50	1.10	0.70	30.00	15.00
4	4.25	2.45	6.40	1.20	0.80	37.50	16.50
5	5.20	3.05	7.60	1.50	1.00	42.50	21.00
6	6.10	3.65	9.15	1.80	1.20	50.00	24.50

TABLA DE RENDIMIENTO BOMBA CENTRIFUGA





Características típicas de bombas centrífugas

