

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CON CONTROL ELECTRÓNICO PARA UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO EN UNA UNIDAD HABITACIONAL TIPO HORIZONTAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

P R E S E N T A N:

EDGAR MANUEL LÓPEZ ORTIZ
OMAR INCLÁN DEL VALLE
OSCAR VICENTE PALMA OSORNO

DIRECTOR DE TESIS: ING. FRANCISCO RODRÍGUEZ RAMÍREZ



Ciudad Universitaria, México D.F. Noviembre de 2006.

AGRADECIMIENTOS.

Doy gracias a Dios por haberme permitido realizar uno de mis más grandes sueños.

Agradezco a mis papás Maria de los Ángeles Ortiz Domínguez y Javier López Matus, fuente de energía y tenacidad, a quienes admiro y respeto profundamente, porque gracias a ustedes debo lo que soy, gracias por apoyarme y aconsejarme a lo largo de mi vida, los quiero mucho.

A mi hermana Yazbeth López Ortiz, quien ha sido mi ejemplo a seguir, te admiro, gracias por ser mi hermana, te quiero mucho.

A mi hermano Javier Hugo López Ortiz, por ser el mejor amigo que he tenido y siempre tendré, quien me ha enseñado a tomar decisiones muy importantes a lo largo de mi vida, te quiero mucho güero.

Agradezco infinitamente a mi abue “conchita” que se nos adelanto en el camino y no pudo estar físicamente en este momento, gracias por tu apoyo, te extrañamos mucho en casa.

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México y a sus ingenieros, por haberme permitido estudiar en dicha institución.

A mis amigos de toda la vida, Juan, Carlitros, Mago, Jean, Lety, Vero, La Flaca, gracias por tan hermosa amistad.

Agradezco a mis compañeros de tesis, Omar Inclán Del Valle y Oscar Vicente Palma Osorno, así como al Arq. Raúl Nieto.

Agradezco al Ingeniero Francisco Rodríguez Ramírez por su valiosa ayuda, atenciones y su paciencia para la realización de este trabajo de tesis.

Atte. Edgar Manuel López Ortiz.

Noviembre de 2006.

AGRADECIMIENTOS.

Dios que me das la bendición de la vida y guías mi camino en este paso por el mundo.

Agradezco a mis padres Eustolia Del Valle Pineda y Felipe Armando Inclán Aguirre, a quienes aprecio y respeto profundamente, porque gracias a su esfuerzo y sufrimiento diario, no hubiera concluido mi carrera, les debo todo lo que soy, gracias por apoyarme y aconsejarme a lo largo de mi vida, los quiero mucho.

A mis hermanos Yushet R. Inclán Del Valle y Armando Inclán Del Valle, a quienes quiero y respeto.

A mis abuelos y toda mi familia que me apoyan, quieren y me brindan tanto apoyo a lo largo de mi vida.

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México, profesores y compañeros por la formación que me brindaron.

A la mujer que amo Yadira García Castillo por su apoyo, a mis mejores amigos de toda la vida Lic. Javier I. Perdomo Chávez y al Ing. Enrique I. Frenkel Zepeda, así también a Evelin, Miriam, Arq. Raúl, Carlos, Adriana, Teresa, Erika, Ernesto, Rubén, Mariana y a mis compañeros de tesis, Edgar Manuel López Ortiz y Oscar Vicente Palma Osorno.

Agradezco al Ingeniero Francisco Rodríguez Ramírez por su valiosa ayuda, atenciones y paciencia para la realización de este trabajo de tesis.

Atte. Omar Inclán Del Valle.

Noviembre de 2006.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mis padres Maximina Osorno Galicia y Apolinar Palma Andrade, les doy gracias por apoyarme y guiarme a lo largo de mi camino.

Agradezco a mi esposa Paola Palacios Osorno y familia por su apoyo para la realización de esta tesis.

A mis hermanos María Teresa Palma Osorno, Marco Antonio Palma Osorno y familias.

A mis amigos y compañeros de tesis Omar Inclán Del Valle y Edgar Manuel López Ortiz, así como al Arq. Raúl Nieto.

Tengo que agradecer y dar un gran reconocimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, profesores, alumnos y a todos aquellos que convivimos en ella.

Agradezco al Ingeniero Francisco Rodríguez Ramírez por su valiosa ayuda, atenciones y paciencia para la realización de este trabajo de tesis.

Atte. Oscar Vicente Palma Osorno.

Noviembre de 2006.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN..... 1
1 PLANTEAMIENTO Y DIMESIONAMIENTO DEL PROBLEMA..... 2
1.1 DETERMINACIÓN DEL GASTO DEL DISEÑO..... 2 - 3
1.2 MÉTODOS DE DISEÑO..... 3
1.2.1 MÉTODO EMPÍRICO..... 3 - 5
1.2.2 MÉTODO PROBABILÍSTICO..... 5 - 6
1.2.2.1 MÉTODO DE HUNTER..... 6 - 25
1.2.3 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS..... 25
1.2.3.1 MÉTODO ALEMÁN DE RAÍZ CUADRADA..... 25 - 28
1.3 PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN..... 28 - 29
1.4 VELOCIDAD MÁXIMA DE OPERACIÓN..... 29 - 32
1.5 PÉRDIDAS DE ENERGÍA..... 32 - 33
1.5.1 RESISTENCIA AL FLUJO EN CONDUCTOS A PRESIÓN..... 33 - 35
1.5.2 RESISTENCIA AL FLUJO EN TUBOS COMERCIALES..... 35 - 38
1.5.3 PÉRDIDAS LOCALES..... 38 - 39
1.5.4 PÉRDIDAS POR VÁLVULAS..... 39
1.6 BOMBAS CENTRÍFUGAS..... 39 - 40
1.6.1 TIPOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS..... 40
1.6.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS..... 41 - 43
1.7 MOTORES DE INDUCCIÓN..... 44
1.7.1 CLASIFICACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN..... 45
2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS..... 46
2.1 DESCRIPCIÓN HISTÓRICA..... 46 - 48
2.2 TANQUE ELEVADO..... 48 - 49
2.3 SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS..... 50 - 51
3 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES..... 52
3.1 BOMBEO DIRECTO..... 52 - 53
3.2 ALMACENAMIENTO POR GRAVEDAD..... 53 - 55
3.3 HIDRONEUMÁTICOS..... 55 - 59
4 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO..... 60
4.1 ¿QUÉ ES UN HIDRONEUMÁTICO?..... 60
4.2 TIPOS DE SISTEMAS HIDRONEUMATICOS..... 60
4.2.1 SISTEMA HIDRONEUMÁTICO PRECARGADO..... 60 - 61
4.2.2 SISTEMA HIDRONEUMÁTICO CON HIDROPISTÓN..... 61
4.2.3 SISTEMA HIDRONEUMÁTICO CON COMPRESOR DE AIRE..... 61
4.3 PARTES DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO..... 61
4.3.1 BOMBAS..... 62 - 66
4.3.2 COMPRESOR DE AIRE..... 66 -
4.3.3 TANQUE HIDRONEUMATICO..... 66 - 67
4.3.4 TABLERO DE CONTROL..... 67 - 68
4.3.5 VÁLVULA DE PIE O VÁLVULA DE RETENCIÓN PARA LA SUCCIÓN..... 68
4.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO..... 68 - 70
5 TABLERO DE CONTROL PARA UN EQUIPO HIDRONEUMÁTICO DUPLEX..... 71
5.1 TABLERO DE CONTROL..... 71 - 72
5.1.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL TABLERO..... 72 - 77
5.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL ELECTRÓNICO..... 77 - 82
5.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO..... 83 - 85
6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO Y TANQUE ELEVADO..... 86
6.1 VENTAJAS DE LOS TÁNQUES ELEVADOS..... 86
6.2 DESVENTAJAS DE LOS TÁNQUES ELEVADOS..... 86 - 87
6.3 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS..... 87
6.4 DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS..... 87 - 88
7 CASO PRÁCTICO..... 89 - 119
8 ANÁLISIS COMPARATIVOS DE COSTOS..... 120
8.1 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE METROS LINEALES DE TUBERÍA PROYECTADA..... 120
8.2 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CONEXIONES PROYECTADAS..... 121 - 122
8.3 COTIZACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS..... 122
8.4 COTIZACIÓN DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO DE MEMBRANA VERTICAL..... 122
8.5 COTIZACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO..... 123
8.6 COTIZACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL..... 123
CONCLUSIONES..... 124 - 125
APÉNDICE..... 126 - 131
GLOSARIO..... 132 - 138
BIBLIOGRAFÍA..... 139 - 140

INTRODUCCIÓN.

Las instalaciones de almacenamiento de agua desempeñan una función vital en el abastecimiento seguro, adecuado y confiable. Las escuelas, hospitales, asilos, fábricas y casas particulares dependen de un suministro de agua constante y de calidad.

Uno de los mayores problemas que se tienen en la actualidad es la disminución y variaciones de caudal y de presión del vital líquido, ya que la ausencia de este complica las necesidades diarias del ser humano, en especial en unidades habitacionales al cuál se enfoca este trabajo.

El objetivo principal de esta tesis es diseñar e implementar un sistema de alimentación de agua con un control electrónico para el sistema hidroneumático que permita a los usuarios contar con un servicio de agua con suficiente presión en todas sus instalaciones hidro-sanitarias, mantener una reserva de agua que asegure su disponibilidad en situaciones normales y de emergencia y desde luego gozar del servicio permanente de este vital líquido.

El control del sistema tiene como finalidad manejar en forma automática la operación de un sistema hidroneumático, con el fin de mantener la presión de la red hidráulica dentro de los parámetros previamente establecidos.

Para la selección del tipo de sistema hidroneumático que se tiene que implementar, fue necesario calcular: el tipo de bombas, longitud y el tipo de material de la tubería, la cantidad de litros de agua consumidos por día y por habitante, el número de habitantes por casa habitacional, entre otros.

Es importante mencionar que un equipo hidroneumático es un sistema de bombeo de agua a presión que trabaja por medio de bombas y un tanque en el cuál se almacenan conjuntamente aire y agua. Los hidroneumáticos generalmente se encuentran instalados en edificaciones donde se requiere suministrar o abastecer agua desde un cuarto central de máquinas a diversos puntos, en este caso en especial será abastecer a departamentos en una unidad habitacional.

Este proyecto se enfoca en la selección e implementación de un sistema hidroneumático en una unidad habitacional, buscando una alternativa a los muchos problemas que se encuentran alrededor del abastecimiento de agua.

Existen ventajas y desventajas al utilizar este sistema. Entre las ventajas encontramos el abastecimiento continuo a una presión constante para un mejor aprovechamiento del vital líquido y por otra parte una de las principales desventajas de este equipo es el alto costo del sistema hidroneumático así como su mantenimiento. Sin embargo consideramos que las ventajas que proporciona este equipo son mayores al precio de este.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PROBLEMA.

En un complejo habitacional tipo horizontal se tienen que dotar las necesidades de suministro de agua fría, de diferentes muebles en cada departamento, estos departamentos son de tipo duplex residencial, este complejo habitacional esta proyectado para el Estado de México en donde se cuenta con una superficie de 5,703.664[m^2]. En instalaciones hidráulicas, dotación significa la cantidad de agua que consume en promedio una persona durante un día, el valor de la dotación (cantidad en litros), incluye la cantidad necesaria para su aseo personal, alimentos y demás necesidades.

Para proyectar una instalación hidráulica que satisfaga las necesidades de cada departamento que se encuentra dentro de este complejo habitacional, es imprescindible determinar la cantidad de agua que ha de consumirse, de acuerdo al tipo de construcción, servicio que debe prestar y considerar el número de muebles que puedan o deban trabajar simultáneamente. Así también se atiende la necesidad de almacenamiento de agua y distribución mediante una red de tuberías que conduce el agua potable a presión, con objeto que finalmente sea utilizada en cada uno de los muebles sanitarios instalados, estos sistemas se complementan de equipos de presión, depósitos, válvulas y accesorios que permiten un correcto funcionamiento.

Esta red conduce el agua potable a presión con un mínimo de pérdidas de carga, con el objeto de que las fuentes de presión disminuyan al máximo posible su capacidad, provocando ahorro en su inversión, mantenimiento y consumo de energía.

Deben de instalarse con facilidad, con el menor herramental posible permitiendo al operario disminuir el tiempo de montaje deben durar bastante tiempo, esto se logra con una buena instalación, con una adecuada velocidad de flujo y con una excelente resistencia a cualquier tipo de corrosión.

La selección de materiales debe de realizarse en base a estos puntos la importancia de estos se refleja directamente en la calidad de la instalación y por lo tanto de la obra. Las tuberías de cobre en las instalaciones hidráulicas tradicionalmente se utilizan debido a que los usuarios se han percatado de sus ventajas, permitiendo ahorros importantes en cuanto a mantenimiento, duración y conducción del flujo.

1.1 DETERMINACIÓN DEL GASTO DEL DISEÑO.

Como ya hemos mencionado, uno de los principales objetivos del diseño de redes de distribución de agua, es proporcionar el gasto suficiente para todos los muebles y equipos.

La determinación del gasto de diseño, trae aparejado el dimensionamiento de las tuberías del sistema de distribución de agua.

Para resolver el problema de la determinación de los diámetros requeridos de la tubería necesaria para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua potable, se puede resolver de la siguiente manera:

1. Se determina la carga de diseño, esto es, el caudal (o gasto) que conducirá cada tubería y para el cual debe ser diseñada.

2. Con el gasto de diseño establecido, se determina cuál es el diámetro de las tuberías que deben utilizarse.

Como se puede observar, de los comentarios anteriores, la determinación del gasto de diseño es básico para iniciar el diseño de sistemas de distribución de agua.

Este problema es complicado debido al hecho de que los muebles sanitarios en los edificios al ser utilizados por los individuos, son operados de manera intermitente y con frecuencias irregulares.

Los diferentes tipos de muebles sanitarios no son usados uniformemente durante el día: los baños son comúnmente utilizados por los individuos, en las mañanas al salir hacia sus trabajos, y no son utilizados nuevamente, hasta que regresan de los mismos; por ejemplo en la cocina se utiliza antes y después de las comidas, pero no en otros períodos, casos similares con el resto de los muebles sanitarios.

Así, podemos observar que la operación de los muebles sanitarios es intermitente y que, si comparamos los tiempos en que se usan con los que no se utilizan, son mayores estos últimos, por lo que no se hace necesario diseñar para el gasto máximo de operación, excepto en instalaciones hidráulicas muy pequeñas o para muebles sanitarios únicos, ya que las solicitaciones de los mismos podrían ser de manera simultánea.

Si se diseñara para el gasto máximo de operación, los diámetros de las tuberías tendrían que ser muy grandes, por lo que el costo de las instalaciones sería excesivo.

1.2 MÉTODOS DE DISEÑO.

Tres métodos distintos han sido desarrollados para determinar los gastos y cargas de diseño para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua: estos son los métodos empíricos, probabilísticos y semiempíricos.

1.2.1 MÉTODO EMPÍRICO.

Como su nombre lo indica, este método esta basado en datos experimentales ya tabulados, y se puede subdividir la aplicación del cálculo en dos partes:

a) Permite obtener el gasto de una derivación, de acuerdo a la simultaneidad de uso de los aparatos que alimenta, considerando que es muy poco probable el uso simultáneo de más de dos aparatos en un cuarto de baño.

Para determinar los valores de estos gastos en edificaciones, se recomienda utilizar la tabla 1.1.

APARATOS SERVIDOS POR LA DERIVACIÓN	APARATOS A CONSIDERAR EN USO SIMULTÁNEO	GASTO [litros/s]
Un cuarto de baño	Tina y lavabo, Regadera y Lavabo.	0.30 0.20
Un cuarto de baño, una cocina y Un baño de servicio	Tina del baño, fregadero y WC Regadera, Fregadero y WC.	0.45 0.35
Dos cuartos de baño	Las dos tinas. Las dos regaderas.	0.40 0.20
Dos baños principales, Dos cocinas y dos baños de servicio	Las tinas de los baños, un fregadero y un WC de servicio. Las regaderas, un fregadero y un WC.	0.65 0.45
Tres cuartos de baño	Dos tinas y dos lavabos. Dos regaderas y dos lavabos.	0.60 0.40
Tres cuartos de baño, Tres cocinas y tres baños de servicio	Dos tinas, un lavabo, un fregadero y un WC de servicio. Dos regaderas, un lavabo, un fregadero, un WC.	0.75 0.55

Tabla 1.1 Gasto mínimo de las derivaciones para cuartos de baño y cocinas de viviendas.
Los valores de la tabla se refieren exclusivamente al gasto de agua fría o al gasto de agua caliente.

Para hallar los valores del gasto en edificios públicos o similares se recomienda utilizar la tabla 1.2. .

NO. DE MUEBLES O APARATOS	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40
CLASE DE MUEBLES O APARATOS	PORCENTAJE A CONSISDERAR DE LA SUMA DE LOS GASTOS DE LOS MUEBLES												
LAVABOS	100	100	75	60	50	50	50	50	50	50	50	50	50
WC CON DEPÓSITO	100	67	50	40	37	37	30	30	30	30	30	30	30
WC CON FLUXOMETRO	50	33	30	25	20	25	20	20	20	16	15	15	15
URINARIO	100	67	50	40	37	37	30	27	25	24	23	20	20
REGADERAS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 1.2 Gasto en edificios públicos o similares.

b) Considera que el gasto en las columnas hidráulicas es igual a la suma de los gastos de los muebles o grupo de muebles que abastece, multiplicado por un porcentaje de simultaneidad de uso en relación con el número de grupos de aparatos servidos por tramo. Los valores de estos porcentajes que se recomiendan utilizar, se encuentran en la tabla 1.3.

GRUPO DE APARATOS SERVIDOS	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**8**	**10**	**20**
PORCENTAJE DE SIMULTANEIDAD									
a) WC con depósito.	100	90	85	80	75	70	64	55	50
b) WC con fluxómetro.	100	80	5	55	50	44	35	27	20
GRUPO DE APARATOS SERVIDOS	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**	**150**	**200**	**500**	**1000**
PORCENTAJE DE SIMULTANEIDAD									
a) WC con depósito.	43	38	35	33	32	31	30	27	25
b) WC con fluxómetro.	14	10	9	8	7	5	4	3	2

Tabla 1.3 Porcentajes de simultaneidad.

Se considera como un grupo de muebles, a aquel que se encuentra en local o habitación solamente.

1.2.2 MÉTODO PROBABILÍSTICO.

Este método es el más preciso, la primera aplicación de la teoría de la probabilidad, en la determinación de las cargas de diseño en sistemas hidráulicos y sanitarios, fue hecha por el Dr. Roy B. Hunter en 1924. Aún, cuando a la fecha se tienen cambios en los muebles sanitarios utilizados, puesto que todos son de bajo consumo, la metodología utilizada es la más precisa y válida , en consecuencia, es la más aceptada por los diseñadores.

Puesto que el desarrollo teórico, parte del registro de uso de grandes grupos de muebles sanitarios, este método sólo debe aplicarse a edificios que cumplan con esa condición.

Una razón obvia para esto, es que la carga de diseño, es una carga que tiene una cierta probabilidad de no ser excedida, pero, a pesar de eso, podría ser excedida en alguna ocasión para sistemas con un gran número de muebles sanitarios; con un sistema que contenga muy pocos muebles sanitarios, que ha sido diseñado con la teoría de la probabilidad, las cargas adicionales sobre éste, impuestas por la operación de más muebles que los supuestos por la teoría probabilística, podría sobrecargar el sistema lo suficiente como para generar problemas de suministro y, en algunos casos, interferencias con la red de recolección de aguas residuales. En contraste, si trabajamos con sistemas hidráulicos grandes, esto es, que tienen un gran número de muebles sanitarios, la

sobrecarga debido al uso de uno o más muebles, podría ser despreciable, dentro del total de muebles sanitarios.
Así, nuestro problema es determinar los gastos o cargas de diseño que deben ser asignadas a las tuberías del sistema de distribución, si éste debe prestar un "servicio satisfactorio". "Servicio satisfactorio" ha sido definido por Hunter, "como aquél, cuya interrupción debido a factores controlables, tales como diámetros y distribuciones de tuberías, es poco frecuente y, de tan corta duración, que no causa inconvenientes en el uso de los muebles sanitarios o cualquier condición insalubre dentro del sistema hidráulico y sanitario".

1.2.2.1 MÉTODO DE HUNTER.

Hunter establece, al aplicar el método probabilístico, que la operación de los muebles sanitarios es un evento totalmente aleatorio; por tanto, determina las frecuencias máximas de uso de los principales muebles sanitarios que elevan el gasto en los sistemas hidráulicos de edificios residenciales, basando sus valores en las frecuencias de uso de los registros obtenidos en hoteles y edificios de departamentos durante los períodos de operación máxima. También determina los valores característicos de los gastos promedios de agua, utilizados por los diferentes muebles sanitarios y, el tiempo de operación de cada uno de ellos.

Recordando algunos conceptos sobre probabilidad:

Casi todos los fenómenos relacionados con la ingeniería, la economía, la psicología y**,** en general, todos los fenómenos naturales presentan dispersiones en su ocurrencia, que dan como resultado una incertidumbre en la elaboración de sus modelos matemáticos. Para tomar en cuenta la variabilidad asociada a dichos fenómenos, se hace uso de la teoría de probabilidades.
La probabilidad es una medida de la incertidumbre relacionada con un evento cualquiera; la incertidumbre, se debe principalmente a dos motivos:

a) La aleatoriedad, que se asocia con las variaciones debidas al azar, propias de los resultados experimentales.
b) La ignorancia, que se debe a la falta de conocimiento del fenómeno estudiado.

Cuando se toma en cuenta la incertidumbre en los valores de las variables, se utilizan modelos probabilísticos, mismos que se sujetan a las reglas de la teoría de probabilidades.

Espacio de eventos.

El conjunto de todos los diferentes resultados posibles de obtener al realizar un experimento se denomina espacio de eventos.

La teoría axiomática de probabilidades se basa en tres axiomas:
1. La probabilidad de ocurrencia de un evento A es un número, P(A), que se le asigna a dicho evento, cuyo valor es entre 0 y 1, esto es:

$$0 \leq P(A) \leq 1 \quad \ldots\ldots(1)$$

2. Si E es el espacio de eventos asociado a un experimento, entonces:

$$P(E) = 1 \quad \ldots\ldots(2)$$

3. La probabilidad, P(C), de la unión, C, de dos eventos mutuamente exclusivos, A y B, es igual a la suma de las probabilidades de éstos, es decir

$$P(A \cup B) = P(C) = P(A) + P(B) \quad \ldots\ldots(3)$$

Probabilidad de un evento.
Debido a que los eventos simples contenidos en un evento son mutuamente exclusivos, la probabilidad de ocurrencia de un evento es la suma de las probabilidades asociadas con cada elemento contenido en él. Existen por lo menos tres maneras de asignarle una probabilidad a un evento:

a) En términos de los resultados de un experimento.
b) Aplicando la definición clásica de probabilidades.
c) Con base en un modelo probabilístico del fenómeno que se trate.

El primer criterio indica que si un experimento se repite n veces, de las cuales n(A) veces se observa el evento A, entonces la probabilidad de A es el límite de la frecuencia relativa, n(A)/n, de ocurrencia de A, es decir:

$$P(A) = \lim_{n\to\infty} \frac{n(A)}{n} \quad \ldots\ldots(4)$$

Puesto que en la práctica el experimento no se puede repetir un número infinito de veces, se acostumbra utilizar la frecuencia relativa del evento A como aproximación de P(A). La definición clásica de probabilidades indica que si n(A) es el número de maneras igualmente probables en el que puede ocurrir el evento A, y n es el total de elementos del espacio de eventos correspondiente, entonces la probabilidad de A es:

$$P(A) = \frac{n(A)}{n} \quad \ldots\ldots (5)$$

Los modelos para calcular probabilidades de eventos se formulan tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales se rige el fenómeno aleatorio que se desea estudiar.

Puede demostrarse que si A y B son dos eventos cualesquiera, entonces la probabilidad de su unión se calcula con la fórmula:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad \ldots\ldots(6)$$

Nótese que si A y B son mutuamente exclusivos, entonces $P(A \cap B) = 0$ y se cumple la relación establecida anteriormente.

Un concepto de gran importancia práctica es el de probabilidad condicional,
P(A | B), el evento A, dado que el B ha ocurrido, Si P(B) es diferente de cero, ésta queda dada por:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad \ldots\ldots (7)$$

Si dos eventos son independientes, no se alterará la probabilidad asociada a un evento, debido a que el otro ha ocurrido. Esta noción intuitiva conduce a la definición de independencia estadística: dos eventos son independientes entre sí, y sólo si:

$$P(A \mid B) = P(A) \quad \ldots\ldots (8)$$

Lo cual implica que $P(A \cap B) = P(A)\,P(B)$

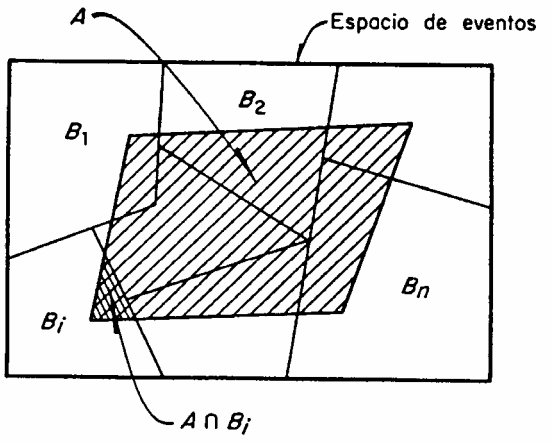
En general, los eventos $A_1, A_2, \ldots, A_n$ son independientes si, y sólo si se cumple:

$$P(A_{k1} \cap \ldots \cap A_{kr}) = P(A_{k1}) \ldots P(A_{kr})$$

para cualquier conjunto de enteros $k_1, k_2, \ldots, k_r$, con $k_r \leq n$.

Teorema de Bayes.
Se dice que un grupo de eventos es colectivamente exhaustivo si la unión de todos ellos es el espacio de eventos correspondiente. Así, en un grupo de eventos colectivamente exhaustivos y mutuamente exclusivos, $B_1, B_2, \ldots, B_n$, si A es un evento cualquiera definido en el mismo espacio (véase figura de eventos colectivamente exhaustivos), se tiene:

$$P(A) = P(A \cap B_1) + P(A \cap B_2) + \ldots + P(A \cap B_n) \quad \ldots\ldots (9)$$



Eventos colectivamente exhaustivos

$$P(A) = \sum_{i=1}^{i=n} P(A \cap B_i) \quad \ldots\ldots (10)$$

ya que los eventos $A \cap B_i$ son mutuamente exclusivos.

Tomando en cuenta que $P(A \cap B_i) = P(B_i)\, P(A \mid B_i)$, se obtiene finalmente la ecuación:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{i=n} P(B_j) P(A \mid B_j) \quad \ldots\ldots (11)$$

con lo cual se define el teorema de la probabilidad total.
Considerando que:

$$P(B_j \cap A) = P(A \cap B_j)$$

se tiene que: $$P(B_1 \mid A) = \frac{P(B_j \cap A)}{P(A)} = \frac{P(A \cap B_j)}{P(A)}$$

Donde:

$$P(B_j \mid A) = \frac{P(B_j) P(A \mid B_j)}{\sum_{i=1}^{i=n} P(B_j) P(A \mid B_j)} \ldots\ldots (12)$$

Este resultado se conoce como teorema de Bayes. A las probabilidades $P(B_j)$ que se asignan a los eventos B_j antes de observar el evento A, se les denomina a priori o previas; a las probabilidades $P(B_j|A)$ que se obtienen después de observar el evento A, se les llama a posteriori o posteriores.

Función de probabilidades binomial.
En el modelo probabilístico binomial, el espacio muestral está constituido por las secuencias de éxito y fracasos que resultan de n repeticiones independientes de un experimento cuyo modelo probabilístico es Bernoulli, con probabilidad p constante, esto es, el espacio muestral solamente contiene dos resultados posibles denominados éxito (E) o fracaso (F); y la probabilidad de que ocurra el evento E es $p(0 \leq p \leq l)$, por tanto, $P(E) = p$ y la $P(F) = 1 - p = q$.

Contiene:

$$\sum_{x=0}^{n} \binom{n}{x} = 2^n \quad \ldots\ldots (13)$$

Donde:
x es el número de éxitos.

Por tanto, una variable aleatoria X se distribuye de acuerdo con un modelo probabilístico binomial si su función de probabilidades es:

$$\binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

Donde:
$x = 0, 1, 2, \ldots, n$
$f_x(x) = 0$, de otra forma donde $0 \leq p \leq 1$.

$\binom{n}{x}$ es el número de combinaciones de n elementos tomados de x en x, y se calcula con la expresión:

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad \ldots\ldots (14)$$

Los parámetros de la distribución son n, el número de repeticiones del experimento de Bernoulli y p, la probabilidad de éxito en cada uno de éstos.
Si la función de probabilidades de X es binomial, con parámetros n y p, entonces la media y la varianza son:

$\mu_x = E(X) = np$

$\sigma_{x^2} = Var(X) = npq$

Donde:

q = 1 - p.
q es la probabilidad de fracaso

A manera de ejemplo, definiremos un sistema sencillo, mismo que utilizará un solo tipo de muebles sanitarios, que en este caso serán WC con fluxómetro. Consideremos que tenemos "n" muebles del tipo mencionado; haciendo "t" el tiempo promedio, en segundos, entre usos sucesivos de cada mueble y "d" la duración, en segundos, del tiempo de descarga de dichos muebles.
Por tanto, la probabilidad p que un mueble en particular tiene de ser hallado en operación, para cualquier instante arbitrario de observación del sistema, está dado por:

Donde:

$$p = \frac{d}{t} \ldots\ldots (15)$$

p es probabilidad.
d es tiempo de duración, en segundos [s]
t es tiempo promedio entre uso de muebles, en segundos [s]

Así, la probabilidad de que este mueble, en particular, no esté operando será:

$$1 - p = 1 - \frac{d}{t}$$

Por ejemplo: Si consideramos que, t es 5 [min.] = 300 [s] y d = 9 [s], entonces:

$$p = \frac{d}{t} \Rightarrow p = \frac{9[s]}{300[s]} = 0.030$$

por lo tanto: 1-p =1-0.03=0.97 para la operación de un WC.

Podemos determinar la probabilidad de hallar dos muebles sanitarios, operando simultáneamente, para cualquier instante de observación arbitrario, despreciando que otros (n-2) muebles puedan operar en ese instante.
Sabemos que, la probabilidad de hallar un solo mueble operando es p; de la misma manera, la probabilidad de hallar el segundo mueble operando es p. Por tanto, la probabilidad de hallar a ambos funcionando es p^2 por la ley de eventos compuestos. Así, la probabilidad de encontrar dos muebles sanitarios, de nuestro sistema, operando simultáneamente, para cualquier instante es:

$$p^2 = (0.\ 03)^2 = 0.0009\ [adim]$$

De lo anterior, podemos observar, que la probabilidad de hallar tres muebles sanitarios operando simultáneamente, es P^3.

Generalizando, podemos decir que, la probabilidad de hallar los n muebles sanitarios trabajando es p^n.

Consideraremos ahora, la probabilidad de hallar dos muebles sanitarios funcionando, pero que ningún otro de los (n-2) muebles instalados estén operando, para un instante arbitrario de observación:

Probabilidad de hallar operando el primer WC	p
Probabilidad de hallar operando el segundo WC	p
Probabilidad de que el tercer WC no esté operando	1- p
Probabilidad de que el cuarto WC no esté operando	1- p
Probabilidad de que el quinto WC no esté operando	1- p
Probabilidad de que el n-ésimo WC no esté operando	1 - p

Así, la probabilidad de este evento compuesto, para un instante dado de observación, es el producto de las probabilidades mencionadas anteriormente:

$$P = (1-p)^{n-2}\, p^2$$

Donde:

P es la probabilidad de un evento compuesto.
Si *n* = 5, la operación de los WC sería:

$$(1-p)^{n-2}\, p^2 = (1-0.03)^3 (0.03)^2 = 0.00082$$

Hemos pasado, a un caso más general, en el cual, dos cualesquiera WC de los n muebles, pero ninguno de los otros (n-2) WC, es encontrado operando para el instante arbitrario de observación. Hemos mostrado, que la probabilidad de hallar dos muebles sanitarios, pero ninguno de los (n-2) muebles, operando es $(1\text{-}p)^{n\text{-}2}p^2$.

Pero, tenemos muchas maneras de seleccionar dos WC de los n existentes; tantas como combinaciones de n podemos hacer tomándolos de dos en dos; así, es de nuestro interés

determinar de cuántas maneras se pueden seleccionar r muebles de un total de n existentes.
La expresión que puede utilizarse para esto es:

$$C_r^n = \frac{n!}{r!(n-r)!} \text{.....(16)}$$

que nos da las combinaciones de r en n objetos tomados de r en r.
Para nuestro ejemplo, si n = 5 y r = 2, entonces:

$$C_r^n = C_2^5 = \frac{5x4x3x2x1}{(2x1)(3x2x1)} = 10$$

Así, si n=5 y r=2, la probabilidad de hallar cualquier pareja de los cinco muebles, pero ninguno de los otros tres WC operando, en cualquier instante arbitrario de observación, es:

$$10(0.97)^3(0.03)^2 = 0.0082$$

Por tanto, la expresión general para obtener la probabilidad que de cualquiera r muebles, y solamente r, independientemente del total de n muebles, pueda ser hallado operando, para cualquier instante arbitrario de observación es:

$$P_r^n = C_r^n (1-p)^{n-r} p^r \text{ …… (17)}$$

Cuando se observa el sistema podemos hallar algún número r de n muebles en operación, donde r puede ser cualquier valor entero entre 0 y n.
Así, si sumamos todas las probabilidades representadas por la ecuación (17), la cual es un evento particular de todos los posibles, se obtiene la relación:

$$p_r^n = \sum_{r=0}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} p^r = 1 \text{ …… (18)}$$

Podemos observar, que en la ecuación (17) representa solamente un término de la ecuación (18) y, esta última, es el desarrollo del binomio $[p+(1-p)]^n$. Así, la distribución que tenemos, en este problema, es un desarrollo de tipo binomial.
Para poder determinar el número de m muebles que no operan del total de n muebles instalados, debemos suponer que operan simultáneamente, con el fin de obtener el gasto de diseño del sistema hidráulico.
Una vez que se ha establecido el valor de m, la carga de diseño es hallada multiplicando m por el gasto promedio de un mueble sanitario.

$$Q_d = mq$$

Donde:

Q_d es el gasto de diseño hidráulico.
q es el gasto promedio de un mueble sanitario.
m es el número de muebles que no operan del total de número de muebles (n) instalados.

El criterio que se ha establecido para diseño adecuado es como sigue: “el sistema puede ser considerado con operación satisfactoria, si está dimensionado para poder abastecer simultáneamente la demanda para m de los n muebles sanitarios instalados que tiene el sistema, de tal manera, que no más del uno por ciento del tiempo, puedan ser excedidos los m muebles en operación simultánea”.
Esta condición se expresa como sigue:

$$p_0^n + p_1^n + p_2^n + ... + p_{m-1}^n + p_m^n \geq 0.99 \ldots\ldots \text{(19)}$$

siendo m el menor entero para el cual la relación es verdadera.

En esta ecuación p_0^n representa la probabilidad de que ninguno de los n muebles esté en operación, etc. El menor valor de m, para el cual la ecuación anterior es verdadera, nos da el número de muebles sanitarios para el cual el sistema debe ser diseñado.

La ecuación numero (19) es suficiente para obtener el valor de m, pero el cálculo es muy laborioso, y se han desarrollado métodos para reducir la labor a un mínimo. Se tienen tablas que nos dan la sumatoria de residuo de la serie de la ecuación: mencionada:

$$p_{m+1}^n + p_{m+2}^n + p_{m+3}^n + ... + p_{n-1}^n + p_n^n \leq 0.01 \ \ldots\ldots \text{(20)}$$

que también puede escribirse como:

$$\sum_{r=m+1}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} p^r \leq 0.01$$

que corresponde a la forma dada en la tablas de distribuciones de probabilidad binomial.

$$\sum_{r=m+1}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} p^r \leq 0.01 \ldots\ldots \text{(21)}$$

Con las expresiones obtenidas, continuaremos el cálculo del sistema hipotético de 100 WC, en donde consideramos t = 300 [s] y d = 9 [s]. Sabemos que la probabilidad p de encontrar un WC en operación en un instante arbitrario de observación es:

$$P = \frac{d}{t} = \frac{9[s]}{300[s]} = 0.03[a\,\dim]$$

Así, la probabilidad de que ningún WC esté en operación es:

$$p_0^n = C_0^n (1-p)^{n-0} p^0 = (1-p)^n = (0.97)^{100} = 0.048$$

La probabilidad de hallar exactamente uno de los 100 WC operando es:

$$p_1^n = C_1^n (1-p)^{n-1} p^1 = \frac{n}{1!}(1-p)^{n-1} p = 100(0.97)^{99}(0.03) = 0.1470$$

De manera análoga, obtenemos la probabilidad de dos WC operando simultáneamente:

$$p_2^n = C_2^n (1-p)^{n-2} p^2 = \frac{n(n-1)}{2!}(1-p)^{n-2} p^2 = \frac{100x99}{2}(0.97)^{98}(0.03)^2 = 0.2250$$

Para el caso de tres WC, tenemos:

$$p_3^n = C_3^n (1-p)^{n-3} p^3 = \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}(1-p)^{n-3} p^3 = \frac{100x99x98}{3x2}(0.97)^{97}(0.03)^3 = 0.2270$$

De la misma manera se realizan los cálculos hasta llegar a la p_{10}^n. Los resultados se muestran en la tabla 1.4.
Probabilidades de hallar 1, 2, 3, ..., 10 WC en operación simultánea en 100 WC.

$p^{100}{}_0$	0.0478	$p^{100}{}_6$	0.0496
$p^{100}{}_1$	0.1470	$p^{100}{}_7$	0.0206
$p^{100}{}_2$	0.2250	$p^{100}{}_8$	0.0074
$p^{100}{}_3$	0.2270	$p^{100}{}_9$	0.0023
$p^{100}{}_4$	0.1705	$p^{100}{}_{10}$	0.00065
$p^{100}{}_5$	0.1013		

Tabla 1.4 Resultados.

Si sumamos las probabilidades de la tabla anterior comenzando con p_0^{100}, hallaremos que el menor número de muebles para la cual la suma de probabilidades excede 0.99 es 8. Por tanto, tomaremos 8 como el número de WC que pueden operar simultáneamente, mismo que se utilizarán el diseño del sistema hidráulico. La carga o gasto de diseño estará dada por la expresión:

$$Q_d = mq = 8q$$

Donde:

q es el gasto promedio utilizado en un mueble sanitario.

Para sistemas mixtos.

Antes de determinar las curvas que nos dan los valores de m para varios valores de n para los tres tipos de muebles sanitarios distintos (WC operados con fluxómetros, WC operados con tanques y tinas), debemos considerar los valores del tiempo de uso u operación (t) y del tiempo promedio entre usos sucesivos de cada mueble (T) en forma individual, ambos en segundos. Los tiempos asignados serán considerados cuando se tienen uso intensivo

de los muebles en servicio público, en horas pico, tales como hoteles, edificios de departamentos, etc.

Donde:

n es el número de muebles sanitarios totales instalados.
m es el numero de muebles operando.

Podemos considerar los siguientes valores en la tabla 1.5:

Muebles sanitarios	t, en [s]	T, en [s]	p=t/T
Válvula de fluxómetro	9	300	0.030
Tanque	60	300	0.020
Tina	60	900	0.067

Tabla 1.5 Valores del tiempo de uso u operación.

Donde:

t es el tiempo de operación en segundos [s].
T es el tiempo promedio de usos sucesivos de cada mueble en segundos [s].

Con base en los valores anteriores podemos determinar la relación entre m y n, para los tres tipos de muebles sanitarios mencionados anteriormente. Recuerde que n es el total de muebles sanitarios instalados y m es el menor número de muebles para la cual la suma de probabilidades excede 0.99. Las tablas anteriores pueden ser obtenidas para valores máximos de n = 150 muebles. Sin embargo, trabajamos con valores considerablemente mayores de n, recurriendo a la sumatoria exponencial de Poisson, que es una aproximación mediante series dada por la ecuación:

$$p_{m+1}^{n} + p_{m+2}^{n} + p_{m+3}^{n} + ... + p_{n-1}^{n} + p_{n}^{n} \leq 0.01$$

y que permite obtener valores precisos para valores pequeños de p, del orden de 0.10 ó 0.15.

Las curvas de la sumatoria exponencial de Poisson han sido utilizadas para el cálculo de la tabla siguiente, la cual es la base para la obtención de las curvas de probabilidad de los muebles sanitarios que son considerados como sigue: los valores de np, que corresponden a la probabilidad tal que no más de m muebles podrían ser hallados operando simultáneamente más del 1 % del tiempo. Estos valores de np versus m, no deben ser usados para probabilidades de p que excedan de 0.15. Para valores de p = 0.20, este método produce resultados que son aproximadamente 10% mayores.

Para obtener el valor de n correspondiente a un valor dado de m, se hace necesario dividir el valor de a=*np* correspondiente al valor considerado de m, entre el valor de p para el tipo de mueble analizado.

A continuación se muestra la tabla 1.6 para distintos valores de m, obtenida de la ecuación de Poisson.

Valores de np correspondientes a los valores de m de la sumatoria de probabilidad de Poisson:

m	a = np	M	a = np
1	0.25	18	10.30
2	0.60	20	11.80
3	0.95	25	16.25
4	1.35	30	19.25
5	1.85	35	23.45
6	2.35	40	27.50
7	2.90	45	31.55
8	3.50	50	35.65
9	4.10	60	44.15
10	4.75	70	52.85
12	6.00	80	61.55
14	7.42	90	70.30
16	8.85	100	79.00

Tabla 1.6 Valores de m, obtenida de la ecuación de Poisson.

Donde:

n es el número de muebles sanitarios totales.
m es el menor numero de muebles para cual la suma de probabilidades excede 0.99.
Con base en la tabla comentada, podemos obtener los valores entre m y n para válvulas de fluxómetros, tanques y tinas, como se muestra en la figura 1.1.

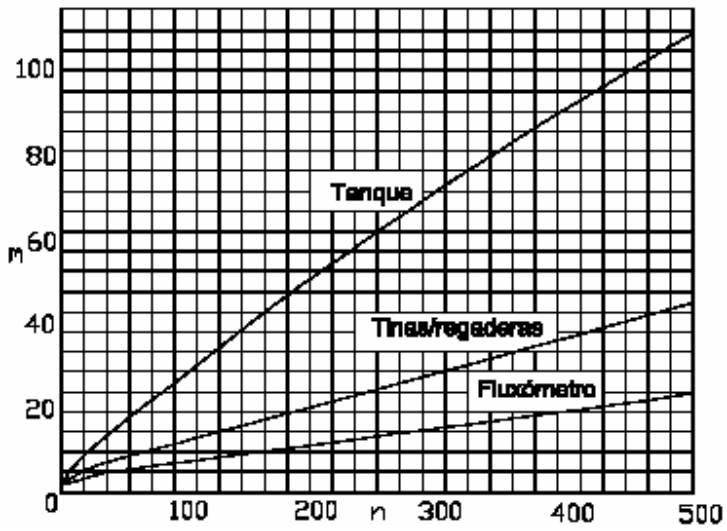


Figura 1.1 Relación entre el número de muebles de diseño, m, y el total de muebles del sistema, n, para un sistema simple.

El siguiente paso es multiplicar los valores de m correspondientes a los valores dados de n para las válvulas de fluxómetros, por el gasto promedio que libera cada fluxómetro en su descarga. Hunter consideró para el caso de los fluxómetros un gasto de 27[galones/min] (102.20[litros/min]). Con base en este producto se obtiene la curva de gastos para válvulas de fluxómetro. Mediante el mismo procedimiento se obtienen las curvas para tanques y tinas, en las cuales Hunter consideró, respectivamente, q=4 [galones/min] (15.14 [litros/min]) y q=8 [galones/min] (30.28 [litros/min]). Las curvas correspondientes se muestran en la figura 1.2.

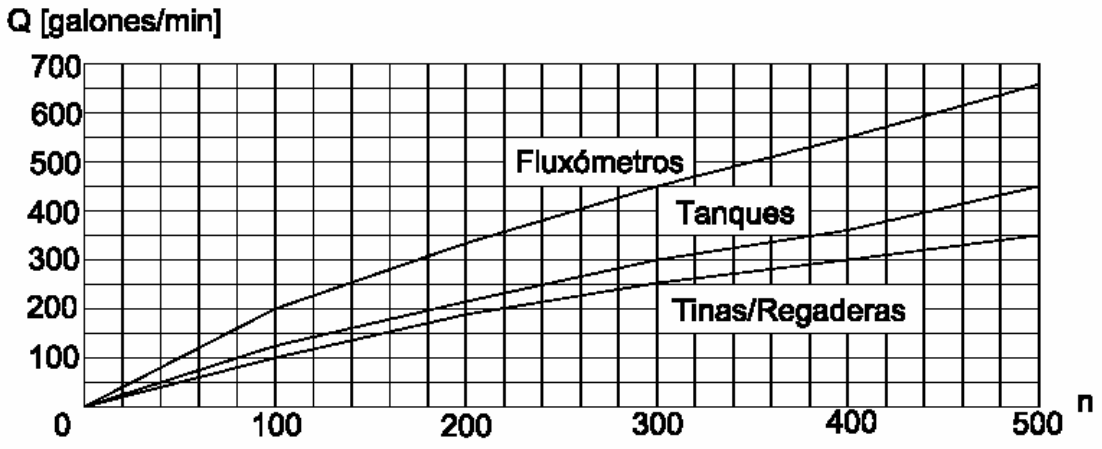


Figura 1.2 Relación del gasto de diseño al total de muebles n, en un sistema simple.

Así, si tuviéramos un sistema compuesto en su totalidad por n muebles con fluxómetros que operaran con la frecuencia promedio considerada, podríamos ingresar a la curva de válvulas de fluxómetros con el valor de n y, obtener el gasto de diseño. El mismo procedimiento seguiríamos para cualquiera de los otros muebles analizados.

Sin embargo, en la práctica, los sistemas hidráulicos no contienen un solo tipo de muebles sanitarios y válvulas, sino por el contrario, generalmente son mezclas de varios tipos de ellas. Así, no sería correcto, obtener una curva para cada tipo de mueble, como en el caso anterior, y sumar el gasto de diseño de cada uno; si hiciéramos lo anterior, estaríamos sobre-diseñando el sistema, ya que la sumatoria de los gastos de diseño para varios tipos de muebles de un sistema dado, no es una simple sumatoria, puesto que la función de probabilidad no está siendo considerada. En otras palabras, si obtenemos un gasto de diseño para n_1 válvulas de fluxómetro, otro gasto de diseño para n_2 tanques, y otro gasto de diseño para n_3 tinas de un sistema dado, no podemos obtener el gasto de diseño del sistema total como la suma de los tres gastos de diseño, puesto que el gasto de diseño real para el sistema, debe ser relativamente menor que esta sumatoria. El procedimiento adecuado sería hacer un análisis de los gastos de los diferentes tipos de muebles sanitarios bajo la perspectiva de la probabilidad, pero el proceso es sumamente complicado para que sea utilizado comúnmente.

A fin de simplificar el procedimiento, Hunter ideó un método de realizar lo anterior, mediante el cual los resultados obtenidos, si los comparamos con la más precisa técnica estadística utilizada, presentan diferencias de 0.5%. Esta precisión es lo suficientemente satisfactoria, puesto que estamos tratando con incertidumbres varias veces mayor a la diferencia obtenida.

Hunter concibe la idea de asignar un "factor de carga" o de "unidad de mueble" [UM] a las diferentes clases de muebles sanitarios, que representan el grado con el cual éstos afectan al sistema hidráulico cuando son utilizados bajo frecuencias máximas.

Podría considerarse que el gasto de diseño del mueble, únicamente, define su factor de carga dentro del sistema; es fácil mostrar que se trata de una falsedad.

Consideremos 1,000 descargas de válvulas de fluxómetros, donde cada uno es operado una vez cada 5 minutos en promedio y descarga, en promedio, 4 galones (15.14 1 [litros/min]) de agua en 9 segundos, esto es, tiene un gasto promedio de 27 [galones/min] (1 02.20 [litros/min]). La demanda de estas 1000 descargas, es el gasto promedio basado en los 4 galones utilizados en un período de 5 minutos, o sea 1,000 x 4/5 = 800 [galones/min]. Así, el gasto utilizado por 1,000 descargas se estima en alrededor de 800 [galones/min].

Ahora, consideremos el mismo sistema, pero considerando que las descargas operan en promedio una vez cada 60 min. En consecuencia, el gasto promedio en el sistema sería de 1,000 x 4/60 = 66.7 [galones/min].

Este resultado muestra claramente que la frecuencia de uso no puede ser ignorada, cuando se utilizan sistemas hidráulicos con un gran número de muebles.

El factor de carga o la "unidad-mueble" de válvulas de fluxómetro, tanques y tinas es determinado como se indica a continuación. Primero un valor de unidad-mueble igual a 10 es asignado, arbitrariamente, a las válvulas de fluxómetro; de la figura 1.2, que relaciona el valor n de fluxómetros, tanques o tinas con los gastos respectivos, se toman los valores de

n correspondientes a un gasto de 150[galones/min] que son, 57, 133 y 164 respectivamente. Esto es, el gasto de un sistema que tiene 57 válvulas de fluxómetro, y es utilizado con la frecuencia que se especificó anteriormente, no excedería en más del 1% del tiempo, un gasto de 150 [galones/min]. Un análisis similar podemos realizar para distintos gastos, para de ahí obtener la tabla 1.7.

De los datos obtenidos, podemos multiplicar las 10 unidades de mueble asignadas a la válvula de fluxómetro, por 57 fluxómetros, para dividir el producto entre 133, que corresponde al número de tanques del sistema, para así obtener el valor de unidad-mueble que corresponde a dicho accesorio; en este caso, es de 4.29. El procedimiento se repite para cada uno de los demás gastos y muebles sanitarios, obteniendo el número de unidades-mueble que les corresponde.

Es importante enfatizar que este valor de unidad de mueble, no es un gasto, y más que un simple valor, expresa el efecto de carga del mueble, en función del gasto demandado, del tiempo de descarga y del intervalo de uso, sobre el sistema hidráulico que lo abastece.

Demanda [galones/min]	Válvulas de fluxómetro		Tanques		Tinas	
	Número de muebles sanitarios N	Influencia o Unidad Mueble F	Número de muebles sanitarios n	Influencia o Unidad Mueble F	Número de muebles sanitarios n	Influencia o Unidad Mueble f
150	57	10	133	4.29	164	3.48
200	97	10	187	5.19	234	4.15
250	138	10	245	5.63	310	4.45
300	178	10	307	5.80	393	4.53
Influencia promedio		10		5.25		4.15
Valor seleccionado		10		5		4

Tabla 1.7 Influencia relativa de los muebles sanitarios en la determinación de las unidades de mueble.

La tabla 1.8 nos proporciona el número de unidades de mueble fn para cada uno de los tres tipos de muebles o válvulas analizadas, considerando el número de muebles instalados. Cada valor es obtenido, multiplicando el valor de n por el valor seleccionado de f, proporcionado en la tabla anterior. Estos valores pueden ser dibujados en una figura, de tal manera que relacione el número de unidades de mueble con el gasto de diseño.

Demanda (gpm)	Válvulas de fluxómetro		Tanques		Tinas	
	n	fn	n	fn	n	fn
150	57	570	133	665	164	656
200	97	970	187	935	234	936
250	138	1,380	245	1,225	310	1,240
300	178	1,780	307	1,535	393	1,572

Tabla 1.8 Influencia relativa de los muebles sanitarios en la determinación de las unidades de mueble.

Donde:

fn es el número de unidades de mueble.

A continuación, pueden verse las figuras 1.3. y 1.4, que se derivan de las tablas anteriores, y que son utilizadas para el diseño de los gastos en las instalaciones hidráulicas en edificios.

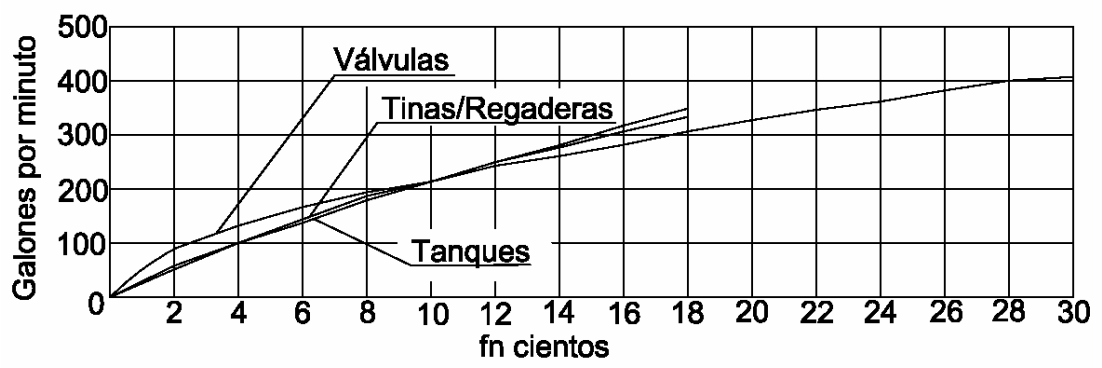


Figura 1.3 Relación del gasto de diseño al total de unidades de muebles en un sistema simple.

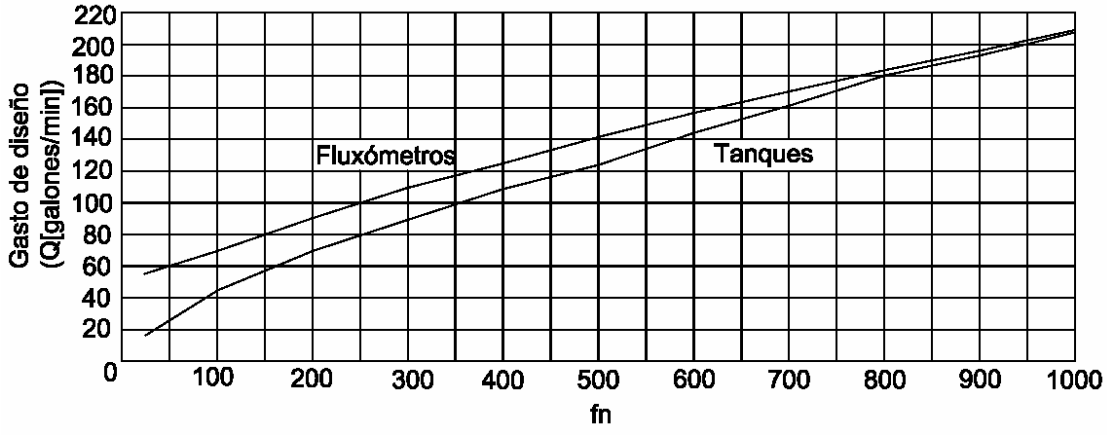


Figura 1.4 Cargas de diseño vs Unidades de mueble, para sistemas mixtos.

A la fecha, continúan usándose los valores obtenidos por Hunter; sin embargo, aún cuando la metodología que estableció es válida, hemos tenido cambios significativos en la tecnología utilizada en los muebles sanitarios, haciéndose éstos cada vez más eficientes, por lo que los valores de los gastos de diseño podrían estar siendo sobre-valorados, dando como resultado diámetros mayores de los que podrían ser utilizados. Por lo anterior, resultaría prudente realizar un estudio de los gastos promedio utilizados por los distintos muebles sanitarios, de las frecuencias de uso de varios tipos de ellos, los tiempos de operación de los mismos, etc., a fin de actualizar las curvas de los gastos de diseño asignados a los valores de las unidades de mueble.

Con base en los análisis realizados por Hunter, presentamos en la tabla 1.8., los valores en unidades de mueble asignados a los diversos muebles sanitarios utilizados en las instalaciones hidráulicas, considerando la utilización de los mismos en instalaciones públicas y privadas, así como cuando se trata de servicio de agua fría o de servicios de agua fría y caliente.

En general, para el caso de demandas de agua fría y caliente, se considerará el 75% de la demanda total en unidades de mueble.

Una vez conocido el número de unidades de mueble que le corresponde a los muebles sanitarios analizados, se determina el gasto de diseño en las figuras obtenidas por Hunter, con base en los criterios probabilísticos mencionados anteriormente. Las figuras 1.5 y 1.6 muestran los valores de Hunter.

MUEBLE SANITARIO	TIPO DE CONTROL	DEMANDAS DE AGUA FRÍA Y CALIENTE		DEMANDA TOTAL (un solo servicio)	
		PÚBLICO	PRIVADO	PÚBLICO	PRIVADO
WC	Fluxómetro	-----	-----	10.00	6.00
WC	Tanque	-----	-----	5.00	3.00
Fregadero	Llave	3.00	1.50	4.00	2.00
Lavabo	Llave	1.50	0.75	2.00	1.00
Mingitorio	Fluxómetro	-----	-----	10.00	-----
Mingitorio	Llave	-----	-----	5.00	-----
Mingitorio	Fluxómetro	-----	-----	3.00	-----
Regadera	Llave	3.00	1.50	4.00	2.00
Tina	Llave	3.00	1.50	4.00	2.00
Lavadero	Llave	-----	2.25	-----	3.00
Grupo baños	WC fluxómetro	-----	6.00	-----	8.00
Grupo baños	WC tanque	-----	4.50	-----	6.00

Tabla 1.9 Demanda de muebles sanitarios en unidades de mueble.

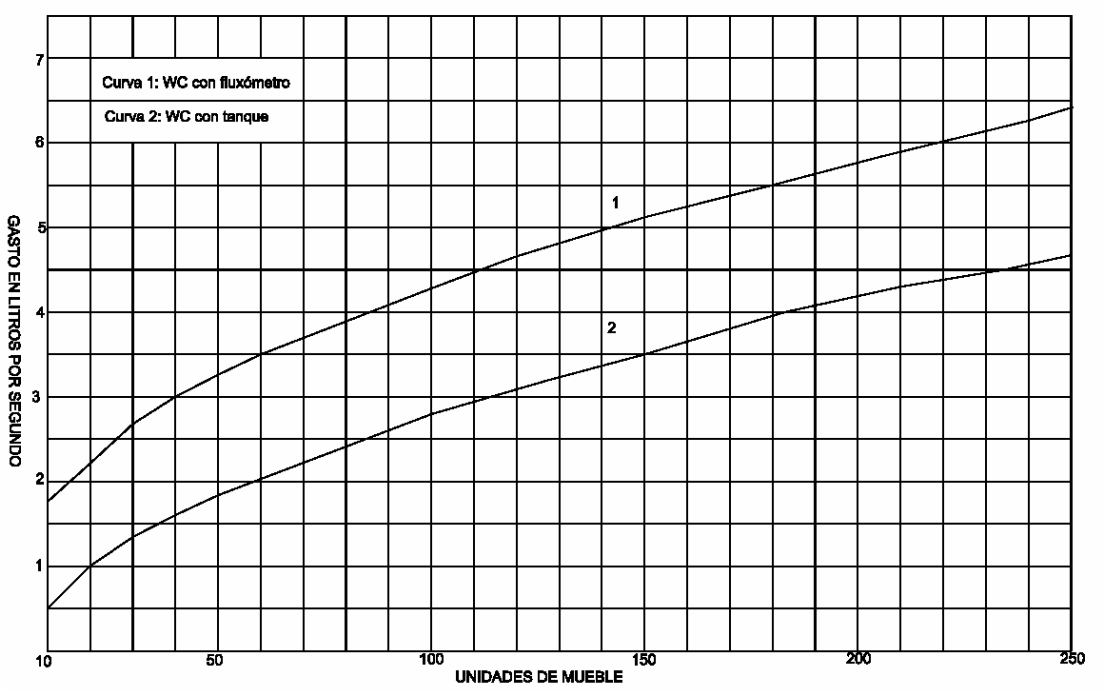


Figura 1.5. Curva de Hunter para el cálculo de gastos pequeños.

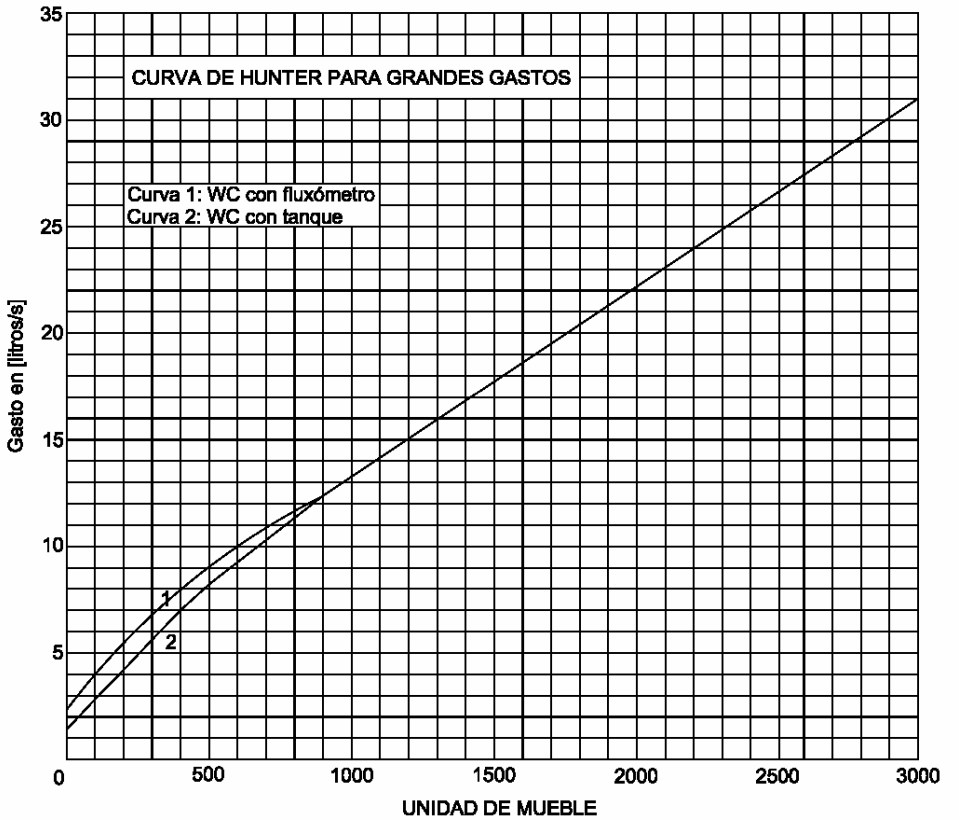


Figura 1.6 Curva de Hunter para el cálculo de grandes gastos.

Se presentan cuatro ecuaciones: dos de estas, resultado de los ajustes realizados por el Ing. Manuel de Anda[1], y dos más, con el programa estadístico Statgraphics.

El Ing. Manuel de Anda propone dos ecuaciones que permiten el cálculo del gasto de diseño (Q) en litros por segundo; son las siguientes:

a) Para muebles sanitarios con fluxómetros, siempre que las unidades de mueble [UM] no sobrepasen las 1,600 unidades:

$$Q = 0.45\sqrt{UM} \quad \ldots\ldots \text{(22)}$$

b) Para muebles sanitarios con tanque o con UM mayores de 1600 unidades:

$$Q = 0.45\sqrt{UM} + 0.005\text{UM} \quad \ldots\ldots\text{(23)}$$

Cuando las unidades-mueble rebasan las 1600 unidades, se recomienda la utilización de la segunda fórmula, sin importar el tipo de control que utilicen los muebles sanitarios. Es importante aclarar que, los datos que ajusta el Ing. Manuel de Anda, son los mismos que utiliza el método de Hunter para el trazo de las figuras 1.5 y 1.6.

La otra propuesta que tenemos para el cálculo del gasto de diseño (Q) en litros por segundo, se realizó mediante el ajuste por mínimos cuadrados utilizando el programa estadístico Statgraphics[3], partiendo de los datos de Hunter[2]. Los ajustes se hicieron con base en la expresión de la curva exponencial $y = ax^b$.

Las expresiones son:

a) Para muebles sanitarios con fluxómetro y con unidades de mueble [UM] menores de 900 unidades:

$$Q = 0.\ 46696312(\text{UM})^{0.480844} \quad \ldots\ldots \text{(24)}$$

El coeficiente de correlación obtenido es r = 0.9989.

b) Para muebles sanitarios con tanque o con UM mayores a 900 unidades, la expresión es:

$$Q = 0.\ 1\ 1952855(\text{UM})^{0.676173} \quad \ldots\ldots\text{(25)}$$

El coeficiente de correlación es r = 0.994796.

4

[1] Ing. Manuel de Anda " Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios, Fundación ICA"

[2] Ing. Sergio Zepeda "Manuel de instalaciones Hidráulicas, Sanitarias, Gas, Aire Comprimido Gas".Ed. Limusa

La figura 1.7 es el resultado del ajuste de las curvas con el programa estadístico Statgraphics [3]; puede observarse que, podría obtenerse un mejor ajuste de la curva de Hunter correspondiente a fluxómetros, si el ajuste se hiciera variando los valores de unidad de mueble entre 10 y 900, puesto que como puede observarse en la figura 1.8, la separación de los valores tabulados y la curva ajustada, se hace más pronunciada a partir del valor de 900.

Podemos observar que entre las expresiones (22), (23) y las obtenidas con el ajuste de mínimos cuadrados de las ecuaciones (24) y (25) existen similitudes, especialmente en la expresión utilizada para el cálculo de los gastos de diseño de muebles con fluxómetro. Es importante considerar que las cuatro expresiones anteriores fueron obtenidas a partir de los datos de Hunter, por lo que al utilizar cualquiera de ellas obtendremos, aproximadamente, los mismos gastos de diseño.

La utilización de un tipo u otro de curva de las figuras de Hunter, según sean los controles de flujo de los muebles sanitarios, válvulas de fluxómetro o tanques, así como de las expresiones algebraicas anteriores, dependerá del tipo de control que predomine en la instalación hidráulica que se diseña.

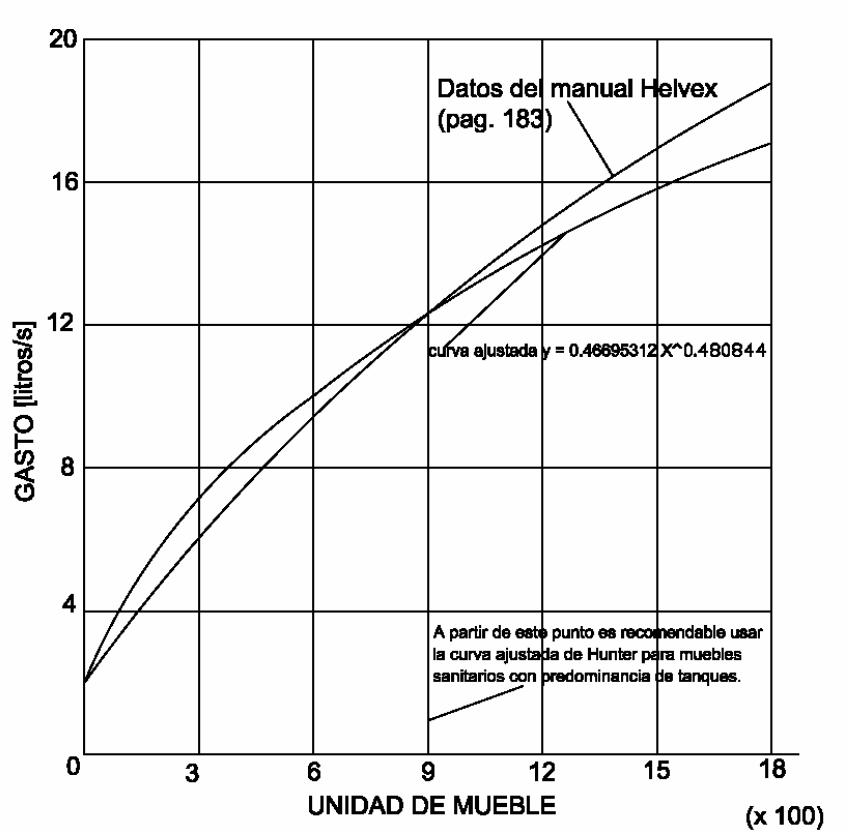


Figura 1.7 Curvas de Hunter para muebles sanitarios con predominancia de fluxómetros.

[3] "www.statgraphics.com" programa Statgraphics.

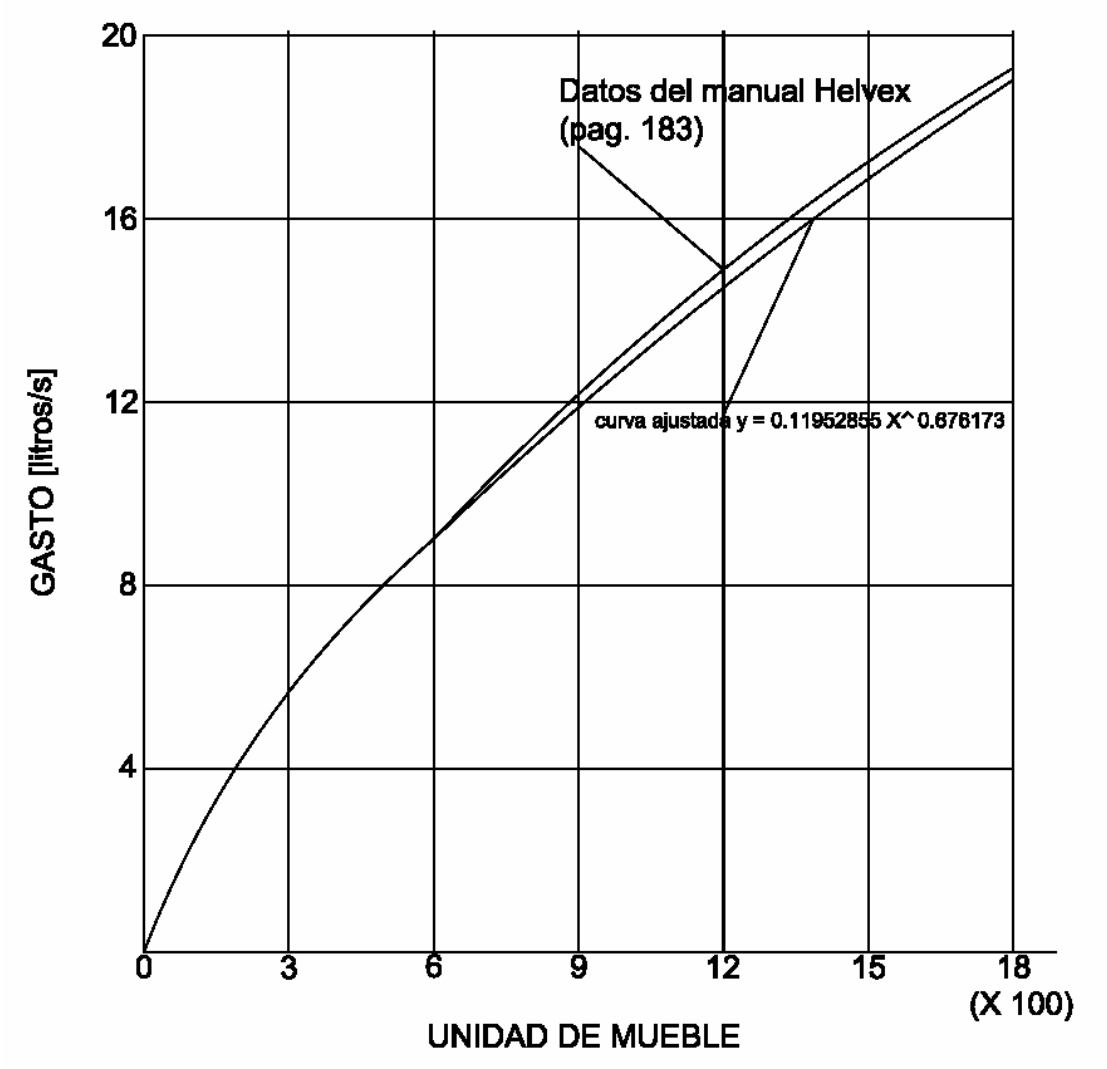


Figura 1.8 Curvas ajustadas de Hunter, para tanques y fluxómetros, mediante el programa estadístico "Statgraphics".

1.2.3 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS.

Estos métodos, aunque se basan en la experiencia, tienen cierto sustento teórico, que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas. Uno de los más conocidos es el método alemán de raíz cuadrada, que se expone a continuación.

1.2.3.1 MÉTODO ALEMÁN DE RAÍZ CUADRADA.

Este método toma como unidad de gasto, la descarga de una llave de 3/8" bajo ciertas condiciones, y asigna un "factor de carga" unitario a dicho gasto.

Para cualquier otro mueble que tenga un gasto diferente, un factor de carga es establecido tomando una relación entre el gasto de éste y el "gasto unitario" (llave de 3/8") y elevando al cuadrado el resultado.

Así, el factor de carga para cada tipo de mueble en el edificio es multiplicada por el número de muebles servidos por la tubería en cuestión, el resultado es sumado, y finalmente es obtenida la raíz cuadrada. El resultado es multiplicado por el gasto unitario de una llave de 3/8" para obtener el gasto de abastecimiento al edificio, cualquiera que éste sea. Para tuberías que sirven solamente una parte de los muebles sanitarios en el edificio, serán considerados para la determinación del gasto de diseño, exclusivamente, los muebles atendidos. La obtención de la raíz cuadrada considera, de una manera arbitraria, el hecho que los muebles no trabajan simultáneamente.

La metodología es como sigue:

1. Considere una unidad de flujo o gasto, la cual es tomada normalmente como la de una llave de 3/8". Este gasto se asume que es de 0.25 [litros/s] (4 [galones/min]); esta unidad de gasto la denotamos con q_1, y el factor de carga f_1 para la llave es tomado como unitario.

2. Ahora, considere que tenemos n_1 llaves de este diámetro abastecidas por una tubería, cuya carga o gasto de diseño quiere ser determinada. Si asumimos que n_1 de estos muebles pueden operar simultáneamente en cualquier instante de observación, la carga de diseño será:

$$Q = q_1\sqrt{f_1 n_1}$$

Ahora, a manera de ilustración, consideremos que tenemos también n_2 llaves de 3/4" abastecidas por la misma línea. Se considera que una llave de 3/4" tiene una demanda de 0.75 [litros/s] en la tubería de abastecimiento, esto es, consume un gasto tres veces mayor que la llave de 3/8". El factor de carga f_2 para la llave de 3/4" será $f_2 = 9$.
Así, la carga de diseño para los dos grupos de llaves será:

$$Q = q_1\sqrt{f_1 n_1} + f_2 n_2$$

O bien

$$Q = 0.25\sqrt{n_1} + 9n_2$$

Por tanto, generalizando, para cualquier clase de muebles que son usados de manera intermitente en el sistema, tenemos como fórmula para la carga de diseño, la siguiente:
Donde:

$$Q = 0.25\sqrt{f_1}n_1 + f_2 n_2 + ... + f_i n_i$$

Q es la carga o gasto de diseño, en [litros/s].
f_1, f_2, f_n son los factores de carga.
n_1, n_2, n_i son los números de muebles sanitarios por clase.

De la manera en que ha sido establecido, este método de determinación del gasto de diseño, ignora la frecuencia de uso, así como el intervalo de tiempo requerido para cada clase de mueble sanitario, y toma en cuenta solamente la demanda promedio de cada tipo de mueble; no considera también, si el uso es de tipo público o de tipo privado.

TIPO DE EDIFICIO	MUEBLES SANITARIOS	GASTO TOTAL DE LOS MUEBLES (litros/min)	GASTO PARA TODOS LOS MUEBLES SANITARIOS CONSIDERADOS, EN USO SIMULTÁNEO. GASTO DE DISEÑO (litros/min)
Casa unifamiliar de familia pequeña	2 llaves exteriores	37.85	18.93
	2 llaves de lavandería	60.56	30.28
	1 llave de fregadero	28.39	
	1 lavabo	18.93	18.93
	1 WC o inodoro*	11.36	11.36
	1 tina o regadera	37.85	
	Sumatorias	195.84	79.50
Casa unifamiliar De familia grande	2 llaves exteriores	37.85	18.93
	2 llaves de lavandería	60.56	30.28
	1 llave de fregadero	28.39	
	3 lavabos	56.78	18.93
	3 WCs o inodoros*	34.07	11.36
	2 tinas o regaderas	75.70	37.85
	Sumatorias	293.35	117.35
Dos familias En una sola planta	2 llaves exteriores	37.85	18.93
	4 llaves de lavandería	121.12	60.56
	2 llaves de fregadero	56.78	28.39
	2 lavabos	37.85	18.93
	2 WCs o inodoros*	22.71	11.36
	2 tinas o regaderas	75.70	
	Sumatorias	352.01	138.17
Cuatro familias En apartamentos	2 llaves exteriores	37.85	18.93
	6 llaves de lavandería	181.68	90.84
	4 llaves de fregadero	113.55	56.78
	4 lavabos	75.70	18.93
	4 WCs o inodoros*	45.42	22.71
	4 tinas o regaderas	151.40	
	Sumatorias	605.60	208.19
Seis familias En apartamentos	2 llaves exteriores	37.85	18.93
	8 llaves de lavandería	242.24	90.84
	6 llaves de fregadero	170.33	81.38
	6 lavabos	75.70	37.85
	6 WCs o inodoros*	68.13	22.71
	6 tinas o regaderas	227.10	37.85
	Sumatorias	821.35	289.56

Tabla 1.10 Gasto de diseño recomendados para pequeñas instalaciones hidráulicas en edificios de apartamentos y vivienda unifamiliar [4].

[4] Tabla modificada del Manas Vicent T, “National Plumbing Code Handbook”, Standard and design information, McGraw Hill, tabla 24.12 “Recommended flows for use in designing water-distribution system in small residential installations” páginas. 21-24.

Todos los WC o inodoros se consideran de tanque, si se utilizaran fluxómetros, se tendrá que usar el valor de 113.55 [litros/min] en las columnas 3 y 4 del WC.
De la misma forma que en otros métodos, cualquier descarga continua es tomada en consideración sumando el gasto de dicha descarga.
Esto es, si además de la carga del sistema debida a los muebles sanitarios que operan de manera intermitente en cortos intervalos de tiempo, tenemos n' salidas, en donde cada una de ellas requiere un gasto continuo q' en litros por segundo, entonces la carga total para el sistema debe ser calculada mediante la fórmula:

$$Q = 0.25\sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2 + ... + f_i n_i} + n' q'$$

Así, esta última expresión, puede ser considerada en casos especiales de instalación, tales como baterías de lavabos o inodoros, los cuales están sujetos a un muy probable uso simultáneo.

1.3 PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN.

La red de distribución de agua debe ser diseñada para poder suministrar la presión mínima de operación de los diversos muebles sanitarios. Cuando la red municipal no puede proporcionar esta presión mínima, debemos recurrir a algún sistema de elevación de presión como podrían ser los tanques elevados, los sistemas hidroneumáticos, o las bombas booster.

Por lo general, la presión mínima de operación que debe proporcionarse a la mayoría de los muebles sanitarios que no utilizan fluxómetros es de 0.6[kg/cm^2] y de 1.0[kg/cm^2] a los que utilizan fluxómetros ó bien 1[kg/cm^2]=14.223[lb/in^2]=98101.731[Pa] $\Rightarrow$ 0.6[kg/cm^2]=58861.03[Pa] y 1.0[kg/cm^2]=98101.731[Pa]. Debe considerarse que estas presiones son cargas totales y no presiones estáticas.

La tabla 1.11 en la que se muestran los gastos, las presiones mínimas de operación y los diámetros mínimos de la tubería de entrada, para distintos muebles sanitarios, está basada en la reglamentación norteamericana.

TIPO DE MUEBLE SANITARIO	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA TUBERÍA DE ENTRADA		PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN (Columna de agua, [m])	GASTO POR MUEBLE SANITARIO [litro/s]
	Pulgadas [“]	Milímetros [mm]		
Lavabo	3/8	9.5	5.6	0.20
Lavabo con cierre automático	½	13	8.4	0.16
Lavabo público	3/8	9.5	7.3	0.25
Tina o bañera	½	13	3.5	0.40
Regadera o ducha	½	13	5.8	0.32
Fregadero de vivienda	½	13	3.5	0.25
Fregadero de restaurante	¾	19	3.5	0.25
Lavadero para ropa	½	13	3.5	0.32
WC con tanque de descarga	½	13	5.8	0.20
WC con fluxómetro	1	25	7.0-14.0	1.25-2.50
Mingitorio con fluxómetro	1	25	10	1.00

Tabla 1.11 Tabla de diámetros mínimos, presiones mínimas y gastos por mueble sanitario.

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, en su artículo 151 del Capítulo VI, Instalaciones, Sección primera, Instalaciones hidráulicas y sanitarias, no establece presiones de operación mínimas para los muebles sanitarios, únicamente indica que, para las instalaciones en edificios que cuenten con tanques elevados, éstos deberán estar colocados a una altura de, por lo menos, de dos metros arriba del mueble sanitario más alto. De ahí podríamos inferir que, en el caso más desfavorable, los muebles sanitarios cercanos a la alimentación operarán con una presión mínima cercana a los 2[m] de columna de agua.

1.4 VELOCIDAD MÁXIMA DE OPERACIÓN.

Puesto que el golpe de ariete es función de la velocidad de flujo, es de primordial importancia, evitar velocidades excesivas de diseño con objeto de minimizar los problemas de este tipo.

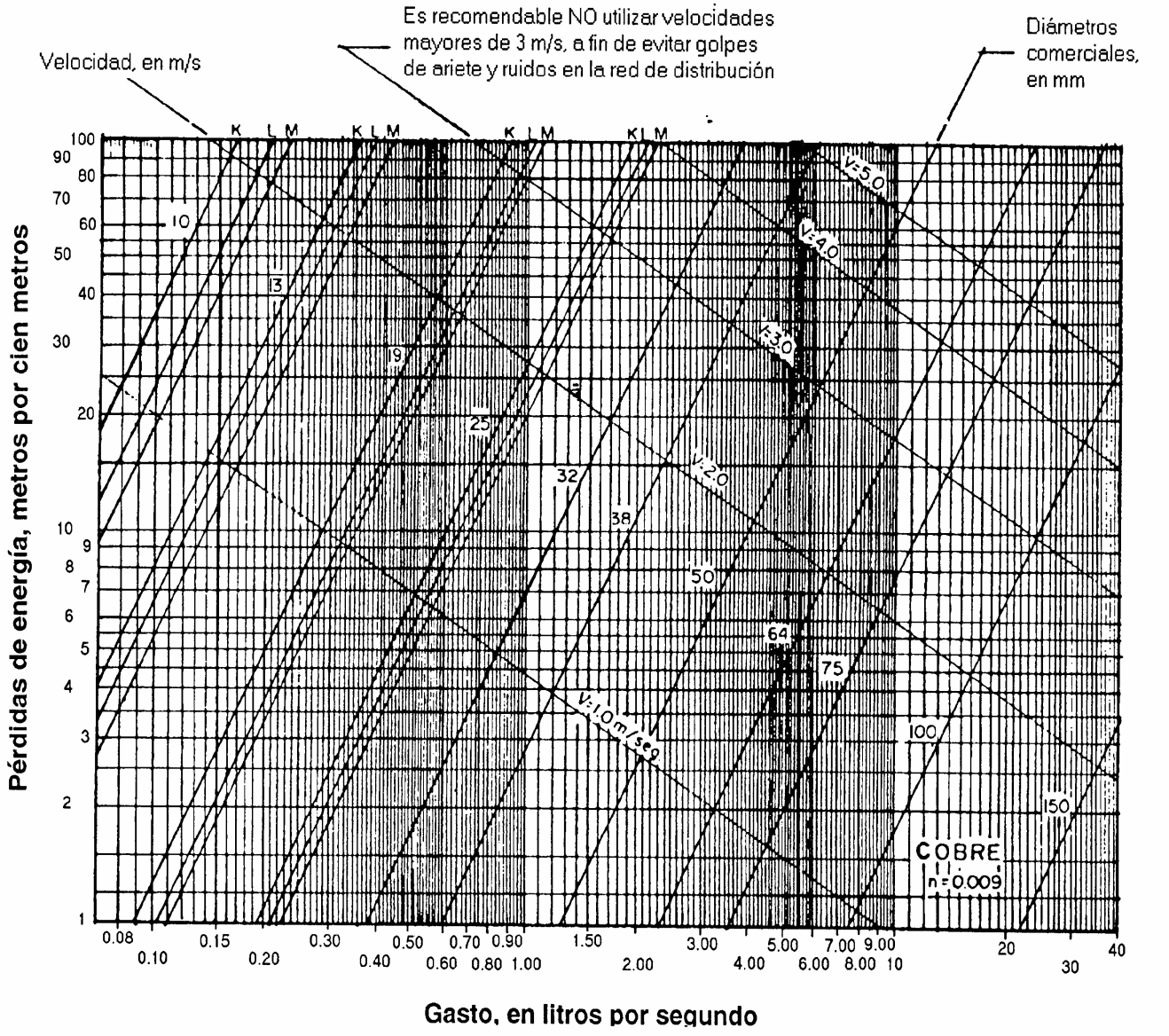
La velocidad máxima de flujo en tuberías durante períodos de demanda pico debe ser de 2.5[m/s], como valor máximo, puesto que cuando se aproxima a los 3[m/s] se incremento el riesgo del golpe de ariete. Las velocidades altas producen ruidos en forma de silbidos, erosión en tuberías, el peligro de choques hidráulicos, etc., por lo que se debe evitar

exceder el límite de los 3.0[m/s]. Una velocidad adecuada de diseño puede considerarse de 2.5[m/s].

Es común auxiliarse de nomogramas para el cálculo manual de sistemas hidráulicos, a fin de calcular los diámetros que cumplan las condiciones de velocidad, así como la pendiente de las pérdidas de energía. Una ventaja adicional es que puede trabajarse exclusivamente con los diámetros comerciales. Las figuras 1.9 y 1.10 presentan dos nomogramas: uno para el cálculo de tuberías de cobre, y otro, para el de tuberías de fierro galvanizado.

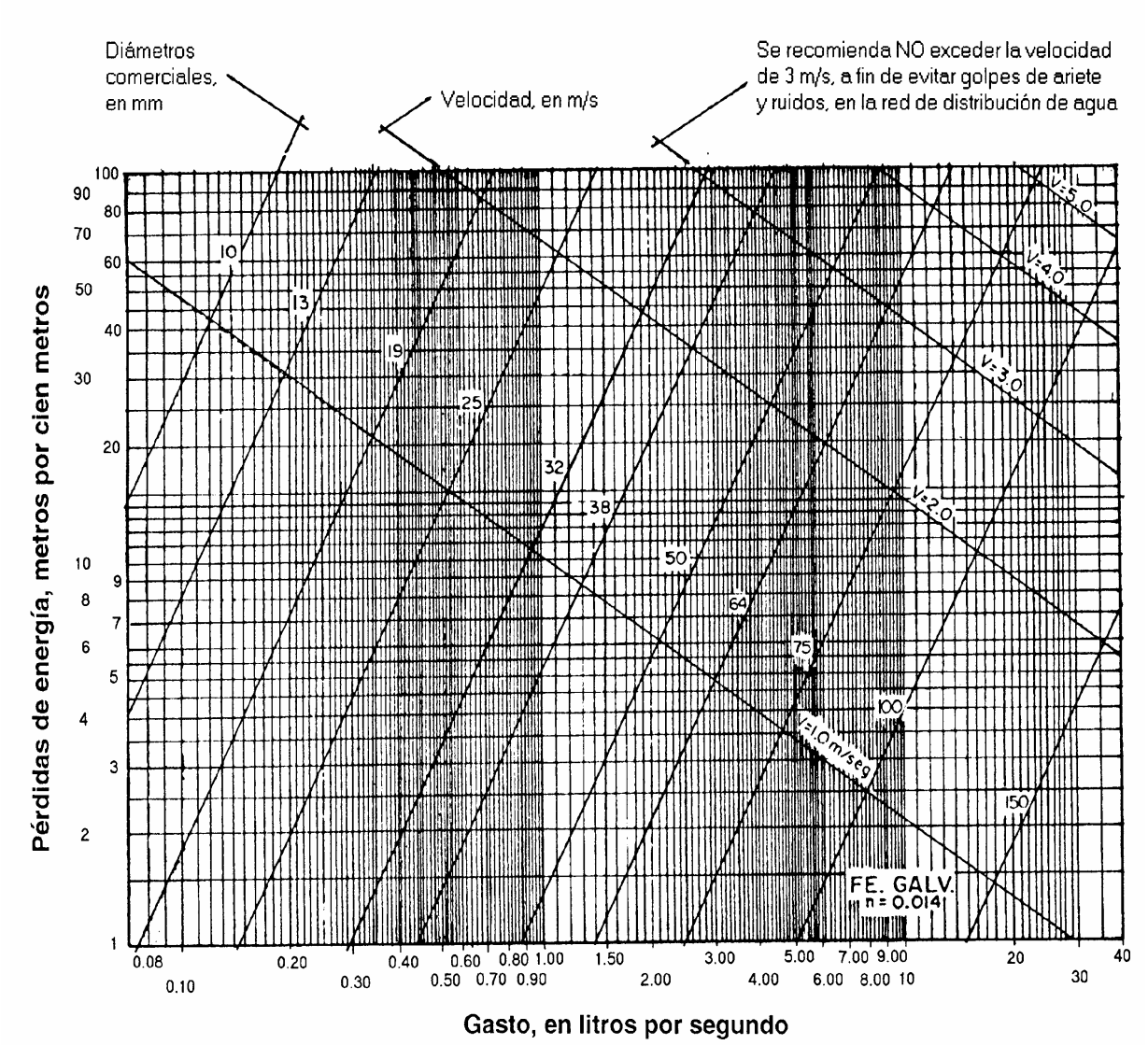
La utilización de los nomogramas es sencilla: con base en el gasto de diseño a conducir, que hallaremos en el eje de la abscisas, nos elevamos verticalmente hasta cortar un diámetro comercial de tubería, tal que la velocidad no sea mayor de 3[m/s]; a partir de la intersección con la línea del diámetro comercial, nos desplazamos horizontalmente hacia el eje de la ordenadas, para de ahí obtener las pérdidas de energía en metros por cada cien metros de longitud de la tubería. El valor de la pérdida de energía, obtenido del nomograma, lo multiplicamos por la longitud total, expresada en cientos de metros, de nuestra tubería a diseñar, incluyendo la longitud física de la misma y la longitud equivalente, que corresponde a los accesorios instalados.

Cuando el cálculo de los sistemas hidráulicos se realiza con hojas de cálculo (Excel, Lotus, etc.), es más eficiente utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach y utilerías de la hoja misma, para poder automatizar la selección de los diámetros de tuberías.



Se recomienda mantener las pérdidas de energía por debajo de 10 m por cada 100 m.

Figura 1.9 Nomograma para el cálculo del gasto, pérdidas de energía, velocidad y diámetros de tuberías de cobre para conducción de agua



Se recomienda mantener las pérdidas de energía por debajo de 10 m por cada 100 m.

Figura 1.10 Nomograma para el cálculo del gasto, pérdidas de energía, velocidad y diámetros de tuberías de fierro galvanizado para conducción de agua.

1.5 PÉRDIDAS DE ENERGÍA.

Las tuberías de la red de distribución de agua, deben ser dimensionadas limitando las pérdidas de energía, de tal manera que la salida más alta y remota pueda tener la presión mínima requerida para una operación adecuada durante los períodos de demanda pico. Por tanto, la máxima pérdida de energía que puede tolerarse, en un sistema durante la demanda pico es la diferencia entre la presión estática en la salida de agua más alta y remota, sin flujo, y la presión mínima de operación requerida en la salida.

Las pérdidas de energía, pueden ser calculadas por cualquiera de las fórmulas conocidas para las pérdidas locales y las pérdidas por fricción.
Entre las fórmulas más conocidas y utilizadas para el cálculo de pérdidas por fricción, está la de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f\frac{LV^2}{D2g}$$

Donde:

h_f son las pérdidas por fricción en metros [m]
f es el coeficiente de fricción, adimensional [adim]
L es la longitud de la tubería en metros [m]
D es el diámetro de la tubería en metros [m]
V es la velocidad de] flujo en la tubería en [m/s].
g es aceleración de la gravedad en [m/s^2].

Las pérdidas locales, pueden ser calculadas a partir de la expresión:

$$h_l = k\frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_l es la pérdida de energía de tipo local en metros [m].
k es el coeficiente que depende del tipo de accesorio [adim].
v es la velocidad del flujo en la tubería, en [m/s].
g es aceleración de la gravedad, en [m/s^2].

Las pérdidas locales también pueden ser calculadas a través de la longitud equivalente.
Es recomendable que las pérdidas de energía no excedan de 10[m] por cada 100[m].

1.5.1 RESISTENCIA AL FLUJO EN CONDUCTOS A PRESIÓN.

Para estudiar el problema de la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación inicial de los flujos y considerar las grandes diferencias de su comportamiento entre los flujos laminar y turbulento.
Osborne Reynolds (1883) en base a sus experimentos fue el primero que propuso el criterio para distinguir ambos tipos de flujo mediante el número que lleva su nombre, el cual permite evaluar la preponderancia de las fuerzas viscosas sobre las de inercia.
En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el número de Reynolds se define así:

$$R_e = \frac{VD}{\nu}\text{[adim]} \quad \text{…….ecuación 1}$$

Donde:

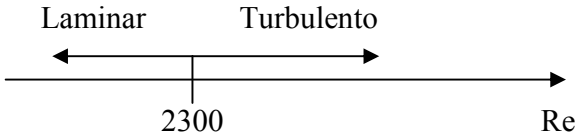
V es la velocidad media, en [m/s].
D es el diámetro del conducto, en [m].
ν es la viscosidad cinemática del fluido, en [m^2/s].

Reynolds encontró que en un tubo el flujo laminar se vuelve inestable cuando R_e ha rebasado un valor critico, para tornarse después en turbulento. De acuerdo con diferentes investigadores el numero critico de Reynolds adquiere valores muy distintos que van desde 2000 (determinado por el mismo Reynolds) hasta 40000 (calculado por Eckman). De ello se deduce que dicho valor depende en mucho de los disturbios iniciales y depende además un cierto límite, abajo del cual estos se amortiguan, estabilizando el flujo laminar.
Es interesante observar que, tanto el flujo laminar como el turbulento, resultan propiamente de la viscosidad del fluido por lo que, en ausencia de la misma, no habría distinción entre ambos.
Cuando la superficie de la pared de un conducto se amplifica, observamos que esta formado por irregularidades o asperezas de diferentes alturas y con distribución irregular o aleatoria. Dicha característica es difícil de definir científicamente pues depende de factores como la altura media de las irregularidades de la superficie, la variación de la altura efectiva respecto de la altura media, la forma y distribución geométrica, de la distancia entre dos irregularidades vecinas, etc.
Puesto que prácticamente es imposible tomar en consideración todos esos factores, se admite que la rugosidad puede expresarse por la altura media ε de las asperezas (rugosidad absoluta), como un promedio obtenido del resultado de un calculo con las características del flujo, mas no propiamente por el obtenido como la media de las alturas determinadas físicamente de la pared, en cada conducción. Es mas importante la relación de la rugosidad absoluta guarda con el diámetro del tubo, esto es, la relación $\frac{\varepsilon}{D}$ que se conoce como rugosidad relativa. Existen tubos, como los de asbesto cemento, cuya rugosidad es de forma ondulada y se comportan hidráulicamente como si fueran tubos lisos (vidrio o plástico).
Para el flujo permanente, un tubo de diámetro constate, la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía e inclinada en la dirección del movimiento. En 1850, Darcy, Weisbach y otros, dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular en un tubo de pérdida por fricción:

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \qquad \text{.....ecuación 1.1}$$

Donde:
f es el factor de fricción, adimensional [adim].
g es la aceleración de la gravedad, en [m/s^2].
h_f son las pérdidas por fricción, en [m].
D es el diámetro, en [m].
L es la longitud del tubo, en [m].
V es la velocidad media, en [m/s].

El factor de fricción es función de la rugosidad ε y del número de Reynolds R_e en el tubo. Por lo que se considera en forma gráfica un flujo laminar y un flujo turbulento según el numero de Reynolds como sigue:



La fórmula de Darcy-Weisbach, ecuación 1.1, se puede derivar por medio del análisis dimensional.
Si S_f representa la relación entre la pérdida de energía y la longitud del tubo en que esta ocurre (pendiente de fricción), la Ecuación 1.1 también es:

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

1.5.2 RESISTENCIA AL FLUJO EN TUBOS COMERCIALES.

Con el fin de comprobar los resultados en tuberías comerciales, diferentes investigadores hicieron estudios posteriores a los de Nikuradse y aceptaron el concepto –de rugosidad media- usado por éste, la cual determinaron por un proceso inverso. Es decir, una vez que obtuvieron experimentalmente la pérdida de fricción en una tubería de características hidráulicas y geométricas conocidas, determinaron el coeficiente f de la fórmula de Darcy-Weisbach y obtuvieron el valor de ε con números grandes de Reynolds.
Colebrook y White comprobaron los mismos resultados de Nikuradse, para la zona de transición de flujo laminar a turbulento en tubos comerciales, esto es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{f}}\right)$$

Con base a estos resultados Moody preparó el diagrama universal, que lleva su nombre, para determinar el coeficiente de fricción f en tuberías de rugosidad comercial que transportan cualquier líquido.

En dicho diagrama se comprueban también los mismos aspectos para los tubos de rugosidad comercial, que con el diagrama de Nikuradse de la fig 1.11 la curva límite inferior corresponde a los lisos.

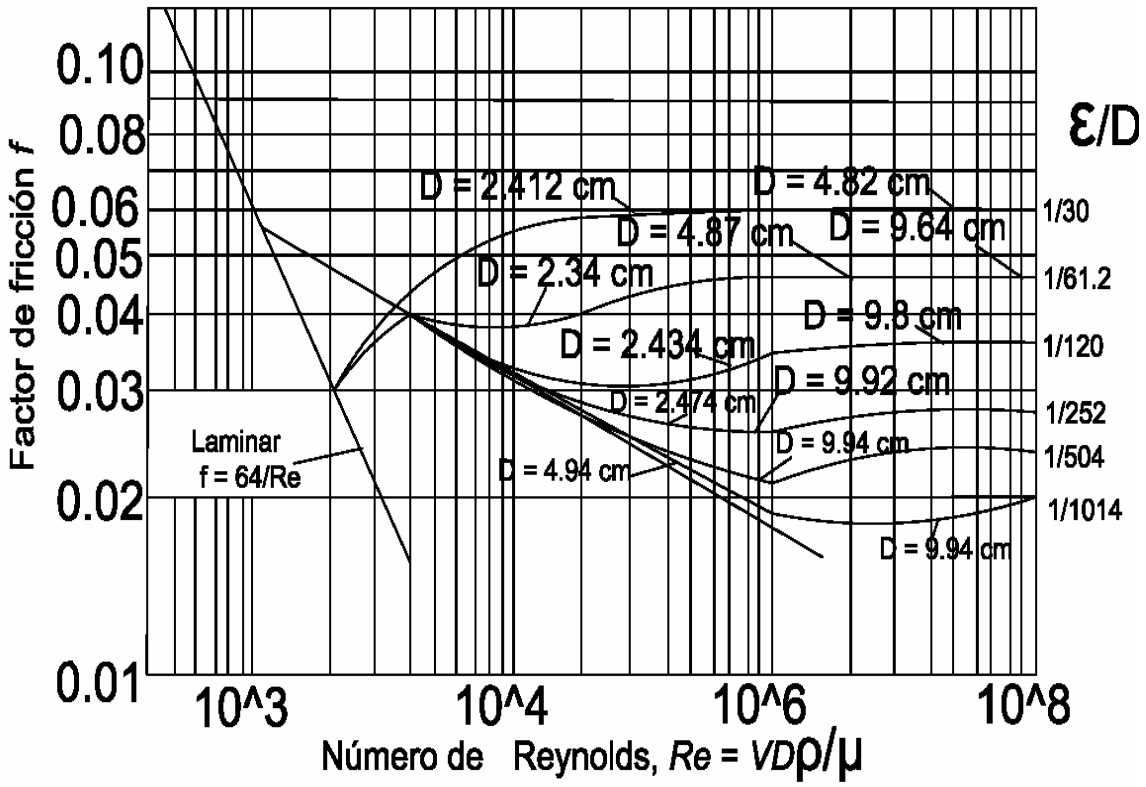


Figura 1.11 Diagrama de Nikuradse para tubos con rugosidad uniforme.

La precisión en el uso del diagrama universal de Moody depende de la selección de ε, según el material en que esta construido el tubo. En la tabla 1.12 se presentan los valores de ε para tubos comerciales y, en la figura 1.12, los valores de la rugosidad relativa ε/D para los materiales más comunes.

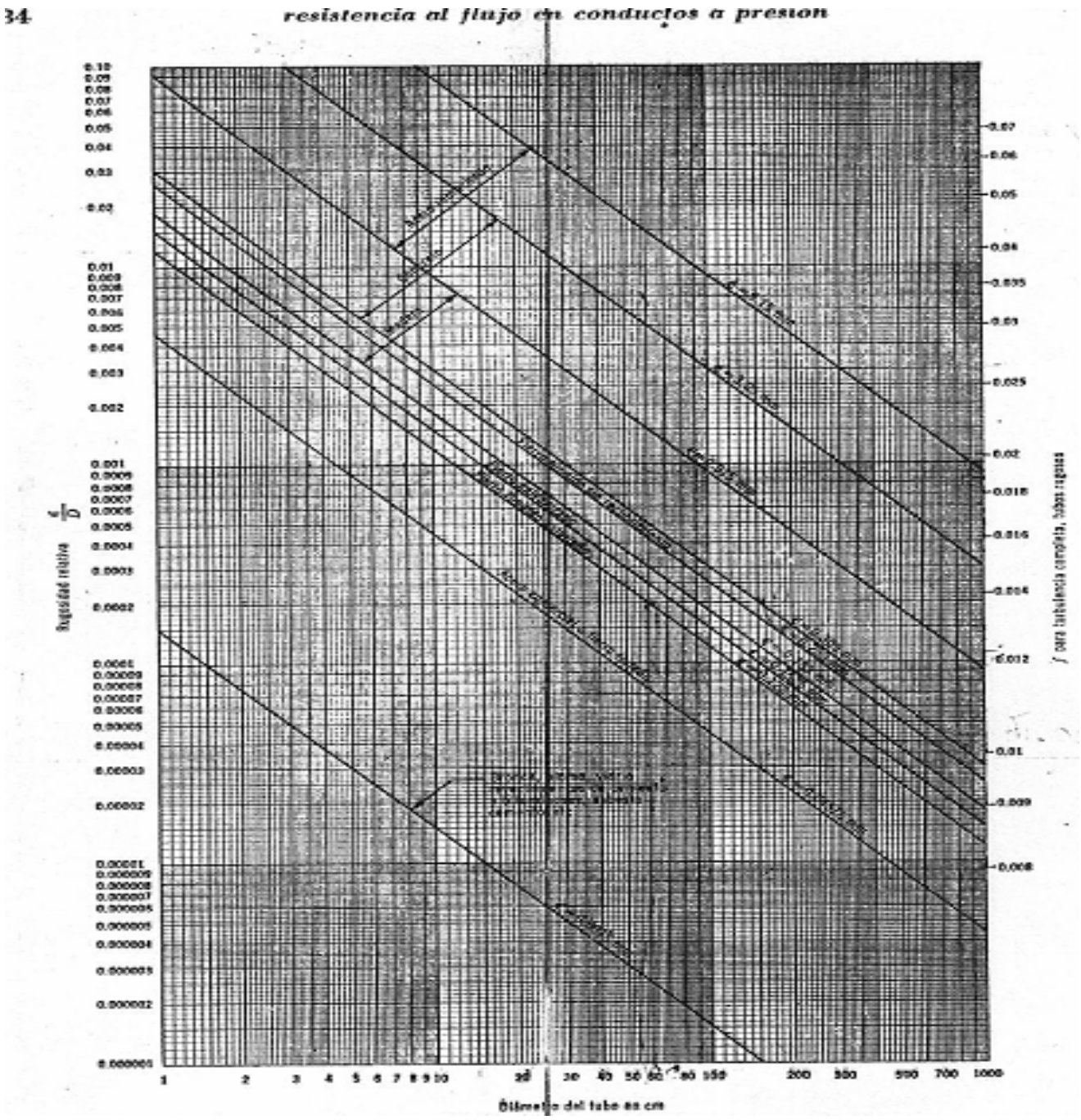


Figura 1.12 Rugosidad relativa para tubos nuevos limpios.

Material	ε, en [mm]
TUBOS LISOS	
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule.	0.0015
Tubos industriales de latón.	0.025
Tubos de madera.	0.2 a 1
Hierro forjado.	0.05
Fierro fundido nuevo.	0.25
Fierro fundido, con protección interior de asfalto.	0.12

Tabla 1.12 Rugosidad absoluta ε en tubos comerciales.

Tipo de tubería y flujo.	Autor	Fórmula	Observaciones
Cualquier tipo de tubo y flujo.	Darcy-Weisbach	$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$	Es la ec. (2.1) y es de tipo universal; f se obtiene del diagrama universal de Moody.

Tabla 1.13 Resumen de las fórmulas para el cálculo de perdidas por fricción, aplicables al flujo de agua en conductos a presión. Las unidades se expresan en sistema MKS.

1.5.3 PÉRDIDAS LOCALES.

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas, generalmente, por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que presentan en la geometría de la selección y de los distintos dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas). Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de fricción en la geometría de la selección y de los distintos dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas). Estos cambios originan perdidas de energía, distintas a las de fricción, localizadas en el sitio mismo del cambio de geometría o de la alteración del flujo.

Tal tipo de pérdida se conoce como pérdida local. Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida; la fórmula general de pérdida local es:

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

Donde:

h es la Pérdida de energía en [m].
k es el coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo.

$\frac{V^2}{2g}$ es la carga de velocidad, aguas abajo, de la zona de alteración del flujo en [m].

1.5.4 PÉRDIDA POR VÁLVULAS.

Los coeficientes de pérdidas por válvulas varían de acuerdo con el tipo y, para distintas posiciones, deben ser proporcionados por los fabricantes.
Para el cálculo de las pérdidas locales consideraremos la tabla de longitud equivalente que se muestra en la siguiente tabla 1.14.

DIÁMETRO D [mm]	[pulgadas]	codo 90° Radio largo	codo 90° Radio medio	codo 90° Radio corto	codo 45°	curva 90°	curva 90°	curva 45°	entrada normal	entrada de borda	válvula de compuerta abierta	válvula tipo globo abierta	válvula de ángulo abierta	Té paso abierto	Té salida lateral	Té salida bilateral	válvula de pie	salida de tubería	válvula de retención tipo liviana	válvula de retención tipo pesado
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.3	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	6.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.2	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

Tabla 1.14 Longitudes equivalentes a pérdidas locales (expresadas en metros de tubería rectilínea)[5]

1.6 BOMBAS CENTRÍFUGAS.

El bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse de un punto a otro; la energía es capacidad para hacer trabajo, adicionándola a un líquido obliga al líquido a hacer trabajo, normalmente fluyendo por una tubería o elevándose a un nivel más alto.

[5] Azevedo de J.M., Guillermo Acosta A., "Manual de Hidráulica", HARLA, México, 1976, pagina. 217. Los valores de esta tabla fueron obtenidos para tuberías de fierro y acero.

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o carter o una cubierta o carcasa las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga.

1.6.1 TIPOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Existen dos tipos principales de bombas: las de embolo o reciprocantes y las centrífugas. Estas últimas se han desarrollado notablemente con la generalización de la energía eléctrica.
Las bombas de émbolo son más convenientes cuando hay necesidad de operarlas manualmente, con vapor, o en algunos casos, cuando se trata de manejar líquidos muy viscosos. Sin embargo, tienen la gran desventaja de no proporcionar un gasto constante, característica que si se logra con una bomba centrífuga.
Una bomba centrífuga consta de dos partes principales: el impulsor y la voluta en que se encuentra alojado. El impulsor recibe energía mecánica transmitida por la flecha del motor de la bomba.
La mayoría de las bombas centrífugas se mueven con motor conectado directamente o con engranes.

Una bomba centrífuga, que se muestra en la figura 1.15 es una maquinaria hidráulica que actúa moviendo el líquido de manera radial hacia fuera mediante un elemento rotatorio, que se conoce como impulsor o impelente, alrededor de una caja circular llamada carcasa. El impulsor es básicamente un disco con alabes pegados a él, que transmite energía al agua, que ingresa en su parte central, mediante un movimiento circular que es transmitido por una flecha conectada a un sistema motor.

Se tienen diversos tipos de bombas centrífugas dependiendo de sus características de construcción: de succión simple o de doble succión, de carcasa dividida o carcasa completa, del número de pasos del equipo, etc.

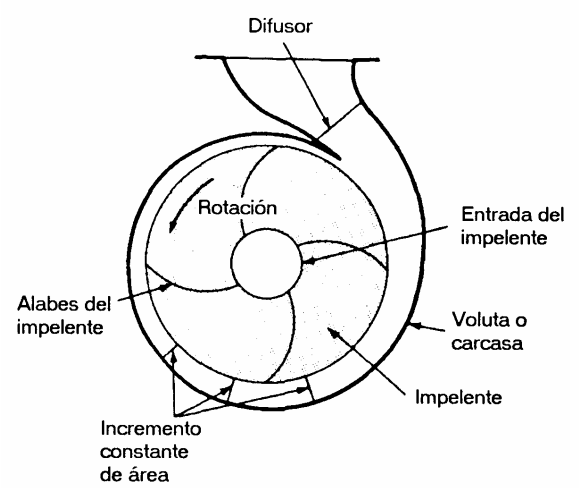


Figura 1.15 Bomba centrífuga.

1.6.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS.

Algunas de las características más importantes de las bombas son las siguientes: gasto, carga dinámica total, potencia al freno, potencia o potencia de salida, carga neta positiva de succión, velocidad, eficiencia. A continuación hablaremos de cada una de ellas.

a) Gasto.

El gasto (Q) es la cantidad de fluido que puede pasar a través del impelente de la bomba; se expresa en unidades de volumen entre tiempo.

b) Carga dinámica total.

La carga total es la energía por unidad de peso del fluido debido a: la carga de presión (h_p), la carga de velocidad (h_v) y la carga de posición (Z); se expresa en metros [m]. La carga dinámica total (CDT) desarrollada por una bomba es igual a la carga de descarga (h_d) menos la carga de succión (h_s).
Entiéndase por carga de descarga (h_d) la energía por peso unitario del fluido en la descarga de la bomba; la carga de succión (h_s) es la energía por peso unitario en la succión de la bomba. De acuerdo con las definiciones anteriores:

Carga de descarga: $h_d = h_{pd} + h_{vd} + Z_d$
Carga de succión: $h_s = h_{ps} + h_{vs} + Z_s$

Por tanto, la CDT es igual a la diferencia entre las ecuaciones anteriores:

$$CDT = h_d - h_s$$

En caso de existir una longitud considerable entre los puntos de medición de la descarga y la succión, una pérdida de energía (h_f, pérdidas por fricción y pérdidas locales) debe ser añadida a la ecuación:

$$CDT = h_d - h_s + h_f$$

c) Potencia al freno.

La potencia al freno (P_p) es la potencia requerida para realizar variaciones en el gasto de la bomba. Sus valores son proporcionados por el fabricante y se obtienen a partir de un banco de pruebas de bombeo (Véase la figura 1.15).

d) Potencia.

La potencia que proporciona la bomba al fluido está dada por la siguiente expresión:

$$P_w = \frac{\gamma Q CDT}{76\eta}$$

Donde:

P_w es la potencia añadida al fluido, en [HP].
γ es el peso específico del fluido, en [kg /m^3].
Q es el gasto de bombeo, en [m^3/hr].
CDT es la carga dinámica total, en [m].
η es la eficiencia del equipo de bombeo.

e) Eficiencia (η).

La eficiencia de un equipo de bombeo se obtiene de la relación existente entre la potencia añadida y la potencia al freno multiplicada por 100. Se expresa en porciento.

$$\eta = \frac{P_W}{P_P} * 100$$

Donde:

P_p es la potencia al freno en [Hp].
η es la eficiencia del bombeo.
La eficiencia varía con el gasto, como puede verse en la figura 1.16 alcanzando un valor máximo con un gasto en el cual las pérdidas son mínimas.

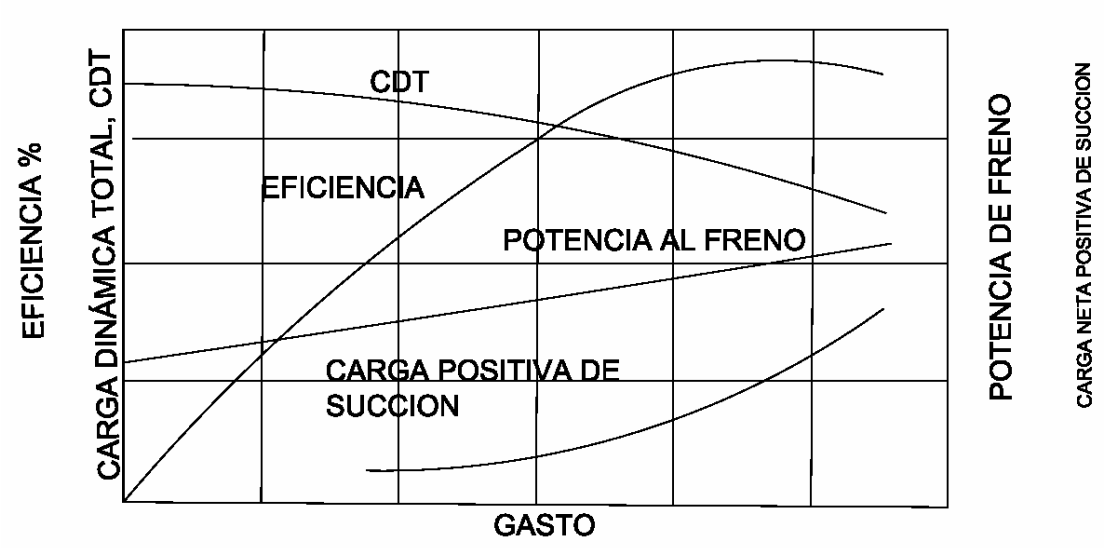


Figura 1.16 Curvas características de una bomba centrífuga.

f) Carga neta positiva de succión.

La carga neta positiva de succión (CNPS) es la carga total de succión en columna de agua en [m] de un líquido a presión absoluta determinado en el impulsor de la bomba, menos la

presión de vapor del líquido, en [m]. La carga neta positiva de succión requerida por la bomba es determinada mediante pruebas realizadas por el fabricante.

$$H_2 = H_1(\frac{N_2}{N_1})^2$$

g) Velocidad.

Por la general, las bombas centrífugas son conectadas a un motor eléctrico que opera a una velocidad constante, sin embargo, es más eficiente controlar una bomba mediante un motor de velocidad variable.

Las características de una bomba centrífuga varían con la velocidad de acuerdo con las siguientes relaciones:

Gasto	$Q_2 = Q_1(\frac{N_2}{N_1})$; CDT	$H_2 = H_1(\frac{N_2}{N_1})^2$; P_p	$P_2 = P_1(\frac{N_2}{N_1})^3$

Donde:

N_1 es la velocidad inicial de rotación, en [rpm].
N_2 es la velocidad final de rotación, en [rpm].
Q_1 es el gasto a N_1, en [m^3/h].
Q_2 es el gasto a N_2, en [m^3/h].
H_1 es la carga dinámica total a N_1, en [m].
H_2 es la carga dinámica total a N_2, en [m].
P_1 es la potencia al freno a N_1, en [kW].
P_2 es la potencia al freno a N_2, en [kW].
La figura 1.17 muestra la relación existente entre la carga dinámica total y diversas velocidades de rotación para una bomba centrífuga común.

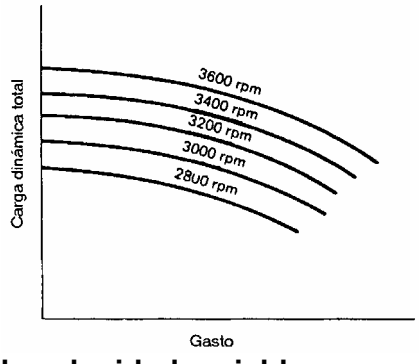


Figura 1.17 Curvas de velocidad variable para una bomba centrífuga.

1.7 MOTORES DE INDUCCIÓN.

El motor de inducción recibe este nombre debido a que igual que el transformador opera bajo el principio de inducción electromagnética.
Debido a que este tipo de motores no llega a trabajar nunca a su velocidad de sincronía, también se le conoce como motores asíncronos.
Por el número de fases se clasifican en general como:

1) Trifásico.
2) Bifásico.
3) Monofásico.

Por el tipo de rotor pueden ser:

a) de rotor devanado.
b) de rotor jaula de ardilla.

El motor con rotor jaula de ardilla (figura 1.18) recibe este nombre debido a que precisamente tiene la forma de una jaula de ardilla. Aquí el embobinado esta constituido por barras que se vacían sobre el rotor destinado para este fin; las barras por lo general, son de aluminio y al fundirse en el rotor debido a la forma que se les da, quedan unidas entre si en corto circuito en la forma de una jaula de ardilla.

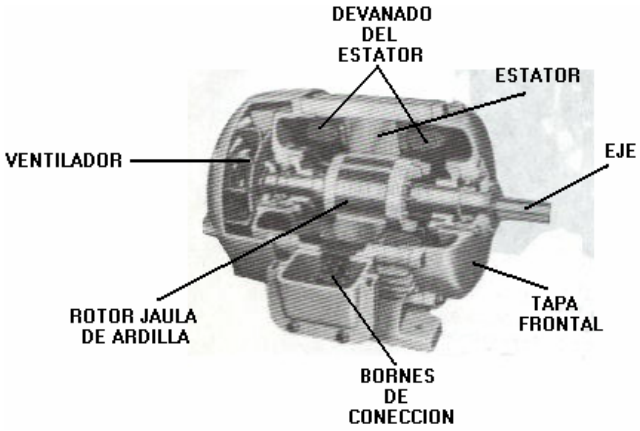


Figura 1.18 Motor con rotor Jaula de ardilla.

En el proyecto de cualquier sistema eléctrico industrial de fuerza es muy importante la selección de motores.

1.7.1 CLASIFICACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

En la industria moderna, el tipo de motor más empleado es el de inducción, cuya clasificación se ha hecho atendiendo a la construcción de su rotor, de la manera siguiente:

a) Motores de inducción tipo jaula de ardilla.
b) Motores de inducción de rotor devanado.

La Asociación nacional de fabricantes de equipo eléctrico (NEMA, Nacional Electric Manufacturers Association), con el fin de tener uniformidad en la aplicación, ha clasificado este tipo de motores de acuerdo con el par desarrollado a rotor bloqueado, el par máximo desarrollado, la corriente de arranque o algunos otros valores y ha asignado letras a este tipo de motores.
Las designaciones NEMA más comunes son:
Clase B.
Clase C.
Clase D.

Designaciones NEMA clase "B".

Este motor tiene las siguientes características:
Par de arranque normal y baja corriente de arranque, este es el más usado de los de tipo jaula de ardilla, ya que tiene un par de arranque y un par a rotor bloqueado adecuados para el arranque de una variedad de maquinas industriales; además, toma una corriente aceptable a pleno voltaje.
Algunas de las aplicaciones generales de estos motores son:
En máquinas-herramientas, como son tornos, esmeriles, fresas, etc.
Para accionar ventiladores, en sopladores para extracción de humos, extracción de gases, etc. Para accionar bombas centrífugas (para bombear agua y líquidos más densos que el agua hasta 10 [Hp] son capacidades adecuadas). Para accionar prensas, trituradores, molinos de baja carga, compresores de arranque sin carga, etc. Para este trabajo de tesis se ocupara el motor NEMA clase B.

Designaciones NEMA clase "C".

Este motor tiene las siguientes características:
Alto par de arranque y baja corriente de arranque. Es decir que estos motores tienen alto par a rotor bloqueado, baja corriente de arranque.
Algunas de las aplicaciones típicas de estos motores son: en compresoras de movimiento alternativo (bajo condiciones de carga), elevadores, transporte de material, trituradores, pulverizadores, etc.

Designaciones NEMA clase "D".

Las características de este tipo de motor son:
Alto par de arranque y baja corriente de arranque. Usan rotor con alta resistencia y se emplean comúnmente con carga que tiene muchas pérdidas intermitentes de altas y bajas. Las maquinas impulsoras para estos motores generalmente están provistas de un volante, que tienen una inercia considerable; este tipo de motores se usa generalmente en punzadoras, bombas de movimiento alternativo, desmenuzadoras, etc.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS.

Para establecer un marco de referencia en relación con la evolución de las instalaciones hidráulicas, utilizaremos las cuatro edades en las que la historia divide la evolución de la humanidad: edad antigua, edad media, edad moderna y edad contemporánea.

2.1 DESCRIPCIÓN HISTÓRICA.

La edad antigua abarca desde la aparición de la escritura, hace más o menos 6000 años (4000 años A.C.) hasta la caída del imperio romano (siglo V); la edad media, que va del siglo V al siglo XVI, y se divide en parte alta y baja, que van, respectivamente, del fin de la edad anterior hasta el siglo XII, y del siglo XII al siglo XV, que coincide con la toma de Constantinopla en el año 1453. La edad moderna termina con la revolución industrial y la revolución francesa, esto es del siglo XVI al siglo XVIII; y la edad contemporánea, que abarca los siglos XIX y XX.

En la edad antigua, podemos mencionar dos culturas que destacaron por sus avances en las instalaciones hidráulicas: la cultura romana y la civilización minoica.

Hace más de 1,800 años, los romanos tenían más de 430[km] de sistemas de conducción de agua que abastecían a toda la ciudad; después de que llegaba el agua a la ciudad por el acueducto, se necesitaba un sistema de almacenamiento y distribución. Para almacenarla, Roma tenía más de 240 depósitos y fuentes; el agua se distribuía a los usuarios mediante las fuentes, en donde se vendía el agua que salía por un vertedor conectado con un tubo de plomo. El público compraba el agua y la llevaba a su casa.

Los tubos de plomo que conducían el agua dieron su nombre al arte de la plomería. El nombre en latín del plomo es plumbum, y a la persona que trabajaba en los tubos de plomo para suministro de agua se le llamaba plumbarius.

Los romanos no fueron la única cultura antigua que tuvo sistemas de acueductos, aunque era el más grande y mejor organizado.

Hace alrededor de 4000 años, el Rey Minos gobernaba la civilización minoica, desde su palacio en Knossos, Creta. Descubrimientos recientes indican que su palacio tenía un sistema de eliminación de desechos y aguas negras muy similar a los que tenemos en la actualidad. El agua en circulación arrastraba los desechos; las instalaciones tenían trampas para evitar la entrada de gases del alcantarillado al edificio y había respiraderos para que no se produjeran grandes fluctuaciones en las presiones y acumulación de gases en el alcantarillado.

Desde la antigüedad los desechos se han eliminado ya sea mediante una fosa o arrojándolos a un río, lago u océano. Todos estos sistemas son antihigiénicos y pueden ocasionar enfermedades en toda una ciudad. Muchas de las pestes y epidemias que mataron a miles de personas estaban relacionadas directamente con un suministro de agua contaminada. Durante la edad media, una de las características principales, fue la presencia de epidemias y pestes, no teniéndose ningún avance en esta etapa.

En la edad moderna, a partir de 1870 se puede decir que comenzó el desarrollo del moderno inodoro, cuando los inventores y los técnicos comenzaron a tener en cuenta las necesidades sanitarias públicas. Uno de los primeros antecedentes se atribuye a Sir John Harrington, en el siglo XVI, en el desarrollo del WC.

Entre otras personas que contribuyeron al desarrollo del WC podemos citar a Twyford, cuyo prototipo tenía una taza en la que se mantenían unos 3[cm] de agua; el primer inodoro con sistema de sifón, reemplazó al de Twyford.

El principio fundamental del sifón es el siguiente: consiste en una tubería hermética que permite al agua moverse desde una posición alta a otra inferior, por encima de un obstáculo que las separa. Normalmente consiste en un tubo en forma de U invertida, con un extremo de menor longitud que el otro; el agua viene forzada por este sifón a través del brazo corto para que caiga por el largo debido a la fuerza de gravedad. Cuando cae, crea una zona de baja presión en el brazo largo, la cual entonces hace subir más agua por el brazo corto a causa de la presión atmosférica y, una vez comenzada, la acción del sifón continúa hasta que entra aire en el brazo corto y se igualan las presiones.

Hacia principios de siglo, en el año de 1900, la elevación de la energía del agua se lograba, mediante la conexión de un equipo de bombeo, de manera directa, a la red municipal de agua hacia el interior del edificio.

Con este equipo de bombeo se pretendía mantener una presión constante en la red en las horas de consumo pico. No obstante, cuando los consumos disminuían, la energía no utilizada, causaba daños y problemas debido a los excesos de la presión.

A fin de corregir lo anterior, se agregó a la instalación un sistema de control con base en la presión de operación máxima, de tal manera, que al llegar a ésta, el equipo de bombeo se detenía, y al descender dicha presión, el equipo se encendía inmediatamente. Estos sistemas eran de tipo automático, por lo que en horas de bajo consumo, al percibir cualquier demanda, el equipo se encendía, pero, puesto que se trataba de una demanda aislada, era satisfecha de inmediato. Lo anterior, originaba que el equipo de bombeo se encendiera y apagara continuamente, hasta que el mismo se quemaba.

Lo anterior, nos indicaba que debería contarse con un sistema adicional de suministro de presión, a fin de evitar paros y arranques frecuentes de los equipos de bombeo.

Hacia 1920, se inició la utilización de sistemas hidroneumáticos que constaban de un equipo de bombeo, un compresor de aire, tanque metálico presurizado y controles que regulaban los arranques y paros, de los ya mencionados equipos de bombeo y compresores de aire, según se presentaran las demandas. No obstante, se presentaron problemas en la utilización de estos sistemas, principalmente en la elevación de presión de instalaciones hidráulicas de grandes dimensiones, al requerirse tanques presurizados con enormes volúmenes. Era problemática la ubicación de los tanques, así como el reemplazo de los mismos, en casos de averías, debido a problemas de erosión y/o corrosión.

Hacia 1940, se empezaron a utilizar esquemas de elevación de presión que permitían, mediante la utilización de equipos de bombeo de diversas capacidades, mantener en el edificio presiones constantes. Sin embargo, las variaciones en las demandas originaban variaciones constantes en las presiones, dando como resultado arranques y paros sucesivos de los equipos de bombeo, con consecuencias tales como ruido, daño de bombas, golpe de ariete, etc.

En 1950, se piensa en los sistemas programados de presión constante, que utilizan, fundamentalmente, bombas de velocidad variable, variadores mecánicos de velocidad y válvulas reguladores de presión. Estos sistemas fueron mejores que sus predecesores, sin embargo, presentaron diversos problemas entre los que destacan el costo y el espacio adicional para la ubicación del variador de velocidad, la lentitud en el control mecánico del variador de velocidad y, como consecuencia de la variación de la velocidad, la operación de los equipos de bombeo en zonas de baja eficiencia. Este último problema, se podía resolver, utilizando equipos de bombeo de varias capacidades, pero se incrementaba el costo.

Hacia finales de la década de los 60's, se hace popular el motor eléctrico de velocidad variable y se introducen las bombas verticales, que permiten resolver problemas de los sistemas anteriores tales como la lentitud en el cambio de velocidad y la operación de bombas en zonas de poca eficiencia. Así pues, se puede decir que, con estos equipos es posible lograr redes de distribución de agua a presión constante, aún cuando los costos sean altos.

Una situación frecuente en los sistemas de distribución de agua, en edificios de grandes dimensiones, es la necesidad de incrementar la energía hidráulica con que el agua es entregada. Lo anterior se realiza mediante sistemas elevadores de presión, como los que hemos mencionado; los más utilizados son los de tanque elevado, hidroneumático y bombas elevadoras de presión. En algunos casos, pueden utilizarse combinaciones de dos o tres de los sistemas.

2.2 TANQUE ELEVADO.

Es el elemento del sistema que almacena el agua que se distribuirá mediante una alimentación descendente a toda la red. La capacidad requerida del tanque, generalmente, se basa en la experiencia del diseñador. No obstante, se dan a continuación, algunas recomendaciones para condiciones particulares de servicio.

Se tienen dos casos:

1. Edificios de departamentos: para este caso el almacenamiento recomendado es de un día, por lo que deberá multiplicarse el total de ocupantes del edificio por la dotación diaria asignada. Si no conocemos el número de ocupantes del edificio, considere dos personas por habitación o cuatro por departamento, el que resulte mayor.

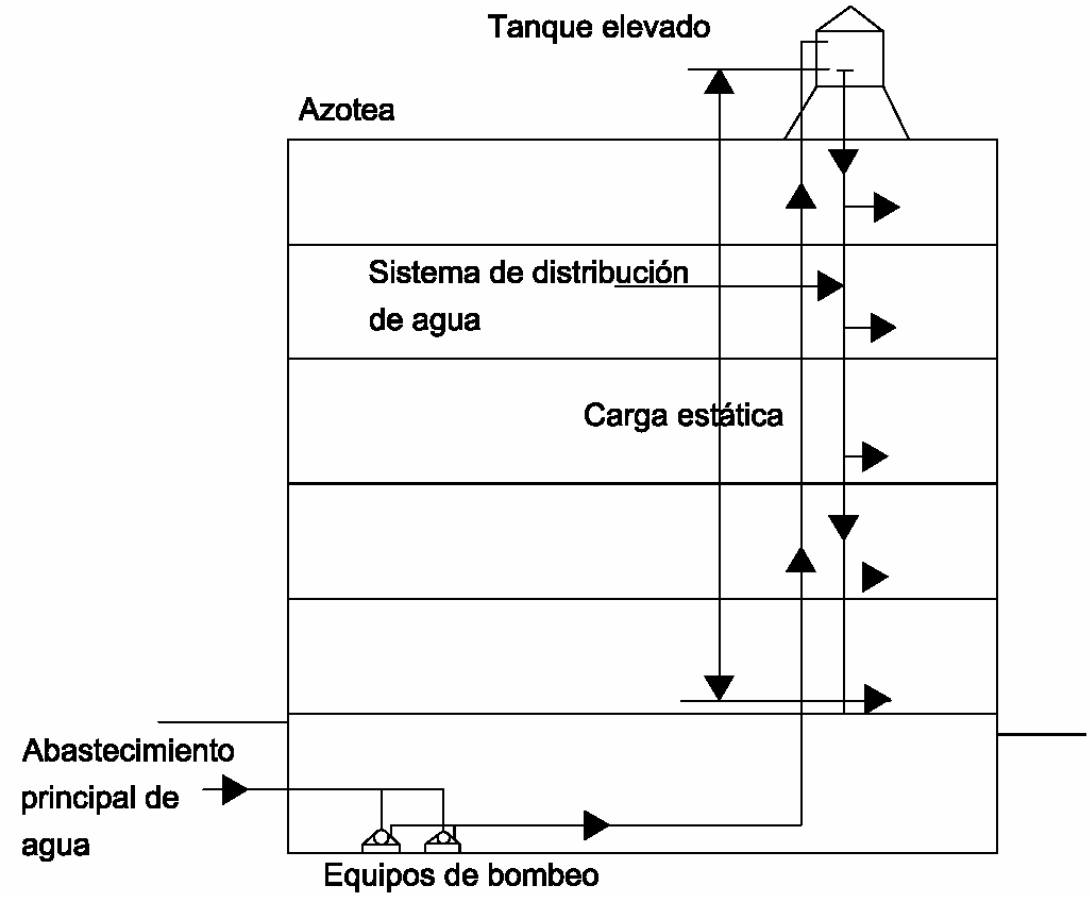


Diagrama de un sistema de tanque elevado

2. Edificios de oficinas: se utilizará también el número de personas que ocupan el edificio; a continuación, se presenta una estimación del número de personas que ocupan un edificio, con base en el área utilizable del mismo:

Oficinas públicas:	9.3 [m^2/persona]
Oficinas medias:	14.0 [m^2/ persona]
Oficinas de lujo:	1 8.6 [m^2/ persona]

Datos obtenidos de la fundación ICA Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios.

Es importante ratificar, que la experiencia del diseñador, así como el conocimiento de la zona en la que se ubicará el edificio, son elementos invaluables para determinar, adecuadamente, la capacidad de almacenamiento requerida del tanque elevado.

2.3 SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS.

Su nombre se debe a la combinación de aire comprimido y agua que se realiza en un tanque metálico presurizado, de tal manera, que dicho tanque aprovecha las características de elasticidad del aire, para poder abastecer el agua, que se almacena en la parte inferior del tanque, con la presión requerida para satisfacer las demandas de la red hidráulica con objeto, que la bomba no opere constantemente. Este sistema puede verse en la figura 2.1.

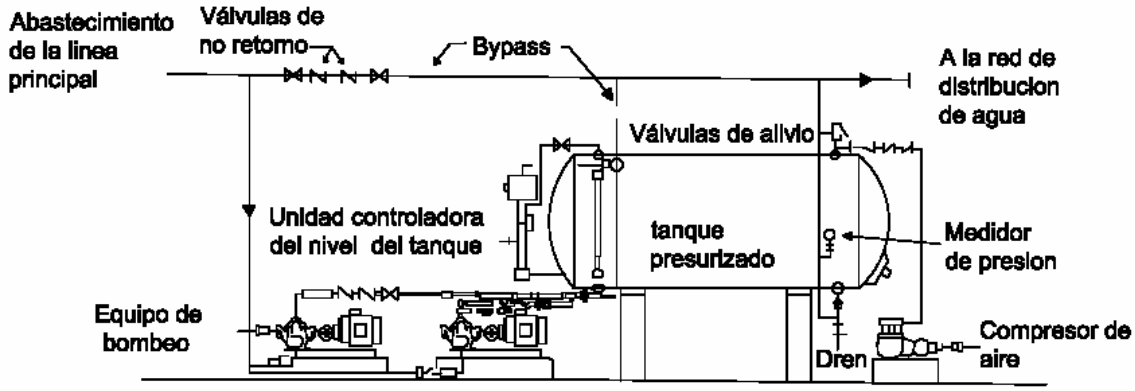


Figura 2.1 Esquema de los componentes de un sistema hidroneumático.

En un sistema hidroneumático, parte del agua es bombeada desde la fuente de abastecimiento de la misma hasta el tanque presurizado para su almacenamiento. El aire del tanque es comprimido conforme el agua ingresa al mismo; en tanto la presión en el tanque se incremento, la presión en la red de distribución también aumenta, puesto que está conectada al tanque. El agua almacenada en el tanque y la presión del mismo, son suficientes para permitir que los equipos de bombeo descansen ciertos períodos de tiempo y, aún en dicho descanso, se satisfagan las demandas de presión y de gasto; esto es, se conserva la energía evitando el uso continuo de los equipos de bombeo.

Cuando el equipo de bombeo opera, parte del agua es enviada a la red, y el excedente va al tanque hidroneumático, en el cual al subir el nivel del agua, vuelve a comprimir el aire hasta llegar a una presión máxima predeterminada, la cual acciona el interruptor de presión, desconectándolo y parando el equipo de bombeo.

Los componentes de un sistema hidroneumático son un tanque presurizado, equipos de bombeo, un elemento de suministro de aire (un compresor de aire o un supercargador o válvula de aspiración de aire), un sistema de control de arranque y paro de la bomba y del elemento suministrador de aire, alarmas y elementos de seguridad para aliviar presiones excesivas.

Todo sistema hidroneumático opera a dos presiones:

- Presión mínima: es conocida también como presión manométrica y hace operar el equipo de bombeo. Esta presión es la suma de los siguientes factores: la altura de succión y las pérdidas de energía en la tubería de succión de la bomba, las pérdidas de energía en la tubería hasta la descarga más alejada del hidroneumático y la presión mínima de operación requerida en la descarga más alejada.

- Presión máxima: es la presión máxima de operación de la red hidráulica y detiene el equipo de bombeo. Esta presión es igual a la presión manométrica más la presión diferencial; esta presión no debe exceder el valor máximo establecido por el fabricante para evitar daños al tanque presurizado. La presión diferencia¡ se calcula basándonos en el volumen de agua y aire más adecuado, para obtener la máxima extracción de agua posible, dejando siempre un nivel de agua no menor del 20% del tanque presurizado, llamado sello de agua, para poder mantener el aire comprimido siempre dentro de dicho tanque, sin que escape hacia la red de distribución.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES.

A continuación se analizarán los sistemas mas usuales en el suministro de agua en nuestro país, los mas comerciales y comunes.
Estos son el bombeo directo, el almacenamiento por gravedad y el uso del tanque hidroneumático.

3.1 BOMBEO DIRECTO.

Se puede bombear directamente a un tanque de almacenamiento por gravedad de donde el agua fluye a los puntos de uso de acuerdo con la demanda. Este diseño se denomina bombeo directo. Este método se puede diseñar para proporcionar tiempo de contacto del cloro para la desinfección.

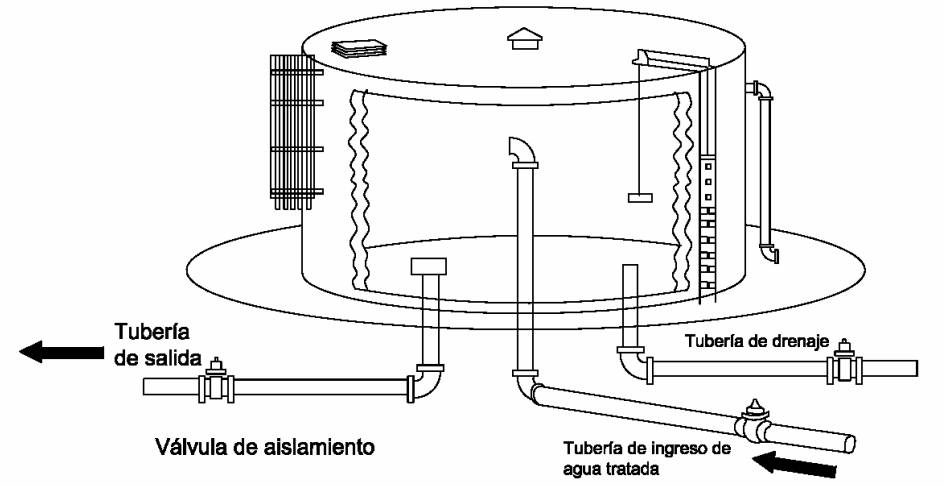


Figura 3.1 Bombeo directo a un tanque de almacenamiento.

También se puede bombear agua al sistema de distribución desde un tanque ubicado a varias millas del tanque principal con la ayuda de un tanque flotante en el sistema.

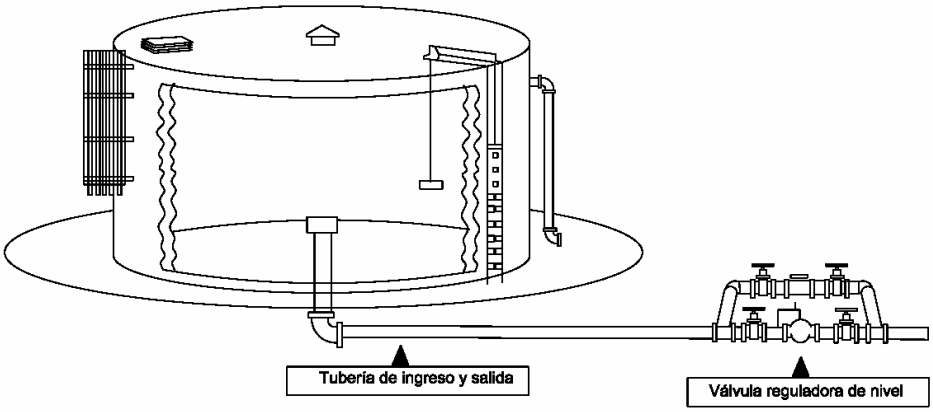


Figura 3.2 Tanque flotante.

Los sistemas de bombeo directo, tienen un tanque de almacenamiento que proporciona un tiempo de contacto adicional del cloro. En los sistemas flotantes, el agua se envía directamente al usuario a través del sistema de distribución. Si la desinfección en la planta de tratamiento no es adecuada, puede representar un riesgo sanitario.

3.2 ALMACENAMIENTO POR GRAVEDAD.

En sistemas de almacenamiento por gravedad, la capacidad total de almacenamiento debe ser igual a la demanda promedio diaria de uno a cinco días. El tanque de almacenamiento debe tener capacidad de reserva para superar condiciones extremas, como los cortes de electricidad, lo cual inhabilitaría a las bombas a menos que exista energía de reserva. Las instalaciones sin almacenamiento adecuado corren el riesgo de perder la presión del sistema.

Por el contrario, los tanque de almacenamientos que están sobredimensionados corren el riesgo de producir agua con sabor y olor desagradables. El cloro residual se puede perder si no se usa y reemplaza el agua en forma regular.

La capacidad de bombeo se debe diseñar para suministrar agua que satisfaga la demanda máxima normal y posible incendio, a la vez que previene la pérdida excesiva de presión de carga en el tanque. La mayoría de sistemas pequeños no se diseñan para satisfacer la demanda de un incendio.

El tanque de agua se debe ubicar por encima del sistema de distribución para producir presiones mínimas de operación de 2.4 [kg/cm^2] (cerca de 24 m de columna de agua), pero de preferencia de 2.7 a 4.1 [kg/cm^2] (de 27 a 41 metros de columna de agua), aunque esto dependerá de las reglamentaciones estatales.

Las presiones no deben exceder de 7 [kg/cm2] (68 [m]). En comunidades con topografía variable, los usuarios que viven en las zonas más altas podrían experimentar condiciones de presión baja si el sistema de almacenamiento por gravedad no se diseña con zonas de presión separadas.

Los controles automáticos de la bomba de suministro deben mantener al mínimo la distancia de subida y bajada del nivel de agua en el tanque para mantener un volumen adecuado de agua y una presión constante en el sistema de distribución. Sin embargo, el ascenso y descenso deben ser adecuados para prevenir un exceso de ciclos de la bomba durante las horas de mayor uso.
Se puede permitir que el nivel de agua en el tanque suba lo más cerca a la tubería de rebose antes de detener las bombas de suministro. Sin embargo, el nivel máximo de agua no debe exceder ese límite a fin de evitar derrames durante la operación automática.

Todos los tanques de almacenamiento se deben equipar con un instrumento confiable para medir el nivel de agua. El indicador de nivel más confiable es una escala hidrométrica con flotador, siempre que se mantenga adecuadamente. Los manómetros se usan para determinar el nivel de agua, pero se deben realizar chequeos visuales ocasionales del tanque para comprobar la exactitud del manómetro.

Los tanques de almacenamiento de agua se deben proteger para prevenir el ingreso de contaminantes del aire, aves, insectos, mamíferos y algas. La cubierta debe ser hermética, resistente y con drenaje. La cubierta del tanque de almacenamiento no se debe usar para otro propósito que pudiera contaminar el agua almacenada. El techo y las paredes laterales se deben sellar.

La ventilación del techo debe terminar boca abajo y se debe proteger de la lluvia.
Una ventilación bien construida debe terminar 3 diámetros por encima del techo para prevenir el ingreso de excrementos secos de aves que pueden ser levantados por el viento.

Si bien las mallas delgadas son necesarias para mantener el agua limpia, se deben diseñar para ceder en caso de que se produzca un vacío a fin de evitar que el tanque se rompa.

Las placas de acceso que no se sellan en su totalidad permiten que los excrementos de aves se escurran directamente al agua potable.

La tapa de entrada debe estar rodeada de paredes laterales de no menos de 10[cm] de alto. La tapa o cubierta debe descender al menos 5[cm] sobre las paredes laterales. La tapa se debe sellar para prevenir la aspiración e ingreso de excrementos secos y plumas de aves al orificio de la tapa de entrada. Las cubiertas de la tapa de entrada que no encajan adecuadamente son un problema común.
Las tapas de entradas de acceso se deben cerrar con una cubierta hermética y un candado. No es extraño que la fuerza del viento levante una cubierta abierta. A menudo, si no hay un buen cerramiento, las personas suelen levantar las tapas y nadan o tiran objetos en los tanques de almacenamiento.

A través del orificio, los excrementos de aves pueden ingresar al tanque de almacenamiento a menos que se proteja y diseñe para que el agua de lluvia no ingrese.
La contaminación puede ingresar por los orificios de las tuberías de agua, tuberías de cloro y dispositivos eléctricos si éstos no son herméticos.

Ninguna tubería de alcantarillado debe estar a menos de 3[m] del tanque.

Las grietas en el tanque pueden permitir el ingreso de agua subterránea o superficial al tanque.
Si la tubería del drenaje es factible de ser inundado, se debe colocar una brida ciega para prevenir el ingreso de una contracorriente de agua contaminada al tanque. Todos los tanques de almacenamientos se deben proteger de las inundaciones. La estructura y sus componentes deben ser herméticos. El suelo por encima del tanque subterráneo se debe nivelar para drenar agua superficial fuera del tanque. El drenaje subterráneo se debe descargar lejos de la estructura.

Se debe poder desactivar los tanques para la inspección y mantenimiento sin necesidad de interrumpir todo el sistema. Esto es posible si se instalan válvulas esclusa y una tubería de drenaje.

Los revestimientos, como la pintura, que están en contacto con el agua deben tener la aprobación de la autoridad correspondiente. Los revestimientos no autorizados pueden crear problemas debido a la contaminación orgánica e inorgánica de las aguas almacenadas.

El ascenso y descenso del nivel de agua en el tanque puede producir corrosión. Las superficies metálicas expuestas que se sumergen y luego se exponen al aire (oxígeno) se corroen con mayor rapidez. Los tanques de almacenamiento metálicos deberían tener protección catódica.

Los representantes autorizados de proveer el servicio deben inspeccionar y mantener anualmente estos sistemas.
El agua corrosiva puede dañar gravemente el tanque de almacenamiento de acero si el revestimiento protector no está completamente intacto.

Los tanques de almacenamiento y tanques elevados en el sistema de distribución se deben desinfectar antes de entrar en operación luego de reparaciones o limpieza intensiva.

Un sistema pequeño que solo tiene un tanque de almacenamiento o un almacenamiento de reserva limitada, requiere un medio más complejo para mantener el suministro de agua. Esto podría incluir, por ejemplo, la operación manual de bombas de mayor capacidad. Se deben establecer, probar y practicar medidas temporales antes de retirar el tanque para su mantenimiento.

3.3 HIDRONEUMÁTICOS.

Estos sistemas combinan la energía de una bomba con el principio de presión atmosférica para forzar la salida de agua hacia el sistema de distribución. Es necesario conocer la operación básica del sistema y la función de sus componentes para comprender por qué el sistema hidroneumático es sensible a riesgos sanitarios.

El principio de operación se describe de la siguiente manera:

1. La bomba de suministro de agua se activa cuando la presión desciende a un nivel predeterminado (presión de entrada). La energía de la bomba presuriza un bolsón de aire (volumen de aire) ubicado en la parte superior del tanque de presión.
2. Cuando la presión alcanza un nivel predeterminado alto (presión de salida), la bomba se detiene y el aire comprimido fuerza el agua hacia el sistema de distribución.
3. Cuando la presión es muy baja (a menudo de 1.3 a 2.4[kg/cm^2]) la bomba se activa nuevamente y el ciclo se repite. La tasa de ciclos corresponde al número de veces que la bomba se enciende y se apaga en una hora.

Un sistema hidroneumático típico tiene las siguientes partes:

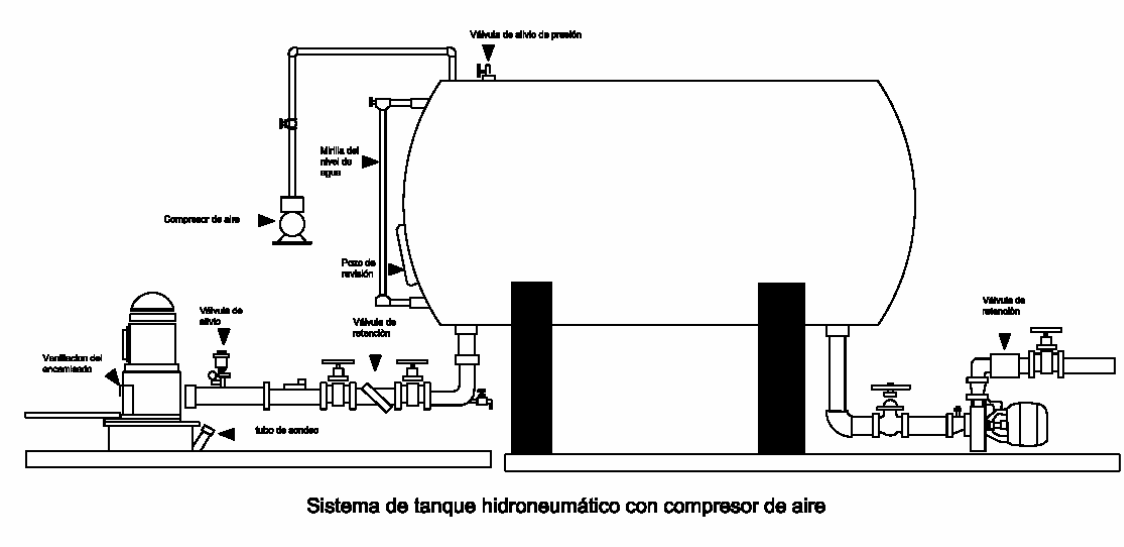


Figura 3.3 Sistema de tanque hidroneumático con compresor de aire.

Componente.	**Propósito.**
Tanque de acero.	almacena agua.
Control del volumen de aire.	Regula el volumen de aire en el tanque.
Válvula de alivio.	Previene la presión muy alta.
Tubería de entrada y salida.	Permite el ingreso y salida del agua.
Mirilla (tubo).	Permite la observación directa de la proporción de aire en relación con el agua (por lo general un tercio de aire por dos tercios de agua).
Manómetros.	Monitorean la presión (por lo general, un calibrador de 7 [kg/cm2].
Controles de la bomba y motor.	Controla los puntos de entrada y salida.
Controles del nivel alto y bajo del agua	Regulan el nivel de agua en el tanque.
Controles de presión o caudal bajo.	Mantienen el balance entre el agua y la presión de aire.
Compresor de aire.	Fuerza el ingreso de aire adicional al tanque para incrementar la presión (pre- presurización).
Caudalímetro.	Principal Mide la cantidad de agua bombeada.
Contador de ciclos.	Cuenta el número de ciclos de la bomba
Medidor de tiempo.	Registra las horas de operación.

La mayoría de sistemas hidroneumáticos solo se diferencian por la clase de tanque de presión que usan. Las principales diferencias radican en:

- Tamaño.
- Posición (horizontal o vertical).
- Métodos para separar el agua del aire.

Todos estos factores pueden contribuir a riesgos sanitarios. A continuación se describen los tres tipos de tanques:

- Tanque convencional:

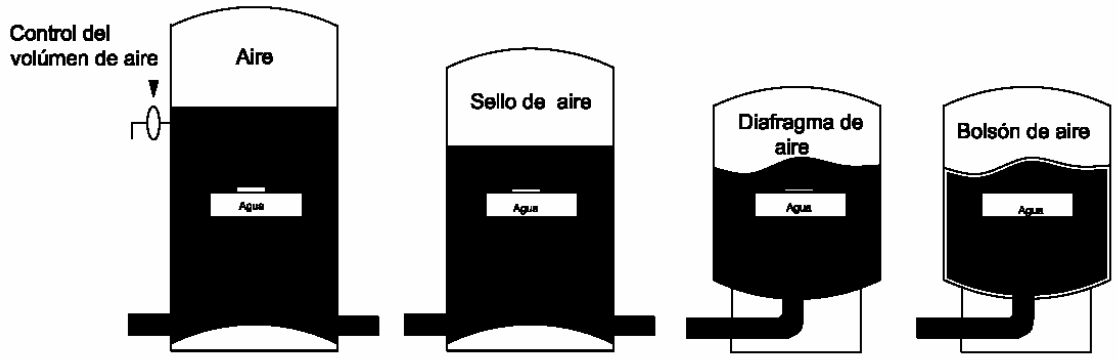
    1. Colchón de aire en contacto directo con el agua; se requiere controlar el volumen de aire.
    2. La capacidad varía de unos pocos a varios miles de galones.
    3. Posición vertical u horizontal.
    4. Orificio de salida en la parte inferior del tanque. Los orificios de ingreso y salida combinados o separados en los lados opuestos del tanque permiten el tiempo de contacto del cloro.
    5. Control del volumen de aire ubicado en la interfase agua-aire del tanque; existen dispositivos para la presurización.

- Sello flotante del tanque:

    1. Un sello flotante (flotadores rígidos, de goma flexible o plástico) separa el agua del aire, pero la separación no es total; se pierde aire y se requiere recarga ocasional.
    2. La posición vertical limita la capacidad del tanque.
    3. Orificio de entrada y salida combinado en el fondo del tanque.
    4. Válvula interna de control del aire para prevenir el escape prematuro de aire debido al corte de electricidad o demanda excesiva de agua.

- Tanques con separador flexible

    1. Separador flexible de diafragma o bolsa colocado dentro del tanque para separar por completo el aire del agua.
    2. La posición vertical limita la capacidad del tanque.
    3. Sobrecargado en la fábrica a presiones justo por debajo de la presión de arranque de la bomba.



Tanque convencional. Tanque con sello flotante. Tanques con separador flexible.

Figura 3.4 Tipos de Tanques hidroneumáticos.

Hay varias maneras para determinar la capacidad requerida del tanque. Durante la selección y evaluación del tanque, la capacidad debe ser verificada en relación con la demanda máxima del sistema. Mediante los registros técnicos, que deben estar disponibles en la planta, deben especificar la capacidad de la bomba y la presión de ingreso y salida. Los registros de operación muestran la demanda máxima actual y si la demanda ha cambiado desde la instalación del tanque, lo que podría requerir cambiar el tamaño del tanque.

Es muy importante mantener la presión adecuada. La presión baja puede revertir el caudal y permitir el ingreso de agua contaminada al almacenamiento de agua. El exceso de presión puede deteriorar los componentes del sistema, causar altas tasas de fugas y forzar la salida del aire con el agua. La presión baja puede indicar conexiones inadecuadas o conexiones cruzadas del almacenamiento a las instalaciones de servicio. Se requiere una presión adecuada para que el agua fluya del tanque de almacenamiento a las áreas de servicio.

Debido a la baja capacidad de almacenamiento de los tanques hidroneumáticos (en comparación con los sistemas por gravedad), el potencial de presión baja y contracorriente se incrementará sustancialmente. Para prevenirlos, se debe mantener una presión mínima permanente.

Presión del sistema.

Presión de trabajo óptima = 2.7 a 4.1 [kg/cm^2]
Presión de trabajo mínima = 2.4 [kg/cm^2]
Presión máxima en conexiones de servicio = 7 [kg/cm^2]
Presión mínima en conexiones de servicio = 1.4 [kg/cm^2]

La operación y mantenimiento adecuado del sistema de almacenamiento también es esencial. Si los medidores y controles no se ajustan adecuadamente, puede haber presión o suministro inadecuados de agua. Asimismo, se puede contaminar el tanque de almacenamiento con sustancias provenientes del aire o agua. La instalación y mantenimiento adecuados de los filtros de aire y los dispositivos de control de conexiones cruzadas pueden prevenir el ingreso de esas sustancias al sistema hidroneumático.
Se deben verificar y ajustar los siguientes componentes de acuerdo con los cambios de la demanda pico:

- Control del volumen de aire.
- Válvulas de alivio.
- Controles del motor.
- Controles del nivel alto y bajo de agua.
- Controles del caudal de presión baja.
- Compresor y controles de aire.

La bomba de suministro de agua no debe tener ciclos muy frecuentes (se aceptan 10 a 15 ciclos por hora). La operación constante o frecuente de la bomba indica que el tanque está

saturado, que la configuración de los controles de presión es inadecuada o que la demanda del sistema está a punto de exceder la capacidad de la bomba.

Verificación de la relación aire - agua:

La proporción de aire en relación con el agua debe ser aproximadamente un tercio de aire por dos tercios de agua. Si el volumen de aire es demasiado alto, el tanque podría perder agua antes de activar la bomba y causaría que el aire entre al sistema de distribución.
El tanque debe estar cercado para protegerlo del vandalismo. Los controles se deben mantener en una estructura hermética y segura, pero de fácil acceso para su mantenimiento.

Debe existir un sistema de alarma cuando el sistema de control detecta una falla en la bomba (problema de presión alta o baja). Algunos sistemas de alarma constan de una luz o bocina en la instalación. Este tipo de alarma no es tan confiable como una alarma de llamada telefónica automática que se puede programar para que llame a varios números hasta obtener respuesta.

Muchos sistemas de agua, especialmente los pequeños, no tienen equipos alternos. Los sistemas hidroneumáticos que se mantienen inadecuadamente son sumamente propensos a fallas. Por lo general, la pérdida de presión resultante ocurre antes de que el problema se pueda corregir. Los riesgos sanitarios de la pérdida de presión debido a fallas en el equipo se reducen sustancialmente si se cuenta con sistemas alternos. Se deben establecer medidas para contar con una fuente de emergencia de agua segura.

Los tanques hidroneumáticos son recipientes a presión. Una presión de 3.4[kg/cm^2] es equivalente a 3.5 toneladas por pie cuadrado.
Los compresores de aire pueden introducir aceite de lubricación como un aerosol en el tanque de presión hidroneumática.
Una tapa de entrada de acceso externo en malas condiciones puede comprometer la integridad del recipiente a presión ya que puede provocar riesgos sanitarios y de seguridad.

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.

Un equipo hidroneumático es un sistema de bombeo de agua a presión que trabaja por medio de bombas y un tanque en el cuál se almacenan conjuntamente aire y agua.

4.1 ¿QUÉ ES UN HIDRONEUMÁTICO?

Los hidroneumáticos generalmente se encuentran instalados en edificaciones donde se requiere suministrar o abastecer agua desde un cuarto central de máquinas a diversos puntos, en este caso en especial será abastecer a departamentos en una unidad habitacional.

4.2 TIPOS DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS.

En la actualidad se tienen varios tipos de sistemas hidroneumáticos, que son:

- Precargados.
- Con hidropistón.
- Con compresor de aire.

4.2.1 SISTEMA HIDRONEUMÁTICO PRECARGADO.

El tipo precargado básicamente consta de un tanque de almacenamiento sellado herméticamente en el cual en su interior se tiene una especie de bolsa que esta llena de aire calibrada a cierta presión, pero que puede comprimirse aún más al momento de alimentarse agua al tanque mediante una bomba de alta presión la función de esta es suministrar el fluido cuando la demanda lo requiera.
Cuando se tiene consumo, la bomba funciona rápidamente llevando el agua hacia el interior del tanque, ocasionando que se comprima la bolsa de aire hasta un punto en que la bomba deja de operar al alcanzar un valor de presión previamente calibrado, dejándolo listo para otra operación de demanda.

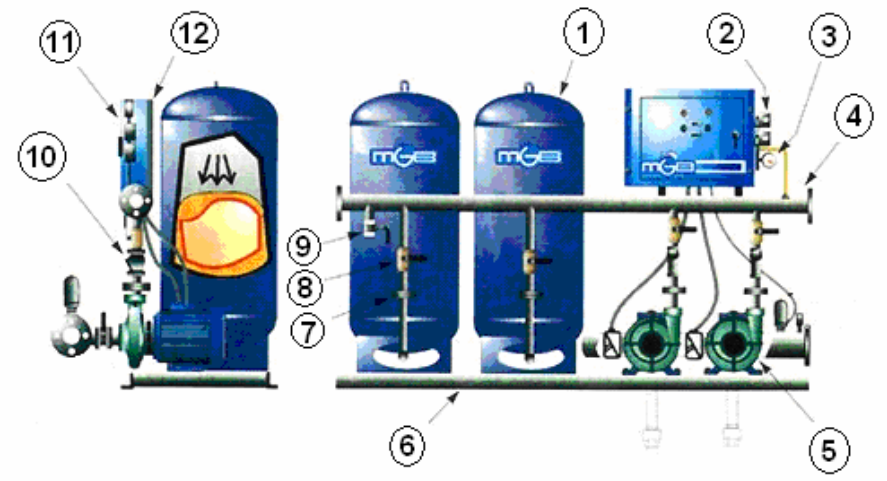


Figura. 4.1 Partes de un sistema hidroneumático precargado.

Donde:

1. Tanque Precargado (115, 180 y 250 [PSI]).
2. Interruptores de Presión con indicador.
3. Manómetro.
4. Manifull de Descarga Blindado.
5. Motobomba Centrífuga de un paso a multipasos.
6. Chasis de acero o Aluminio estructural.
7. Bridas de Conexión.
8. Válvula de cierre rápido.
9. Válvula de prueba .
10. Check de columpio o Conexión de cebado.
11. Tablero de control y protección programable.
12. Porta tablero.

4.2.2 SISTEMA HIDRONEUMÁTICO CON HIDROPISTÓN.

El funcionamiento de este sistema es similar al precargado con la diferencia que en este sistema se ocupa un pistón hidráulico para expulsar el agua desde el interior del tanque.

4.2.3 SISTEMA HIDRONEUMÁTICO CON COMPRESOR DE AIRE.

Estos sistemas tienen un funcionamiento de mayor similitud a los sistemas precargados, estos también trabajan por medio de aire, pero en especial en estos tipos de sistemas no hay ningún dispositivo que intervenga entre aire y agua. Ambos fluidos están en contacto en sus capas límite, la cantidad de aire se renueva las veces que sea necesario debido a que el aire tiene pérdidas al momento de cada operación de funcionamiento. El aire se suministra al interior del tanque ocupando un compresor que inicia su funcionamiento por medio de dos electrodos que funciona cuando el nivel del agua rebasa él límite de trabajo permitido.

El compresor por lo regular empieza a funcionar posteriormente de que haya entrado en funcionamiento la bomba y deja de operar un tiempo después de que la bomba ha realizado el paro. Esta operación garantiza una línea presurizada y siempre activa para iniciar cuando se ha necesario según la demanda lo requiera.

4.3 PARTES DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.

- Bombas.
- Compresor de aire.
- Tanque hidroneumático.
- Tablero de controles.
- Válvula de pie o válvula de retención para la succión.

4.3.1 BOMBAS.

Las bombas centrífugas transforman la energía mecánica - generalmente de origen eléctrico en energía hidráulica. Sus componentes básicos se representan esquemáticamente en la energía de un motor hace girar el eje de la bomba; solidario con él es el rodete, cuyos alabes aportan la energía cinética al agua que ha llegado al rodete por el tubo de aspiración. La caja espiral transforma parte de la energía cinética en altura piezométrica debido al aumento progresivo de sus secciones y, por tanto, de la pérdida de velocidad inicial del líquido. El agua sale por el tubo de impulsión con una determinada energía, en parte cinética y en parte piezométrica.

Muchos modelos tienen un cuerpo, o corona de alabes fijos, entre el rodete y la caja espiral que aumenta el rendimiento de la bomba.
El motor de la bomba se coloca sobre bancada flotante, a fin de evitar la transmisión de vibraciones y mitigar ruidos.

Las bombas de eje horizontal, flujo radial, de alta presión constituyen los tipos de bombas tradicionalmente utilizadas en los sistemas de alimentación de agua domiciliaria y para la industria así como en los equipos de riego y de extinción de incendios.
Algunos modelos, tienen doble rodete, duplicando así su caudal; en este caso los alabes impulsores van contrapuestos a fin de autocompensar el empuje axial.

ALTURA DE ELEVACIÓN DE UNA BOMBA.
La altura total de elevación de una bomba, en cualquiera de los puntos de su curva Q-H, está formada por la altura de aspiración H(a) y la altura de impulsión H(i), (Véase Figura. 4.2).

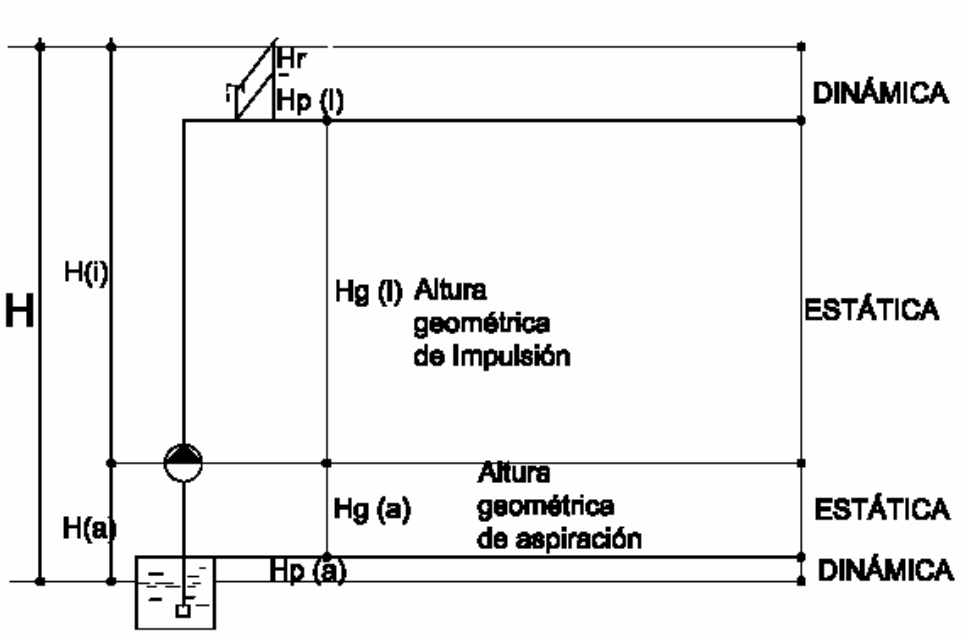


Figura. 4.2 Altura de elevación de una bomba.

Ahora bien ambas tienen una componente estática (E) y una componente dinámica (D). La componente estática del tramo de aspiración es la altura geométrica desde la superficie del líquido hasta el eje de la bomba, mientras que la del tramo de impulsión ha de ser la altura geométrica desde el eje de la bomba hasta el punto de agua más desfavorable. Por su parte la componente dinámica en el tramo de aspiración ha de ser la presión necesaria para vencer el rozamiento del tramo de aspiración Hg(a), mientras que la componente dinámica del tramo de impulsión ha de ser la presión necesaria para vencer el rozamiento del tramo de impulsión Hg(i) más la presión residual Hr exigible al punto de agua más desfavorable.
Llamando Hg a la altura total de elevación y Hp a la presión total necesaria para vencer las perdidas de carga podemos escribir:
$H = Hg + Hp + Hr$

Donde:

Hg es la componente dinámica o cinética
Hp + Hr son componentes estáticas o piezométricas

POTENCIAS Y RENDIMIENTO.

Llamaremos P_1 a la potencia de entrada, o "potencia consumida" por una bomba a su gasto energético en la unidad de tiempo.
Llamaremos P_2 a la potencia de salida o "potencia necesaria" aquella que, para cada posición de la curva Q-H, ha de verificarse en el eje de rotación de la bomba.
Llamaremos P_3 a la "potencia desarrollada" o útil aquella que puede medirse traducida en el movimiento del líquido (caudal y altura).
La relación $P_2/P_1 = r$, se denomina rendimiento del motor, vale entre 0.6 y 0.85[adim], depende de características puramente eléctricas y es constante para cada modelo de bomba.
La relación entre la potencia desarrollada P_3 y la necesaria P_2 en cada posición de la curva Q-H se denomina "rendimiento de la bomba" y se representa por la letra η, ($\eta < 1$). En este parámetro, que es función, básicamente, del caudal que mueve la bomba, se incluye, además, la pérdida de potencia que se produce por rozamiento de los cojinetes, la viscosidad del líquido, formación de torbellinos, pérdidas por ranuras, etc.

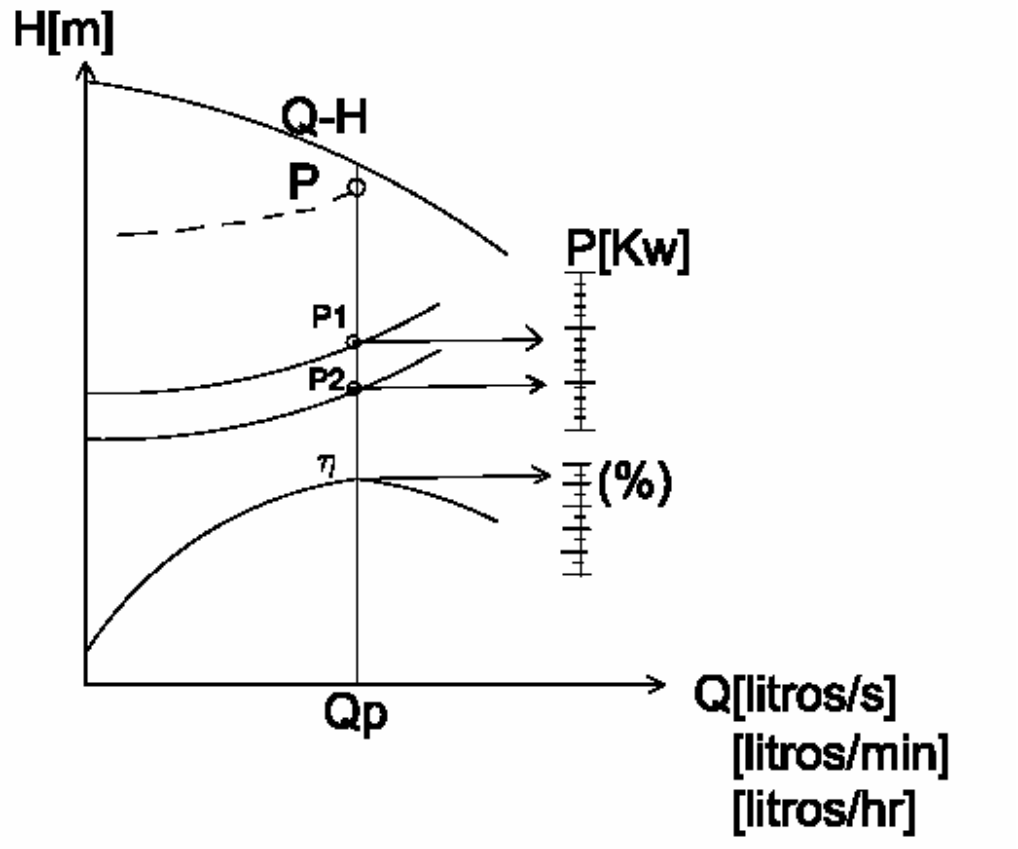


Figura 4.3 Gráfica H (altura) Vs. Q (caudal).

Las características Q-H, P_1, P_2 y de una bomba se representan en un solo diagrama, tal como se indica en la figura. 4.3, sobre el que haremos los siguientes comentarios:
NOTA: P_3 no se representa sino indirectamente a través de la curva Q-H.
Tampoco es frecuente que se represente P_2.
P_2/ P_3 (constante)
$\eta = P_3/ P_2$ (variable)
Las diferentes curvas "se leen" siempre sobre la v ertical Q_p a impulsar, la curva Q-H nos dará la altura, P_1 y P_2 las potencias en KW y η nos dará el rendimiento en porcentaje (%).
Las curvas de las potencias consumida y necesaria crece con el caudal y decrece a partir de un cierto valor del mismo.
El rendimiento h de la bomba es nulo para Q = 0, aumenta con el caudal y decrece a partir de un cierto valor del mismo.
Para entender la diferencia entre potencia desarrollada y la necesaria basta advertir que sí para caudal cero la primera es nula, la potencia necesaria suele ser importante (40-60% de la máxima). Se entiende ello considerando que, en caso contrario la columna de agua revertiría a la altura inicial.

FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS EN SERIE.

Se efectúa la conexión de varias bombas, una a continuación de la otra (conexión en serie) cuando no basta una sola bomba centrífuga para vencer la altura de elevación

deseada. En el funcionamiento en serie se suman las alturas de elevación de cada una de las bombas para el mismo caudal elevado.
Para determinar el punto de funcionamiento B para la elevación común, hay que determinar primero la línea Q-H (caudal v/s altura de elevación) del conjunto. Esta nueva curva se obtiene sumando las alturas de elevación de cada una de las bombas para un mismo caudal. La altura de elevación H_1 de la bomba 1 para el caudal Q1 se transporta sobre la curva de la bomba 2, y lo mismo se hace con H_2, H3, etc.
Los puntos A, C, D, así obtenidos se unen para formar la curva característica común de las bombas 1 y 2. El punto de intersección de la curva característica de la instalación con la nueva línea Q-H es el punto de funcionamiento B de las bombas centrífugas conectadas en serie.

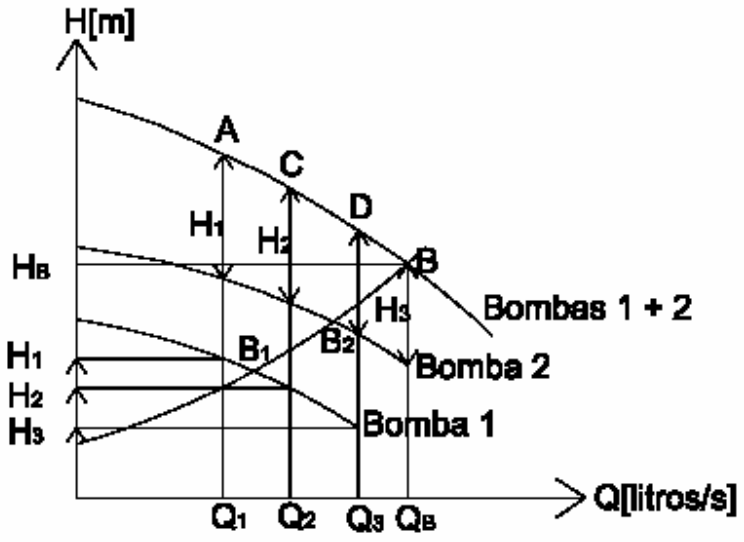


Figura 4.4 Curva de conexión en serie de bombas.

Esta parte es de gran importancia ya que se encarga de suministrar el fluido al interior del tanque de almacenamiento, actúan dependiendo de a la presión de trabajo calibrada en un tablero de control. La presión de trabajo es aquella que se considera suficiente para trasladar el fluido hasta el punto más alejado de la instalación para poder satisfacer la necesidad de ciertos aparatos en donde se ocupa el fluido.

Estas bombas se puede ocupar o interconectar dependiendo de la demanda que se tenga por ejemplo:

a) Por el número de bombas que se tenga.
b) Por la forma en que se ubican en el cabezal de succión y descarga.

Por el número de bombas que se tienen, estas son llamadas SIMPLEX si sólo se cuenta con una bomba, DUPLEX si se cuenta con dos bombas, si en la instalación lo más importante es el gasto y no la presión se recomienda un arreglo en paralelo y es llamada TRIPLEX si cuenta con tres bombas. Cabe destacar que el número de bombas depende de la cantidad de caudal que se requiera para satisfacer la demanda.



Figura 4.5 Bombas en paralelo arreglo duplex.

Por la forma en que se ubican esto quiere decir que se conecten en paralelo o en serie. La conexión de las bombas depende de lo que se requiera presión ó caudal.
Por lo tanto si lo que importa más es la presión y no el caudal se conectan las bombas en serie y si lo que importa más es el caudal y no la presión se hace un arreglo en paralelo.

4.3.2 COMPRESOR DE AIRE.

El compresor suministra aire al tanque del hidroneumático para evitar que el mismo se inunde de agua al momento de accionarse las bombas además que mantiene la presión suficiente en el sistema, a su vez las bombas mantienen el nivel de agua en el tanque para compensar la pérdida por cada operación.

Los compresores funcionan a base de un émbolo que esta acoplado con un cigüeñal mediante una biela, que a su vez le permite convertir un movimiento circular en un movimiento lineal, mismo que aprovecha el embolo del compresor para succionar comprimir y desalojar el aire en dirección al tanque.
El movimiento del compresor en el cigüeñal es por medio de un motor eléctrico que lleva un acoplamiento de polea y banda para poder realizar el trabajo

4.3.3 TANQUE HIDRONEUMÁTICO.

El tanque hidroneumático es en donde se tiene los dos principales componentes que son el agua y el aire, listos para destinarse al abastecimiento del fluido, este generalmente se construye de un acero al carbón y para su fabricación debe cumplir con los requerimientos del código ASME (American National Standards Institute) sección VIII división uno partes A, B, C (recipientes a presión no sometidos a fuego directo), (Véase figura 4.6).
Estos tanques se pueden manejar con diversos porcentajes de aire y agua, dependiendo de las necesidades de la instalación y de la capacidad de los equipos instalados.

Básicamente un tanque hidroneumático consta de las siguientes partes:

- Boquilla con brida para suministro y llenado de agua.
- Electrodos de niveles que permitan el funcionamiento del compresor.

- Cople y nipleria para lectura de presión y señal al tablero del control.
- Cople para entrada del suministro de aire.
- Cople para línea de purga o drene del tanque.
- Mirilla de nivel.
- Cople para válvula de seguridad.
- Válvula de seguridad.
- Base para soportar el cuerpo del tanque.



Figura 4.6 Tanque hidroneumático con diafragma.

Algunos tanque hidroneumático pueden tener dos boquillas una para carga y otra para descarga de agua respectivamente, la fabricación de estos puede ser en forma vertical y horizontal.

4.3.4 TABLERO DE CONTROL.

El tablero de control forma parte importante, en el se tienen las calibraciones de la presión de trabajo y es ahí en donde la señal proveniente del tanque de almacenamiento permite el funcionamiento de las bombas que alimentan el agua para compensar la pérdida por consumo.

Este tablero permite también una operación intercalada de las bombas, es decir, al momento de bajar el nivel de agua en el tanque, opera la primera bomba del sistema, y para un segundo evento de demanda, el tablero se encarga de mandar una señal pero ahora a la segunda bomba posteriormente para un tercer evento se pondrá en operación una tercera bomba y así sucesivamente hasta que cada una de las bombas que se tienen haya trabajado. Después el proceso vuelve a iniciar.

Por otro lado en caso de que al arrancar la primera bomba esta no de abasto, y no sea suficiente para alcanzar el valor de presión calibrado en la red. El tablero lleva un temporizador que manda la señal después de determinado tiempo a la bomba que sigue

en turno para que inicie su operación y de este modo se alimente la cantidad de agua requerida.

En este tablero se encuentran también tanto interruptores como luces indicadoras, ya que sin estas las que dan información de cual bomba esta en funcionamiento además nos señala si estamos trabajando el equipo en forma manual, automático y apagado, (Véase figura 4.7).

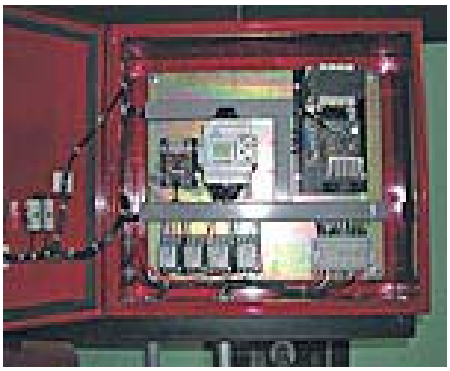


Figura. 4.7 Tablero de control alternador y simultaneador.

4.3.5 VÁLVULA DE PIE O VÁLVULA DE RETENCIÓN PARA LA SUCCIÓN.

Esta válvula consiste de una válvula de retención (check) de operación vertical y una coladera.
Se utiliza cuando la bomba se encuentra instalada arriba del nivel del agua y sirve para mantener la bomba y la tubería de succión llena de agua o por consiguiente cebadas. Es una de las piezas más delicadas del sistema y su selección debe ser cuidadosa, además de estar instalada de forma accesible para poder darle servicio.

4.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.

Una condición ideal de funcionamiento es teniendo un 50% de agua y un 50% de aire en un tanque de almacenamiento, si se tiene un tanque de almacenamiento con una determina cantidad de agua y aire y se empieza a requerir consumo baja la presión empieza a descender hasta llegar al límite inferior en donde se detecta y manda una señal al tablero de control para que entre en operación la primera bomba según el arreglo que se tenga y se recupere tanto el nivel de agua como la presión requerida.
Si se tiene los sistemas duplex o triplex, cuando se tiene una demanda excesivamente alta y la primera bomba no se da abasto entraran en funcionamiento las dos o tres bombas indistintamente o conjuntamente para poder satisfacer la demanda y dejarán de funcionar de la misma forma como entraron en funcionamiento. Es muy extraño este evento en que entren demasiadas bombas para satisfacer la demanda esto ocurre generalmente cuando se encuentra un fuga en la línea, o alguna válvula se haya dejado por error abierta, el propósito de tener varias bombas no es para satisfacer la falta del caudal si no para alargar el tiempo de vida de las mismas, ya que entraran en tiempos diferentes.

Después que empezó a funciona la bomba y se comienza a recuperar el nivel, puede suceder que la cámara de aire a sufrido cambios en el valor de presión y se detecta un disminución de ella que se registra en el tablero de control por medio de la salida de señal. Cuando se suministra agua en el interior del tanque este comprime ligeramente la cama de aire y permite que los electrodos manden la señal de trabajo al compresor y este inicie su funcionamiento, una vez que se ha establecido el cierre del circuito usando como medio conductor el agua.
Cuando se deja de operar cualquier bomba cuando se tiene la presión necesaria, el fluido pierde su movimiento en dirección a la alimentación y en un breve lapso de tiempo sufre un cambio de dirección motivado por la atracción que la fuerza de gravedad ejerce sobre la columna de agua, aún cuando la línea hidráulica este provista de los debidos accesorios que minimizan este efecto. Es precisamente aquí cuando el compresor al estar suministrando aire obliga a descender ligeramente el agua del tanque y asegura que toda la línea aguas arriba del hidroneumático este completamente presurizada, (Véase figura 4.8).

Permitiendo también la apertura del circuito que se había establecido entre los electrodos que al no tener ningún medio que permita el contacto entre ellos deja fuera de operación al compresor. Este proceso se repite cada vez que se tiene un consumo en la red de agua, pero con la debida alternación de las bombas.

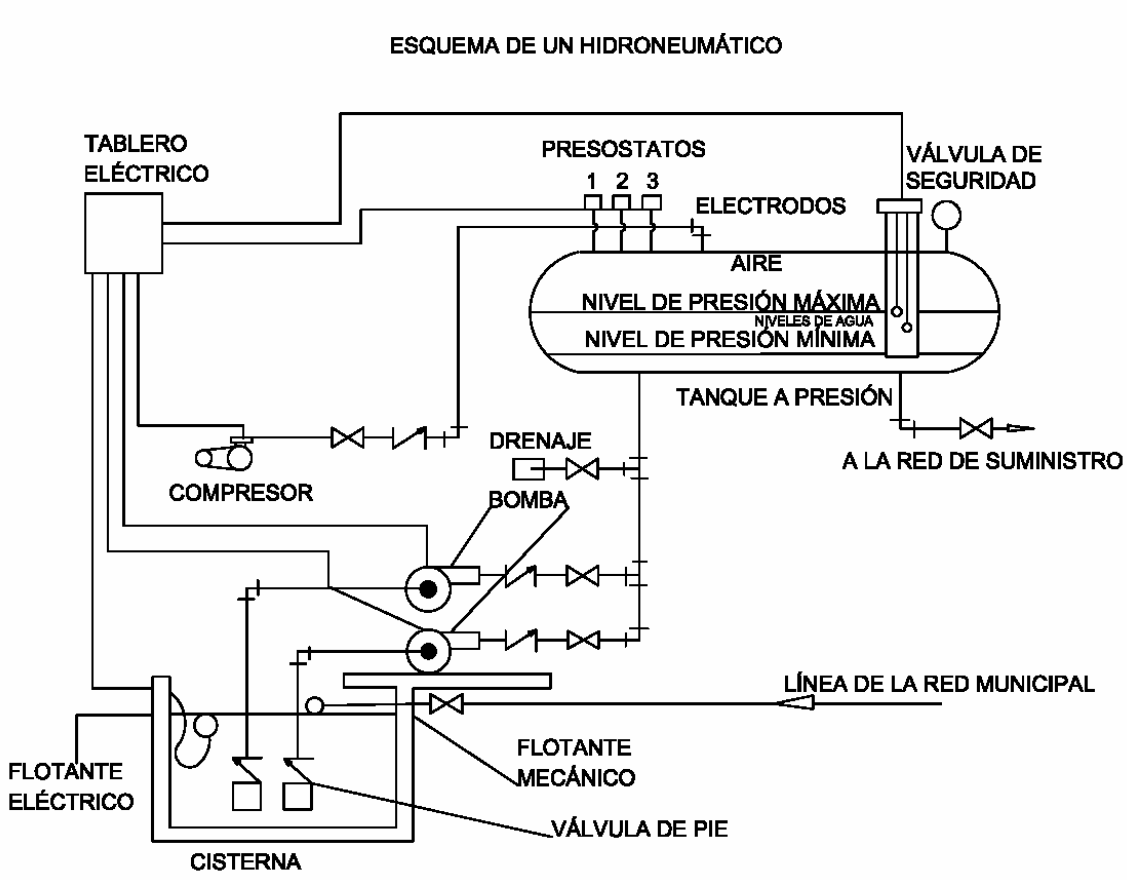


Figura. 4.8 Sistema hidroneumático.

CAPÍTULO 5. TABLERO DE CONTROL PARA UN EQUIPO HIDRONEUMÀTICO DUPLEX.

El tablero de control es una parte fundamental del sistema ya que este procesa las señales de la presión a la cuál se esta trabajando así como las señales provenientes de la cisterna por medio de los electrodos, una vez procesadas estas señales por medio del control electrónico se envía la señal para arrancar las bombas.

5.1 TABLERO DE CONTROL.

Un tablero de control (véase figura 5.1) esta diseñado para automatizar el arranque y paro de las bombas para mantener la presión de la red hidráulica dentro de los rangos previamente establecidos. La operación de las bombas se alterna o simultanea en función de los interruptores de presión instalados en la red. Además de contar con protección de agua en la cisterna para evitar que las bombas trabajen en vacío.
Se controla por un interruptor de presión instalado en el tanque hidroneumático.

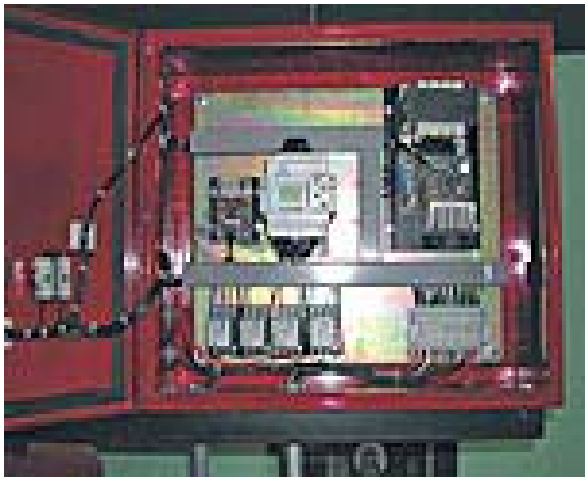


Figura 5.1 Tablero de control, imagen proporcionada por la comercializadora ROM.

Características.

- Protección Termomagnética por bomba.
- Contactor por bomba.
- Gabinete Nema 12.
- Arranque automático fuera y manual por bomba mediante un selector de 3 posiciones.
- Transformador de control para equipos de 440 Volts.
- Indicador luminoso de bomba operando.

El siguiente diagrama de bloques ilustra el funcionamiento sistema hidroneumático duplex.

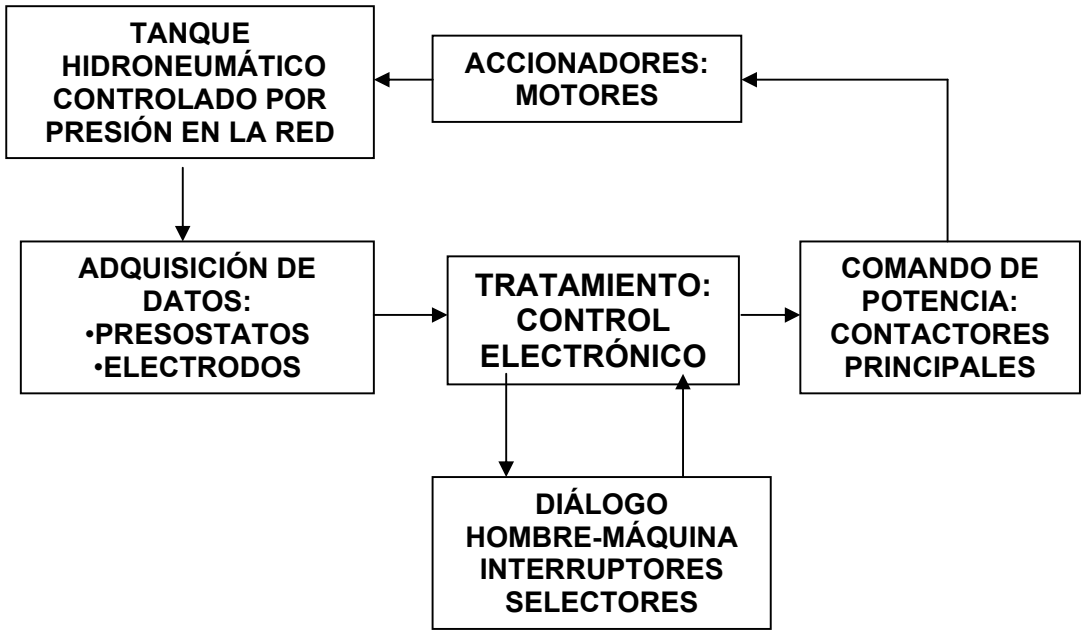


Diagrama 5.1 Funcionamiento de un sistema hidroneumático duplex (diagrama de bloques).

5.1.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL TABLERO.

El tablero de control ofrece las siguientes características.

- **Protección termomagnética por bomba.**

El interruptor termomagnético es un dispositivo de protección contra sobrecorrientes reutilizable. Después de disparo para interrumpir el circuito, puede ser re-inicializado para proteger el circuito otra vez. La protección termomagnética es la tecnología de unidad de disparo predominantemente utilizada en el mercado doméstico. Un bimetal y un electroimán trabajan conjuntamente para proporcionar protección contra sobrecarga y cortocircuito (véase figura 5.2).

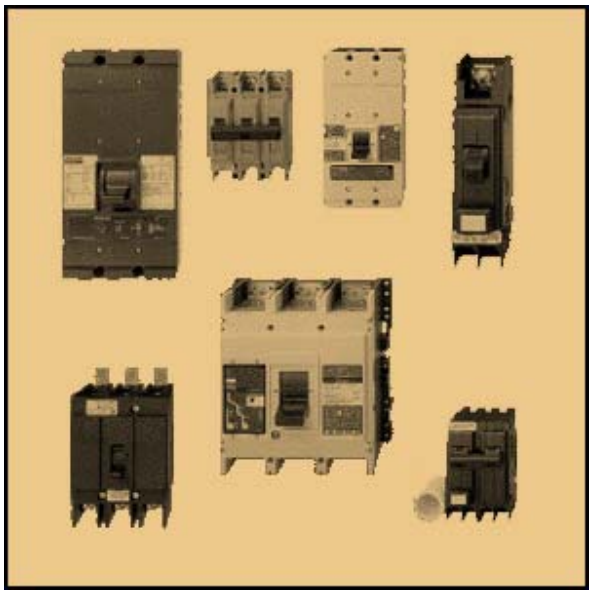


Figura 5.2 Interruptores termomagnéticos.

- **Arrancador por bomba.**

Los arrancadores son dispositivos que controlan el uso de la energía eléctrica suministrada a los equipos, habitualmente un motor. Como su nombre lo indica, los arrancadores "arrancan" motores. Pueden también pararlos, invertirlos, acelerarlos y protegerlos. Los arrancadores se elaboran de dos bloques, Contactores y Protección contra sobrecargas:
Los contactores controlan la corriente eléctrica hacia el motor. Su función es establecer e interrumpir repetidamente un circuito de suministro de energía eléctrica (véase figura 5.3).
La Protección contra Sobrecargas protege los motores para evitar que consuman una cantidad excesiva de corriente eléctrica y se sobrecarguen, "quemándose" literalmente.

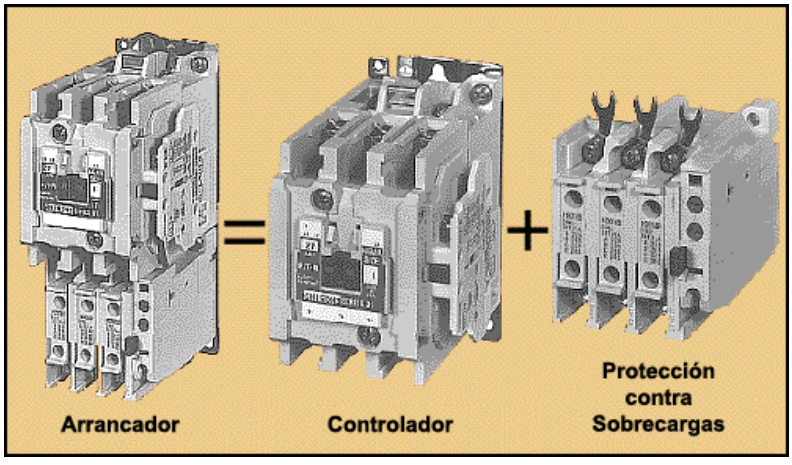


Figura 5.3 Arrancador.

- **Gabinete metálico.**

De acuerdo a los requerimientos más comunes se tienen los siguientes: NEMA 1, Gabinetes típicamente usados para resguardo de controles y terminales eléctricas de cualquier tipo de objeto. Diseñados para uso como gabinetes de control y medición en áreas que no requieren hermeticidad al aceite y polvo. NEMA 12, Estos gabinetes son los mas frecuentemente usados en aplicaciones bajo techo de sistemas de control, automatización y variación electrónica de velocidad. Diseñados para prevenir el ingreso de suciedad, polvo, salpicaduras de agua y aceite (véase figura 5.4).

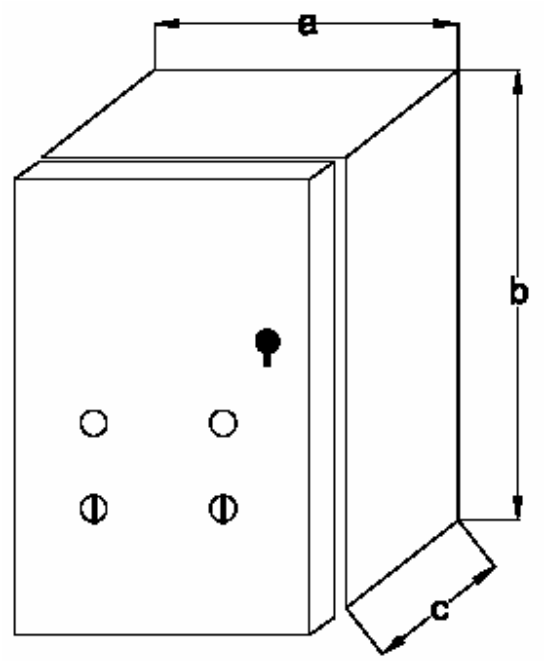


Figura 5.4 Gabinete metálico.

La siguiente tabla contiene las dimensiones comerciales de la marca RACOM para tableros hidroneumáticos duplex a 220 [V].

HP	a [cm]	b [cm]	c [cm]
1 – 7.5	30	40	20
10 -30	40	52	20

- **Arranque automático, manual y fuera mediante selector de tres posiciones para cada bomba.**

Los selectores son aquellos aparatos que actúan accionados por el operario para establecer el diálogo hombre máquina con los elementos de la etapa de tratamiento del automatismo y en algunos casos con los elementos de comando de potencia. Los selectores se usan cuando es necesario elegir un determinado tipo de maniobra y los hay de dos o más posiciones (véase figura 5.5).



Figura 5.5 Selector de tres posiciones.

- **Indicadores luminosos de bomba y alarma de cisterna vacía.**

Los indicadores luminosos nos sirven para indicar en nuestro sistema que bomba esta funcionando, en nuestro caso práctico se ocuparon LED´S de color verde para saber que bomba esta en funcionamiento; estas sean bomba 1 o bomba 2 y un Led de color rojo (ALARMA) para saber cuando la cisterna esta vacía.

- **Fusible de protección.**

Elemento destinado específicamente para proteger contra cortocircuito al control electrónico.

- **Interruptor de presión para alternado y para simultaneado de las bombas.**

Los presostatos son aparatos que abren o cierran circuitos eléctricos al detectar cambios de presión en sistemas hidráulicos o neumáticos (véase figura 5.6).
Los hay de membrana y sistema tubular:
Los de membrana actúan por variaciones de presión en un circuito hidráulico o neumático, transmitiéndose la deformación que se produce en la membrana a un pistón que desplaza los contactos eléctricos que tiene el presostato.
Los de sistema tubular funcionan gracias a un tubo ondulado (a manera de fuelle metálico) que maniobra los contactos eléctricos del presostato de acuerdo con las varaciones de presión.
Los presostatos se instalan normalmente en la tubería de conducción de aire o líquido, para que se accionen sus contactos, al abrir una llave que varie la presión de ellos.



Figura 5.6 Interruptor de presión.

- **Transformador.**

Los transformadores se construyen tanto monofásicos como trifásicos. Hasta cierto punto, el término monofásico indica que dos líneas de potencia conforman una fuente de entrada. Esto significa que una transformación de tensión se logra con un devanado primario y un devanado secundario (véase figura 5.7).

Puesto que la compañía de electricidad distribuye la energía generada en tres líneas como corriente trifásica, transformadores trifásicos con tres devanados son partes esenciales del sistema de suministro de energía eléctrica.

Los tres devanados del Transformador Trifásico están conectados en la secuencia apropiada para corresponder a la energía entrante de la empresa proveedora de electricidad.

Núcleo y Devanados de Transformador Trifásico.

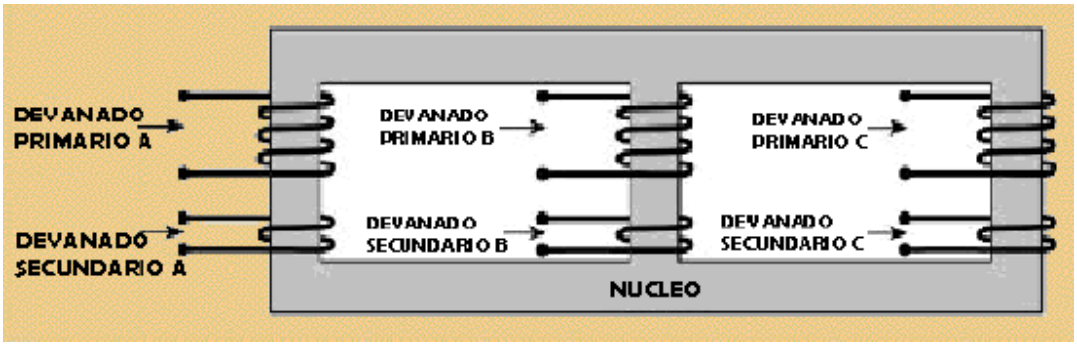


Figura 5.7 El transformador.

- **Control electrónico**

Tiene como finalidad controlar en forma automática la operación de un sistema hidroneumático de tanque precargado ó de membrana para mantener la presión de la red hidráulica dentro de los rangos establecidos en el cálculo de las condiciones de operación del sistema, es decir, los parámetros de gasto y carga.
Para mantener la presión constante en el sistema dentro de los rangos establecidos, el control electrónico de estado sólido permite, de acuerdo a las entradas como son la presión de la red y el nivel de agua en la cisterna, arrancar y parar en forma alternada y/o simultaneada las bombas, así como activar las alarmas visuales y sonoras.

5.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL ELECTRÓNICO.

El control está construido a base de transistores y componentes discretos, para aplicaciones de mas de dos bombas en el sistema se recomienda un control construido en base a un microprocesador.

Cumple con los requerimientos típicos de automatización del sistema.
Existe un retardo variable de tiempo para evitar arranque intermitentes y golpe de ariete.

Datos técnicos:

Gabinete de plástico color gris.
Alimentación de 127 VCA.
El control cuenta con dos fuentes de voltaje de CD, una fuente regulada de 5VCD y una fuente de 12 VCD. El alternado y simultaneado de las bombas está basado en un FLIP-FLOP, en relevadores y transistores de señal pequeña y de propósito general. El circuito de protección para cisterna vacía esta basado en un transistor MOSFET canal-N y para los arrancadores de las bombas se utiliza relevadores 12VCD y 10A.
Led (diodo emisor de luz) indicadores de:
Bomba 1 en servicio.
Bomba 2 en servicio.
Cisterna vacía.
Salida común y dos entradas para contactos secos de presostatos.
Salida y regreso de electrodos para cisterna.
Dos salidas con relevador de contacto NA y un común para controlar las bobinas de los contactores.

Operación:

El control protege a las bombas de trabajar en vacío por falta de agua en la cisterna por medio de electrodos.

El control alterna y simultanea las bombas para mantener la presión dentro de los rangos establecidos en función de las entradas activadas.

Si el presostato de alternado detecta baja presión, el control opera en forma alternada una bomba a la vez por cada ciclo de trabajo.

Si el presostato de simultanear dos bombas detecta baja presión, el control manda operar en forma simultánea dos bombas.

El control cuenta con un retardo al paro de 2 a 20 segundos cuando se detecta la presión normal, para evitar arranques y paros frecuentes de las bombas.

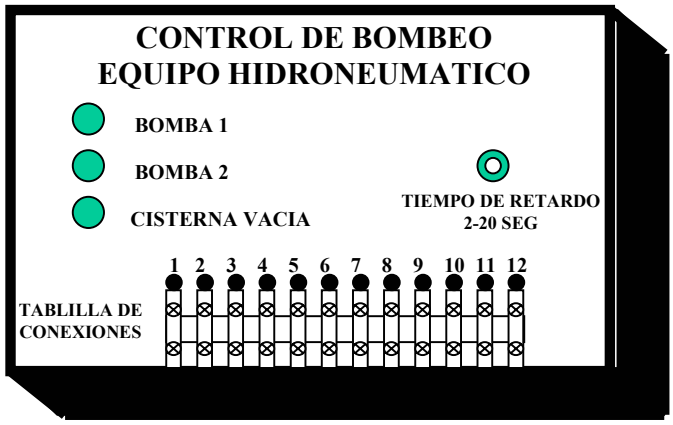


Figura 5.8 Control electrónico.

Descripción de operación y funcionamiento general:

La tablilla de conexión del control cuenta con las siguientes entradas y salidas:

1. VCA. Entrada.
2. VCA. Entrada.
3. 12 VCD. Salida.
4. ALTERNAR. Entrada.
5. SIMULTANEAR. Entrada.
6. ELECTRODO 1. Salida.
7. ELECTRODO 2. Entrada.
8. SIRENA +. Salida.
9. SIRENA –. Salida.
10. BOBINA 1. Salida.
11. BOBINA 2. Salida.
12. LINEA. Entrada.

Para generar el alternado y simultaneado de las bombas existen las siguientes presiones de operación:

- P0: presión actual del sistema.
- P1: presión normal de operación.

- P2: presión nivel bajo 1.
- P3: presión nivel bajo2.

Donde: P1>P2>P3

El Diagrama de flujo 5.2 muestra la operación del control:

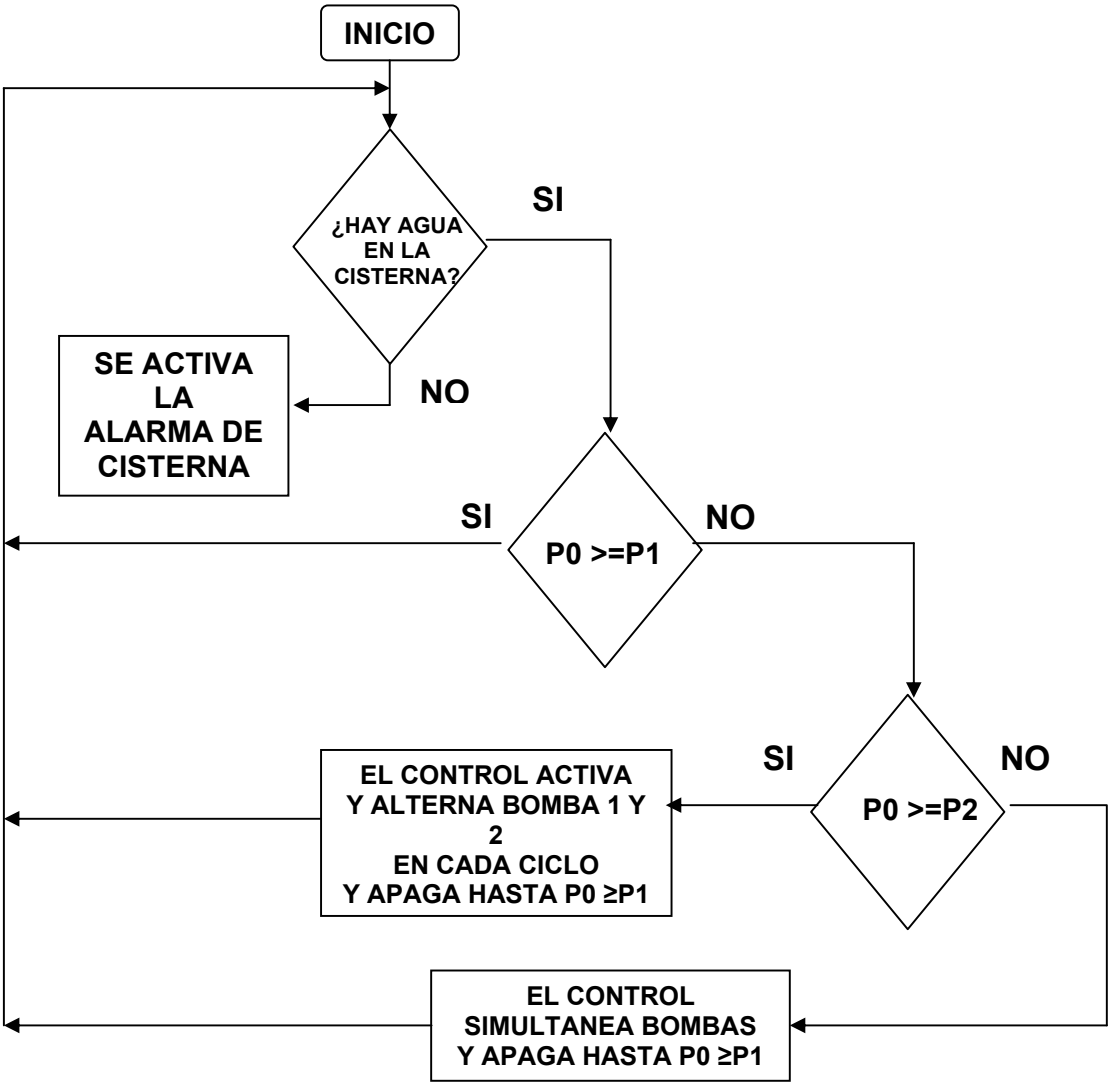


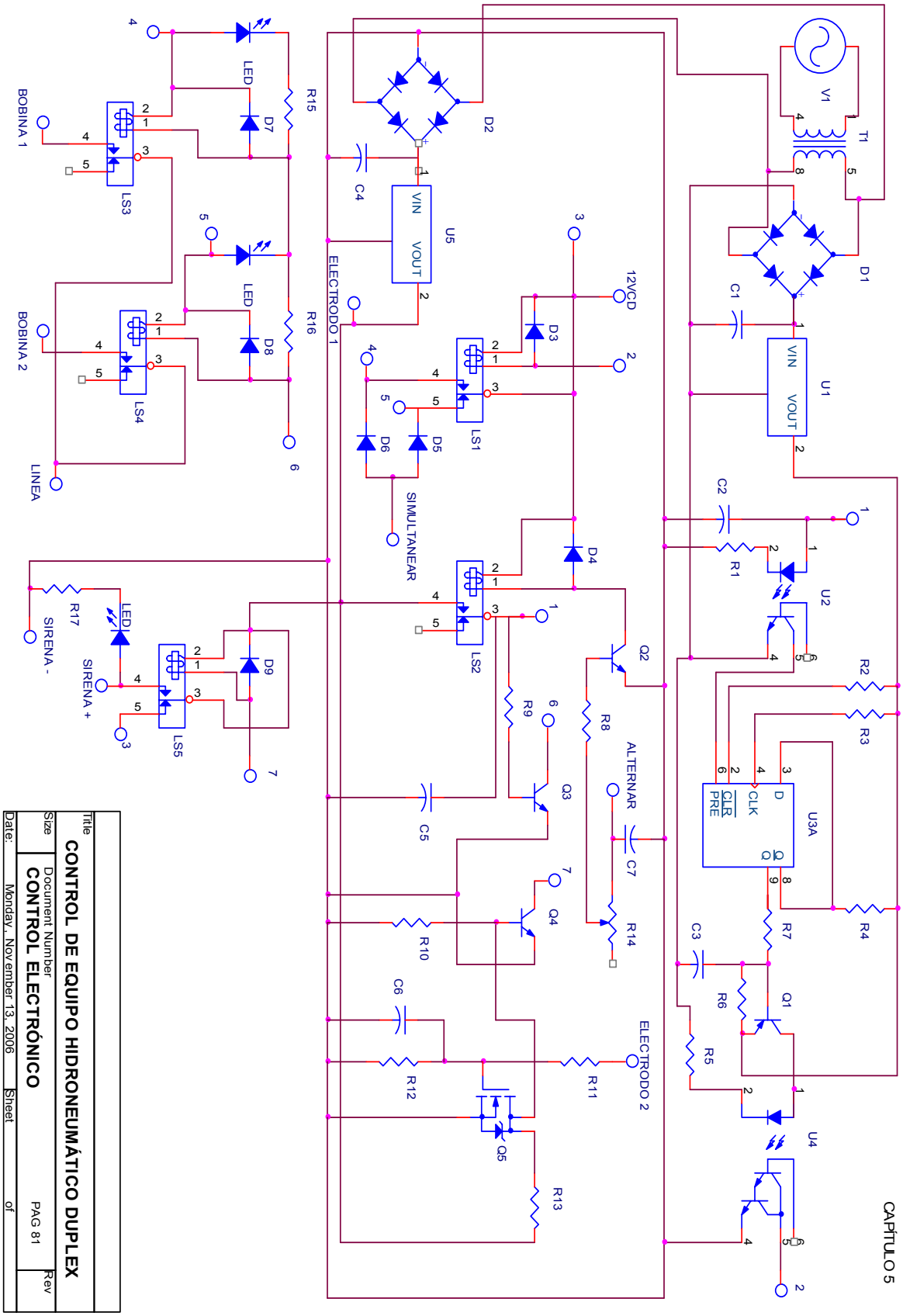
Diagrama 5.2 Operación del control.

El control cuenta con una protección para la cisterna y evita que las bombas trabajen en vacío esta protección se activa cuando no existe el nivel de agua necesario en la cisterna. El circuito de protección esta basado en un transistor MOSFET canal-N y trabaja de la siguiente forma: el ELECTRODO 1 tiene una señal de 12VCD que es captada a través del agua en la terminal ELECTRODO 2, cuando no existe regreso de voltaje debido a la ausencia de agua mediante el transistor MOSFET se polariza el transistor Q4 a tierra y se energiza la bobina del relevador LS5 cuyo contacto común se conecta a la fuente de 12VCD y el contacto normalmente cerrado se conecta a las bobinas de los relevadores de control de alternado y simuntaneado LS1 Y LS2 y de esta forma, cuando LS5 cambia de estado impide que LS1 y LS2 trabajen y al mismo tiempo, al contacto normalmente abierto de LS5 se conecta un Led (diodo emisor de luz) y una alarma sonora (sirena) que indican la ausencia de agua en la cisterna.

Considerando que existe agua en la cisterna, y la demanda de agua en la red hace que la presión del tanque hidroneumático se decremente hasta que P0≥P2 actúa el presostato de alternado y en la entrada de ALTERNAR del control electrónico hay una señal de 12VCD que polariza el transistor Q2 a tierra y permite que el relevador LS2 se active esto quiere decir que una entrada de la bobina se conecta a 12VCD y la otra a tierra cuando se polariza Q2 permitiendo así que en el nodo 1 se tenga una señal de 12VCD que a través del componente U3 optoacoplador 4N25 cambie de estado al FLIP-FLOP y mediante el optoacoplador U4 4N30, que cuenta con una configuración darlington que proporciona una ganancia de corriente la cual cierra la bobina del relevador LS1 cuyo contacto común se conecta a 12VCD y los contactos normalmente abierto y normalmente cerrado van conectados y energizan a las bobinas de LS3 y LS4 (bobina 1 y bobina 2 respectivamente) que controlan las bobinas de los arrancadores de las bombas (bomba 1 y bomba 2), y de esta forma se realiza el proceso de alternado entre bomba 1 y bomba 2 cada vez que se presente baja presión.

Adicionalmente, existe otra conexión en el contacto común de LS2 que polariza al transistor Q3 y a través del nodo 6 a tierra permitiendo que las bobinas de LS3 y LS4 (bobina 1 y bobina 2) cierren cuando exista voltaje 12VCD en el nodo 4 y/o nodo 5

Si la presión en la red sigue bajando, el presostato de simultanear actúa y en la entrada SIMULTANEAR hay una señal de 12VCD que energiza directamente las bobinas de los relevadores LS3 y LS4 a través de los nodos 4 y 5, como ALTERNAR tiene 12VCD, el Transistor Q3 está polarizado y por lo tanto el nodo 6 cuenta con la señal de tierra ocasionando que ambas bombas arranquen, como se puede observar en el siguiente diagrama electrónico del control a continuación.



Title	CONTROL DE EQUIPO HIDRONEUMÁTICO DUPLEX	
Size	Document Number CONTROL ELECTRÓNICO	Rev PAG 81
Date: Monday, November 13, 2006	Sheet of	

LISTA DE COMPONENTES		
ELEMENTO	**DESRIPCIÓN**	**VALOR**
V1	FUENTE DE VOLTAJE	127 VCA, 60HZ
T1	TRANSFORMADOR	127 : 16 VCA
D1, D2	PUENTE RECTIFICADOR	2W02M
D3,D4,D5,D6,D7,D8,D9	DIODO	4148
C1,C4	CAPACITOR ELECTROLÍTICO	1000 uf
C2	CAPACITOR ELECTROLÍTICO	1uf
C3	CAPACITOR ELECTROLÍTICO	10uf
C5,C6	CAPACITOR DE TANTÁLIO	0.1uf
C7	CAPACITOR ELECTROLÍTICO	100uf
U1	REGULADOR DE VOLTAJE	L7805
U2	OPTOACOPLADOR	4N25
U3A	FLIP-FLOP	74LS74
U4	OPTOACOPLADOR	4N30
U5	REGULADOR DE VOLTAJE	L7812CV
R1,R15,R16,R17	RESISTENCIA	1K
R2,R3,R4,R5,R6,R9,R10	RESISTENCIA	10K
R7	RESISTENCIA	820
R8,R11	RESISTENCIA	2.2K
R12,R13	RESISTENCIA	820K
R14	POTENCIOMETRO	100K
Q1	TRANSISTOR PNP	PN2907
Q2,Q3,Q4	TRANSISTOR NPN	PN2222A
Q5	TRANSISTOR MOSFET CANAL-N	MTP3055V
LS1,LS2	RELEVADOR	THD-1201L
LS3,LS4,LS5	RELEVADOR	RAS 12-10

CLEMA DE CONEXIONES	
1	VCA
2	VCA
3	12 VCD
4	ALTERNAR
5	SIMULTANEAR
6	ELECTRODO 1
7	ELECTRODO 2
8	SIRENA +
9	SIRENA -
10	BOBINA 1
11	BOBINA 2
12	LÍNEA

5.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO.

Un diagrama eléctrico es la representación gráfica de un circuito o instalación eléctrica, en la que van indicadas las relaciones mutuas que existen entre los diferentes elementos, así como los sistemas que los interconectan. El diagrama debe ser realizado en forma tal que pueda ser interpretado por cualquier técnico, por lo que es necesario que se indiquen claramente los circuitos de que esta compuesto, así como su ciclo de funcionamiento.

El tablero cuenta con una tablilla de conexiones a la cual llega la acometida y se conecta a los arrancadores de las bombas para que a través de ellos se energizan y protejan las bombas centrifugas. Cuenta con un transformador de 127/16[VCA] que sirve para energizar el control electrónico y un fusible de 1[A] que protege al mismo. El valor de presión del sistema se detecta a través de dos presostatos (uno para alternar y otro para simultanear) que envían una señal al control electrónico la cual es procesada por el control electrónico y que a su vez envía voltaje a las bobinas de los arrancadores para la operación de las bombas. Cuenta con una sirena y una luz indicadora (LED color rojo) para la cisterna que evita el funcionamiento de las bombas en vacío. Para seleccionar una de las tres formas de operación del tablero (automático, manual y fuera de servicio) se cuenta con un selector de tres posiciones para cada bomba.

En los siguientes diagramas se indica la situación física de cada uno de los elementos que componen el equipo de control con relación a los demás componentes. Se emplean una serie de figuras geométricas con una referencia de ellas para identificar los elementos que conforman el tablero.

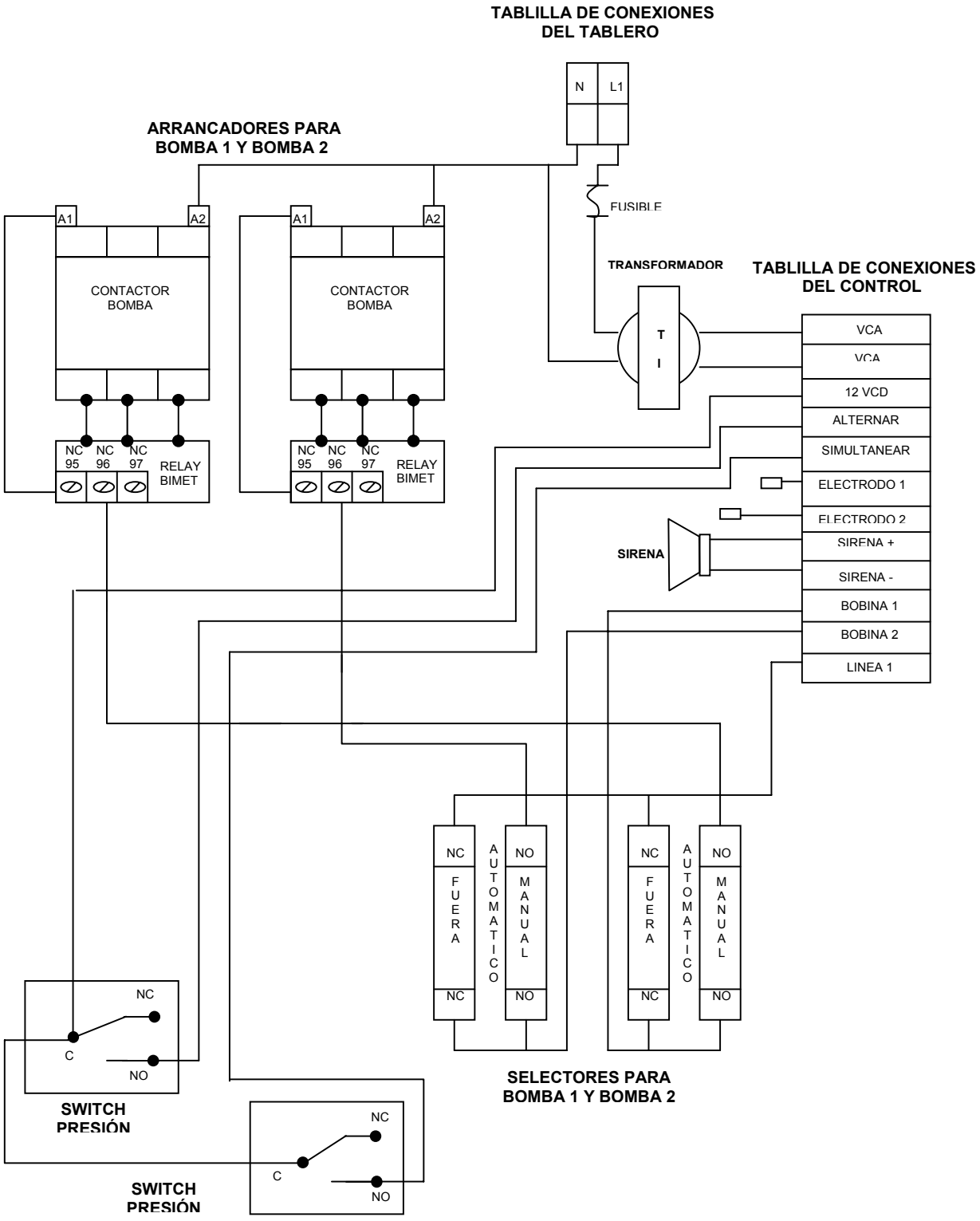
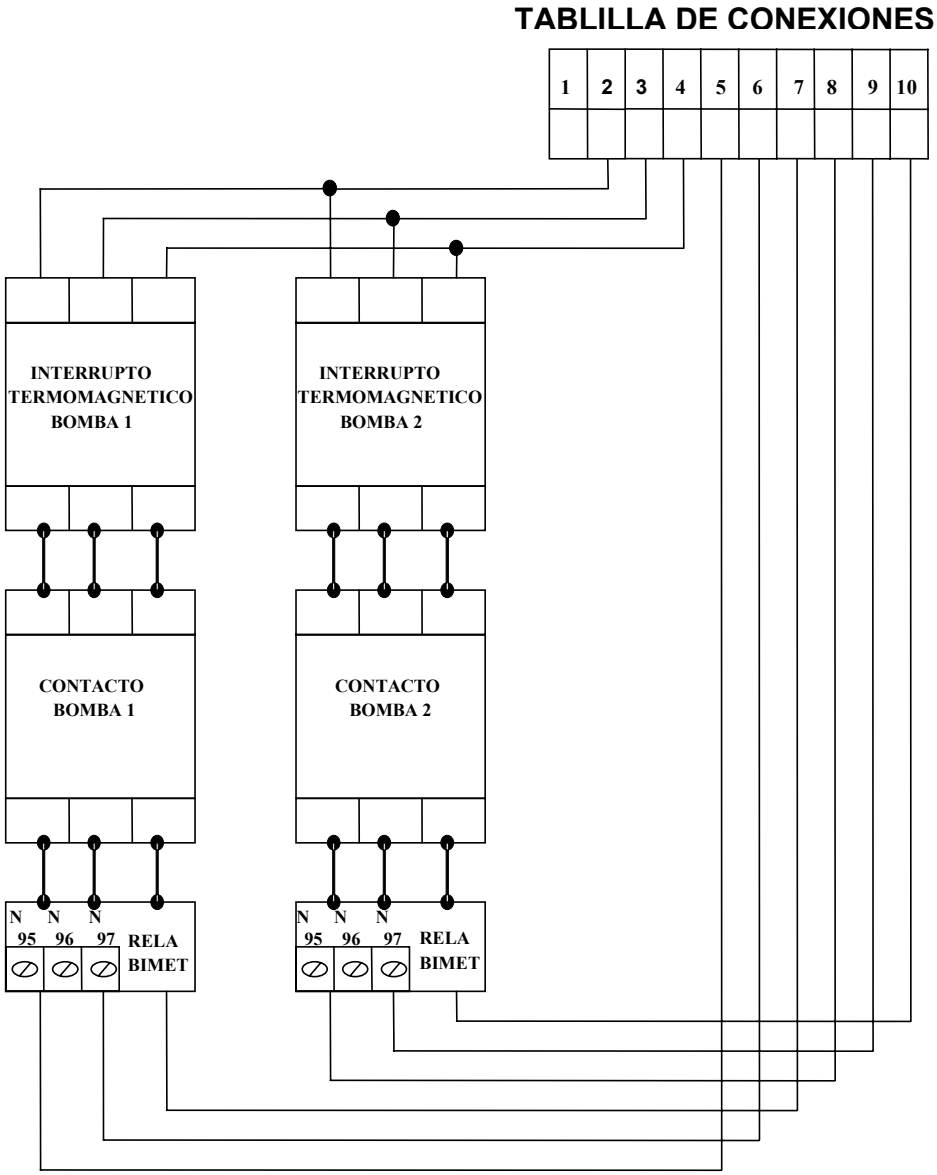


Diagrama 5.3 Tablero eléctrico.



TABLILLA DE CONEXIONES

1. NEUTRO
2. FASE 1
3. FASE 2
4. FASE 3
5. FASE 1 BOMBA 1
6. FASE 2 BOMBA 1
7. FASE 3 BOMBA 1
8. FASE 1 BOMBA 2
9. FASE 2 BOMBA 2
10. FASE 3 BOMBA 2

Diagrama 5.4 Diagrama de fuerza de tablero hidroneumático

CAPITULO 6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO Y TANQUE ELEVADO.

Un sistema de almacenamiento por gravedad ofrece varias ventajas en comparación con el sistema hidroneumático.

- Mayor flexibilidad para satisfacer las demandas máximas con menor variación de presión.
- Almacenamiento en caso de control de incendios
- Almacenamiento de uno a cinco días para satisfacer la demanda de agua
- Uso de pozos de baja capacidad (pozos no requeridos para satisfacer la demanda máxima del sistema)
- Dimensionamiento adecuado de las bombas para aprovechar los descuentos en las tarifas eléctricas (capacidad de bombeo durante las horas de menor demanda y costo)
- Reducción del ciclo de encendido y apagado de las bombas.

6.1 VENTAJAS DE LOS TANQUES ELEVADOS.

Las ventajas que se enumeran, son de este sistema, en comparación con los sistemas hidroneumáticos.

Es el más simple que cualquiera de los otros dos sistemas.

- Requiere menos componentes de control y operación del sistema hidráulico.
- Se puede distribuir el agua en la red, a pesar de fallas eléctricas, siempre y cuando el tanque esté lleno.
- Los costos de operación son menores que para los otros dos sistemas.
- El rango de operación del equipo de bombeo, que eleva el agua, es siempre bajo las mismas condiciones, por lo que puede ser seleccionado en un rango de operación eficiente.
- Los equipos de bombeo son de menor capacidad que los que utilizan los otros dos sistemas.
- Las fluctuaciones de presión son mínimas.
- El mantenimiento es mínimo.

6.2 DESVENTAJAS DE LOS TANQUES ELEVADOS.

Las principales desventajas de los tanques son:

- El agua está expuesta a la contaminación.
- La estructura del edificio tiene solicitaciones adicionales debido al peso adicional del tanque y del agua.

- En los pisos más elevados de los edificios, esto es, los más cercanos al tanque elevado, la presión disponible generalmente es inadecuada.
- Se tienen inundaciones en la azotea, cuando se tienen fallas en los sistemas de paro de los equipos de bombeo.
- El agua y las tuberías de alimentación de la red está expuesta al congelamiento en climas fríos.

En algunos casos, para los pisos más elevados de los edificios, es recomendable utilizar sistemas hidroneumáticos si la presión proporcionada por el tanque elevado no es suficiente.

6.3 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS.

Las principales ventajas de los sistemas hidroneumáticos son las siguientes:

- El tanque presurizado puede amortiguar problemas de golpe de ariete.
- Puede ser ubicado en cualquier sitio del edificio, sin afectar su operación.
- No requieren estructuras especiales para su colocación.
- La presión de trabajo requerida por cada mueble es constante en todo momento.
- El material requerido en una red hidráulica es menor.

6.4 DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS.

Las desventajas de dichos sistemas son los siguientes:

- Tienen mayor costo inicial.
- El tanque tiene que operar de manera completa, aún en períodos de poca demanda, puesto que no puede ser seccionado o dividido.
- Los tanques tienen grandes dimensiones, debido a que el porcentaje de agua utilizable, para suministrar a la red de distribución, es reducido.
- Requiere mayor espacio para su instalación.

Existen en el mercado, sistemas de elevación de presión similares a los hidroneumáticos, que se conocen como hidrocell (véase figura 6.1), y que trabajan de manera parecida solamente que, en lugar de aprovechar la elasticidad del aire que se encuentra en el tanque presurizado, se instala en el interior del mismo un medio elástico que se expande durante el tiempo que trabaja el equipo de bombeo, hasta llegar a un valor máximo de presión, que detiene el equipo de bombeo; una vez que el equipo de bombeo se detiene y existen solicitaciones de presión por parte del sistema, el medio elástico que se encuentra en el interior del tanque, y que debido a la presión del agua se ha expandido, se comprime, por lo que proporciona la energía requerida, elevando la presión de la red de distribución. Un inconveniente de este tipo de sistema, es la poca capacidad del medio elástico, por lo que se tienen arranques y paros frecuentes del equipo de bombeo.

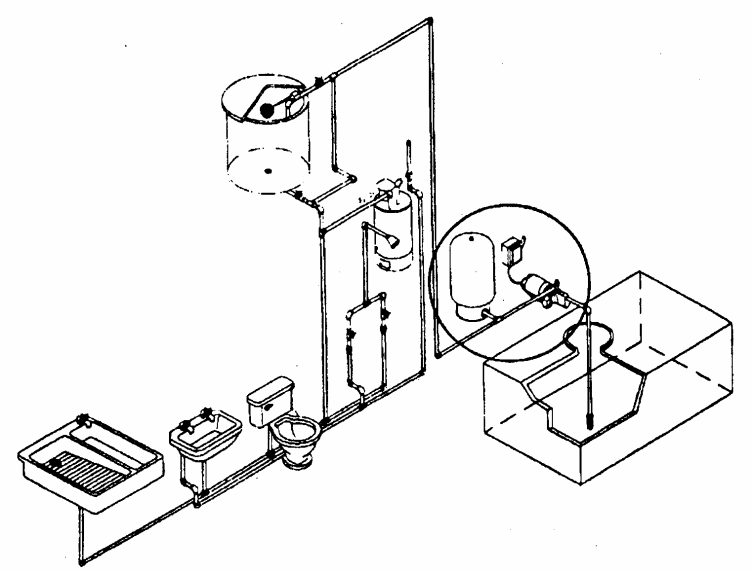


Figura 6.1 Arreglo común de hidrocell.

Estos sistemas son adecuados para instalaciones pequeñas y medianas, y tienen como principales ventajas su economía y facilidad de operación, al compararlas con un sistema hidroneumático.

CAPÍTULO 7. CASO PRÁCTICO.

En este capítulo se trata de recopilar todos los datos teóricos para poder implementarlos en la práctica, se requiere satisfacer las necesidades de suministro de agua fría en una unidad habitacional horizontal, ubicada en el estado de México, la cual consta de 30 departamentos tipo duplex residencial, la cual se encuentra diseñada para una superficie de 5,703.664[m^2] (véase plano 1).

Para satisfacer la dotación de agua potable fría de este complejo habitacional se consideran 4 personas por departamento, la cantidad de agua necesaria para satisfacer esta demanda al menos dos días es necesario diseñar una cisterna de almacenamiento en donde se colocara este vital líquido.

CÁLCULO DE LA CISTERNA.

Ante el problema real y potencial de la disminución en las cantidades de agua disponibles para uso humano, la reducción en la presión del agua y en el tiempo que debe de estar disponible durante el día, hace que el uso de los tinacos pueda resultar insuficiente, en estos casos es recomendable contar con un sistema de almacenamiento de agua que se construye normalmente de concreto, debajo del nivel del suelo con una entrada de agujero de hombre que debe quedar sobre la superficie del suelo para evitar que se contamine.

a) Se determina el número de personas por departamento.

$\Rightarrow$ (30 [departamentos])(4 [personas/departamentos]) = 120 [personas].

b) Se calcula el volumen total de agua por almacenar, considerando además de la dotación una cantidad en litros igual o ligeramente menor como reserva por persona, previendo en estos casos fallas en el sistema de abastecimiento.

c) Con los valores obtenidos en los dos puntos anteriores y de acuerdo con las características del terreno, se diseña la cisterna definiendo sus valores en cuanto a profundidad, largo y ancho.
Suponemos que es 200 [Litros/Hab/Día] (ref. dato obtenido de el libro manual de instalaciones hidráulicas, sanitarias, aire, gas y vapor del Ing. Sergio Zepeda C. pag. 21).

CONSUMO DESGLOSADO DE UNA PERSONA POR DÍA
Agua para beber……..…2 [litros/día].
Aseo personal……15 [litros/día].
Limpieza y cocina……..60 [litros/día].
Ducha……..40 [litros/día].
Inodoro. .....50 [litros/día].
Lavado de ropa…….33 [litros/día].
TOTAL…….200 [litros/día].

Se tiene que:

200 [LITROS/HAB/DÍA] * 120 [PERSONAS] = 24 000 [LITROS/HAB/DÍA]

El volumen total requerido se calcula como:

Vr = Volumen requerido para la cisterna = DOTACIÓN TOTAL + RESERVA

DOTACIÓN TOTAL=(NUM. DE PERSONAS)(DOTACIÓN)=120*200= 24000[litros]

LA RESERVA ES = DOTACIÓN TOTAL = 24000 [litros].

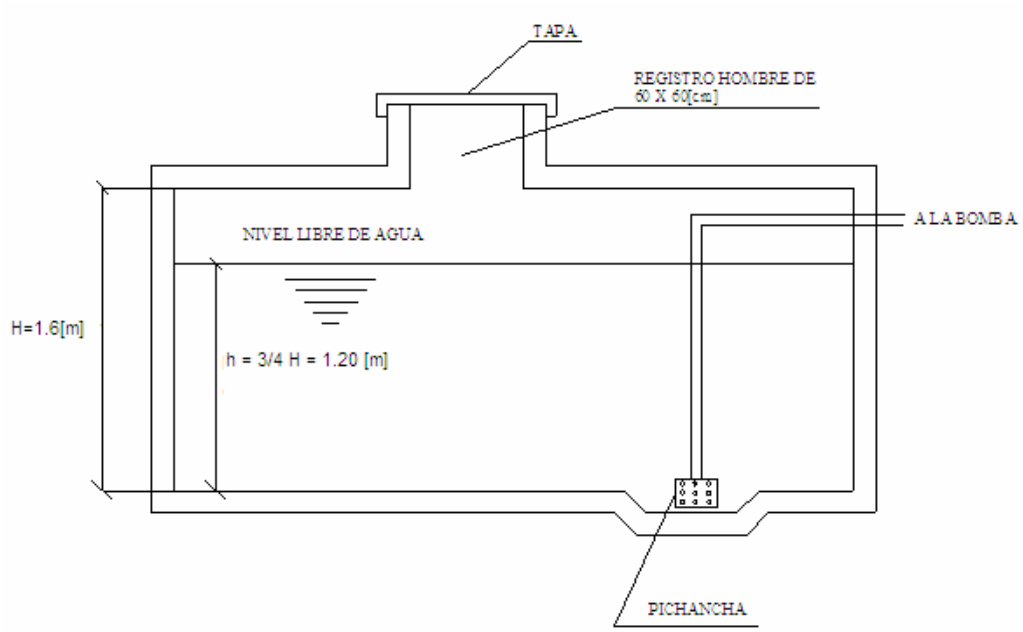
El volumen requerido para la cisterna es 24000 + 24000=48000 = 48 [m^3]

V = 48,000 litros = 48 [m^3]

Se diseña la cisterna, indicando las medidas interiores y tomando en consideración piso y muros de concreto con doble armado de 20[cm] de espesor, sin olvidar que para cisternas de poco volumen y como consecuencia de profundidades que no rebasen los 2[m], no sean menores de 1.6 [m] de la altura total interior, la altura del agua debe ocupar como máximo ¾ partes cuando se trabaja con valores específicos.

Otra solución es calcular la cisterna de acuerdo al volumen total requerido y enterrarla más para dejar de 40 a 50[cm] entre el nivel libre de agua y la parte baja de la losa que la cubre, para la correcta operación y manejo de los controles.

d) Considerando que no se tiene problema con la dureza del terreno ni con los niveles freáticos y tomando en cuenta el reducido volumen requerido, se dará para este caso un valor a la altura total interior de la cisterna de H = 1.6 m].



$$h = \tfrac{3}{4} H = 1.2[m].$$

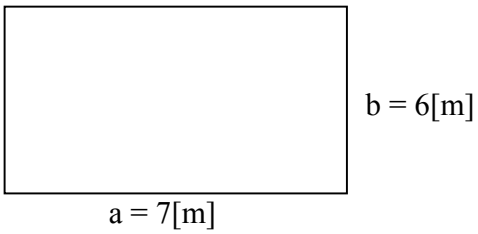
Si V = 48[m^3] y la altura máxima del agua de la cisterna h = 1.2[m] al dividir el volumen V entre la altura h, se obtiene el área de la base de la cisterna, es decir:

$$A = V/h = 48[m^3]/1.2[m] = 40[m^2].$$

Como se desea una cisterna con base rectangular, para facilitar el cálculo puede asignarse a lo ancho 7[m] consecuentemente se tiene:

$$\text{Área} = \text{ancho x largo} = a \times b \quad \Rightarrow \quad b = A/a = 40[m^2]/7[m] = 5.7[m].$$

Para facilidad de construcción el valor de b se redondea a 6 [m].
Por lo tanto el área de la base de la cisterna es:



El cárcamo no se considera en el cálculo, como consecuencia de sus reducidas dimensiones.
NOTA: Todas las esquinas interiores de las cisternas, deben ser redondeadas para evitar la fácil formación de colonias de bacterias y para una mejor limpieza.

Distancias mínimas recomendables:

a) Al lindero más próximo debe ser 1[m].
b) Al albañal 3[m].
c) A las bajadas de aguas negras 3[m] cuya distancia puede reducirse hasta 60[cm] cuando la evacuación de las mismas es en tubo de fierro fundido, conocido también como fierro centrifugado (véase plano 1.1).

Se dibuja tentativamente la red hidráulica donde se muestra las alturas en relación a un plano horizontal de referencia que esta dibujado en la parte más baja del edificio (véase plano 1.2), todas las tuberías se distribuyen formando circuitos por todo el edificio ocultas por paredes y muros.

Se procede a determinar el número de unidades de muebles que conducirá cada sección partiendo del punto más alejado de la red y acumulando las unidades de mueble en el sentido inverso al recorrido del agua hasta llegar al origen de la alimentación.
Los muebles instalados en un departamento son:

a) Planta baja (Véase plano 1.3).

MEDIO BAÑO
i) Un lavabo
ii) Un inodoro con tanque

COCINA
iii) Un fregadero

CUARTO DE LAVADO
iv) Un lavadero
v) Una lavadora

b) Primer Nivel (Véase plano 1.4).

2 BAÑOS COMPLETOS
vi) Dos lavabos
vii) Dos inodoros con tanque
viii) Dos regaderas

Se define el trazo de la red hidráulica desde el punto de alimentación hasta llegar a todos los muebles sanitarios, tomando en consideración el buen funcionamiento y economía de la instalación, evitando alguna afectación estructural o arquitectónica.

TIPO DE MUEBLE SANITARIO	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA TUBERÍA DE ENTRADA		PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN (Columna de agua, [m])	GASTO POR MUEBLE SANITARIO	UNIDAD DE MUEBLE
	Pulgadas	Milímetros		[litros/s]	[U.M.]
Lavabo	½	13	5.6	0.20	1
Regadera o ducha	½	13	5.8	0.32	2
Fregadero de vivienda	½	13	3.5	0.25	2
Lavadero para ropa	½	13	3.5	0.32	3
WC con tanque de descarga	½	13	5.8	0.20	3
Lavadora	3/8	9.5	4.8	0.33	3

Tabla 1. Unidad de mueble (instalaciones hidráulicas y sanitarias de edificios ICA TABLA 2.9).

El cálculo de la unidad de mueble se realiza considerando que la unidad habitacional cuenta con servicio de agua fría y caliente en los muebles que lo requieran, para los muebles que tienen ambos servicios únicamente se considerará el 75 % de la Unidad de Mueble total.

Una vez determinados los puntos de las trayectorias de la red hidráulica, se obtienen los gastos siguientes:

CÁLCULO DE QMI [litros/s] (GASTO) POR MUEBLES SANITARIOS SEGÚN TRAYECTORIAS.

PUNTOS		MUEBLE SANITARIO	NÚMERO DE MUEBLES	UNIDADES DE MUEBLE	TOTAL UNIDADES DE MUEBLE	UNIDAD DE MUEBLE DE AGUA FRÍA (U.M. *3/4)	Σ UNIDADES DE MUEBLE	QMI [litros/s] TABLA XX Y XXI
DE	A							
H	G	Regadera	1	2	2	2,25	5,25	0.39
		WC con tanque	1	3	3			
		Lavabo	1	1	1			
I	G	Regadera	1	2	2	2,25	5,25	0.39
		WC con tanque	1	3	3			
		Lavabo	1	1	1			
G	C	Regadera	2	2	4	4,5	10,5	0,585
		WC con tanque	2	3	6			
		Lavabo	2	1	2			
F	D	Lavadero	1	3	3	2,25	4,25	0.29
		Fregadero	1	2	2			
E	D	WC con tanque	1	3	3	2,25	6,25	0.43
		Lavadora	1	3	3			
		Lavabo	1	1	1			
D	C	Lavadero	1	3	3	2,25	10,5	0.585
		WC con tanque	1	3	3	2,25		
		Lavadora	1	3	3			
		Lavabo	1	1	1			
		Fregadero	1	2	2			
C	B	Regadera	2	2	4	6,75 2,25	21	0.925
		WC con tanque	3	3	9			
		Lavabo	3	1	3			
		Lavadero	1	3	3			
		Fregadero	1	2	2			
		Lavadora	1	3	3			
B	1	Regadera	4	2	8	13,5 4,5	42	1.58
		WC con tanque	6	3	18			
		Lavabo	6	1	6			
		Lavadero	2	3	6			
		Fregadero	2	2	4			
		Lavadora	2	3	6			
1	2	Regadera	12	2	24	40,5 13,5	112,5	3.015
		WC con tanque	18	3	54			
		Lavabo	18	1	18			
		Lavadero	6	3	18			
		Fregadero	6	2	12			
		Lavadora	6	3	18			
2	3	Regadera	20	2	40	67,5 22,5	210	4.29
		WC con tanque	30	3	90			
		Lavabo	30	1	30			
		Lavadero	10	3	30			
		Fregadero	10	2	20			
		Lavadora	10	3	30			

3	4	Regadera	28	2	56	94,5 31,5	294	5.276
		WC con tanque	42	3	126			
		Lavabo	42	1	42			
		Lavadero	14	3	42			
		Fregadero	14	2	28			
		Lavadora	14	3	42			
4	5	Regadera	36	2	72	121,5 40,5	378	6.345
		WC con tanque	54	3	162			
		Lavabo	54	1	54			
		Lavadero	18	3	54			
		Fregadero	18	2	36			
		Lavadora	18	3	54			
5	6	Regadera	44	2	88	148,5 49,5	462	7.627
		WC con tanque	66	3	198			
		Lavabo	66	1	66			
		Lavadero	22	3	66			
		Fregadero	22	2	44			
		Lavadora	22	3	66			
6	7	Regadera	52	2	104	175,5 58,5	546	8.389
		WC con tanque	78	3	234			
		Lavabo	78	1	78			
		Lavadero	26	3	78			
		Fregadero	26	2	52			
		Lavadora	26	3	78			
7	8	Regadera	56	2	112	189 63	588	8.882
		WC con tanque	84	3	252			
		Lavabo	84	1	84			
		Lavadero	28	3	84			
		Fregadero	28	2	56			
		Lavadora	28	3	84			
8	9	Regadera	60	2	120	202,5 67,5	630	9.35
		WC con tanque	90	3	270			
		Lavabo	90	1	90			
		Lavadero	30	3	90			
		Fregadero	30	2	60			
		Lavadora	30	3	90			

Tabla 2. Cálculo de QMI [litros/s] (gasto) por muebles sanitarios según trayectorias.

GASTOS PROBABLES EN LITROS POR SEGUNDO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE UNIDADES DE MUEBLE MÉTODO DE "HUNTER".

NÚMERO UNIDAD DE MUEBLE	GASTOS PROBABLES		NÚMERO UNIDAD DE MUEBLE	GASTOS PROBABLES		NÚMERO UNIDAD DE MUEBLE	GASTOS PROBABLES	
	TANQUE	VÁLVULA		TANQUE	VÁLVULA		TANQUE	VÁLVULA
1	0.10		115	3.06	4.52	400	6.62	7.90
2	0.15		120	3.15	4.61	420	6.87	8.09
3	0.20	no hay	125	3.22	4.71	440	7.11	8.28
4	0.26	no hay	130	3.28	4.80	460	7.36	8.17
5	0.38	1.51	135	3.35	4.86	480	7.60	8.66
6	0.42	1.56	140	3.41	4.92	500	7.85	8.85
7	0.46	1.61	145	3.48	5.02	520	8.08	9.02
8	0.49	1.67	150	3.54	5.13	540	8.32	9.20
9	0.53	1.71	155	3.60	5.18	560	8.55	9.37
10	0.57	1.77	160	3.66	5.24	580	8.79	9.55
12	0.63	1.86	165	3.73	5.30	600	9.02	9.72
14	0.70	1.95	170	3.79	5.36	620	9.24	9.89
16	0.76	2.03	175	3.85	5.41	640	9.46	10.05
18	0.83	2.12	180	3.91	5.42	680	9.88	1.38
20	0.89	2.21	185	3.98	5.56	700	10.10	10.55
22	0.96	2.29	190	4.04	5.58	720	10.32	10.74
24	1.04	2.36	195	4.10	5.60	740	10.54	10.93
26	1.11	2.44	200	4.15	5.63	760	10.76	11.12
28	1.19	2.51	205	4.23	5.70	780	10.98	11.31
30	1.26	2.59	210	4.29	5.76	800	11.20	11.50
32	1.31	2.65	215	4.34	5.80	820	11.40	11.66
34	1.36	2.71	220	4.39	5.84	840	11.60	11.82
36	1.42	2.78	225	4.42	5.92	860	11.80	11.98
38	1.46	2.84	230	4.45	6.00	880	12.00	12.14
40	1.52	2.90	236	4.50	6.10	900	12.20	12.30
42	1.58	2.96	240	4.54	6.20	920	12.37	12.46
44	1.63	3.03	245	4.59	6.30	940	12.55	12.62
46	1.69	3.09	250	4.64	6.37	960	12.72	12.78
48	1.74	3.16	255	4.71	6.43	980	12.90	12.94
50	1.80	3.22	260	4.78	6.48	1000	13.07	13.10
55	1.94	3.35	265	4.86	6.54	1050	13.49	13.50
60	2.08	3.47	270	4.93	6.60	1100	13.90	13.90
65	2.18	3.57	275	5.00	6.66	1150	14.38	14.38
70	2.27	3.66	280	5.07	6.71	1200	14.85	14.85
75	2.34	3.78	285	5.15	6.76	1250	15.18	15.18
80	2.40	3.91	290	5.22	6.83	1300	15.50	15.50
85	2.48	4.00	295	5.29	6.89	1350	15.90	15.90
90	2.57	4.10	300	5.36	6.94	1400	16.20	16.20
95	2.68	4.20	320	5.61	7.13	1450	16.60	16.60
100	2.78	4.29	340	5.86	7.32	1500	17.00	17.00
105	2.88	4.36	360	6.12	7.52	1550	17.40	17.40
110	2.97	4.42	380	6.37	7.71	1600	17.70	17.70

NÚMERO UNIDAD DE MUEBLE	GASTOS PROBABLES		NÚMERO UNIDAD DE MUEBLE	GASTOS PROBABLES	
	TANQUE	VÁLVULA		TANQUE	VÁLVULA
1650	18.10	18.10	3800	32.90	32.90
1700	18.50	18.50	3850	33.30	33.30
1750	18.90	18.90	3900	33.60	33.60
1800	19.20	19.20	3950	33.90	33.90
1850	19.60	19.60	4000	34.30	34.30
1900	19.90	19.90	4050	34.60	34.60
1950	20.14	20.14	4100	34.90	34.90
2000	20.40	20.40	4500	39.50	39.50
2050	20.80	20.80	5000	43.50	43.50
2100	21.20	21.20	5500	46.30	46.30
2150	21.60	21.60	6000	49.00	49.00
2200	21.90	21.90	6500	52.60	52.60
2250	22.30	22.30	7000	56.00	56.00
2300	22.60	22.60	7500	59.00	59.00
2350	23.00	23.00	8000	63.00	63.00
2400	23.40	23.40	8500	65.50	65.50
2450	23.70	23.70	9000	68.50	68.50
2500	24.00	24.00	9500	71.50	71.50
2550	24.40	24.40	10000	74.40	74.40
2600	24.70	24.70	10500	77.50	77.50
2650	25.10	25.10	11000	80.50	80.50
2700	25.50	25.50	11500	83.50	83.50
2750	25.80	25.80	12000	86.50	86.50
2800	26.10	26.10	12500	89.60	89.60
2850	26.40	26.40	13000	92.50	92.50
2900	26.70	26.70	13500	95.50	95.50
2950	27.00	27.00	14000	98.50	98.50
3000	27.30	27.30	14500	101.50	101.50
3050	27.60	27.60	15000	104.50	104.50
3100	28.00	28.00	15500	106.50	106.50
3150	28.30	28.30	16000	109.50	109.50
3200	28.70	28.70	16500	112.50	112.50
3250	29.00	29.00	17000	115.50	115.50
3300	29.30	29.30	17500	118.50	118.50
3350	29.60	29.60	18000	121.50	121.50
3400	30.30	30.30	18500	124.50	124.50
3450	30.60	30.60	19000	127.50	127.50
3500	30.90	30.90	19500	130.50	130.50
3550	31.30	31.30	20000	133.50	133.50
3600	31.60	31.60	25000	163.00	163.00
3650	31.90	31.90	30000	194.00	194.00
3700	32.30	32.30			
3750	32.60	32.60			

Tabla 3 La equivalencia de número de unidades de mueble a gasto probable en [litros/seg], se obtiene de la tabla XX y XXI num. 21 del manual de instalaciones hidráulicas, sanitarias, aire, gas y vapor páginas 488 y 489.

De acuerdo a la información obtenida se procede a calcular los diámetros de cada sección de tubería conforme a la ecuación de continuidad que es:

$$Q = AV$$

Donde:
Q es el gasto [m^3 / s].
A es el área de la sección de flujo [m^2].
V es la velocidad media en la sección [m/s].

Despejando "d", del área de la sección de flujo circular se obtiene que:

$$d = \sqrt{(4Q / \pi V)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(a)}$$

El valor del diámetro obtenido se aproxima al diámetro comercial inmediato superior. Con base el diámetro comercial y el gasto de diseño se calcula la velocidad media del flujo del diseño.

A continuación se calcula para las trayectorias:

<u>Sección H – G</u>

Se considera una velocidad de diseño (Se recomienda no utilizar velocidades mayores de 3 [m/s], a fin de evitar golpes de ariete y ruidos en la red de distribución).

Se considera una velocidad de diseño de V = 2.5 [m/s].
Q = 0.39 [litros/s] = 0.00039 [m^3] (dato extraído de la tabla "A").

→ $d = \sqrt{4(0.00039) / \pi(2.5)}$ = 0.0140 [m] = 14.09 [mm]
d = 14.09 [mm]
Se considera el diámetro comercial el de 13 [mm] ≈ ½".
Por lo tanto:

d = ½"

Posteriormente se calcula la velocidad real con este valor del diámetro comercial de la fórmula (a) se despeja V.

$$V = 4Q / d^2 \pi$$

Sustituyendo los valores anteriores se observa que:
$V = 4\ (0.00039) / (0.013)^2 \pi$ = 2.94 [m/s]
V = 2.94 [m/s]

Para el dimensionamiento de las tuberías.

FORMATO PARA EL CÁLCULO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS

OBRA: CALCULÓ:
FECHA: PLANO DE REFERENCIA:

PUNTOS		∑	GASTO	□	**LONGITUD TUBERIA**	VELOCIDAD
DE	A	UM	[litros/s]	[mm]	[m]	[m/s]
H	G	5,3	0,390	13,0	10,27	2,94
I	G	5,3	0,390	13,0	8,49	2,94
G	C	10,5	0,585	19,0	2,80	2,06
F	D	4,3	0,290	13,0	12,79	2,18
E	D	6,3	0,430	13,0	8,72	3,24
D	C	10,5	0,585	19,0	3,67	2,06
C	B	21,0	0,925	19,0	4,91	3,26
B	1	42,0	1,580	25,0	4,98	3,22
1	2	112,5	3,015	76,0	16,45	0,66
2	3	210	4,290	76,0	16,45	0,95
3	4	294	5,276	76,0	16,45	1,16
4	5	378	6,345	76,0	16,45	1,40
5	6	462	7,627	76,0	16,45	1,68
6	7	546	8,389	76,0	16,45	1,85
7	8	588	8,882	76,0	16,45	1,96
8	9	630	9,350	76,0	16,45	2,06
9	10	630	9,350	76,0	19,26	2,06
10	11	630	9,350	76,0	2,60	2,06
11	12	630	9,350	76,0	3,60	2,06

Tabla 4 Formato para el cálculo de instalaciones hidráulicas.

Se estudia la red hidráulica por secciones, para facilidad de los cálculos.
Para garantizar el debido funcionamiento de todos los muebles instalados en nuestra red hidráulica es necesario calcular las pérdidas que se presentan a lo largo de la tubería desde el tubo de succión de la bomba hasta el mueble más alejado en la instalación; que será la regadera del primer nivel del departamento NÚMERO 30 del complejo habitacional como se indica la ubicación de esté en el plano 1.
Utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach:

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

Donde:
f es el factor de fricción [adim].
g es la aceleración de la gravedad [m/s^2].
D es el diámetro de la tubería [m].
L es la longitud del tubo [m].
V es la velocidad media [m/s].

A continuación se calcula para las trayectorias:

Sección H – G

D = 0.013 [m].
L = 10.27 [m].
V = 2.94 [m/s].

Donde υ = 1.1X10^{-6}[m^2/s]; para agua a 20ºC y ε = 0.0015[mm] para tubo liso de cobre dato obtenido de la tabla 8.3 diagrama universal de Moody del libro Hidráulica General autor Sotelo página 282.

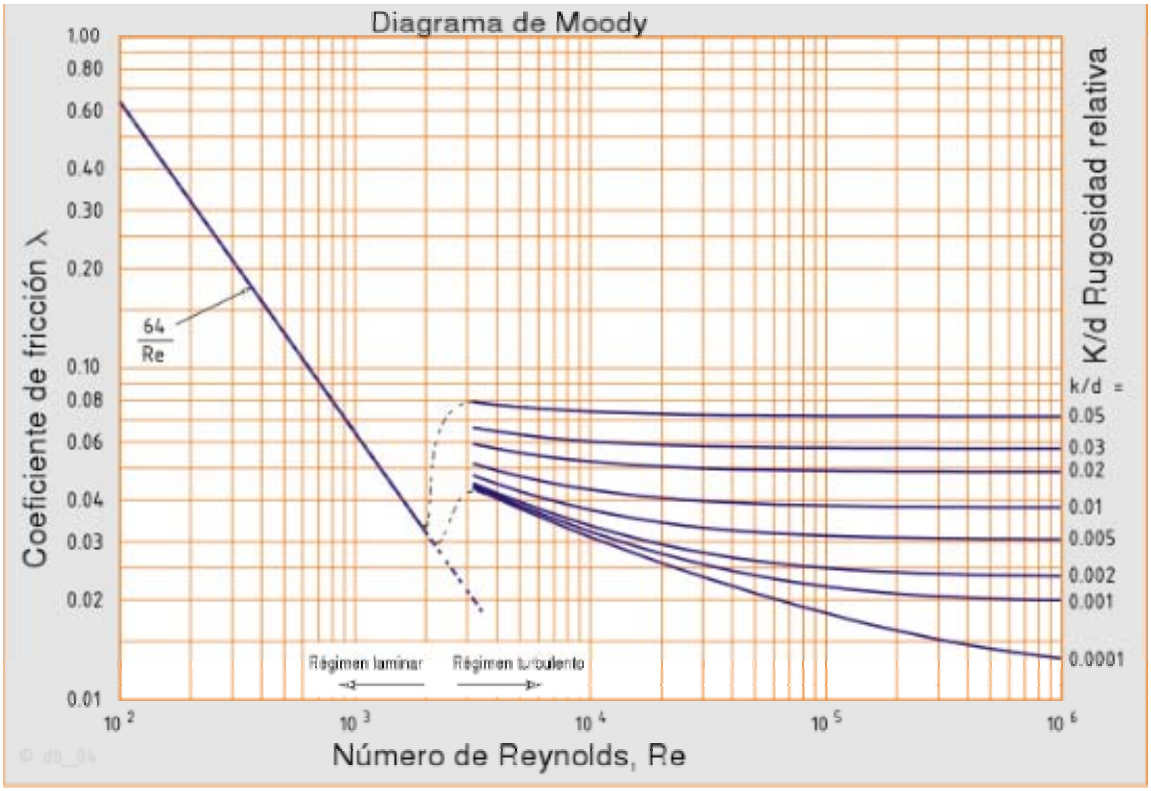


Figura 1 Diagrama de Moody.

$$R_e = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{(2.94)(.013)}{1.1x10^{-6}} = \frac{0.0382}{1.1x10^{-6}} = 3.474x10^4 \text{ [adim].}$$

Del Diagrama Universal de Moody tabla 8.3 del libro Hidráulica General autor Sotelo página 282 se tiene que f = 0.023.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0015}{13} = 0.00011$$

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = (0.023)\left(\frac{10.27}{0.013}\right)\left(\frac{(2.94)^2}{2(9.78)}\right) = 8.08$$

$$hf = 8.08[m]$$

Sección F – D

D = 0.013[m]
L = 12.79[m]
V = 2.184[m/s]

$$R_e = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{(2.184)(0.013)}{1.1x10^{-6}} = \frac{0.0283}{1.1x10^{-6}} = 2.58x10^4$$

f = 0.025

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0015}{13} = 0.00011$$

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = (0.025)\left(\frac{12.79}{0.013}\right)\left(\frac{(2.184)^2}{2(9.78)}\right) = 5.99$$

$$hf = 5.99[m]$$

Sección E – D

D = 0.013[m]
L = 8.72[m]
V = 3.23[m/s]

$$R_e = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{(2.184)(0.013)}{1.1x10^{-6}} = \frac{0.0283}{1.1x10^{-6}} = 2.58x10^4$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0015}{13} = 0.00011$$

f = 0.023

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = (0.023)\left(\frac{8.72}{0.013}\right)\left(\frac{3.23^2}{2(9.78)}\right) = 8.14$$

$$hf = 8.14[m]$$

Por lo que se obtiene la siguiente tabla.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

PUNTOS		REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	FACTOR DE FRICCIÓN		hf
DE	A	Re= VD/ν	$\frac{\varepsilon}{D}$	f DE DIAGRAMA DE MOODY	$\frac{v^2}{g}$	[m]
H	G	3,47E+04	0,00011	0,023	0,4414	8,082
I	G	3,47E+04	0,00011	0,023	0,4414	6,681
G	C	3,56E+04	0,000078	0,023	0,2176	0,739
F	D	2,58E+04	0,00011	0,025	0,2440	5,993
E	D	3,83E+04	0,00011	0,023	0,5366	8,141
D	C	3,56E+04	0,000078	0,023	0,2176	0,968
C	B	5,64E+04	0,000078	0,021	0,5441	2,888
B	1	7,32E+04	0,00006	0,019	0,5297	2,030
1	2	4,59E+04	0,000019	0,022	0,0226	0,106
2	3	6,53E+04	0,000019	0,020	0,0457	0,196
3	4	8,04E+04	0,000019	0,019	0,0692	0,281
4	5	9,66E+04	0,000019	0,018	0,1000	0,388
5	6	1,16E+05	0,000019	0,017	0,1445	0,536
6	7	1,28E+05	0,000019	0,017	0,1748	0,633
7	8	1,35E+05	0,000019	0,016	0,1960	0,700
8	9	1,42E+05	0,000019	0,016	0,2172	0,766
9	10	1,42E+05	0,000019	0,016	0,2172	0,896
10	11	1,42E+05	0,000019	0,016	0,2172	0,121
11	12	1,42E+05	0,000019	0,016	0,2172	0,168
						40,312

Tabla 5. Pérdidas por fricción.

En las tuberías, cualquier causa perturbadora, cualquier elemento o dispositivo que venga a establecer o elevar la turbulencia, cambie la dirección o alterar la velocidad origina una pérdida de carga.
En la práctica, las tuberías no son constituidas exclusivamente por tubos rectilíneos y del mismo diámetro. Usualmente, incluyen piezas especiales y conexiones que, con la forma y disposición, elevan la turbulencia, provocan fricciones y causan el choque de partículas, dando origen a pérdidas de carga.
Debido a los cambios de diámetro reducciones o ampliaciones y cambios de reducción estas pérdidas de carga pueden ser expresadas bajo la forma:

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

Donde:

hf son las pérdidas locales [m].
k es el coeficiente que puede ser obtenido experimentalmente para cada conexión [adim].
V^2 es la velocidad del fluido [m^2/s^2].
g es la aceleración de la gravedad 9.78[m/s^2].

VALORES APROXIMADOS DE K (PÉRDIDAS LOCALES).

PIEZA Y PERDIDA	K
Codo de 90º	0.9
(T) tee, pasaje directo	0.6
(T) tee, salida lateral	1.3
(T) tee, salida bilateral	1.8
Válvula compuerta abierta	0.2
Válvula tipo globo abierto	10
Cople	1.0
Cruceta	1.8
Medidor 19[mm]	

Tabla 6 Valores aproximados de k (pérdidas locales).
Valores obtenidos del libro Manual de Hidráulica, J.M. de Azevedo Netto, página 211.

Para calcular estas pérdidas se tiene el análisis por trayectorias como a continuación se describe:

Sección H – G:

Se tiene en esta trayectoria 8 codos de 90º.
Calculo para un codo 90º.

$$hf = (0.9)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.397$$

$$hf = 0.397[m]$$

Por lo tanto se tiene que :

$$hf_T = 8(0.397) = 3.178[m]$$

Una T (tee salida lateral).

$$hf = (1.3)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.574$$

$$hf_T = 0.574[m]$$

Una T (tee bilateral).

$$hf = (1.8)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.794$$

$$hf_T = 0.794[m]$$

Dos válvulas de globo.
Cálculo para una válvula de globo.

$$hf = (10)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 4.414$$

$$hf_T = (2)(4.414)$$
$$hf_T = 8.827[m]$$

Dos válvulas de compuerta.
Calculo para una válvula de compuerta.

$$hf = (0.2)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.088$$
$$hf_T = (2)(0.088)$$

$$hf_T = 0.177[m]$$

Sección I-G:

7 codos de 90º.
Cálculo para un codo de 90º.

$$hf = (0.9)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.397$$
$$hf_T = (7)(0.397)$$

$$hf_T = 2.781[m]$$

Dos T (tee salida lateral).
Cálculo para una “T”.

$$hf = (1.3)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.574$$
$$hf_T = 2(0.574)$$

$$hf_T = 1.148[m]$$

Una T (tee entrada bilateral).

$$hf = (1.8)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.794$$
$$hf_T = 0.794[m]$$

Dos válvulas de globo.
Cálculo para una válvula de globo.

$$hf = (10)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 4.414$$
$$hf_T = 2(4.414)$$

$$hf_T = 8.827[m]$$

Dos válvulas de compuerta.
Cálculo para una válvula de globo.

$$hf = (0.2)\frac{(2.938)^2}{2(9.78)} = 0.088$$
$$hf_T = (2)(0.088)$$

$$hf_T = 0.177[m]$$

Los datos obtenidos se observan en la siguiente tabla.

ANÁLISIS DE CONEXIONES, VÁLVULAS Y PIEZAS ESPECIALES POR TRAYECTORIAS							
PUNTOS		NÚMERO	CONEXIONES,	Ø	$hf_L = k\frac{v^2}{2g}$		hf_T
DE	A	DE PIEZAS	VÁLVULAS Y PIEZAS ESPECIALES	[mm]	k	hf[m]	(hfL)(número de piezas)
H	G	8	Codo 90°	13	0,9	0,397	3,178
		1	Tee entrada lateral	13	1,3	0,574	0,574
		1	Tee entrada bilateral	13	1,8	0,794	0,794
		2	Válvula de globo	13	10	4,414	8,827
		2	Válvula de compuerta	13	0,2	0,088	0,177
I	G	7	Codo 90°	13	0,9	0,397	2,781
		2	Tee entrada lateral	13	1,3	0,574	1,148
		1	Tee entrada bilateral	13	1,8	0,794	0,794
		2	Válvula de globo	13	10	4,414	8,827
		2	Válvula de compuerta	13	0,2	0,088	0,177
G	C	1	Tee entrada bilateral	19	1,8	0,392	0,392
F	D	8	Codo 90°	13	0,9	0,220	1,757
		2	Tee entrada lateral	13	0,3	0,073	0,146
		3	Válvula de compuerta	13	0,2	0,049	0,146
E	D	9	Codo 90°	13	0,9	0,483	4,346
		2	Tee entrada lateral	13	1,3	0,698	1,395
		1	Válvula de globo	13	10	5,366	5,366
		3	Válvula de compuerta	13	0,2	0,107	0,322
D	C	1	Tee entrada lateral	19	1,3	0,283	0,283
C	B	5	Codo 90°	19	0,9	0,490	2,449
		2	Tee entrada lateral	19	0,3	0,163	0,326
		3	Válvula de compuerta	19	0,2	0,109	0,326
		1	Medidor	19		0,000	4,000
B	1	1	Tee entrada bilateral	25	1,3	0,689	0,689
		1	Válvula de globo	25	10	5,297	5,297
1	2	1	Codo 90°	76	0,9	0,020	0,020
		2	Cople	76	1	0,023	0,045

2	3	1	Cruceta	76	1,8	0,082	0,082
		2	Cople	76	1	0,046	0,091
3	4	1	Cruceta	76	1,8	0,124	0,124
		2	Cople	76	1	0,069	0,138
4	5	1	Cruceta	76	1,8	0,180	0,180
		2	Cople	76	1	0,100	0,200
5	6	1	Cruceta	76	1,8	0,260	0,260
		2	Cople	76	1	0,145	0,289
6	7	1	Cruceta	76	1,8	0,315	0,315
		2	Cople	76	1	0,175	0,350
7	8	1	Cruceta	76	1,8	0,353	0,353
		2	Cople	76	1	0,196	0,392
8	9	1	Cruceta	76	1,8	0,391	0,391
		2	Cople	76	1	0,217	0,434
9	10	1	Tee entrada lateral	76	1,3	0,282	0,282
		3	Codo 90°	76	0,9	0,195	0,586
		2	Cople	76	1	0,217	0,434
		1	Válvula de compuerta	76	0,2	0,043	0,043
10	11	4	Codo 90°	76	0,9	0,195	0,782
		1	Válvula de compuerta	76	0,2	0,043	0,043
		1	Tee entrada lateral	76	1,3	0,282	0,282
11	12	3	Codo 90°	76	0,9	0,195	0,586
		1	Válvula de pie	76	5,5	1,194	1,194
							62,418

Tabla 7 Análisis de conexiones, válvulas y piezas especiales por trayectorias.

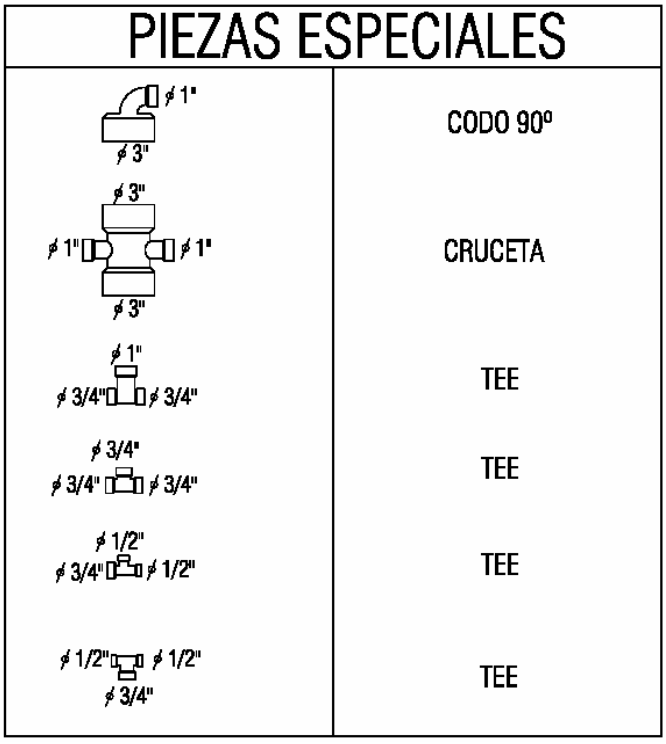


Figura 2. Conexiones especiales.

Como ya se menciono se utilizara un sistema duplex de bombeo, el conjunto elevador (moto-bomba) deberá vencer la diferencia de nivel altura estática total, más las pérdidas de carga en todo el trayecto (pérdida por fricción a lo largo de la tubería y pérdidas locales

debidas a las piezas y accesorios, véase plano 1.3) así como se pueden observar en la figura 1 las conexiones especiales que se utilizan en la red de distribución de agua potable.
Debido a que la información disponible para bombas en nuestro país se encuentra básicamente en el sistema inglés, se usara aquí este tipo de unidades; al calcular la velocidad especifica, el gasto se expresará en galones por minuto y la carga en pies [ft]. La equivalencia de [litros/s] a [Galones/min] es:

1 [litro/s] = 15.851 [Galones/min].

Estas relaciones de las bombas está relacionada con su gasto y su velocidad específica.

Carga dinámica total de la bomba.

H = $\sum h_{fl}$ + $\sum h_f$ + H_{ET} + Presión de operación; donde H_{ET} = H_{ED} - H_{ES}

Donde:

H_{ET} es la carga estática total.
H_{ED} es la carga estática de descarga.
H_{ES} es la carga estática de succión.
H_{ES} = 1.5 [m].
H_{ED} = 0.25 + 2.8 + 1.10 + 0.85 = 5.
H_{ET} = 5 – 1.5 = 3.5 $[m]$.

H = 34.929 + 18.529 + 3.5 + 5.8
H = 62.758 [mca].

Una vez calculada la carga dinámica de la bomba, puede obtenerse la potencia necesaria de la bomba (o de su motor) con la expresión.

$$Hp = \frac{G * H}{K * \eta}$$

Donde:

Hp son los caballos de fuerza del motor.
G es el gasto en litros por segundo (en un sistema hidroneumático duplex cada bomba se considera al 70% del gasto máximo instantáneo calculado).

H = $\sum h_{fl}$ + $\sum h_f$ + H_{ET} + Presión de operación

Donde:

K es una constante. Para sistema métrico = 76 [adim].
$\eta = eficiencia$.

Por lo tanto

G = (9.35)(.70) = 6.545 [litros/s]
H = 62.758 [mca]
K = 76 [adim]
$\eta = 65\%$

Hp = $\frac{G * H}{K * \eta} = \frac{(65.45)(62.758)}{(76)(0.65)} = 8.314[Hp]$

Esto implica que la bomba comercial fabricada es de potencia de 10 [Hp].
Una vez definido el proyecto de bombeo debe buscarse el tipo y marca de bombas que más nos convenga. Para esto se recurre a las llamadas curvas características que proporciona el fabricante y que son básicamente las representaciones gráficas de las siguientes leyes: H - Q (curva de carga), η - Q (curva de eficiencia), y
P - Q (curva de potencia).
Para determinas las características de operación en forma completa, es necesario utilizar las tres curvas mencionadas.
A continuación se describirá el cálculo del tanque hidroneumático:
Considerando un sistema hidroneumático en operación real, en el nivel superior de la bomba o bombas no actúan. Cuando hay demanda de agua en el tanque hidroneumático se llega a la presión mínima de operación la bomba arranca. El nivel inferior de agua deberá ocurrir cuando la demanda está creciendo a su valor máximo. Por lo tanto para prevenir que el nivel de agua siga decreciendo, la bomba debe estar al parejo de la demanda.

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

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

DISEÑO DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO.

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

a) Determinación del gasto máximo instantáneo (QMI).
b) Selección de la capacidad del equipo de bombeo.
c) Determinación de las presiones máxima y mínima requerida en el tanque hidroneumático.
d) Selección conveniente del tamaño del tanque y establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.

El tamaño de un tanque depende tanto del diferencial del volumen de la bomba ya establecida como del número de ciclos de bombeo deseados, las experiencias indican que el número promedio de ciclos de bombeo no necesita ser mayor de 6 ciclos por hora y muy pocas veces menor de 4 ciclos por hora.

Cuánto más grande sea el número de ciclos de bombeo más pequeño será el tamaño del tanque requerido. Esto es importante cuando el costo inicial de una instalación es significativo, con menos ciclos se requerirá un tanque más grande.

Seleccionando el mejor diferencial de presión de operación, pueden determinarse fácilmente los niveles de control en el tanque hidroneumático.
El volumen del tanque hidroneumático entre los niveles de agua más alto y más bajo, es la cantidad de agua que debe ser desalojada antes de que la bomba vuelva arrancar.
Entre la mayor sea la cantidad disponible de agua, menor será el NÚMERO de ciclos de bombeo, mientras que la mínima presión aceptable se basa usualmente en las necesidades del mueble más desfavorable, la máxima presión debe de considerarse para los más cercanos a él.

TAMAÑO DEL TANQUE.

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

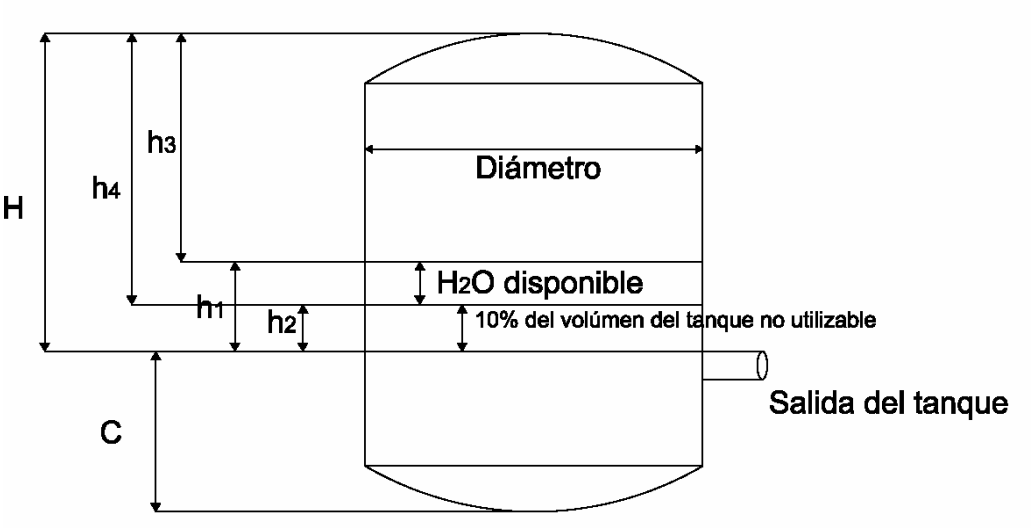


Figura 6 Relaciones de nivel-volumen de un tanque vertical.

Para tanques verticales se tiene:
A partir de la ley de Boyle.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

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

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

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

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

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

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

Por lo tanto la altura mínima del nivel inferior arriba de la salida del tanque hidroneumático es "h_2" y la altura máxima de este nivel a tope del tanque es "h_4", definiéndose de la siguiente manera:

h_{4max} = 0.90 H …. (i)
h_{2min} = 0.10 H …. (ii)
h_{1max} = H – h_3
Pero $\frac{P_1}{P_2} = \frac{h_4}{h_3}$ por lo que $h_3 = h_4 \frac{P_2}{P_1}$

Como h_4 = 0.90 H → $h_{4\min} = 0.90H\frac{(P_2)}{(P_1)}$

$$h_{1\max} = H - h_3 = H\left[1 - 0.90\frac{(P_2)}{(P_1)}\right] \text{ …. (iii)}$$

Donde:

H es la altura nominal del tanque medida a partir de la salida del tanque.

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

Cálculo de Pmax y Pmin.

Para el cálculo de estas presiones es necesario calcular la carga requerida (Hr)

Hr = He + $\frac{P_2}{\gamma} + \sum pérdidas$

Donde:

Hr es la carga requerida
He es la carga estática
$\frac{P_2}{\gamma}$ es la presión mínima en el mueble más desfavorable.
$\sum pérdidas$ es la sumatoria de las pérdidas en la tubería (por fricción y locales).

He = 0.25 + 2.8 + 1.1 + 0.85 = 5 [m]
$\frac{P_2}{\gamma}$ = 5.8 [mca]; dato obtenido de la tabla de valores mínimos de operación de muebles.
Presión mínima de operación para una regadera es de 5.8 [mca].
$\sum pérdidas =$ 53.458 [mca].
Hr = 5 + 5.8 + 53.458 = 64.258 [mca] = 6.426 [kg/cm^2].
→ P_2 = presión mínima de operación = 6 426 [kg/cm^2].
$P_1 = P_2 + \Delta P$

Estableciendo ΔP deseado (normalmente en práctica es de 1.4 [kg/cm^2] aunque los diferenciales mayores puede contribuir a una eficiencia mayor del sistema y se deberá revisa para determinar el mejor valor aceptable.

→ $P_1 = 6.426 + 1.4 = 7.826$ [kg/cm^2]

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

→ $V_1 = \frac{P_2V_2}{P_1}$

Considerando V = volumen total del tanque hidroneumático.

→ "x"V = $\frac{P_2(0.9)}{P_1}V$ → "x" = $\frac{P_2(0.9)}{P_1} = \frac{0.9(6.426)}{7.826} = 0.7390$ V

Tal que "x" es una relación del porcentaje del volumen total del tanque hidroneumático y los volúmenes V_1 y V_2.

→ 0.9 V – 0.7390 V = 0.16 V; es decir 16 % del volumen del tanque.

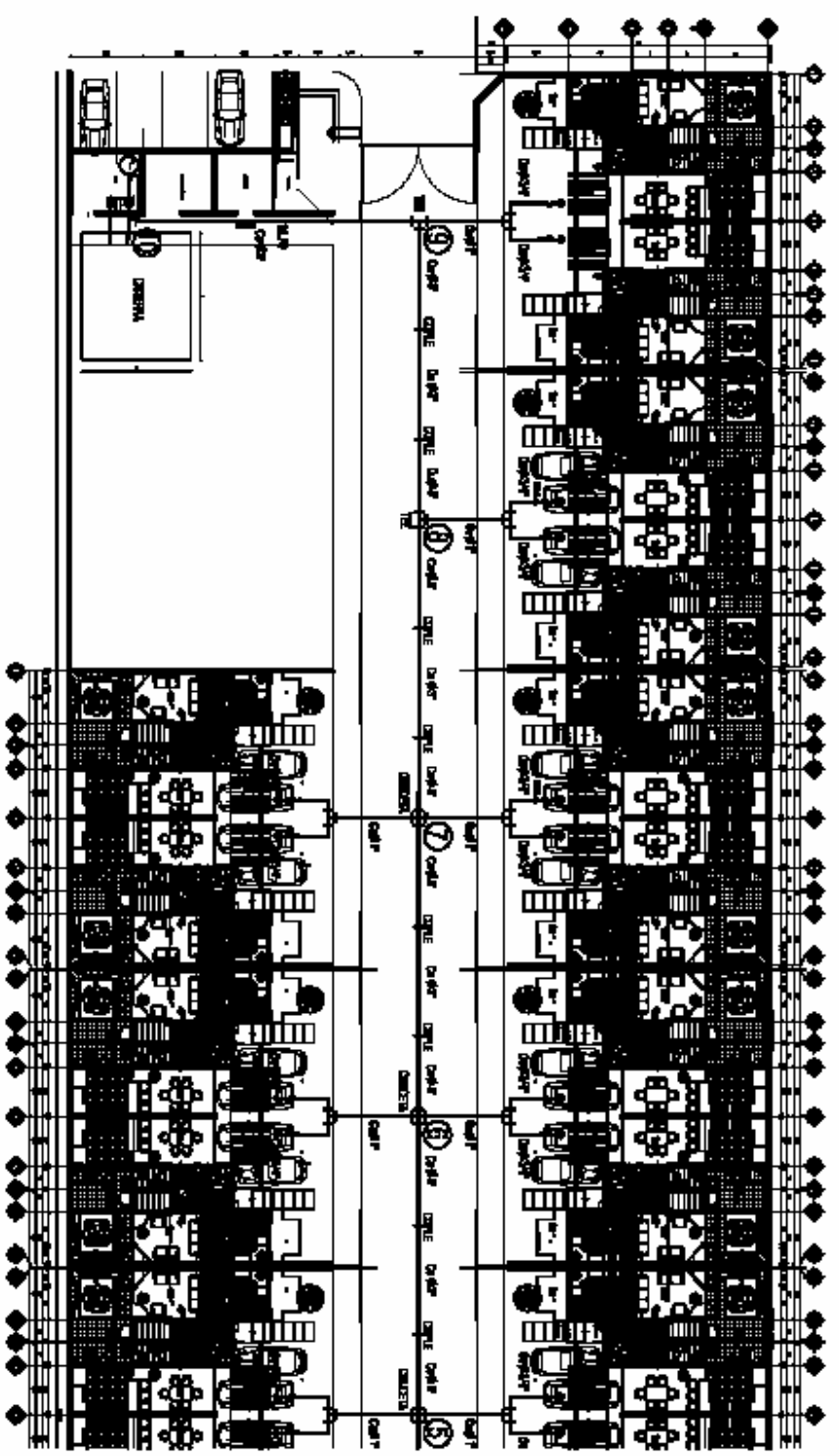
Ahora considerando un tiempo de carrera de un minuto.

$$V = \frac{1[\min] * 60\left[\frac{seg}{\min}\right] * QMI}{"x"} = \frac{1[\min] * 60\left[\frac{seg}{\min}\right] * 9.35\left[\frac{litros}{s}\right]}{0.739} = 759.13[litros]$$

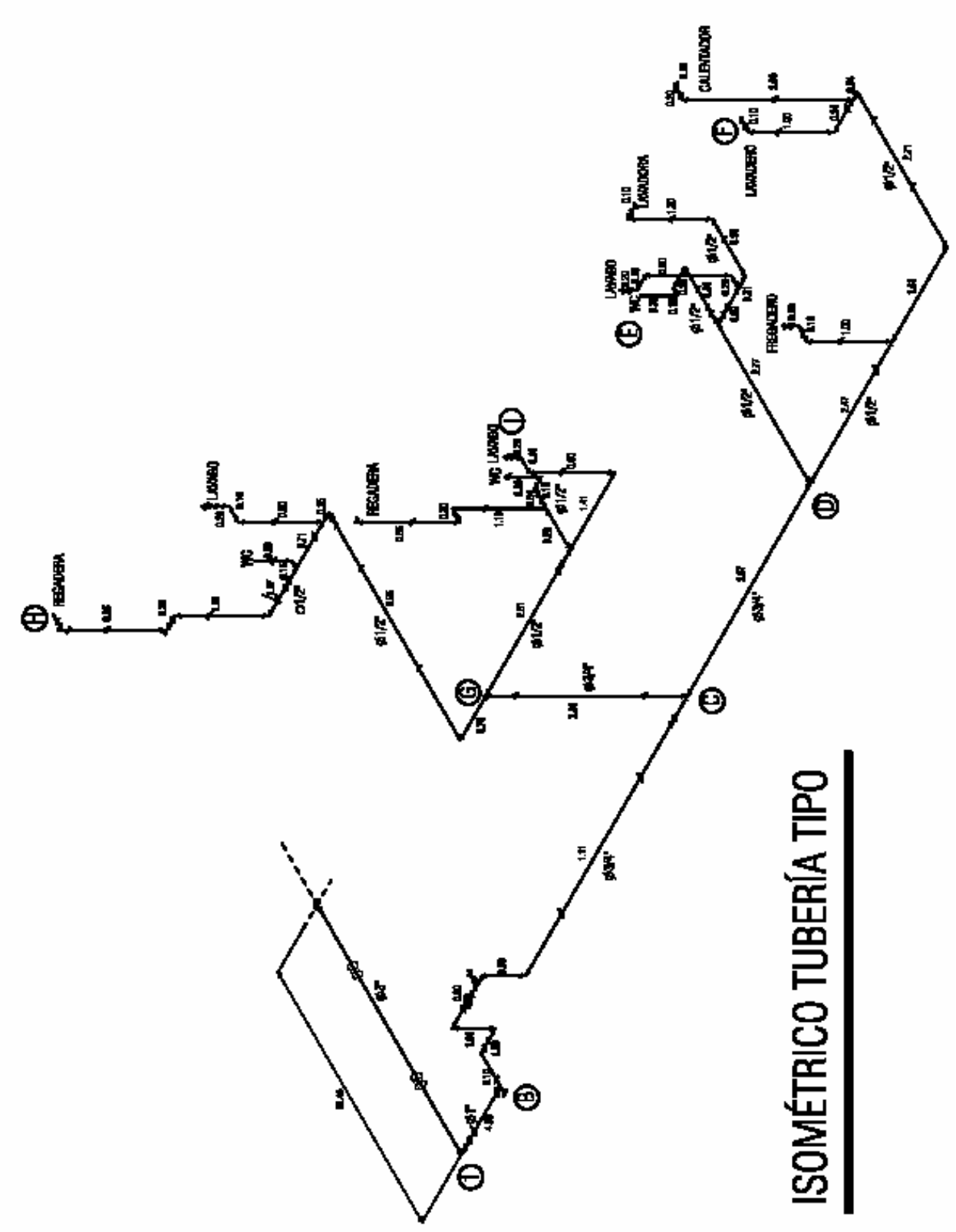
Esto implica que se necesita un tanque hidroneumático con una capacidad de 759.13 [litros].

Para esta capacidad de 759.13 [litros]. No se tiene en el mercado comercial algún modelo disponible ya que su capacidad es mayor a las del mercado, por lo que se manufacturaría especialmente para este proyecto, o se podría colocar dos tanques de 400 [litros] que se encuentran en el mercado comercial.
En los planos 1.5 y 1.6 se puede observar el dimensionamiento de la tubería y su trayectoria así como la ubicación de la cisterna, bombas y tanque hidroneumático en el complejo habitacional.

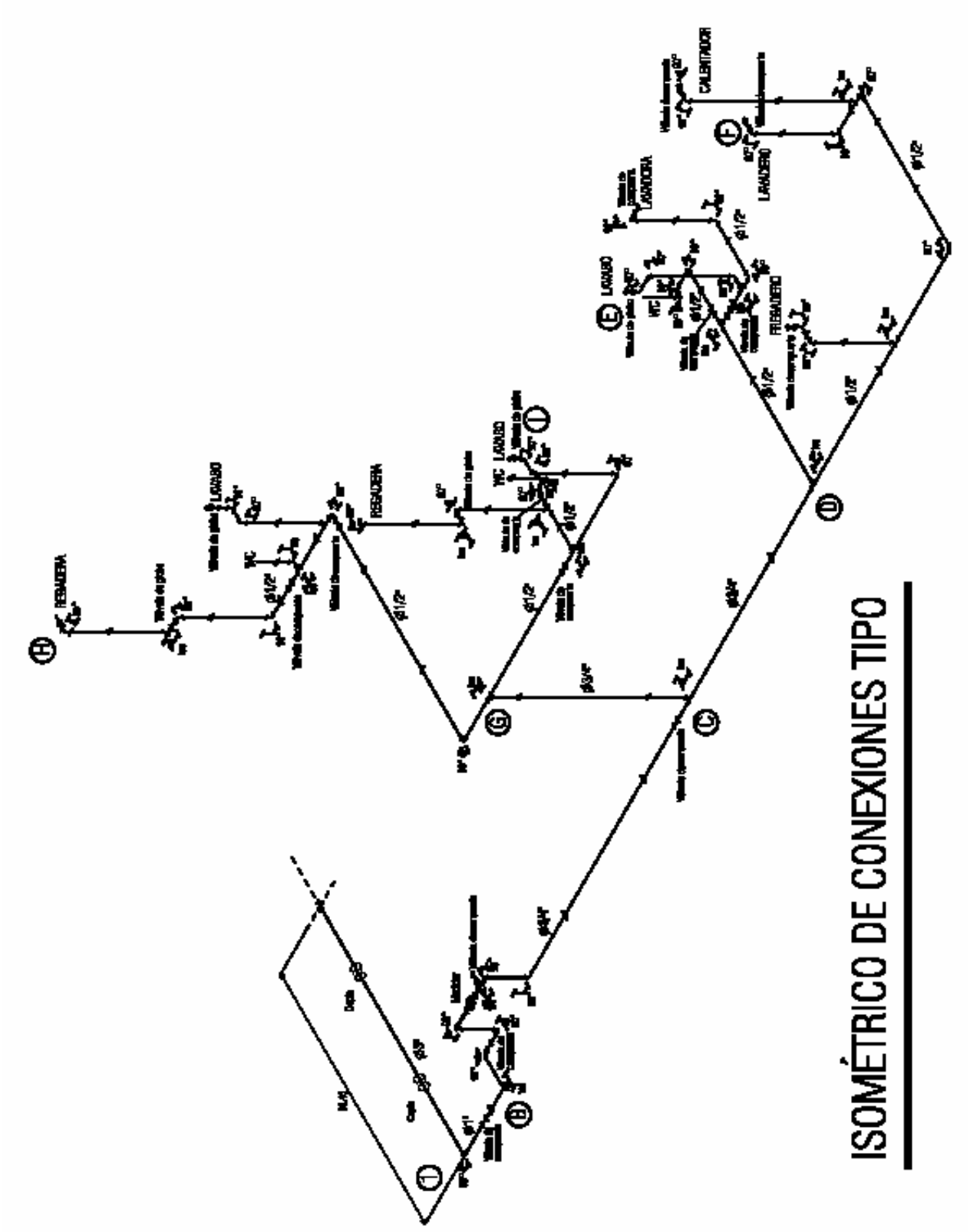
PLANO 1



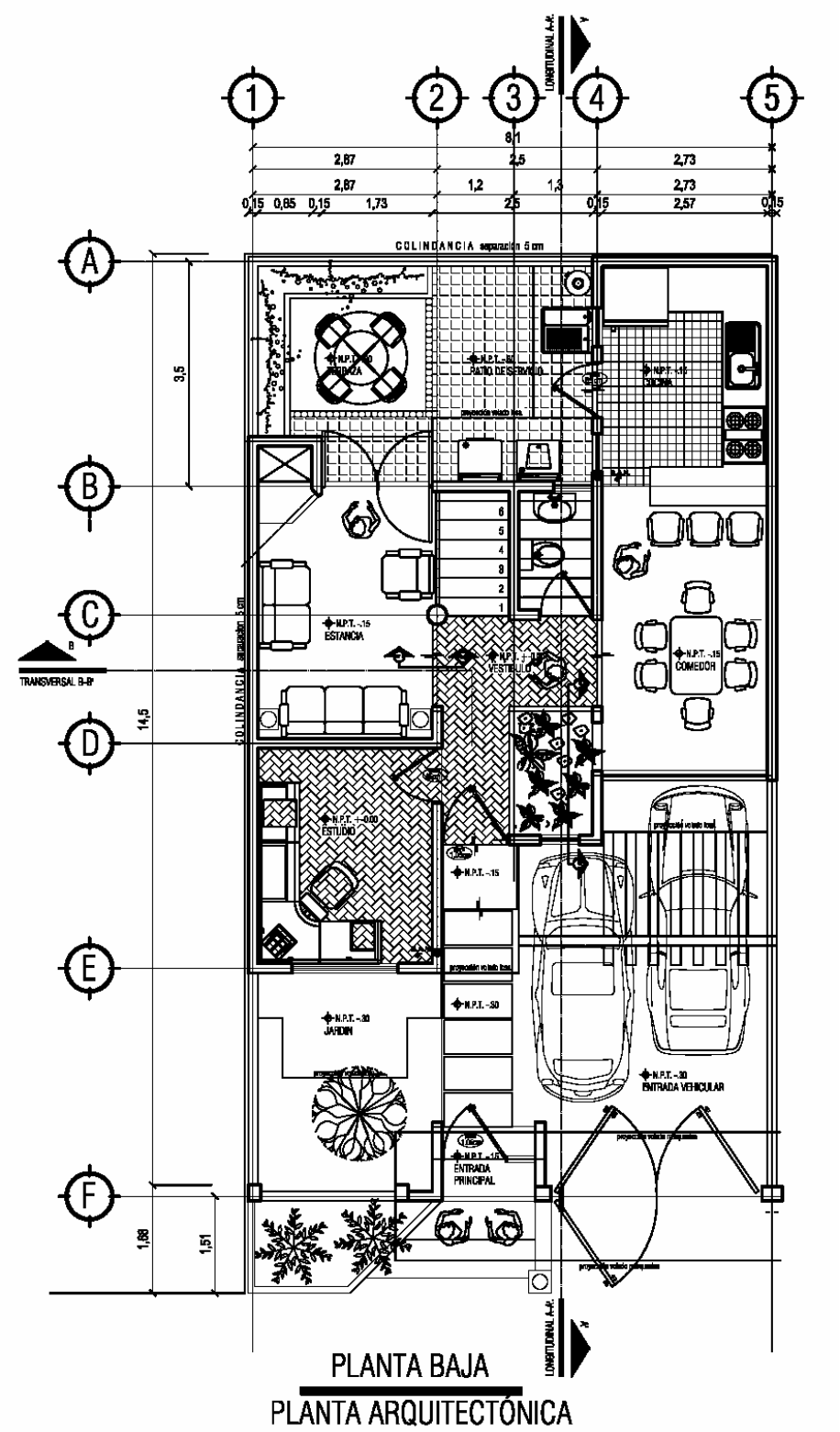
PLANO 1.1



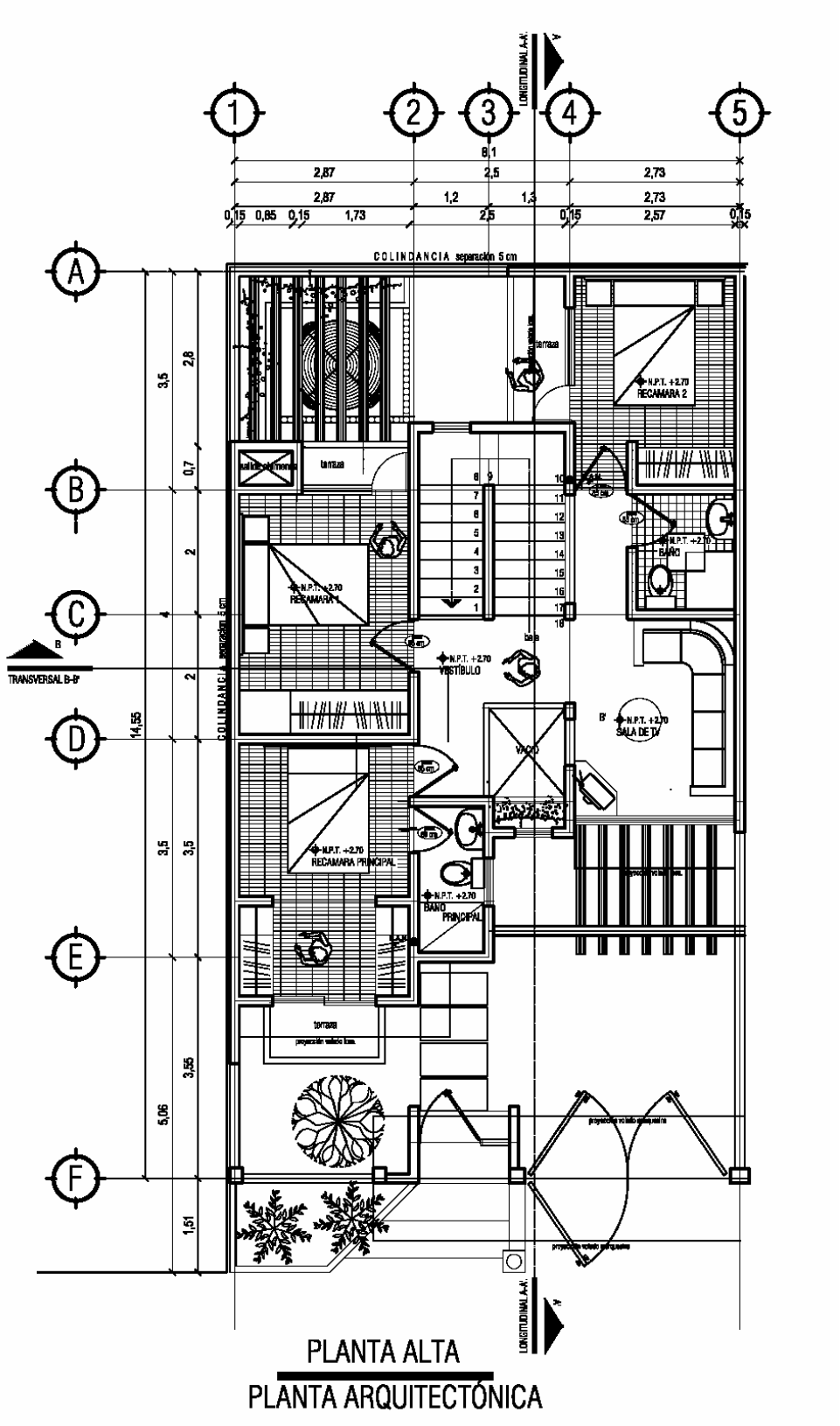
PLANO 1.2



PLANO 1.3


1
2
3
4
5
A
B
C
D
E
F
LONGITUDINAL A-A'
TRANSVERSAL B-B'
COLINDANCIA separación 5 cm
COLINDANCIA separación 5 cm
8.1
2,87
2,5
2,73
2,87
1,2
1,3
2,73
0.15
0,85
0,15
1,73
2,5
0.15
2,57
0.15
3,5
14,5
1,88
1,51
N.P.T. -.30
TERRAZA
N.P.T. -.60
PATIO DE SERVICIO
N.P.T. -.15
COCINA
N.P.T. -.15
ESTANCIA
N.P.T. -.15
VESTÍBULO
N.P.T. -.15
COMEDOR
N.P.T. +-0.00
ESTUDIO
N.P.T. -.15
N.P.T. -.30
JARDÍN
N.P.T. -.30
ENTRADA VEHICULAR
N.P.T. -.15
ENTRADA PRINCIPAL
PLANTA BAJA
PLANTA ARQUITECTÓNICA

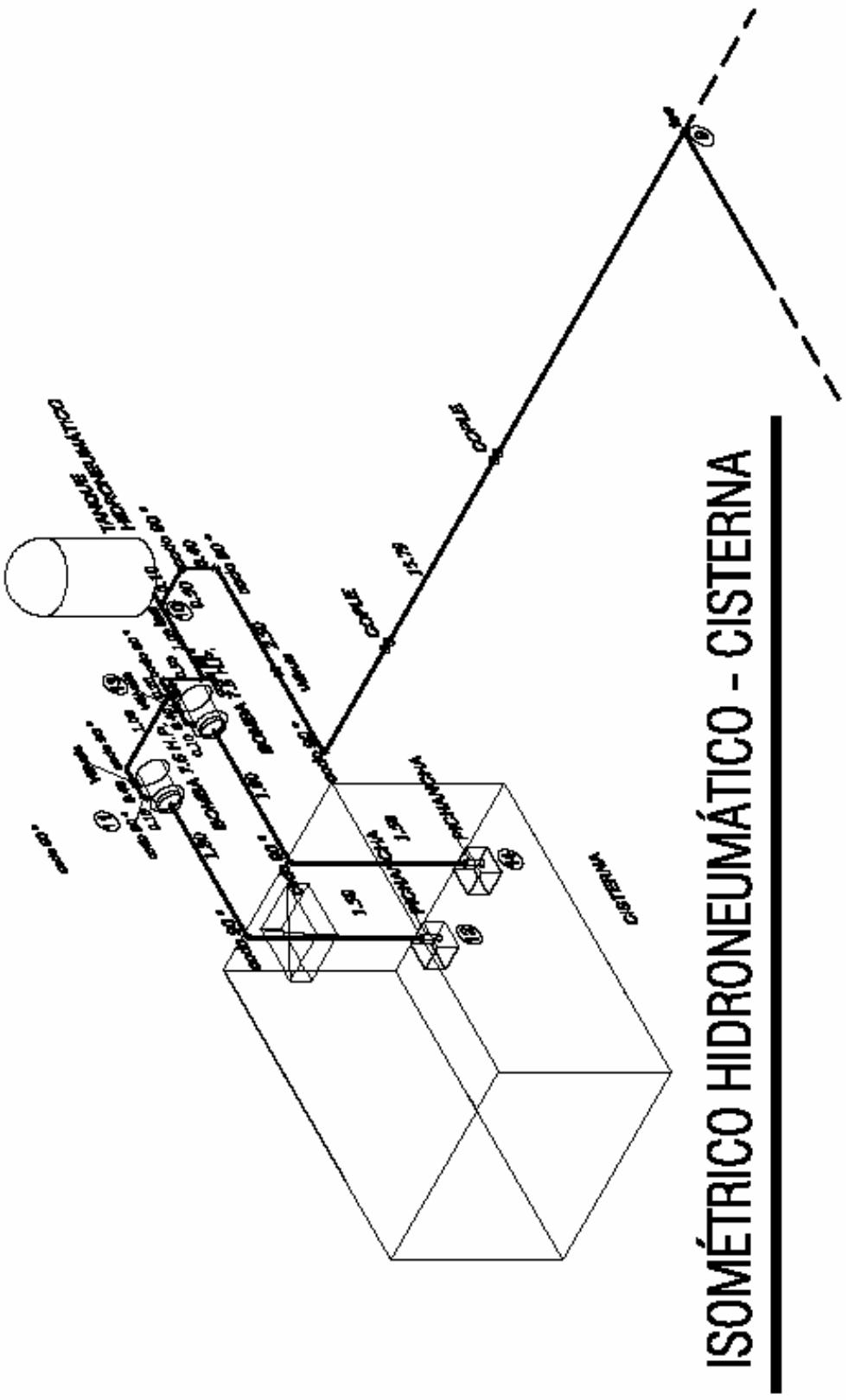
PLANO 1.4



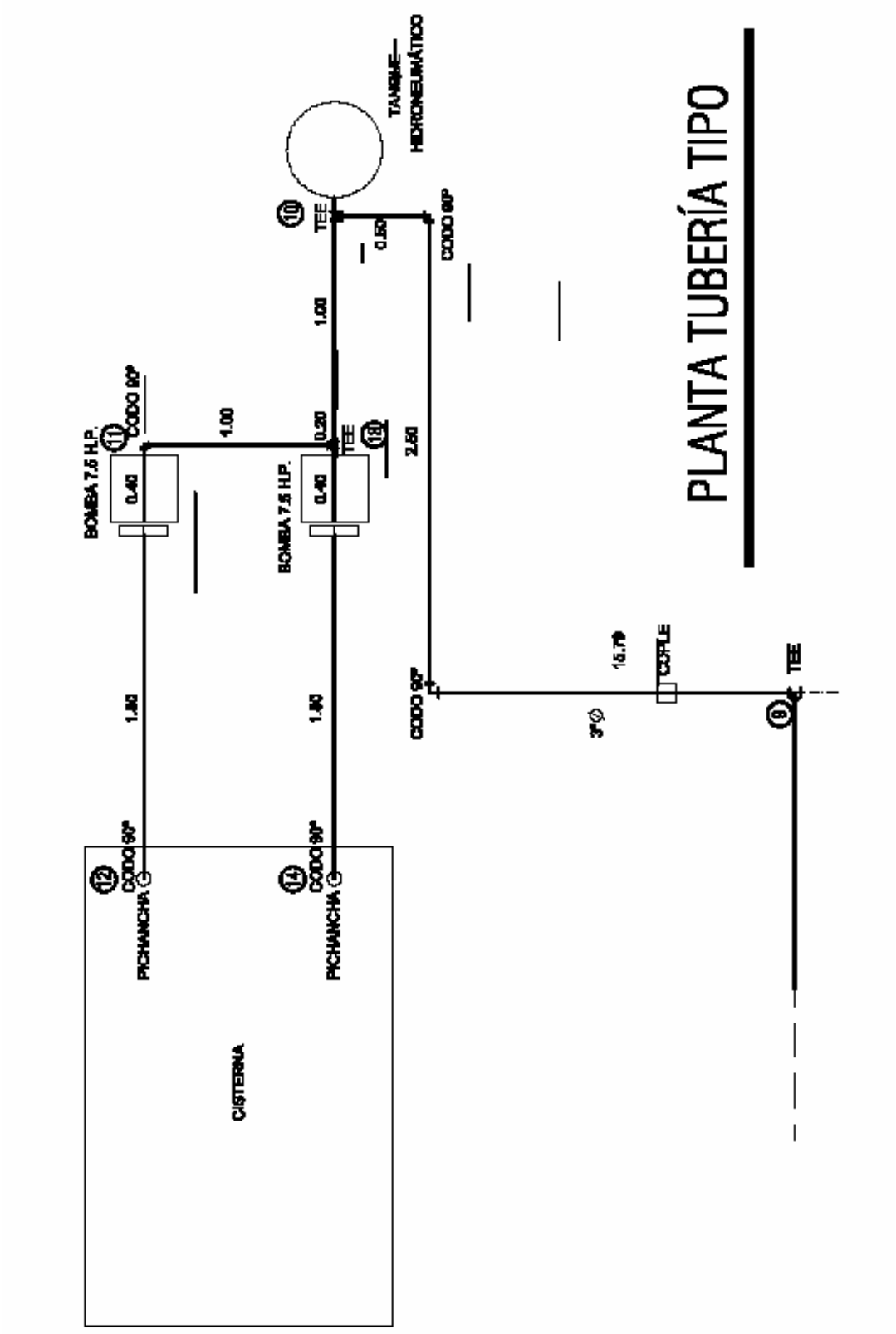
PLANTA ALTA

PLANTA ARQUITECTÓNICA

PLANO 1.5



PLANO 1.6


PLANTA TUBERÍA TIPO
TANQUE HIDRONEUMÁTICO
TEE
CODO 90°
0.50
1.00
0.20
2.50
BOMBA 7.5 H.P.
0.40
1.00
1.80
CODO 90°
PICHANCHA
CISTERNA
16.70
3"Ø
COPLE
TEE

CAPÍTULO 8. ANÁLISIS DE COSTOS.

Las tuberías de cobre de agua fría se conectan con soldadura de estaño, plomo 50X50 y pasta fundente. Los cortes de la tubería se hacen con sierra de diente fino, y serán perpendiculares al eje del tubo, se quitará residuos y rebabas, y se lija la zona por soldar. Se usa un soplete para calentar sin quemar, se aplicará la pasta fundente y la soldadura permitiendo que por capilaridad cubra completamente la unión. Deberán evitarse escurrimientos de soldadura excedente dentro de la tubería. En los casos que se usa la tubería de fierro galvanizado, las uniones serán roscadas.

8.1 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE METROS LINEALES DE TUBERÍA PROYECTADA.

Se calculan los metros lineales de tubería por trayectoria.
En las trayectorias H-G, I-G, F-D, E-D, se utiliza tubería de cobre de ½" (13[mm]).

					METROS POR DEPTO.	METROS TOTALES (30 DEPTOS.)
TRAYECTORIA	H-G	I-G	F-D	E-D		
METROS LINEALES	10,27	8,49	12,79	8,72	40,27 [m]	1208,1 [m]

En las trayectorias G-C, D-C, C-B, se utiliza tubería de cobre de 3/4" (19[mm]).

				METROS POR DEPTO.	METROS TOTALES (30 DEPTOS.)
TRAYECTORIA	G-C	D-C	C-B		
METROS LINEALES	2,8	3,67	4,91	11,38 [m]	341,4 [m]

En las trayectorias B-1, se utiliza tubería de cobre de 1" (25[mm]).

		METROS POR DEPARTAMENTO	METROS TOTALES (15 DEPTOS DUPLEX)
TRAYECTORIA	B-1		
METROS LINEALES	4,98	4,98 [m]	74,7 [m]

En las trayectorias 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 13-14 , se utiliza tubería de cobre de 3" (76[mm]).

													METROS TOTALES
TRAYECTORIA	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	13-14	
METROS LINEALES	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	18,79	3,1	3,4	3,4	160,29 [m]

8.2 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CONEXIONES PROYECTADAS.

Se calcula la cantidad de conexiones por trayectoria, según los datos obtenidos de la tabla 7 Análisis de conexiones, válvulas y piezas especiales por trayectorias del caso práctico.

Se realizaron dos cotizaciones de los materiales del proyecto analizado en el caso práctico, una cotización fue consultada con la Comercializadora el surtidor con domicilio en Av. Observatorio 260 Tacubaya, Col. Daniel Garza, C.P. 11830, México D.F.
Una segunda cotización fue consultada en la Comercializadora Casa Blanca Xochimilco, ubicada en Av. Prolongación División del Norte 5625, Col. San Marcos Delegación Xochimilco, C.P. 16030 México D.F.

EL SURTIDOR de Observatorio, S.A. de C.V.				Tel: 21561314	
CÓDIGO	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT	IMPORTE
2306903060	32	[PZA]	CODO C/C DE 13[mm]X90º	$3,12	$99,84
2306903070	5	[PZA]	CODO C/C DE 19[mm]X90º	$7,02	$35,10
2306903085	11	[PZA]	CODO C/C DE 75[mm]X90º	$298,86	$3.287,46
2656903020	14	[PZA]	TEE COBRE DE 13[mm]	$5,23	$73,22
2656903030	4	[PZA]	TEE COBRE DE 19[mm]	$15,08	$60,32
2656903040	1	[PZA]	TEE DE COBRE DE 25[mm]	$49,66	$49,66
2656903090	3	[PZA]	TEE DE COBRE DE 75[mm]	$680,76	$2.042,28
3300126705	5	[PZA]	LLAVE GLOBO FIG. 765 DE 13[mm]	$52,83	$264,15
3300126715	1	[PZA]	LLAVE GLOBO FIG. 765 DE 25[mm]	$155,07	$155,07
3500108510	10	[PZA]	VÁLVULA COMPUERTA FIG. 783-13[mm]	$69,21	$692,10
3500108520	3	[PZA]	VÁLVULA COMPUERTA FIG. 783-19[mm]	$88,29	$264,87
3500108535	2	[PZA]	VÁLVULA COMPUERTA FIG. 783-75[mm]	$1.262,88	$2.525,76
2356903045	18	[PZA]	COPLE C/C DE 75[mm]	$102,72	$1.848,96
1000601020	1208,1	[TBO]	TUBO COBRE M DE 13[mm]	$266,37	$321.801,60
1000601030	341,4	[TBO]	TUBO COBRE M DE 19[mm]	$425,98	$145.429,57
1000601040	74,7	[TBO]	TUBO COBRE M DE 25[mm]	$615,97	$46.012,96
1000601090	160,29	[TBO]	TUBO COBRE M DE 75[mm]	$5.530,82	$886.535,14
SIN CODIGO	7	[PZA]	CRUCETA DE FIERRO GALVANIZADO DE 75[mm]	$399,00	$2.793,00
SIN CODIGO	2	[PZA]	CHECK PICHANCHA 75 [mm]	$471,00	$942,00

SUBTOTAL	**$1.414.913,06**
I.V.A.	**$212.236,96**
TOTAL	**$1.627.150,01**

Cotización 1 La empresa El Surtidor.

CASA BLANCA XOCHIMILCO		R.F.C. RISY-460320-E13 Tel: 56762790, 56768509		
CLAVE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	IMPORTE
160-10713	32	CODO 13[mm]X90º #107 COBRE	$3,13	$100,16
160-10719	5	CODO 19[mm]X90º #107 COBRE	$7,04	$35,20
160-10775	11	CODO 75[mm]X90º #107 COBRE	$351,38	$3.865,18
160-111-13	14	TEE 13[mm] COBRE #111 COBRE	$5,25	$73,50
160-111-19	4	TEE 19[mm] COBRE #111 COBRE	$15,14	$60,56
160-111-25	1	TEE 25[mm] COBRE #111 COBRE	$49,84	$49,84
160-111-76	3	TEE 76[mm] COBRE #111 COBRE	$683,11	$2.049,33
104-62513	5	LLAVE GLOBO SOLD 625,13[mm]	$84,28	$421,40
104-62525	1	LLAVE GLOBO SOLD 625,25[mm]	$262,90	$262,90
105-78313	10	VÁLVULA COMP CPTA SOLD 783,13[mm]	$64,81	$648,10
105-78319	3	VÁLVULA COMP CPTA SOLD 783,19[mm]	$82,67	$248,01
105-78375	2	VÁLVULA COMP CPTA SOLD 783,75[mm]	$1.824,16	$3.648,32
160-10075	18	COPLE 75[mm] #100 COBRE	$103,08	$1.855,44
162-TMN136	1208,1	TUBO COBRE T-M 13[mm] NACOBRE 6[m]	$206,28	$249.206,87
162-TMN196	341,4	TUBO COBRE T-M 19[mm] NACOBRE 6[m]	$337,22	$115.126,91
162-TMN256	74,7	TUBO COBRE T-M 25[mm] NACOBRE 6[m]	$578,56	$43.218,43
162-TMN766	160,29	TUBO COBRE T-M 76[mm] NACOBRE 6[m]	$6.355,55	$1.018.731,11
106Z-CH/4045R50	2	CHECK PICHANCHA 4045R,50	$220,10	$440,20
160-11475	7	CRUZ 75[mm] #114 COBRE	$776,34	$5.434,38

SUBTOTAL	**$1.445.475,84**
IMPUESTO	**$216.821,38**
TOTAL	**$1.662.297,21**

Cotización 2 La empresa Casa blanca Xochimilco.

8.3 COTIZACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS.

Con los cálculos realizados en el caso práctico para una carga dinámica de 62.758[mca], con un motor de 10[H.P.] y 9.35 [litros/s] se cotizaron las dos bombas según lista de precios de la Comercializadora Estokey ubicada en Calle Victoria Numero 73-B, Col. Centro, C.P. 06070, México D.F.
Marca Siemens de 220/440[VCA], con diámetro de 3” en la tubería de succión, con diámetro de 3” en la tubería de descarga, con un valor de $10,000+I.V.A. cada una.

8.4 COTIZACIÓN DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO DE MEMBRANA VERTICAL.

El precio se adquirió de acuerdo a la lista de precios actualizada de Comercializadora Estokey ubicada en Calle Victoria Numero 73-B, Col. Centro, C.P. 06070, México D.F.
El tanque hidroneumático requerido para este proyecto debe ser capaz de almacenar aproximadamente 759.13[litros], el cual tiene un costo de $22,000+I.V.A.

8.5 COTIZACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO.

El precio de los componentes del control electrónico se adquirieron de acuerdo a la lista de precios actualizada de: Electónica Steren S.A. de C.V. ubicada en Republica del Salvador No. 20-A y D, col. Centro, entre Eje Central y Bolivar, C.P. 06000, México D.F.

Electrónica Steren S.A. de C.V. **DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**CANTIDAD**	**IMPORTE**
TRANSFORMADOR 18 VOLTS 1. [AMP]. C/TAP CENTRAL	[PZA]	$110,00	1	$110,00
PUENTE RECTIFICADOR 2W02M	[PZA]	$11,00	2	$22,00
DIODO DETECTOR USO GENERAL 75V 75MA.	[PZA]	$1,00	7	$7,00
DIODO ZENER 4147	[PZA]	$3,00	1	$3,00
CIRCUITO INTEGRADO LINEAL LM317T	[PZA]	$7,00	1	$7,00
REGULADOR DE VOLTAJE POSITIVO 12V/1A	[PZA]	$6,00	1	$6,00
REGULADOR DE VOLTAJE POSITIVO 9V/1A	[PZA]	$6,00	1	$6,00
CIRCUITO INTEGRADO LINEAL 4N25	[PZA]	$7,00	1	$7,00
CIRCUITO INTEGRADO LINEAL 4N30	[PZA]	$8,00	1	$8,00
CIRCUITO INTEGRADO TTL 74LS74	[PZA]	$7,00	1	$7,00
CAP ELECTROLÍTICO RADIAL DE 1000MF A 25V	[PZA]	$5,00	2	$10,00
CAP ELECTROLÍTICO RADIAL DE 1MF A 63V	[PZA]	$2,00	1	$2,00
CAP ELECTROLÍTICO RADIAL DE 10MF A 63V	[PZA]	$2,00	1	$2,00
CAP ELECTROLÍTICO RADIAL DE 100MF A 63V	[PZA]	$4,00	1	$4,00
CAP DE TANTALIO DE 0.1MF A 50V	[PZA]	$7,00	3	$21,00
RESISTENCIAS DE CARBÓN 1/4 WATT	[PZA]	$0,50	17	$8,50
POTENCIÓMETRO TRIM-POT AJUSTE LATERAL 5 K	[PZA]	$29,00	1	$29,00
POTENCIÓMETRO DE CARBÓN SIN SWITCH 100 K	[PZA]	$12,00	1	$12,00
TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL MOTOROLA PNP	[PZA]	$4,00	1	$4,00
TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN MOTOROLA	[PZA]	$4,00	3	$12,00
TRANSISTOR DE POTENCIA NPN MOTOROLA 100VCEO	[PZA]	$40,00	1	$40,00
RELEVADOR MINIATURA 1P/2T BOBINA DE 12 VCD	[PZA]	$15,00	2	$30,00
RELEVADOR COMPACTO 1P/2T BOBINA DE 12 VCD	[PZA]	$11,00	3	$33,00
LED 5 [mm] BLANCO, PRENDE ROJO Y VERDE	[PZA]	$4,00	2	$8,00
LED 5 [mm] ROJO, PARPADEO INTERMITENTE	[PZA]	$5,00	1	$5,00
ALAMBRE PARA CONEXIONES ESTANADO NEGRO CAL 22	[MTO]	$4,00	2	$8,00
GABINETE DE PLÁSTICO GRIS C/TAPA 160X95X62	[PZA]	$78,00	1	$78,00
BANCO DE TERMINALES 2 FILAS 24 TORN.PLÁSTICO	[PZA]	$20,00	1	$20,00
PLACA FENÓLICA UNA CARA 10X15 [cm]	[PZA]	$13,00	3	$39,00

TOTAL	$548,50

8.6 COTIZACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.

Este Tablero de Control se cotizó con la Comercializadora Estokey ubicada en Calle Victoria Número 73-B, Col. Centro, C.P. 06070, México D.F.
Es de la marca Electrotecnía ROM y tiene un precio de $10,700+I.V.A.

La cotización total es de: $ 1,688,385.79 con I.V.A. incluido.

CONCLUSIONES.

La vivienda constituye una de las principales necesidades humanas en términos sociales e individuales, ya que en ella se reproduce la fuerza del trabajo. En la vivienda el trabajador ejerce las principales funciones de descanso, alimentación, aseo, etc. Uno de los principales problemas que se tienen en muchas partes de nuestro país es la gran demanda de consumo de agua esto ocasiona que la presión de la red municipal no llegue a ser la requerida en viviendas de más de un nivel de altura por lo que se utilizan sistemas de elevación de presión de agua para que se tenga la presión adecuada (presión nominal) para funcionamiento de los muebles sanitarios, lo cual a llegado a convertir a los sistemas de elevación de presión hidráulica como una necesidad de la vida diaria para todos los sectores de la población.

Este tipo de proyectos tienen un costo inicial muy alto ya que para su operación es necesario la utilización de más elementos como son: el tablero de control y el tanque hidroneumático tienen un costo elevado como se comprobó en el capítulo 8 análisis de costos.

Con respecto al desarrollo de la tesis podemos concluir que es de gran importancia el conocimiento de otras ramas de la ingeniería como son la hidráulica y civil entre otras, que conjuntamente con la ingeniería eléctrica y electrónica se desarrollan este tipo de proyectos, en los cuales es indispensable analizar los recursos (tanque hidroneumático, muebles sanitarios, bombas, etc), mínimos necesarios, mediante los cuales el sistema es eficiente.

Se puede concluir que se tiene facilidad de colocar estos tipos de sistemas de suministro de agua en cualquier parte dentro de la infraestructura del proyecto sin afectar su operación, evitando cargas adicionales en las estructuras de los inmuebles, no requiere estructuras especiales para su colocación y previniendo inundaciones en azoteas.

Como se puede observar los atributos al implementar este tipo de sistemas es posible amortiguar problemas de golpe de ariete, que es uno de los principales factores que disminuyen el tiempo de vida de las válvulas en los muebles instalados.

Como se puede observar el uso de este tipo de sistemas, en la actualidad no suele utilizarse en viviendas, nosotros propondríamos la utilización de este tipo de sistemas para el mejor aprovechamiento de este vital líquido que a su vez mantiene el tiempo de vida de los muebles instalados en las viviendas.

Al realizar el proyecto de tesis nos dimos cuenta que en la actualidad los sistemas hidroneumáticos tienen una gran importancia no solo en aplicaciones de viviendas ya que son de gran demanda en la industria donde se requieren presiones constantes para equipos especializados de tratamiento y purificación de agua.

En el desarrollo de la tesis se tuvo la necesidad de contactar algunos fabricantes y proveedores de este sistema en cuestión; para obtener información técnica y comercial, encontrando que existen en el mercado una gran cantidad de proveedores que desarrollan y venden este tipo de proyectos, ya que tienen una gran demanda. Se tuvo como

experiencia que la gran mayoría de estos proveedores y vendedores de equipo no proporcionan asesoría técnica, muchos de ellos se basan en guías de consulta rápida o tablas proporcionadas por el fabricante, en las cuales no se tiene ningún tipo de memoria de cálculos. Una de las informaciones técnicas que se nos proporcionó fue que se pueden utilizar dos tanques hidroneumáticos para satisfacer las necesidades de nuestro proyecto, al contrario de manufacturarlo con algún fabricante ya que es de dimensiones especiales y su costo sería mayor.

Uno de los mayores problemas al realizar esta tesis, es que existen en el mercado muchos tipos de controles electrónicos duplex para sistemas hidroneumáticos que se diferencian en sus componentes, lo cual se ve reflejado en el costo de los mismos, dependiendo de la tecnología que estos utilicen, en algunos casos no es recomendable manufacturar el circuito ya que el costo de fabricación es mayor que los circuitos comerciales existentes; se tomo la decisión de utilizar y adecuar algunos circuitos ya existentes en el mercado para abatir el costo del mismo.

APÉNDICE.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE LOS GASES.

Gases ideales y reales.

Los estados de agregación en los cuáles se pude clasificar a toda materia existente son tres: sólido, líquido y gaseoso.
El estado particular de agregación de una sustancia esta determinada por la temperatura y presión bajo la cual existe. Sin embargo, dentro de ciertos límites de temperatura y presión una sustancia puede encontrarse en más de un estado a la vez, he incluso en todos ellos cuando las condiciones son muy especiales. Por tal motivo ha sido conveniente clasificar a los gases en dos tipos principales:
a) gases ideales, y b) gases no ideales ó reales. En los gases ideales, el volumen13413 ocupado por las propias moléculas es insignificante en comparación con el volumen total, y esto es válido para todas las presiones y temperaturas además, la atracción intermolecular es intima bajo cualquier medición.
Para los gases reales, ambos factores son apreciables y la magnitud de ellos depende de la naturaleza, temperatura y presión. Resulta claro que un gas ideal es hipotético, ya que cualquier gas debe contener moléculas que ocupan un volumen definido y ejercen atracciones entre si. Sin embargo, con frecuencia la influencia de estos factores es insignificante y el gas puede considerarse ideal. Estas últimas condiciones se obtendrán a presiones bajas ya a temperaturas relativamente elevadas, condiciones bajo las cuáles el espacio" libre" dentro del gas es grande y pequeña la fuerza de atracción entre las moléculas.

Propiedades generales de los gases.

Los gases son fluidos aeriformes que revelan su existencia actuando bajo nuestros sentidos: vista, tacto y olfato.

Experiencias precisas han demostrado que a cero grados centígrados y a presión de 76[cm] de Hg., un litro de aire pesa 1.293 [gr].
La presión de una gas en un punto dado queda definida por la fuerza que este gas ejercería sobre cada una de las caras de una superficie plana cuya área es la unidad y cuyo centro de gravedad coincidiera con el punto considerado.

La teoría cinética de los gases, nos dice que la presión que ejerce un gas contra las paredes del depósito que lo contiene se debe al estado de agitación de sus moléculas; ahora bien, si la presión vale cero, qui1ere decir que las moléculas ya no se mueven.
Ala temperatura de cero absoluto las moléculas de un cuerpo quedan en reposo teóricamente.

ELASTICIDAD DE LOS GASES.

La gran cantidad de aire que se pueda introducir e un recipiente cerrado, pone de manifiesto la propiedad que tiene el aire de comprimirse, reduciendo su volumen notablemente, pero ello a expensas de su presión, así como recíprocamente, cuando se

destapa dicho recipiente, se puede observar que el aire sale con violencia, lo que pone de manifiesto la propiedad de expanderse que tiene el aire comprimido.
Si en un deposito cilíndrico cerrado por un embolo se introduce cierta cantidad de gas, se puede reducir su volumen ejerciendo una fuerza sobre el embolo, al hacer esto, tiene que aumentar su peso específico, pues en 1 cm^3 del gas comprimido hay un mayor NÚMERO de moléculas que en 1 cm^3 del gas antes de comprimirse.

El volumen de un gas cambia notablemente al variar su presión y al modificar su temperatura, por ejemplo si se tiene un globo lleno de aire encerrado en un refrigerador como su volumen es de cierto número de cm^3, pero si se saca el globo al sol, se verá que aumenta notablemente su volumen.

COMPRESIBILIDAD.

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

EXPANSIBILIDAD.

Es una propiedad de los gases que en virtud de la cuál los gases se expandan, es decir que ocupan todo el volumen del depósito en que se colocan.
A la propiedad que tienen los gases de cambiar fácilmente de volumen, se llama elasticidad de los gases. Puede probarse que esta elasticidad es perfecta o dicho de otro modo, que recobra exactamente el mismo volumen, cuando la causa que provocó la variación de volumen ha desaparecido.
Se han llegado a establecer leyes o generalizaciones que constituyen el punto de partida de la conducta de los gases en cualquier discusión algunas de estas son:

a) la ley de Boyle.
b) la ley de Charles Gay Lussac.
c) la ley de las presiones parciales de Dalton.
d) la ley de difusión de Graham.

Leyes de los Gases.

La determinación de una ecuación de estado de los gases implica inevitablemente la medición de la presión, o fuerza por unidad de área, que un gas ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene. La presión de los gases comúnmente se expresa en atmósferas o milímetros de mercurio.

El estudio sistemático del comportamiento de los gases le interesó a los científicos durantes siglos. Destacan los nombres de varios investigadores que establecieron las propiedades de los gases.

Ley De Boyle.

La relación matemática que existe entre la presión y el volumen de un cantidad dad de un gas a una cierta temperatura fue descubierta por Robert Boyle en 1662. Boyle encerró una cantidad de aire en el extremo cerrado de un tubo en forma de U, utilizando mercurio

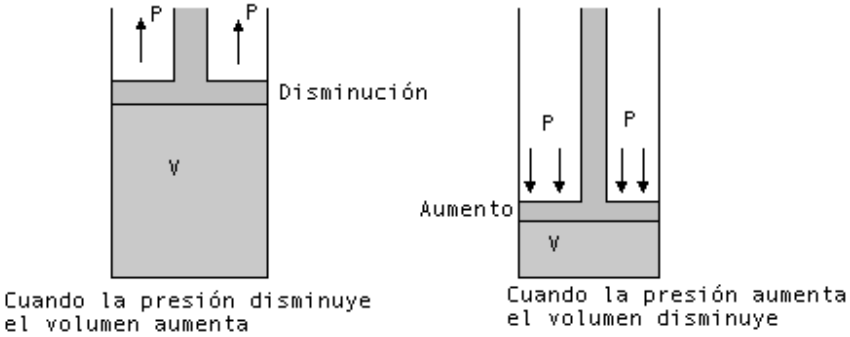
como fluido de retención. Boyle descubrió que el producto de la presión por volumen de una cantidad fija de gas era un valor aproximadamente constante. Notó que si la presión de aire se duplica su volumen era la mitad del volumen anterior y si la presión se triplicaba el volumen bajaba a una tercera mitad del inicial.
También observo que al calentar un gas aumentaba su volumen si la presión se mantenía constante, a este proceso se le llama proceso isobárico.
La ley de Boyle se puede expresar como:

$$P = \frac{Knt}{V} \rightarrow P1V1 = P2V2$$

Donde:

$K_{n,t}$ es una constante cuyo valor depende de la temperatura y de la cantidad de gas.

Hoy, después de numerosas confirmaciones del trabajo de Boyle y experimentos adicionales, la relación entre el volumen y la presión de un gas se conoce como Ley de Boyle. Si aumenta la presión de un gas. El volumen disminuye proporcionalmente; por lo tanto, si la presión disminuye, el volumen aumenta. Si dos cantidades son inversamente proporcionales, cuando una aumenta la otra disminuye. Un ejemplo sería un globo inflado, cuando oprimimos el globo (aumenta la presión) el volumen disminuye; al soltarlo (disminuye la presión) el volumen aumenta.
"El volumen de un gas, a temperatura constante, es inversamente proporcional a la presión" véase la siguiente figura 3.



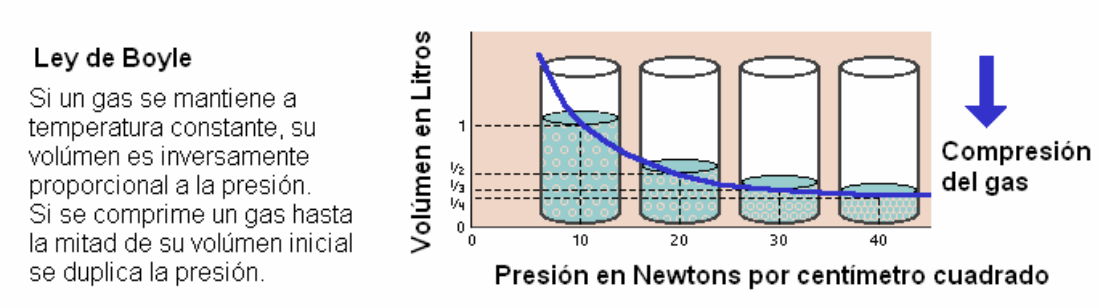


Figura 3 Ley de Boyle.

Ley De Charles.

En 1787, Jacques Charles investigó la relación existente entre el volumen y la temperatura de una gas a presión constante véase la siguiente figura 4:

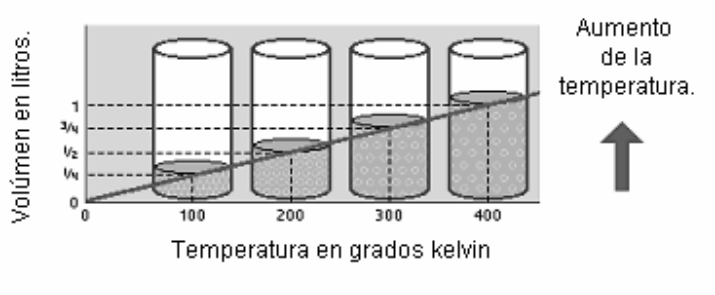


Figura 4 Ley de Charles.

Al conservar la presión constante, el volumen aumenta y cuando la temperatura aumenta, el volumen también aumenta. Luego, había una proporcionalidad lineal directa entre el volumen y la temperatura, la cual se conoce como Ley de Charles. Por ejemplo si se tiene un globo lleno de aire aumenta su volumen cuando se le caliente y lo disminuye cuando se le enfría.

El volumen de un gas a presión constante es directamente proporcional a la temperatura kelvin.

Ley de las Presiones Parciales de Dalton.

Cuando Dalton formuló por primera vez su teoría atómica poco había elaborado la teoría acerca de la vaporización del agua y el comportamiento de mezclas gaseosas. A partir de sus mediciones dedujo que dos gases es una mezcla actuaban de manera mutuamente independiente.
Por ejemplo si se colocan tres gases en un recipiente de determinado volumen, V, se puede considerar que cada uno de los gases ocupa todo el volumen. Es decir, si el gas está cerrado, las moléculas del gas debido a su rápido movimiento azar y ase tamaño tan pequeño, ocuparán todo el recipiente. Luego, cada uno de los tres gases que forman todo el recipiente. Luego, cada uno de los tres gases forman la mezcla tendrá el volumen V. Ahora, si temperatura del recipiente tuviera un valor constante, T, cada uno de los gases tendría esta temperatura.

Si estudiamos cada uno de estos gases en forma separada, la contribución a la presión de cada componente está directamente relacionada con el número de moles del componente y con la razón a la que las partículas chocan con las paredes del recipiente. Dado que cada componente tiene el mismo volumen y temperatura, las diferencias entre las presiones que ejercen se deberá a los distintos números de moles.
La presión que ejerce un componente determinado de la mezcla de gases si éste ocupara por sí solo el recipiente, se llama presión parcial del componente. Las presiones parciales se calculan aplicando la ley de los gases ideales a cada componente. Así la presión parcial, P_c, para una componente consistente en n_c moles está dada por la expresión:

$$Pc = \left[\frac{\mathrm{nc}RT}{V} \right]$$

Se puede calcular la presión parcial de cada componente, si se conoce el número de moles de cada uno en la mezcla encerrada en un volumen determinado, a una temperatura dada. Debido a que las partículas de cada gas componente se conducen en forma independiente, la presión total que ejerza la mezcla será un resultado de todas las partículas.
Establece que la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los gases individuales.

$$P_t = p_a + p_b + p_c + ...$$

Está relación se conoce como Ley de las Presiones Parciales de Dalton e indica que la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los componentes de la mezcla véase la figura 5.
La ley de Dalton es muy útil cuando deseamos determinar la relación que existe entre las presiones parciales y la presión total de una mezcla de gases.

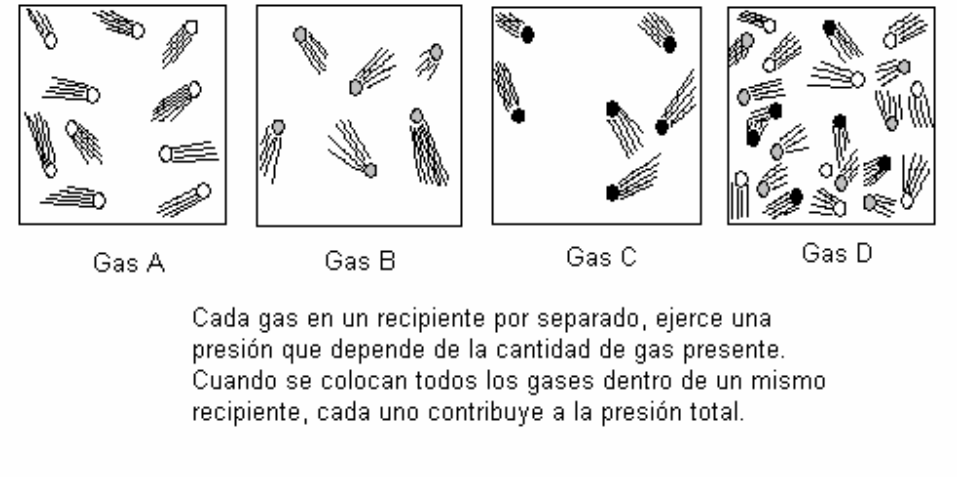


Figura 5 Ley de las Presiones Parciales de Dalton.

Ley de Gay-Lussac.

Cuando se investiga experimentalmente como depende entre sí el volumen y la temperatura de un gas a una presión fija, se encuentra que el volumen aumenta linealmente al aumentar la temperatura. Esta relación se conoce como Ley de Charles y Gay-Lussac, y se puede expresar algebraicamente por:

$$V = V_0(1 + \propto t)$$

Donde:

V_0 es el volumen que a la temperatura de 0 [ºC].
$\propto$ es una constante que tiene aproximadamente el valor 1/273 para todos los gases.
t es la temperatura en la escala Celsius.

Esta ecuación establece que el volumen de un gas aumenta linealmente al aumentar su temperatura.

GLOSARIO.

ANSI.

Instituto Americano de Estándares Nacionales.

ARMADURA.

El conductor giratorio en un motor CD.

ARROLLAMIENTOS.

En su función básica lo esencial de los arrollamientos es el numero de espiras, siendo de interés secundario la forma de tales espiras y la disposición de los arrollamientos. Dos disposiciones constructivas son el arrollamiento concéntrico o por capas, separados por un cilindro de material aislante. Arrollamientos alternados constituidos por discos, galletas o bobinas.

ARQUEO.

El efecto generado cuando la corriente eléctrica puentea el espacio de aire entre dos conductores que no se están tocando.

BOBINAS.

Los devanados estacionarios del motor CD que generan el campo electromagnético.

CABALLO DE POTENCIA.

Una unidad de medición de la potencia, que se utiliza para determinar la cantidad de Trabajo que puede efectuar un motor. Un caballo de potencia es igual a 33,000 pies-libras por minuto de Trabajo.

CAMPO DE LA ACELERACIÓN.

Este campo se deriva del campo de las velocidades, ya que el vector aceleración de una partícula en un punto se define como la variación temporal de la velocidad en ese punto; así:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt}$$

La aceleración de una partícula de un fluido se puede considerar como la superposición de dos efectos.

1. Una aceleración debida al cambio de posición, que se conoce como convectiva; está asociada al cambio de posición.

2. Una aceleración que es debida a la variación de la velocidad en la posición ocupada por la partícula al transcurrir el tiempo; se conoce como aceleración local.

Por tanto, definiendo los vectores unitarios s, n y b, de forma ortogonal, para cualquier punto de la trayectoria de una partícula, éstos nos definen tres planos fundamentales: plano osculador, plano normal y plano rectificador; podemos ver que los vectores s y n se encuentran en el plano osculador, el cual contiene también al radio de curvatura. Por tanto, expresando la velocidad en términos de s, es función de la distancia recorrida s y del tiempo t; la aceleración es:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(vs) = \frac{dv}{dt}s + (\frac{ds}{ds}\frac{ds}{dt})$$

$$a = \frac{dv}{dt}s + v^2\frac{ds}{ds}$$

De esta última expresión, el primer término que involucro al vector unitario s, representa la aceleración local, puesto que involucro al tiempo; el segundo término, corresponde a la aceleración, puesto que está asociada al cambio de posición del punto analizado.

CAMPO DE LA VELOCIDAD.

El vector velocidad de una partícula fluida, se define como la rapidez temporal del cambio de su posición. Si la partícula $P_{o,}$ se desplaza siguiendo una trayectoria C, descrita por el vector de posición r = xi + yj + zk, la velocidad queda definida por:

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

donde dr representa el vector diferencial de arco, sobre la curva C, que recorre la partícula en el tiempo dt.

Si s representa un vector unitario, tangente en cada punto a la trayectoria de la partícula, y además es función de s, la velocidad se puede expresar:

$$v = vs = \frac{ds}{dt}s = \frac{ds}{dt}$$

CAPACIDAD NOMINAL DE CORRIENTE CONTÍNUA.

La cantidad de corriente que el interruptor puede llevar continuamente a 60 ciclos sin rebasar el límite de elevación de temperatura, según las gráficas de ANSI.

CINEMÁTICA DE LOS LÍQUIDOS.

Para clasificar los diversos tipos de flujo, se requiere de diversas magnitudes cinemáticas, como son los campos de velocidad, aceleración y rotación.

COLUMNA DE AGUA.

Una columna de agua en un tubo vertical desarrolla cierta presión (fuerza por unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo.
Esta presión se puede expresar en [kg/cm2], o como número de metros de líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie.

CONTACTOS.

Un método para abrir y cerrar el circuito conforme a los contactos se cierran o abren.

DENSIDAD (ρ).

La densidad ρ representa la masa de fluido contenida por unidad de volumen, o en otras palabras, es la masa de fluido por volumen unitario. Se obtiene dividiendo la masa del fluido entre su volumen; matemáticamente la densidad de un punto queda definida por:

$$\rho = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\Delta M}{\Delta v}$$

donde ΔM masa de fluido contenida en el elemento de volumen Δv que rodea al punto.

DENSIDAD RELATIVA (δ).

Otro término que se utiliza es el de densidad relativa (δ), que es adimensional; su expresión es la siguiente:

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

ENERGÍA ALMACENADA.

Un mecanismo utilizado para superar las fuerzas inherentes opuestas al proceso de cierre del interruptor, que almacena energía hasta que se requiera para ayudar a abrir el interruptor

ESCOBILLAS.

Los componentes estacionarios del conmutador, que suministran corriente a los segmentos rotatorios del conmutador.

ESTATOR.

La parte estacionaria de un motor C.A.

FLUJO MAGNÉTICO.

La dirección de un campo magnético.

GASTO O CAUDAL.

El flujo a través de toda una superficie S, se define como gasto o caudal. Para un intervalo dt, el volumen de fluido que atraviesa el elemento dA se determina por el producto escalar de dos vectores:

-El diferencial de arco ds sobre la línea de corriente que pasa por P, y
-el vector diferencial de superficie dA

Así, considerando que ds = vdt tenemos:

dV = ds ·dA = v · dA dt

Integrando en toda la superficie S, obtenemos el gasto:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \qquad \text{v} \cdot d\text{A}$$

Las ecuaciones que presentaremos, están referidas al flujo unidimensional, permanente y uniforme.

IEEE.

Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Una organización técnica objetiva conformada por fabricantes, usuarios, y otros interesados generales.

INDUCCIÓN.

El proceso de producir una corriente a través del movimiento relativo de un campo magnético a través de un conductor.

INTERRUPTORES DE CIRCUITO.

Un dispositivo de protección contra sobre-corrientes reutilizable. Después del disparo del interruptor de circuito, puede ser re-inicializado para proteger el circuito otra vez.

MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.

El tipo de motor C.A. más común que se conoce por este nombre debido al parecido del rotor con una jaula utilizada para ardillas.

NEMA.

Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.

PAR.

Es la Fuerza de rotación.

PESO ESPECÍFICO (γ).

Un valor estrechamente relacionado con la densidad es el peso específico γ, que representa el peso del fluido por unidad de volumen.

Los dos valores anteriores, densidad (ρ) y peso específico (γ), se relacionan mediante la expresión:

$$\gamma = \rho g$$

donde g es la aceleración local de la gravedad.

POLARIDAD.

La dirección de flujo de corriente a través de un conductor.

POLOS.

Los devanados estacionarios del motor CD que generan un campo electromagnético.

POTENCIA.

Para el cálculo de la potencia, se utilizan las expresiones:

$$P = \frac{\gamma Q H}{76\eta}, \text{ en HP} \quad \text{ó} \quad P = \frac{\gamma Q H}{75\eta}, \text{ en CV}$$

donde P es la potencia; γ es el peso específico del fluido, en [kg/m^3], H es la energía suministrada o sustraída, en [m]; Q, gasto, en [m^3/s]; y η es la eficiencia de la turbomaquinaria.

PRESIÓN.

En los problemas de bombas, generalmente se consideran tres tipos de presión que son: absoluta, barométrica y de columna.
La presión absoluta es la presión arriba del cero absoluto. Puede encontrarse arriba o

abajo de la presión atmosférica existente en el punto de consideración. La presión barométrica es la presión atmosférica de la localidad estudiada, y varia con las condiciones de altitud y clima. La presión de columna es arriba de la presión atmosférica en la localidad que se mida.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

El servicio de agua debe proveer agua segura en todo momento:
- en volúmenes adecuados.
- con presión suficiente (normalmente no menos de 2.4 [kg/cm2] ó 24 [m] de columna de agua en cualquier punto del sistema).

La presión atmosférica no es otra cosa que la presión ejercida por el aire de nuestra atmósfera, debida a su propio peso. Al nivel del mar, una columna de aire de 1 cm^2 de sección, y cuya altura es la atmosférica pesa 1,03 [KP].
Así pues, la presión es 1,03 [Kp/cm^2]. A alturas más elevadas, naturalmente la columna pesa menos y la presión es inferior. Bajo el nivel del mar la presión atmosférica es superior a 1 [Kp/cm^2].
Cualquier condición donde la presión sea inferior a la presión atmosférica se denomina vacío o vacío parcial. Un vacío perfecto es la ausencia total de presión o sea O [Kp/cm^2] absolutos.
La presi6n atmosférica también puede medirse en milímetros de mercurio [mm.Hg] mediante un aparato llamado barómetro.

PROTECCIÓN CONTRA FALLA DE CONEXIÓN A TIERRA.

Una forma de protección que reacciona a condiciones de falla de conexión a tierra.

PROTECCIÓN INSTANTÁNEA.

Una forma de protección que reacciona a condiciones de falla de alto nivel.

ROTOR.

La parte giratoria de un motor CA.

TENSIÓN DE CONTROL.

La tensión utilizada para operar dispositivos secundarios.

TRANSFORMADOR.

Un Transformador se define como una máquina estática con la finalidad de transmitir la energía eléctrica de corriente alterna de un nivel de voltaje en energía eléctrica de corriente alterna de otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético. Consiste en dos o más bobinas de alambre arrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están (generalmente) conectadas directamente. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común presente dentro del núcleo.

Una de las bobinas del transformador esta conectada a una fuente de fuerza eléctrica de corriente alterna, y la segunda (y quizá la tercera) bobina suministro fuerza eléctrica a las cargas. La bobina del transformador, conectada a la fuente de fuerza se llama bobina primaria o bobina de alimentación y la bobina conectada a las cargas se llama bobina secundaria o bobina de salida de energía. Si hay una tercera bobina en el transformador se llama bobina terciaria.

VACÍO.

Una tecnología de extinción de arco. Presenta un par de contactos separables que se encuentran en una envoltura hermética vacía. Puesto que el entorno dentro de la envoltura del interruptor es un vacío, un arco no puede sostenerse fácilmente.

VELOCIDAD SÍNCRONA.

La velocidad de rotación del estator, definida por la fórmula:

N = 120f/P

Donde:

N es la velocidad síncrona del motor en revoluciones por minuto [RPM].
f es la frecuencia suministrada al motor en Hertz [Hz].
P es el número de polos del motor.

VISCOSIDAD.

Es una medida de su resistencia a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. Según Newton, el esfuerzo tangencial τ es proporcional al gradiente transversal de velocidades $\partial v / \partial y$. La constante de proporcionalidad μ es una magnitud característica de la viscosidad del fluido y se conoce como viscosidad dinámica o simplemente, viscosidad. La ley de viscosidad de Newton, es la siguiente:

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial y}$$

Además de la viscosidad o viscosidad dinámica (μ), se maneja también el concepto de viscosidad cinemática (v); la ventaja de utilizar esta viscosidad cinemática, es que es independiente de los conceptos de masa y fuerza. Ambas se relacionan como sigue:

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

BIBLIOGRAFÍA.

1. Ing. Sergio Zepeda C. “Manual de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias, Aire, Gas y Vapor”, Editorial Limusa, S.A. de C.V., México, D.F. 2004.
2. Manuel Roca Suárez & Juan Carratalá Fuentes, ”Fontanería” Departamento de Construcción Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Las palmas de Gran Canaria.
3. ICA, “Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios”.
4. RACOM Microelectronics S.A. de C.V., Gaviotas #100 Col. Granjas Modernas C.P. 07460, Del. Gustavo A. Madero México D.F.
5. Industrias Nacobre, S.A. de C.V.
6. Tabla modificada del Manas Vicent T, Nacional Plumbing Code Handbook, Standard and design infotmation, McGraw Hill, tabla 24.12 “Recommended flows for use in desining water-distribution system in small residencial installations” pp 24-21.
7. Azevedo de J.M., Guillermo Acosta A., “Manual de Hidráulica”, HARLA, , p. 217. Los valores de esta tabla fueron obtenidos para tuberías de fierro y acero. México, 1976.
8. Código ASME (American National Standards Institute) sección VIII división uno partes A, B, C (recipientes a presión no sometidos a fuego directo).
9. Enríquez Harper, “Manual de Instalaciones electromecánicas en casas y edificios”. Ed. Limusa Noriega Editores.
10. Rusell George E., “Hidráulica General”, Compañia Editorial Continental, S.A. México 1985.
11. Sotelo Avila Gilberto, “Hidráulica General”, Grupo Noriega Editores Limusa. México 1985.
12. Albert Schlag, “Hidráulica”, Editorial Limusa México 1982.
13. William K.Y. Tao, “Manual de Instalaciones Eléctricas y Mecánicas en Edificios Tomo I”, Primera Edición, Richards R. Manis, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. México 1997.
14. Ranald V. Giles B.S., M.S. en C.E., “Mecánica de los fluidos e hidráulica”, Mc Graw Hill. México D.F. 2da. Edición. 1981.
15. Jams W Daily Donald R.F. Harleman, “Dinámica de los fluidos con aplicaciones en la Ingeniería”, Ed. Trillas México 1975.
16. Tyler G. Hicks Bme, “Bombas su Selección y Aplicación”, Compañía Editorial Continental, S.A. México-España. 1967.
17. A. H. Church. Editorial Reverte Alsina, “Bombas y Máquinas Soplantes Centrifugas”, 731. Buenos Aires.
18. Humberto Gardea Villegas, “Aprovechamientos Hidroeléctricos y de Bombeo”, Editorial. Limusa.
19. Enciclopedia Salvat de la Técnica, "Cómo funciona", Volumen VI, Salvat Editores, S.A., España, 1981.
20. Rascón Ch. Octavio, Villareal A. Augusto, "introducción a Probabilidades y Estadística", Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Marzo 1972.
21. Irving L. Kosow, “ Máquinas Eléctricas y Tranformadores”, Ed. Reverté, S.A de C.V., España 1980.

22. Comisión Federal de Electricidad, “Manual de Diseño de Obras Civiles”, Hidrotecnia, A.1.4. Pérdidas", Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 1981.

23. INTERNET

http://www.eatonelectrical.com/unsecure/html/101basicsmx/101basics.html

http://www.erom.com.mx