



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

*Sej. 117*

EQUIPO DE  
BOMBEO PARA  
INSTALACIONES  
HIDRAULICAS  
EN EDIFICIOS

TESIS

Que para obtener el titulo de  
INGENIERO CIVIL

presenta:

LUIS RICARDO NAVARRO GALVEZ

MEXICO, D.F.

1981



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A MI ESPOSA:

CONSUELO BRENES DE N.

QUIEN CON SU COLABORACION,  
COMPRESION Y CARIÑO, HIZO  
POSIBLE LA CULMINACION DE  
ESTE ANHELO.

AL MAYOR DON DE LA VIDA  
A MIS HIJOS:

LUIS RICARDO Y ANA LUISA

A LA MEMORIA DE MI MADRE:

MARIA LUISA GALVEZ DE N.

CON INMENZA GRATITUD,  
PORQUE ME DIO FORMA, VIDA  
Y PORQUE SOY LA SEÑAL EN  
EL CAMINO QUE DEJO A SU PASO

CON RESPETO Y CARIÑO  
A MI PADRE:

LUIS NAVARRO RAMIREZ

CON MI SINCERO AGRADECIMIENTO  
A LOS INGENIEROS:

FRANCISCO GARZA MALDONADO  
ENRIQUE CHIÑAS DE LA TORRE

POR LAS FACILIDADES, ORIENTACION  
Y APOYO QUE ME BRINDARON EN  
LA ELABORACION DE ESTE TRABAJO

CON GRATITUD A MIS MAESTROS.

A MIS FAMILIARES, AMIGOS Y  
A TODAS AQUELLAS PERSONAS  
QUE ME HAN ALENTADO EN EL  
TRANSCURSO DE MI VIDA.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1- 255 T, E,

Al Pasante señor LUIS RICARDO NAVARRO GALVEZ  
P r e s e n t e .

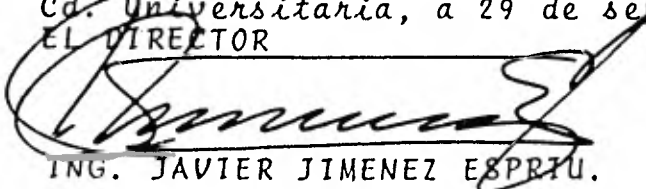
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Francisco Garza Maldonado, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

EQUIPO DE BOMBEO PARA INSTALACIONES HIDRAULICAS EN EDIFICIOS

- I. Prólogo
- II. Introducción
- III. Selección de bombas
- IV. Equipos hidroneumáticos
- V. Conclusiones
- VI. Apéndice.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 29 de septiembre de 1981  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU.

267  
JJE/OB/H/sho.

# I N D I C E

## "EQUIPO DE BOMBEO PARA INSTALACIONES HIDRAULICAS EN EDIFICIOS".

	Pag.
I.- <u>PROLOGO</u> -----	1
II.- <u>INTRODUCCION</u> -----	3
III.- <u>SELECCION DE BOMBAS</u> -----	7
III.1.-    CLASIFICACION -----	7
III.1.1.-    BOMBAS CENTRIFUGAS-----	10
III.1.2.-    BASES PARA SELECCIONAR LAS BOMBAS CENTRIFUGAS-----	12
III.1.3.-    POTENCIA Y CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS-----	14
III.1.4.-    CARGA TOTAL (H) PARA CALCULO DE BOMBAS CENTRIFUGAS-----	20
III.1.5.-    CALCULO DEL "TAMAÑO" DE UNA BOMBA CENTRIFUGA -----	21
III.1.6.-    DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE BOMBAS CUANDO LOS EDIFICIOS TIENEN TANQUE ELEVADO-----	22
III.1.7.-    DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE UNA BOMBA-----	23
III.1.8.-    ALGUNOS TIPOS DE BOMBAS Y SUS CARACTERISTICAS -----	24
III.1.9.-    LIMITACIONES EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS -----	26
III.1.10.-    RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LAS LIMITACIONES EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS---	29
IV.- <u>EQUIPOS HIDRONEUMATICOS</u> -----	32
IV.1.-    DEFINICION-----	32
IV.2.-    DISPOSITIVOS MECANICOS Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO-----	33
IV.3.-    DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE HIDRONEUMATICO---	35



IV.3.1.-	CANTIDAD NECESARIA DE AGUA APROVECHABLE -----	35
IV.4.-	DETERMINACION DEL VOLUMEN TEORICO TANQUE HIDRONEUMATICO-----	39
IV.5.-	DISTINTOS TIPOS DE EQUIPOS HIDRONEUMATICOS -----	41
IV.6.-	EL SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION VARIABLE -----	43
IV.6.1.-	DESCRIPCION-----	43
IV.6.2.-	LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A PRESION VARIABLE--	45
IV.7.-	SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A PRESION CONSTANTE-----	47
IV.7.1.-	DESCRIPCION-----	47
V.-	<u>CONCLUSIONES</u> -----	51
A.-	<u>APENDICE</u> -----	54
A.1.-	METODO DE DAWSON Y KALINSKE-----	54
A.2.-	METODO EMPIRICO BRITANICO-----	55
A.3.-	METODO ALEMAN DE RAIZ CUADRADA-----	56
A.4.-	METODO DE HUNTER-----	57
A.5.-	EJEMPLO PRACTICO-----	62
	BIBLIOGRAFIA -----	66

## I. PROLOGO

Como es de nuestro conocimiento, en todo proyecto de suministro de agua potable para edificios, se debe tener en cuenta, entre otras cosas, el "Reglamento de Ingeniería - Sanitaria relativo a Edificios", que establece que en todo edificio, cualquiera que sea su uso, debe estar provisto de agua potable y de presión suficiente para satisfacer las necesidades y servicios de los mismos. Cuando el inmueble se destina a habitación el consumo mínimo de agua que se establece en este Reglamento, es de 150 litros por habitante y por día con servicio continuo durante las 24 horas.

Cuando las áreas del edificio que se pretenden atender se localizan a un nivel superior al de la carga suministrada por el sistema municipal de abastecimiento, se recurre al bombeo del agua para elevar su presión hasta un nivel conveniente que permita la alimentación de tanques elevados, de los cuales es distribuida por gravedad, o bien, la alimentación a presión de tanques hidroneumáticos que distribuyen directamente el agua de los muebles sanitarios.

Lo anterior origina, por lo general, la necesidad de diseñar una serie de estructuras y la elección adecuada de un sistema de bombeo para el buen funcionamiento del abastecimiento, de tal forma que se cumplan las normas del Reglamento antes mencionado.

Debido a la escasez de las fuentes de abastecimiento y - por consecuencia de las dificultades para abastecer la demanda de agua, las autoridades municipales tienden a - reducir las horas de suministro, así como a bajar la - presión de las redes municipales, lo que contrasta con la tendencia vertical de crecimiento de las poblaciones, de lo cual resulta la imperiosa necesidad de utilizar con mas frecuencia sistemas de bombeo para edificios.

El presente trabajo pretende hacer una breve descripción de los equipos de bombeo para instalaciones hidráulicas en edificios y sus alternativas de Selección.

## II. INTRODUCCION

A principios de este siglo al crecer las ciudades, aumentándose así la demanda de agua y reducirse excesivamente la presión de abastecimiento, a las horas de mayor demanda, en las tomas domiciliarias, se empezó a utilizar una bomba de velocidad constante. "BOMBA BOOSTER" (BOMBA - AUXILIAR) que se utilizaba para elevar la presión.

Sin embargo, como esta bomba era de velocidad constante subía la presión por igual a las horas de menor presión o a las de mayor presión, causando así daños y problemas en las tuberías de los edificios a las horas de presión excesiva.

Para corregir ésto, se utilizó un sistema, en el cual, a las horas de mayor presión, el agua pasaba directamente de la toma a la red del edificio abasteciendolo correctamente. Cuando la presión se abatía, un switch de presión hacia operar una bomba, tomando succión directamente de la toma domiciliaria e inyectando el agua a mayor presión en un punto más adelante de la tubería utilizándose una válvula de retención para impedir que esta agua retornara a la tubería municipal.

Este tipo de instalación, aparentemente bueno, tenía como inconveniente, que a las horas de menor demanda en la casa o edificio, el control o interruptor de presión se desconectaba, parando la bomba y al no haber presión suficiente, volvía a arrancar inmediatamente, lo que origi-

naba que los motores eléctricos se quemaran por arranques y paradas frecuentes en un lapso de tiempo corto.

En 1920 se diseñó el "SISTEMA HIDRONEUMATICO", que consistía de una o dos bombas, de un compresor de aire, un tanque metálico de presión y los controles necesarios para operar correctamente las bombas y la compresora.

Su uso fue abandonado en los E.U.A., principalmente por el excesivo tamaño requerido por los tanques metálicos de presión, ya que ocupaban un espacio rentable muy costoso. Después de algunos años de uso era muy difícil o casi imposible el reemplazo de dichos tanques.

A mediados de 1940 se diseñó un sistema llamado "SISTEMA CERRADO" (CLOSED SYSTEM) el cual no utilizaba tanques, sino que estudiando la demanda mínima se seleccionaba una pequeña bomba jinete (Jockey pump), la cual operaba a las horas de menor demanda de los edificios, siendo después reforzada su operación con bombas de mayor capacidad para cubrir la demanda máxima del sistema. Se usaban bombas de presión variable.

El empleo de un control especial operado por un solo interruptor de presión de doble tiro permitía que cada vez que bajara la presión en la red arrancara una bomba de mayor capacidad y así en forma sucesiva hasta que estuvieran conectadas el número suficiente de bombas para abastecer la demanda.

Al disminuir la demanda el mismo control operado por presión, al subir ésta iba desconectando las bombas sucesivamente, hasta que estuvieran conectadas únicamente la bomba o bombas necesarias para abastecer esta demanda.

Este sistema no fue satisfactorio porque las variaciones en la presión de la red, causada por el arranque y parada de las bombas de presión variable, ocasionaba golpes de ariete y ruido en las tuberías con grave daño para la instalación y las bombas mismas.

En 1955 se uso en los E.U.A. el primer sistema de presión constante, también sistema cerrado y en años subsecuentes se fueron desarrollando nuevos sistemas, ya sea de mayor eficiencia o de mayor economía, hasta llegar al "SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION CONSTANTE".

El primer "SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION CONSTANTE" fue el que empleó un variador automático de velocidad colocado entre el motor de velocidad constante y la bomba. Este sistema permitía variar la velocidad de operación de la bomba de acuerdo con el control de presión instalado en la red de abastecimiento.

El problema de esos sistemas era: 1º el costo del variador de velocidad; 2º el espacio mayor requerido por el variador de velocidad, colocado entre bomba y motor; 3º la lentitud en el tipo mecánico de control utilizado que tardaba en transmitir la señal para variar la velocidad, ocasionando altas o bajas en la presión, en detrimento de un

buen abastecimiento de agua; 4º que no era recomendable el uso de una sola bomba dado que esta podría operar, a las horas de menor demanda en su zona de turbulencia, o a las horas de mayor demanda en su zona de cavitación, con el ruido, vibración y destrucción consiguiente del equipo y de la instalación.

Este último pudo corregirse al instalarse bombas múltiples semejantes a los sistemas cerrados, descritos anteriormente; pero se aumentó el costo y ocupó mayor espacio rentable.

A fines de 1960, se empezaron a utilizar otros sistemas menos costosos, los cuales presentaban diferentes problemas, hasta llegar a uso de "SISTEMAS PROGRAMADOS", en los cuales las bombas de un sistema eran diseñadas para abastecer un gasto determinado para que, ya fuera en forma sola o conjunta, estuviera operando siempre el menor número de bombas posibles minimizando el consumo de energía en una red determinada, y así todos los fabricantes de sistemas de presión constantes iniciaron el uso de "SISTEMAS PROGRAMADOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA".

En México los tipos de sistemas de presión variable han sido semejantes a los usados en E.U.A., presentando diferencias significativas solo en los sistemas de presión constante ya que en éstos usamos bombas de velocidad constante con curva característica plana, por tener presión constante en la succión.

**selección de bombas**



### III. SELECCION DE BOMBAS

#### III.1 CLASIFICACION

Las bombas para líquidos se dividen en tres tipos principales: Las centrífugas, las rotatorias y las reciprocantes.

Las bombas centrífugas en general no son auto-cebantes, (salvo un caso) se utilizan para manejar fluídos de baja viscosidad, de baja volatilidad, y en general, a temperaturas no muy altas, salvo que reciban el flujo a presión.

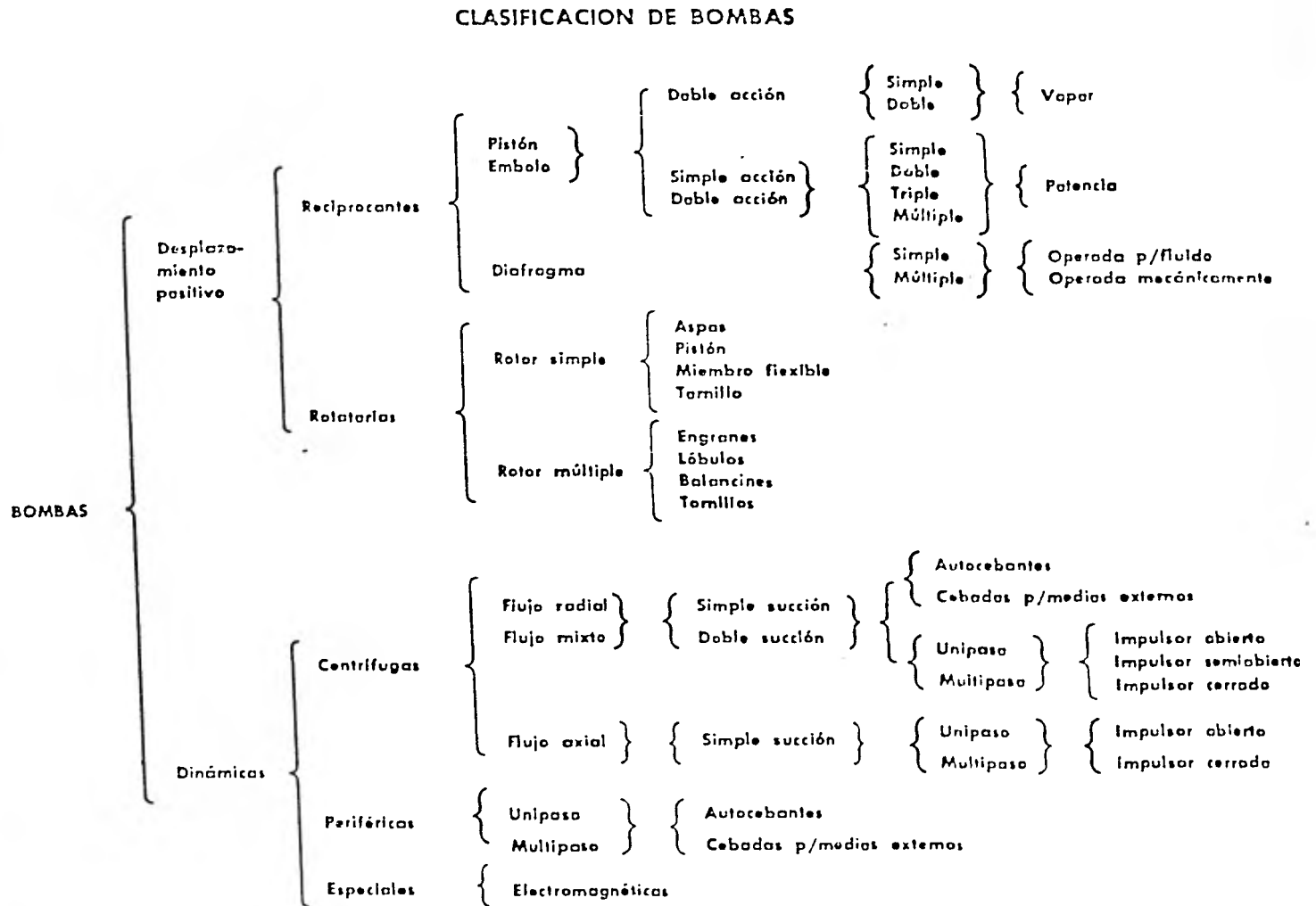
Las bombas rotatorias, son de diversos tipos, ya sea de engranes, de paletas, de lóbulos, de tubo o de forro flexible. Con excepción de las bombas de engranes, las demás son auto-cebantes y se utilizan para diversos fluídos ya sea viscosos, de alta volatilidad, de alta temperatura.

Las bombas reciprocantes también llamadas de pistón consisten de uno o más cilindros y pistones equipados con válvulas de admisión y de descarga. Son auto-cebantes y pueden manejar fluídos de alta volatilidad o de alta temperatura. También se utilizan para suministrar presiones muy elevadas. Su flujo es pulsatorio, por razón de la operación del pistón o pistones dentro del cilindro.

Las bombas centrífugas se dividen en varios grupos: las de flujo axial y de hélice, las de flujo mixto; (las de pozo profundo de tipo turbina) las de flujo radial, que

Incluyen las bombas sumergibles de pozo profundo; las horizontalmente bipartidas de doble succión o de dos pasos; las de succión lateral horizontales o verticales, las inatascables para el manejo de aguas negras ya sea del tipo de cárcamo húmedo para uso residencial o de la construcción y las de cárcamo seco, para uso municipal; las bombas auto-cebantes, generalmente utilizadas en la construcción para el bombeo de aguas en la cimentación.

La Clasificación que se considera más completa, es la del "Hydraulic Institute" y es la siguiente:



### III.1.1. BOMBAS CENTRIFUGAS

Las bombas más usadas en instalaciones de edificios son las bombas centrífugas.

Los progresos en los motores eléctricos han propiciado el desarrollo de bombas centrífugas, mucho más ligeras y baratas.

Actualmente, las bombas centrífugas cubren el campo de - las altas presiones, la cual se logra mediante las bombas de varios pasos accionadas a altas velocidades.

Las bombas centrífugas se clasifican tomando en cuenta la dirección del flujo, el número de pasos, el tipo de carcasa, la posición de la flecha y el tipo de succión.

Considerando la dirección del flujo:

- De flujo radial
- De flujo mixto
- De flujo axial

Las bombas de flujo radial desarrollan la presión (carga) principalmente por la fuerza centrífuga y tienen impulsores angostos, de velocidad específica baja (1) (4200 para la de succión simple y 6000 para las de doble succión, como máximo). Estas bombas proporcionan gastos chicos y cargas altas.

- (1) Velocidad específica: Es el número de revoluciones por minuto de una bomba ideal, geoméricamente semejante a la bomba en consideración para elevar 76 - - 1/seg, de agua a una altura de 1m. (potencia efectiva de 1 C.V.).

La bomba de flujo mixto, crea su carga por la fuerza centrífuga en combinación con el impulso de los álabes sobre el líquido. Sus impulsores que cambian el flujo de axial a radial, tienen una velocidad específica de 4200 a 9000, son bombas para cargas y gastos intermedios.

Las bombas de flujo axial, llamadas también de propela, se caracterizan porque su velocidad específica es mayor de 9000 y además la carga que desarrollan se debe al impulso del líquido por las aspas. Proporcionan cargas pequeñas y gastos muy grandes.

Tomando el número de pasos se clasifican en:

- Bombas de un solo paso
- Bombas de varios pasos

Por el tipo de carcasa pueden ser:

- Bomba tipo voluta
- Bomba de carcasa tipo circular
- Bombas de carcasa tipo difusor

Con relación a la posición de la flecha (eje) la bomba será:

- Horizontal
- Vertical

Dependiendo del tipo de succión en el impulsor:

- Bomba de succión simple
- Bomba de doble succión

### III.1.2. BASES PARA SELECCIONAR LAS BOMBAS CENTRIFUGAS

Para seleccionar una bomba centrífuga debe de conocerse:

- a) Capacidad, demanda y gasto en litros por segundo o litros por minuto que se requiere abastecer.
- b) La carga y presión, en metros de columna de agua o en kilogramo por centímetro cuadrado, a que se desea suministrar el gasto antes mencionado.
- c) Las limitaciones que podemos encontrar al cumplir con las funciones anteriores.
- d) La carga Neta Positiva de Succión (NPSH).

GASTO.- Para seleccionar una bomba se tienen que conocer el tipo de demanda que se desea abastecer de agua, a saber:

1. Gasto máximo diario. Este se utiliza cuando se tienen tanques de almacenamiento o de regularización con capacidad suficiente para abastecer una población determinada. El bombeo en este caso se selecciona como sigue:

$$\frac{\text{Habitantes por dotación en litro por día}}{86\ 400 \text{ Segundos (24 horas)}} \times 1.3$$

en este caso se obtiene el gasto máximo diario general y el factor 1.3 corresponde al día de mayor consumo del año.

2. El gasto máximo horario también se calcula con tanques de almacenamiento o regularización, pero de menor capacidad que los de gasto máximo diario, compensándose en este caso el abastecimiento de la bomba calculando la demanda, como en la fórmula anterior pero utilizando además del factor de 1.3, el factor 1.5 que corresponde a la hora de mayor consumo del día.

3. El gasto máximo instantáneo es el que se emplea para calcular el abastecimiento por bombeo directo o con tanques de regularización muy pequeños. Los métodos más conocidos para determinar éste son:

- Sistema Empírico Británico
- Sistema Empírico de Dawson
- Sistema Alemán de Raíz Cuadrada
- Método de Hunter

La carga o presión a la que la bomba debe de operar para suministrar cualquiera de los tres gastos antes mencionados consiste de lo siguiente:

1. La altura, en metros, desde el punto más bajo de succión hasta el centro de la bomba.
2. Las pérdidas por fricción en metros en la tubería empleada, así como la longitud equivalente, en metros de cada conexión o válvula.
3. La altura, en metros, desde el centro de la bomba - al punto más alto de descarga.
4. La presión, en kilogramos por centímetros cuadrados, convertida a metros de columna de agua, que se

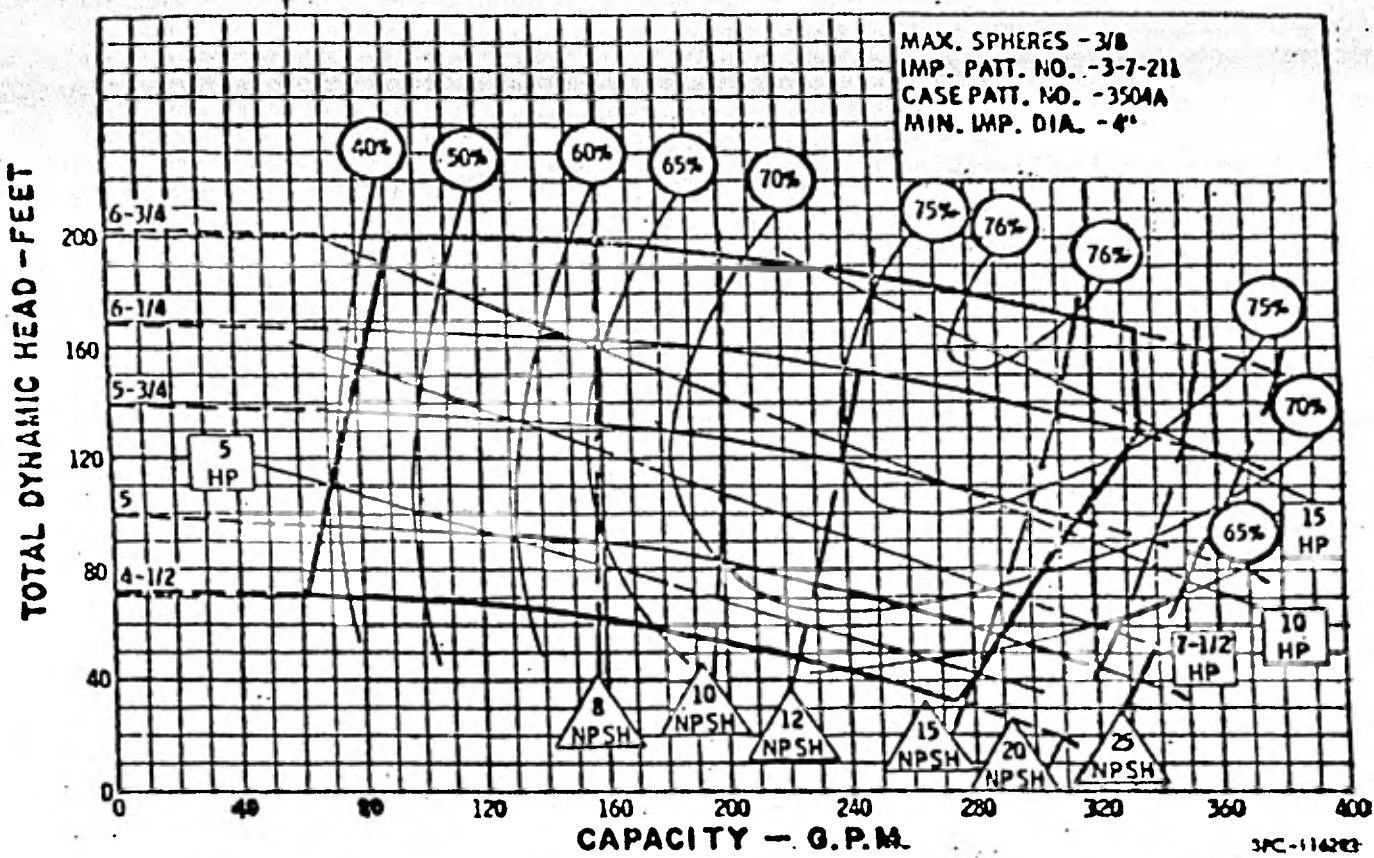
un punto sobre las gráficas que define las condiciones dadas. El punto encontrado indicará la potencia necesaria y las curvas de isoeficiencia indicarán en porcentaje la eficiencia de la bomba, existen diagramas diferentes para cada velocidad específica.



# 2 x 2-1/2 x 7A SERIES 340

## ENCLOSED IMPELLER

3500 R.P.M



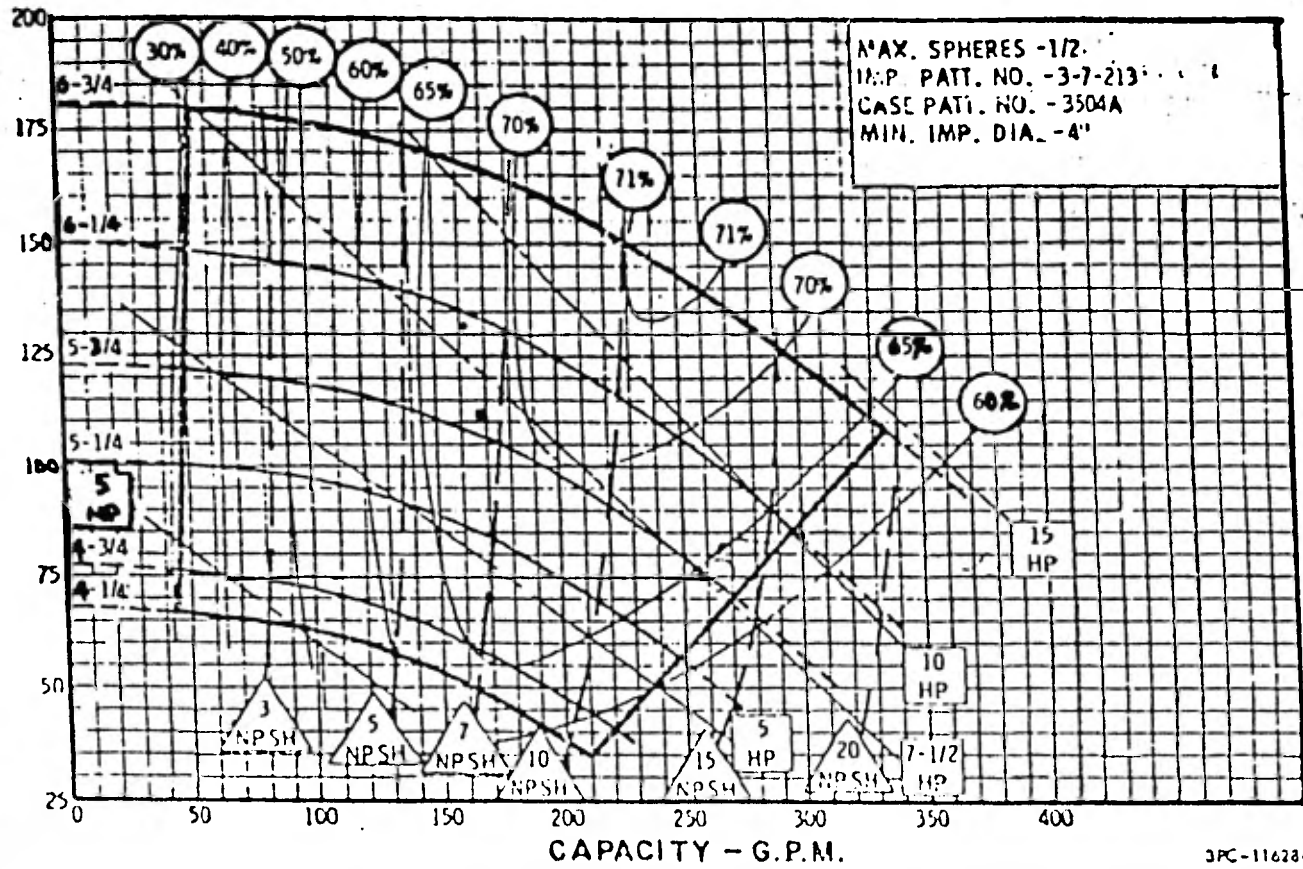
# 2 x 2-1/2 x 7B SERIES 340

## ENCLOSED IMPELLER

DATED FEBRUARY 1969

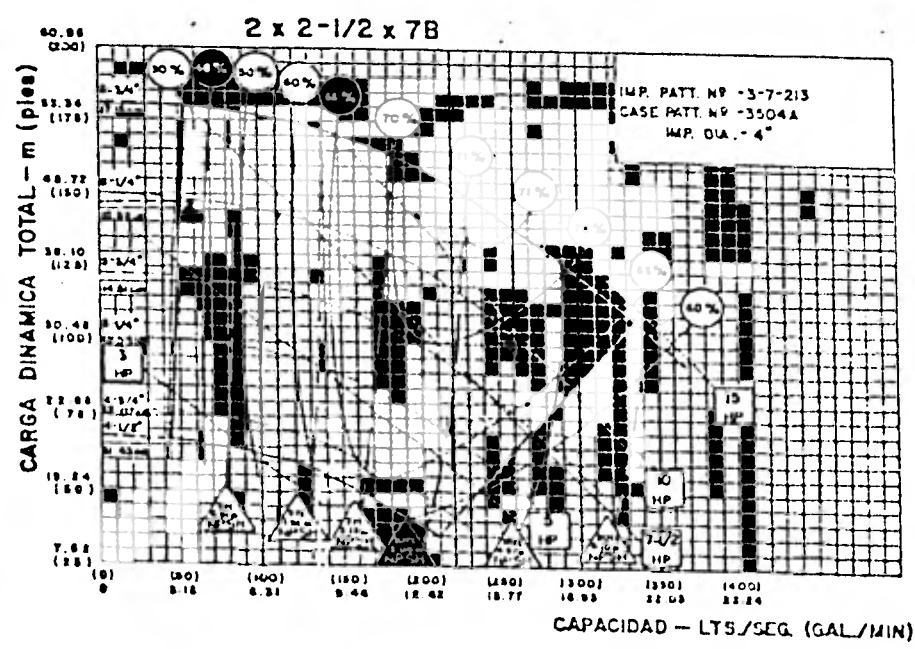
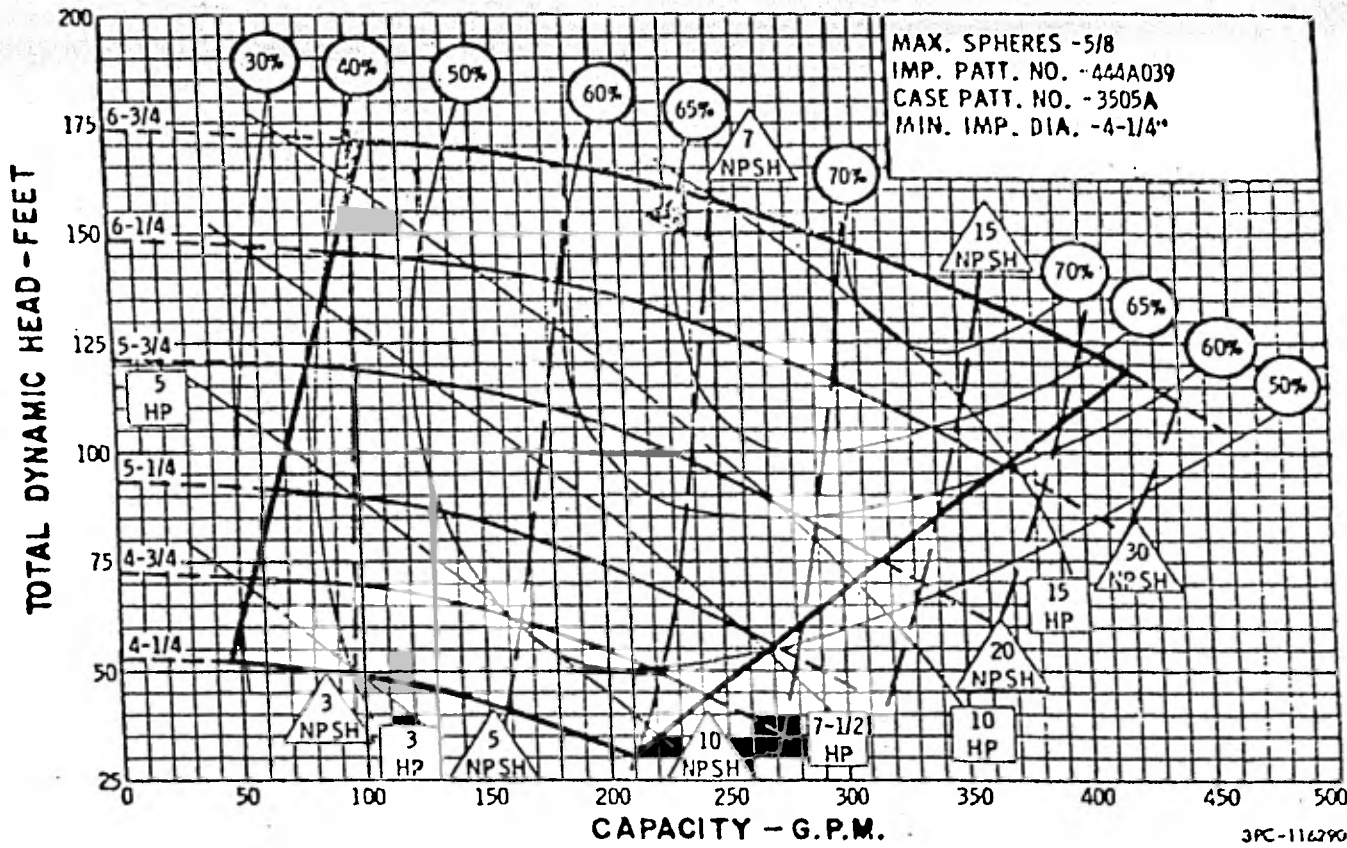
TOTAL DYNAMIC HEAD - FEET

3500 R.P.M.



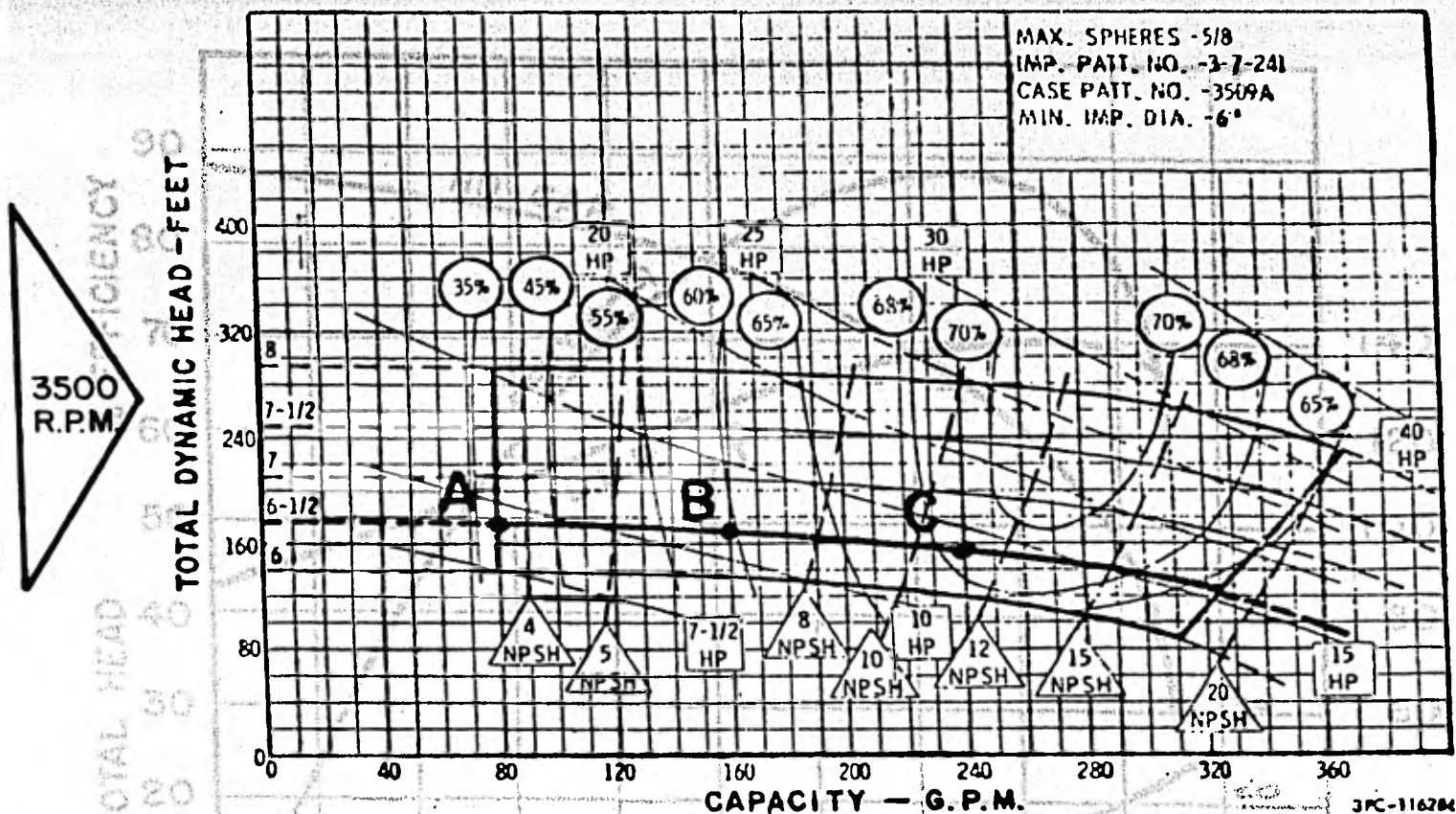
# 2-1/2 x 3 x 7A SERIES 340

## ENCLOSED IMPELLER



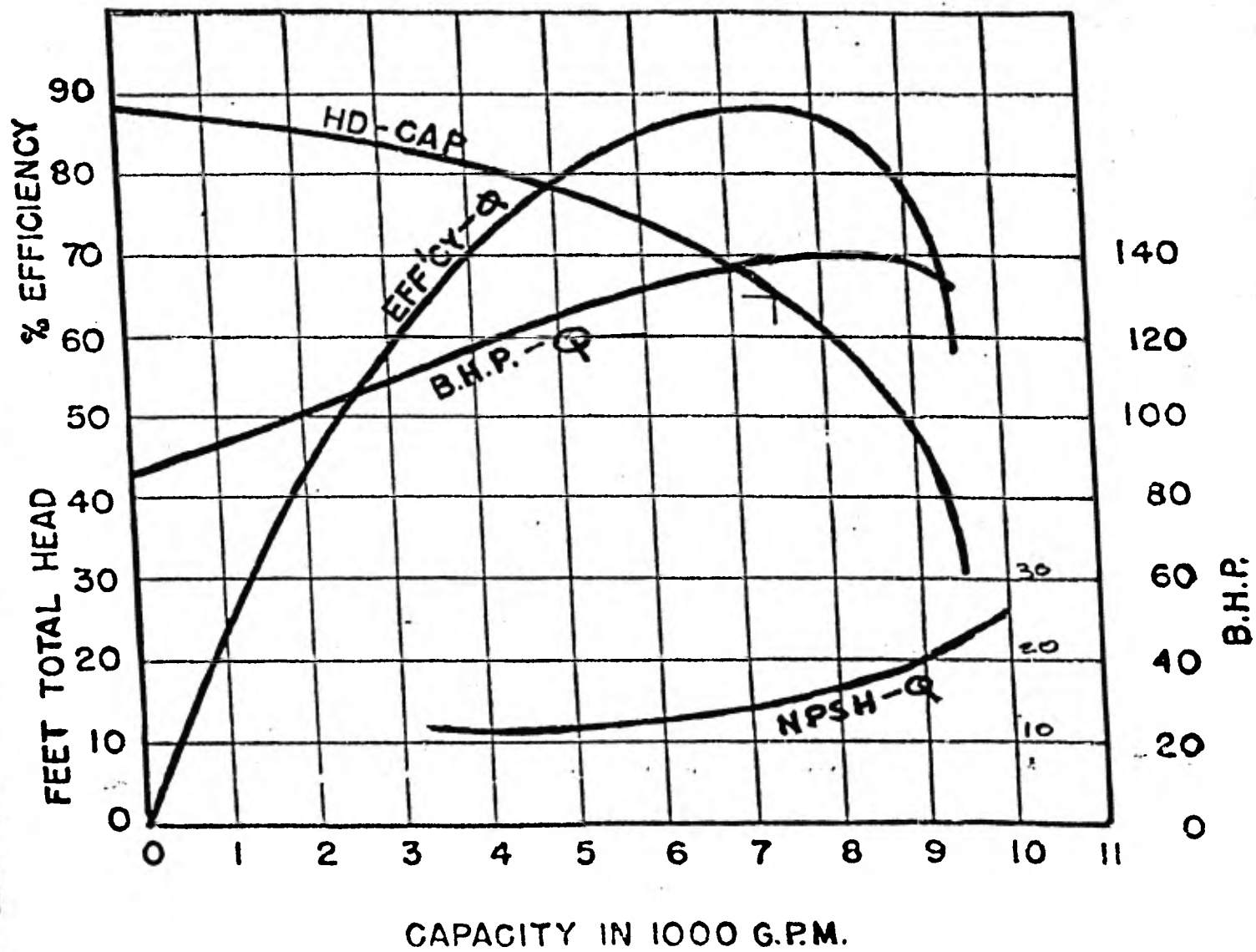
**2 x 2-1/2 x 9 SERIES 340**

**ENCLOSED IMPELLER**



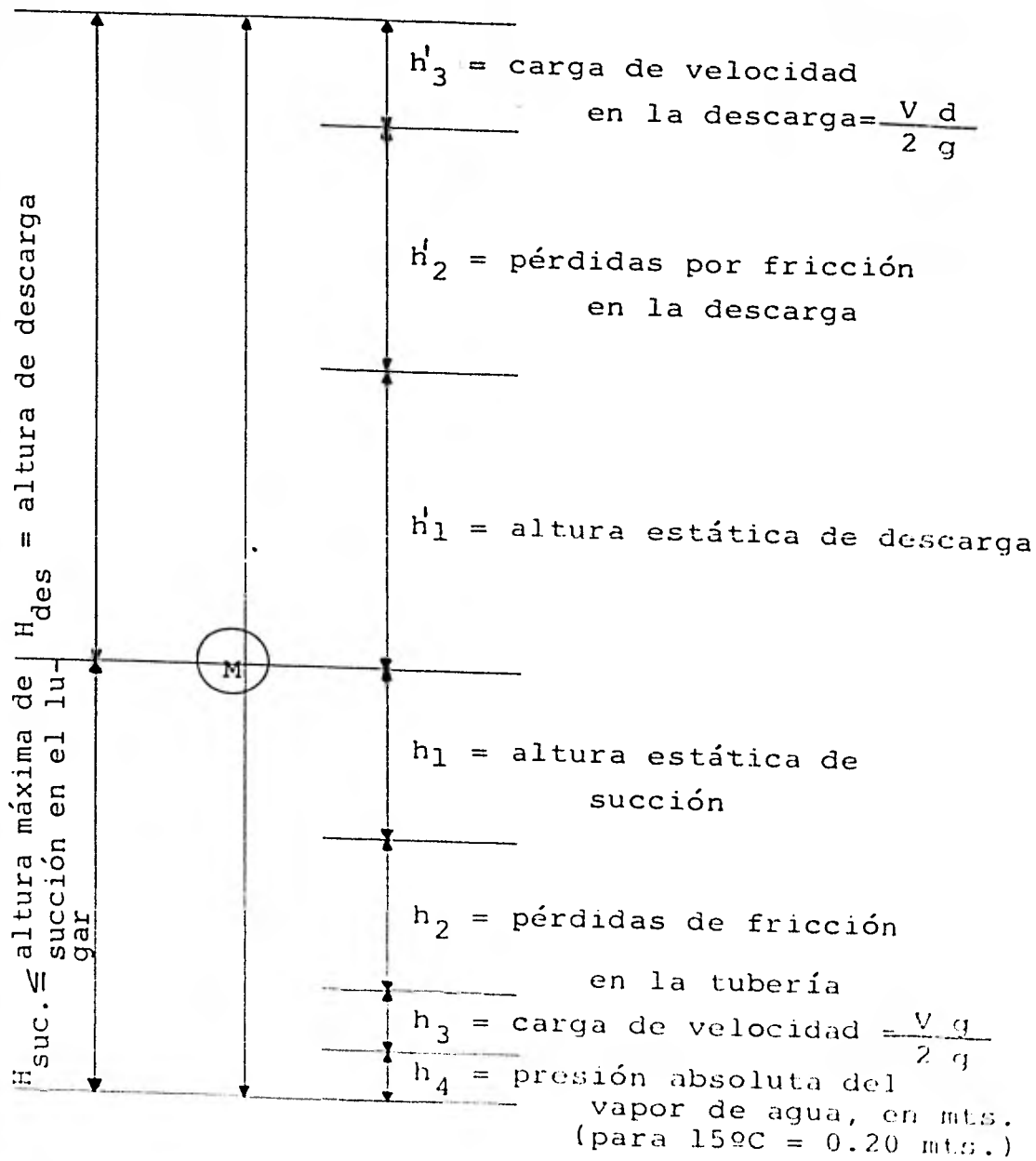
**UTILIZANDO UNA BOMBA DE CURVA PLANA**

punto	gpm	lps	ft.	m.	ef.	H.P.
A	30	5	175	53.4	38%	9.3
B	160	10	170	51.8	60	11.4
C	240	15	160	48.8	68.5	14.2



REPRESENTACION GRAFICA DE LAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

### III.1.4.- CARGA TOTAL (H) PARA EL CALCULO DE BOMBAS CENTRIFUGAS



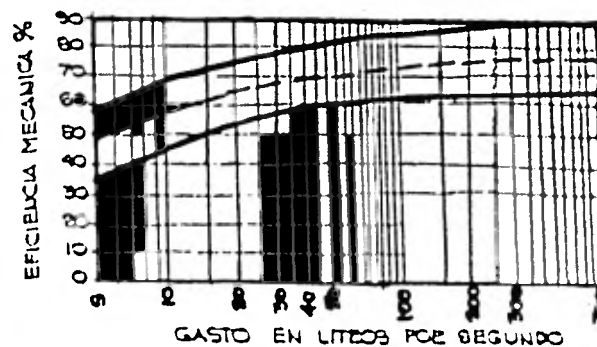
La velocidad del agua en la succión no debe ser mayor de 3.00 MPS.

La altura máxima de succión

## III.1.5.- CALCULO DEL "TAMAÑO" DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

TAMAÑO DE LA CENTRIFUGA - DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE DESCARGA —	GASTO (MEDIO) EN LITROS POR SEGUNDO	VELOCIDAD EN MTS. POR SEGUNDO.
(0.0266) 1"	1.5	2.80
(0.035) 1¼"	2.7	2.80
(0.041) 1½"	3.7	2.80
(0.052) 2"	6.0	2.80
(0.075) 3"	13.0	2.80
(0.100) 4"	25.0	2.80
(0.125) 5"	37.0	2.80
(0.150) 6"	55.0	2.85
(0.200) 8"	95.0	2.85

Las velocidades más convenientes en las tuberías de succión y descarga, deben variar entre 2.80 y 3.10 metros/segundo. Límite entre los cuales varía la eficiencia mecánica de una bomba cantrífuga de un solo paso.



III.1.6.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE BOMBAS, CUANDO  
LOS EDIFICIOS TIENEN TANQUE ELEVADO.

1.- EDIFICIOS DE DEPARTAMENTOS Y OPTOS. AMUEBIADOS			
No. de salidas:	Lts./min. por salida:	Min. cap. de bomba:	Max. cap. de bomba:
1 a 25	2.27	38 lts./min.	57 lts./min.
26 a 50	1.90	60 "	95 "
51 a 100	1.52	114 "	153 "
101 a 200	1.15	190 "	227 "
201 a 400	1.06	246 "	435 "
401 a 800	0.95	454 "	757 "
800 en adelante	0.91	795 "	-----
2.- HOTELES Y CLUBS			
1 a 50	2.46	95 lts./min.	125 lts./min.
51 a 100	2.08	132 "	208 "
101 a 200	1.70	227 "	340 "
201 a 400	1.33	300 "	530 "
401 a 800	1.04	548 "	795 "
801 a 1200	0.95	852 "	1136 "
1201 en adelante	0.76	1136 "	-----
3.- HOSPITALES			
1 a 50	3.78	95 lts./min.	189 lts./min.
51 a 100	3.03	208 "	303 "
101 a 200	2.27	322 "	454 "
201 a 400	1.89	475 "	757 "
401 en adelante	1.52	795 "	-----
4.- EDIFICIOS MERCANTILES			
1 a 25	5.68	95 lts./min.	144 lts./min.
26 a 50	3.74	151 "	189 "
51 a 100	2.84	227 "	284 "
101 a 150	2.45	303 "	348 "
151 a 200	2.45	416 "	615 "
200 en adelante	2.27	625 "	-----
5.- EDIFICIOS DE OFICINAS			
1 a 25	4.73	95 lts./min.	117 lts./min.
26 a 50	3.40	135 "	182 "
51 a 100	2.65	190 "	269 "
101 a 150	2.46	284 "	371 "
151 a 250	2.08	379 "	522 "
251 a 500	1.70	550 "	852 "
501 a 750	1.33	871 "	992 "
751 a 1000	1.14	1022 "	1136 "
1000 en adelante	1.04	1174 "	-----
6.- ESCUELAS			
1 a 10	5.68	38 lts./min.	57 lts./min.
11 a 25	3.78	60 "	95 "
26 a 50	3.03	114 "	151 "
51 a 100	2.27	170 "	227 "
101 a 200	1.90	246 "	378 "
201 en adelante	1.51	416 "	-----

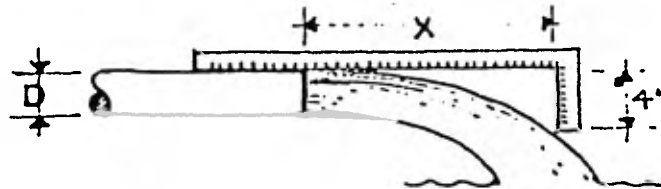
Ejemplo: Determinar el gasto en litros por minuto, para una bomba alimentadora a un tanque elevado de un edificio de DEPARTAMENTOS con los siguientes datos:

No.- de Departamentos 12  
 No.- de salidas por Depto. 10  
 No.- total de salidas 12 x 10 = 120+

Capacidad de la bomba; 120 salidas x 1.13 LPM=135.6

LPM < 150 se calculará el sistema de bombeo para un  
 gasto de 150 LPM=2.5 LPS.

### III.1.7.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE UNA BOMBA



DISTAN- CIA "X" EN PULG	DESCARGA EN LITROS POR MINUTO							
	DIAMETRO DEL TUBO, EN PULGADAS							
	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
6"	125	178	276	472	738	1080		
7"	146	208	320	530	862	1260	2200	
8"	166	236	368	628	982	1435	2520	4000
9"	187	264	416	708	1109	1628	2840	4500
10"	210	296	461	785	1215	1800	3140	5020
11"	228	325	508	865	1360	1980	3455	5510
12"	250	356	552	945	1478	2155	3785	6050
13"	270	385	597	1080	1605	2345	4030	6540
14"	291	412	642	1103	1725	2540	4390	7020
15"	312	442	690	1180	1850	2680	4720	7580
16"	333	472	740	1260	1965	2870	5080	8000
17"	352	503	782	1340	2080	3100	5330	8550
18"	375	544	830	1419	2230	3290	5680	9000
19"	416	560	878	1500	2345	3440	5980	9510
20"		590	920	1570	2455	3595	6290	10020
21"			970	1645	2530	3785	6600	10600
22"				1740	2700	3960	6900	11200
23"					2840	4140	7200	11600
24"						4300	7580	12100

Para tubos de diámetros diferentes:

$$Q = X \times 1.28 D^2$$

Q = gasto en galones x min.

X = distancia en pulgadas

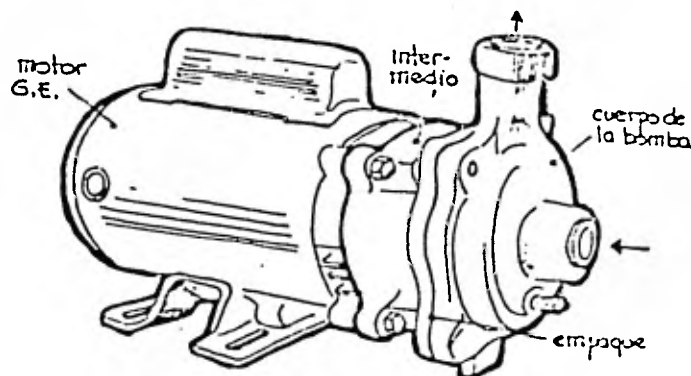
D = diámetro interior en pulg.



## III.1.8.- ALGUNOS TIPOS DE BOMBA Y SUS CARACTERISTICAS.

Moto-bomba tipo centrífuga "BONANSA" 1/4 y 1/2 H.P.

- a). Altas revoluciones, embalada, impulsor de bronce-sello mecánico



No.	H.P.	VOLTS.	R.P.M.	CICLOS	SUCCION Y DESCARGA
1460	1/4	115	3450	60	1" x 3/4"
1450	1/4	115	2850	50	1" x 3/4"
1260	1/2	115/230	3450	60	1 1/4" x 1"
1250	1/2	115/230	2850	50	1 1/4" x 1"

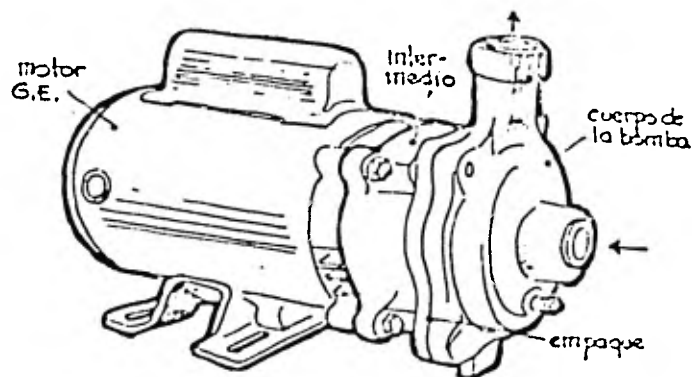
## RENDIMIENTO :

ALTURA	NUM. 1450	NUM. 1460
8.00	75	90
10.00	68	82
12.00	60	72
14.00	50	60
16.00	34	42
		L.P.M.
		L.P.M.
ALTURA	NUM. 1250	NUM. 1260
10.00	114	138
12.00	108	130
14.00	99	120
16.00	90	108
18.00	78	95
20.00	64	78
		L.P.M.
		L.P.M.

NOTA: El tubo de succión debe ser exactamente del tamaño de la bomba; de ninguna manera reducir la entrada de succión.

b) Moto-bomba tipo centrífuga "BONANSA" 1 H.P.

Altas revoluciones, embalada, impulsor de bronce balanceado



No.	H.P.	VOLTS.	R.P.M.	CICLOS	SUCCION Y DESCARGA
1060	I	115/230	3450	60	1 1/4" x 1"
1050	I	115/230	2850	50	1 1/4" x 1"

RENDIMIENTO :

18.00	134		118	
20.00	120		113	
22.00	104	L.P.M.	96	L.P.M.
24.00	86		73	
26.00	58		37	
28.00				

Se recomienda esta bomba especialmente para lugares donde se requiere gran caudal de agua a una altura considerable, tales como hoteles, vivienda, fábricas, lavanderías, etc.

### III.1.9. LIMITACIONES EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Las limitaciones en la selección de bombas centrífugas se clasifican en tres principales:

- a) Por características del líquido
- b) Por características de la instalación
- c) Por características de las bombas

Las limitaciones por características del líquido son: la viscosidad de los líquidos, la volatilidad de los líquidos y la temperatura de los líquidos; éstas dos últimas se denominan generalmente presión de vapor de los líquidos.

Las limitaciones por características de la instalación son tres principales:

1. La localización de la bomba sobre el nivel del mar que limita su capacidad de succión de acuerdo con la presión atmosférica como se ilustra adelante.
2. La profundidad de succión, que está limitada hasta un máximo total de 10.33 centímetros de carga manométrica de succión a nivel del mar.
3. Las pérdidas por fricción en la tubería que afectan la carga manométrica de succión.

Limitaciones por características de las bombas centrífugas: Erróneamente se ha determinado que una bomba centrífuga debe seleccionarse con diámetro de impulsor no mayor del 85% del diámetro total. Esto, se repite es erróneo, pues los fabri-

cantes especifican claramente en sus curvas y estudios de limitaciones cuales son éstas y la del 85% de diámetro no es aceptable. En la curva de operación de las bombas se especifica claramente cuál es el diámetro máximo aceptable y cuál el diámetro mínimo. El diámetro máximo puede ser reducido por el fabricante debido al excesivo empuje radial que puede causar deflexión de la flecha o desgaste de los baleros de la bomba, quedando esta limitación marcada en la curva de operación. Los límites máximo y mínimo de gasto corresponden al mínimo gasto a que puede operar la bomba sin entrar a turbulencia y al máximo gasto a que puede operar esta bomba sin entrar en cavitación. Estos límites deben de estar claramente marcados en la curva de la operación de las bombas limitando el rango dentro del cual se pueden usar estas bombas sin los problemas de turbulencia y cavitación antes mencionados.

#### CARGA NETA POSITIVA DE SUCCION

(N.P.S.H.)

La Carga Neta Positiva de Succión se divide en dos:

1. La Carga Neta Positiva de Succión Disponible que se lee en metros de columna de succión y en milímetros de mercurio basado en la presión atmosférica que corresponde a la altura sobre el nivel del mar en que se encuentra instalada la bomba centrífuga.
2. La Carga Neta Positiva de Succión Requerida que co-

responde a cuatro factores, que son:

1. Altura desde el punto más bajo de succión hasta el centro de la bomba.
2. Pérdidas por fricción en la tubería de succión, conexiones y válvulas.
3. Presión del vapor del líquido, en metros de columna de agua ya sea por volatilidad o alta temperatura del mismo.
4. Carga Neta Positiva de Succión Requerida (NPSHR) en la succión de la bomba debe de aparecer en las curvas de operación de las bombas para que el proyectista o el usuario puedan seleccionar la bomba correctamente.

TABLA 1

ALTURAS DE SUCCION RECOMENDADAS

ALTITUD m.s.n.m.	PRESION ATMOSFERICA m.c.a.	LIMITE PRACTICO DE SUCCION m.
0	10.33	7.60
300	10.00	7.40
600	9.64	7.10
900	9.30	6.80
1200	8.96	6.50
1500	8.62	6.25
1800	8.27	6.00
2100	8.00	5.70
2400	7.75	5.50
2700	7.50	5.40
3000	7.24	5.20

### III.1.10. RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LAS LIMITACIONES EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

- En la extremidad de la tubería de succión debe ser instalada una rejilla con área libre (aberturas) superior a dos veces la sección del tubo.
- Las piezas de reducción de diámetro de la entrada de las bombas deben ser de tipo excéntrico (Fig 1).

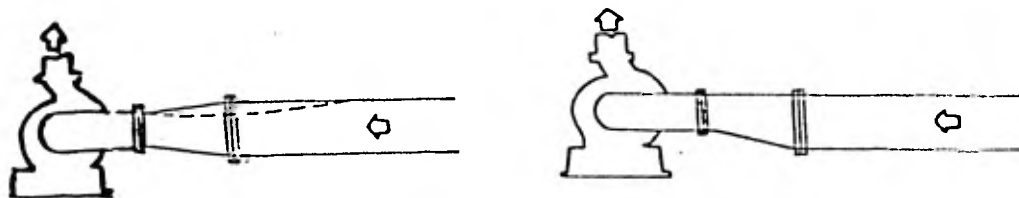


Fig. 1

- No deben ser instaladas curvas horizontales, codos, o tees, junto a la entrada de las bombas. (Fig.2)

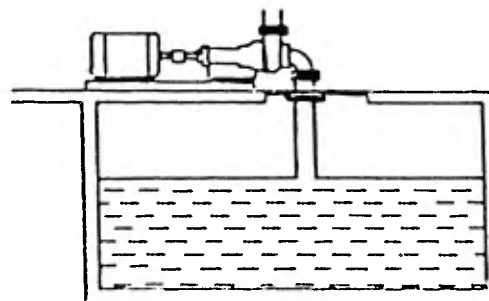


Fig.2

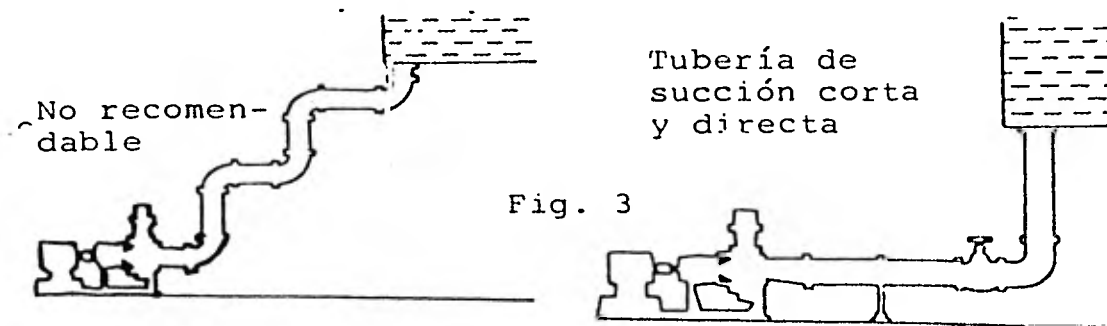
- En la tubería de descarga debe haber válvulas de retención o válvulas especiales de cierre hermético (válvula check), para impedir el retorno del líquido a través de las bombas.

Las válvulas de compuerta deben estar instaladas después de esas válvulas.

- Las bombas de eje horizontal deberán ser asentadas a

nivel, manteniendo un perfecto alineamiento con los motores.

- Las bases de concreto deben ser dimensionadas para absorber las vibraciones.
- Las bombas de eje vertical deben ser montadas verticalmente (a plomo).
- Las tuberías deben ser diseñadas e instaladas con el fin de evitar la transmisión e incidencia de esfuerzos sobre las bombas, intercalándose siempre que sea necesario, uniones de expansión y uniones flexibles.



- La tubería de succión debe ser lo más corta posible, evitándose al máximo, piezas especiales como curvas, codos, etc. (Fig. 3).
- La tubería de succión debe ser siempre ascendente hasta alcanzar la bomba, Se pueden admitir pequeños tramos horizontales.
- Siempre que las diversas bombas tuvieran sus tuberías de succión conectadas a un cabezal, se diseñará éste de modo que se tengan las mínimas pérdidas de carga.
- La tubería de succión generalmente tiene un diámetro

comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga.

- Para la mayoría de las bombas centrífugas, la altura succión debe ser inferior a 5 m. (los fabricantes generalmente especifican las condiciones de funcionamiento, para evitar la aparición de fenómenos de cavitación).



**equipos hidroneumaticos**

#### IV EQUIPOS HIDRONEUMATICOS

##### IV.1. DEFINICION

Estos sistemas, también llamados de elevación por presión de aire, están formados por un conjunto de aparatos mecánicos que elevan el agua usando como agente de transporte el aire comprimido.

Estos sistemas de distribución de agua presentan las siguientes ventajas:

- a) La unidad de bombeo es muy compacta y puede instalarse en un espacio muy limitado.
- b) El agua está almacenada en un depósito hermético que hace que la instalación sea higiénica, ya que se evita que el polvo u otras sustancias inconvenientes entren en contacto con el agua contaminándola.
- c) Los diámetros de las tuberías pueden ser más pequeños que los de otras instalaciones y el costo inicial del equipo es más bajo.
- d) En la red de distribución se obtiene la presión deseada, mientras que con los depósitos se limita a la que da la altura de éstos, respecto a los muebles sanitarios.
- e) Las partes móviles de un sistema de presión de aire o neumático son muy pocas y operan con gran eficiencia.

- f) El mantenimiento requerido, se reduce unicamente a lubricación y pequeñas reparaciones.
- g) Este sistema de distribución de agua es muy adaptable, se puede usar en un edificio muy alto, así como en una residencia campestre. Dan servicio a zonas aproximadamente de diez pisos.

En un edificio de treinta pisos, se pueden instalar tres unidades.

- h) Se evita el problema de colocar un peso grande de agua en la parte alta del edificio.
- i) El edificio presenta mejor aspecto exterior, al prescindir de tinacos en la azotea.

#### IV.2. DISPOSITIVOS MECANICOS Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

- A) En un sistema de distribución de agua con tanque hidroneumático, los dispositivos mecánicos deberán ser los siguientes:
  - A.1) Un depósito (tanque) de almacenamiento herméticamente cerrado con todas sus conexiones colocadas en la parte inferior.
  - A.2) Bomba centrífuga sencilla o dúplex
  - A.3) Compresor de aire
  - A.4) Equipo de Control

El tanque tendrá los siguientes accesorios:

- A.5) Indicador del nivel del agua
- A.6) Manómetro
- A.7) Válvula de seguridad

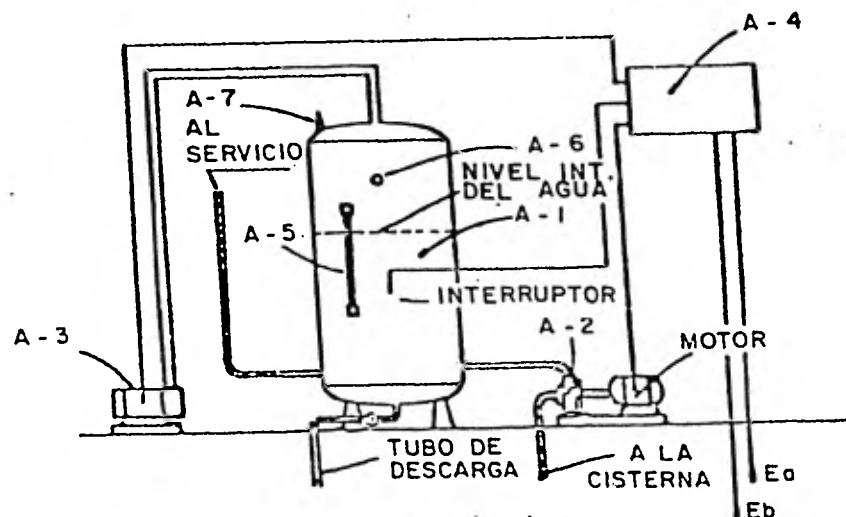


Fig. 4

#### B) Funcionamiento

La bomba o bombas centrífugas (A.2) accionadas con motores eléctricos elevan el agua de la cisterna y la introducen en el tanque (A.1). Este consiste en un depósito cilíndrico de hierro galvanizado, capaz de resistir la presión máxima a que va a funcionar la instalación. Al estar subiendo el nivel de agua se va comprimiendo el aire que queda en la parte superior del tanque. Este aire comprimido actúa a su vez sobre el agua, dándole la presión

suficiente para que el agua llegue a través de la tubería a todos los puntos del edificio.

Cuando el agua alcanza cierto nivel, correspondiente a la presión máxima de trabajo, un dispositivo de control (A.4) abre el circuito de la bomba y ésta deja de funcionar. - Por el contrario, cuando desciende el agua hasta otro determinado nivel (presión mínima de trabajo), se cierra el circuito y la bomba arranca de nuevo.

El aire alojado en la parte superior del tanque es comprimido no solamente por el agua, sino también directamente por el cargador o compresor de aire (A.3). En este caso, al iniciarse el primer ciclo, el aire alojado en el tanque está ya comprimido por el compresor hasta un determinado valor, generalmente la presión mínima de trabajo.

#### IV.3. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO

##### IV.3.1. CANTIDAD NECESARIA DE AGUA APROVECHABLE

Para conocer la cantidad necesaria de agua aprovechable (A), aceptamos la siguiente nomenclatura (Fig. 5).

V<sub>n</sub>: Es el volumen útil del tanque, contando desde el nivel mínimo (n), que cubre los tubos de entrada y salida del agua.

V<sub>a</sub>: Es el volumen del aire después de la compresión, cuando la bomba se para.

$V_b$ : Es el volumen del aire al final de la expansión, cuando la bomba entra de nuevo en funcionamiento.

$P_n$ : Es la presión absoluta cuando su volumen es  $V_n$  (igual a la presión atmosférica).

$P_a = p_a + 1$ : Es la presión absoluta cuando el volumen de aire es  $V_a$  ( $P_a$ : presión que marca el manómetro, es la presión relativa a la del aire exterior; hay que aumentar una atmósfera para tener presión absoluta).

$P_b = p_b + 1$  Es la presión absoluta cuando el volumen es  $V_b$ .

$A$ : Es la cantidad necesaria de agua aprovechable. Es el volumen de agua introducido en el tanque cuando la presión del aire interior pasa de  $P_b$  a  $P_a$ , o sea entre una puesta en marcha y una interrupción de la bomba.

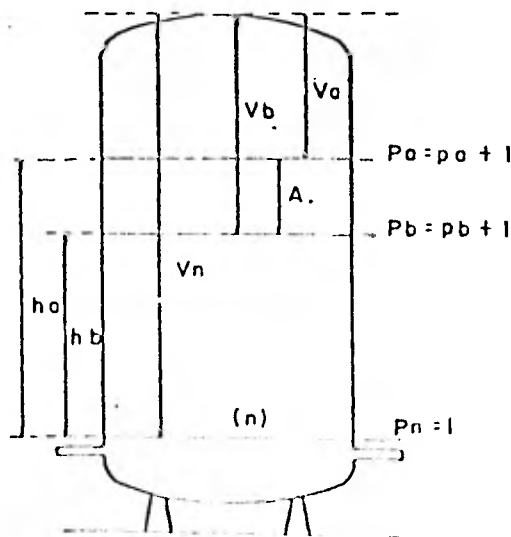


Fig. 5

Para determinar A, se debe considerar que el número de interrupciones y puestas en marcha de la bomba sea el menor posible por hora.

Haciendo todo un proceso matemático se llega a la siguiente fórmula que nos da el valor de A que conviene para que el número de ciclos por hora no pase de un valor prefijado.

$$A = 25 \frac{Q}{N_c} \quad - - - (I)$$

donde:

A: cantidad de agua aprovechable

Q: Gasto de la bomba

N<sub>c</sub>: Máximo de arranques por hora

La cantidad necesaria de agua aprovechable (C.N.A.A.) en el tanque hidroneumático depende del número de arranques por hora del motor, que a su vez depende de los caballos de fuerza del motor, según la tabla.

#### T A B L A

#### FRECUENCIA DE ARRANQUES DE MOTORES

HP del motor	N <sub>c</sub> = Máximo Arranques por hora	
7 1/2-10-15	20	Estos factores no se aplican a motores verticales flecha hueca.
20-25-30	15	
40 - 50	10	
60 y mayores	6	

Ejemplo:

Determinar la C.N.A.A. para un tanque hidroneumático, si se cuenta con una bomba de 10 H.P., la cual puede satisfacer un  $Q=984.23$  L/min. (260 G.P.M.) a una altura  $H=31.09$  m. (102 pies).

Solución

Según la tabla, para 10 H.P. se tiene un

$N_c=20$

Aplicando la expresión (I) se tiene:

$$A = 25 \frac{Q}{N_c} = 25 \cdot \frac{984.23}{20} = 1230.29 \text{ l; (325.02/gal.)}$$



#### IV.4.- DETERMINACION DEL VOLUMEN TEORICO TANQUE HIDRO - NEUMATICO.

En virtud de la Ley de Boyle,  $PV^k = \text{cte.}$  (K aproximadamente vale 1.33):

$P_n V_n^k = P_a V_a^k = P_b V_b^k (V_a + A)^k$  (usando la misma nomenclatura anterior): por sucesivas transformaciones y simplificaciones se llega a la expresión:

$$V_n = A \frac{P_a P_b}{P_n P_a - P_n P_b} = A \frac{P_a}{P_a} \frac{P_b}{P_b} \frac{1}{P_n};$$

Fórmula fundamental para el cálculo del volumen del tanque.

$P_n$ , es presión del aire cuando está vacío el tanque y por primera vez se mete agua en él, lo hemos supuesto igual a 1, pero podemos aumentarle si disponemos de un compresor de aire, con lo cual, según la fórmula anterior disminuye el valor  $V_n$ .

Podemos aumentar  $P_n$  hasta el valor de  $P_b$ , lo que equivale a prescindir del volumen correspondiente a la altura  $h_b$  en el tanque de la figura 6a. Es decir, el volumen del tanque para la misma instalación se reduce, como indica la figura 6b, si hacemos que  $P_n$  sea igual a  $P_b$ .

En cuanto a  $P_a$  y  $P_b$ , nos conviene aumentar  $P_a$  y disminuir  $P_b$  para que aumente  $A$ , pues de esta forma disminuye el número de veces que la bomba se para y vuelve a entrar en

juego, lo que influye mucho en el deterioro de los contactos eléctricos.

La presión  $P_a$ , presión máxima de trabajo, está limitada - por el hecho de que los muebles próximos al tubo de salida no deben trabajar a una presión elevada (ordinariamente  $P_a$  no debe superar las 4.5 atmósferas).

$P_b$ , a su vez, presión mínima de trabajo, no debe descender por abajo del valor necesario para que el agua alcance el piso más alto del edificio.

La fórmula antes mencionada con  $P_b = 1$  es:

$$V_n = A \frac{P_a - P_b}{P_a - P_b}, \text{ y con compresor y } P_n = P_b$$

$$V_n = A \frac{P_a}{P_a - P_b}$$

Si expresamos las presiones en atmósferas relativas ( que da; el manometro), tendremos:

$$V_n = A \frac{(P_a + 1) - (P_b + 1)}{P_a - P_b} \text{ (sin compresor)}$$

$$V_n = A \frac{P_a + 1}{P_a - P_b} \text{ (con compresor)}$$

En esta fórmula conocemos  $P_a$  y  $P_b$  que, como hemos dicho, se fijan de acuerdo con las características de la instalación.

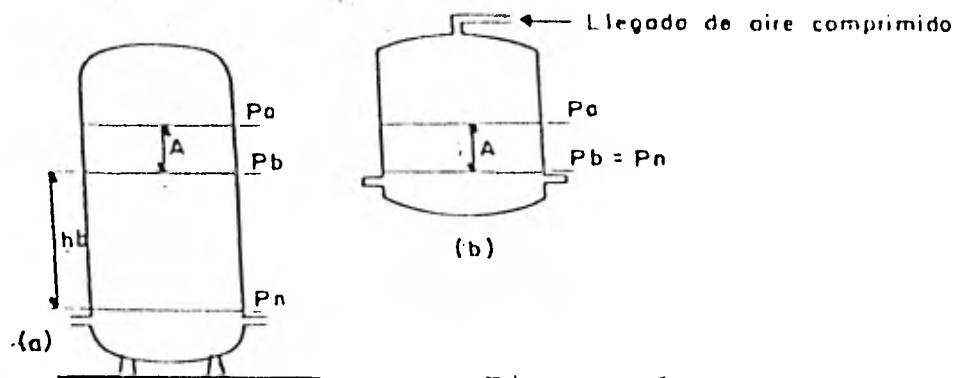


Figura 6

#### IV.5. DISTINTOS TIPOS DE EQUIPOS HIDRONEUMATICOS

##### a) Hidroneumático Simplex

El equipo Hidroneumático Simplex consta de una bomba que tiene una capacidad del 100% de la demanda (Fig. 7), esta bomba arranca y para, cuando se llega a la presión fijada de antemano para cada caso.

La desventaja de este tipo de equipo, es que, cuando se descompone la bomba, el servicio queda interrumpido por no contar con bomba de repuesto.

El equipo cuenta con 100% de Potencia Instalada, y el tanque es calculado para el 100% de Q máx.

##### b) Hidroneumático Duplex

El equipo Hidroneumático Duplex cuenta con dos bombas, teniendo cada bomba una capacidad de 100% de la demanda (Fig. 8). Lo ventajoso de este sistema es que, en caso de avería en una de las bombas, la otra queda en servicio mientras se repara la descompuesta, además de que la vida útil de las bombas es prolongada, ya que trabajan en ciclos alternados.

Este equipo cuenta con 200% de Potencia instalada con el tanque calculado para el 100% de Q máx.

##### c) Hidroneumático Triplex.

El equipo Hidroneumático Triplex tiene tres bombas, contando cada bomba con una capacidad del 50% de la demanda (Fig.

9). De las tres bombas, normalmente trabajan una (demanda  $\leq$  50%) o dos bombas (demanda  $\leq$  100%), estando la otra de reserva para cuando una falle, aunque normalmente el trabajo de las bombas se va alternando.

La potencia instalada del equipo es de 150%, y el tanque es calculado tomando 50% de Q máx.

Analizando el hidroneumático triplex y duplex se concluye que es más económico el primero ya que resulta más barato tener 3 bombas del 50% de capacidad c/u y sus accesorios, que tener 2 bombas (100% de capacidad c/u y sus respectivos accesorios).

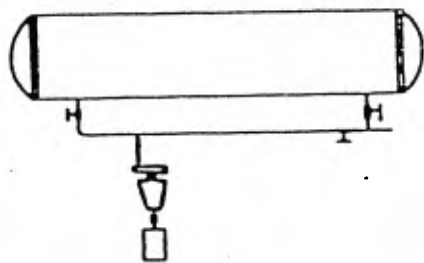


Fig. 7

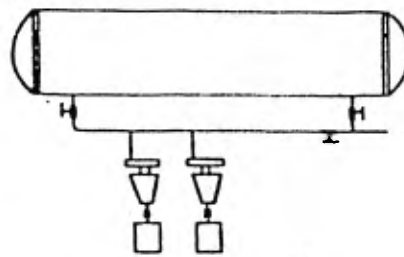


Fig. 8

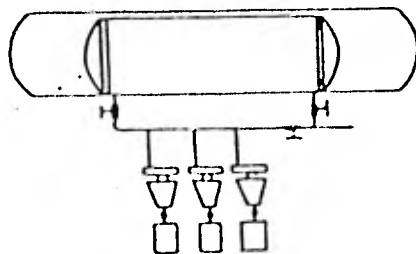


Fig. 9

#### IV.6.- EL SISTEMA PROGRAMADO DE PRESION VARIABLE

##### IV.6.1.- DESCRIPCION

Es un equipo que se compone de un hidroneumático o sea un tanque con una o dos bombas y luego dos, tres, cuatro o más bombas que ya no van al tanque, sino directas a la red.

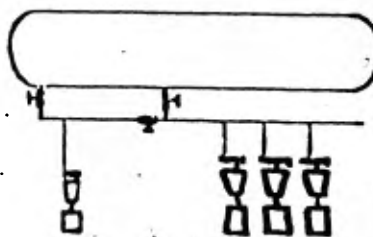


Figura 10

La figura 10 nos muestra un hidroneumático con una bomba al tanque y tres bombas que ya no van al tanque sino directas a la red.

La idea de un sistema programado nació debido a que las de mandas que se presentan durante el día en un edificio cual quiera tiene notables variaciones; existen horas de máxima demanda, horas de demanda media y horas de mínima demanda, Se trata por medio de este sistema de adecuar las bombas a las demandas reales. Veamos cómo se creó este sistema:

Si usamos un hidroneumático simplex, tenemos el problema de que si se descompone una bomba nos quedamos sin agua. Si usamos un duplex, cada una de las bombas da el 100% de la de manda, o sea que, únicamente las podemos trabajar alternadas

y una nos sirve de reserva para cuando falta cualquiera de las dos, de manera que seguimos gastando la misma energía eléctrica que con el simplex. Si usamos el triplex, podemos dar el 50% de la demanda con cada bomba, entonces, en lugar de dar con una bomba el 100%, podemos dar el 50% con da una de ellas y así dar en total el 150%, de manera que si se nos descompone una bomba, quedan dos con el 50% cada una, o sea el 100% requerido; con este sistema ya se baja el consumo de energía, puesto que en las horas de demanda mínima o media únicamente trabaja una bomba y sólo si sube la demanda trabaja la segunda bomba.

El sistema programado reduce aún más el consumo de energía eléctrica, porque la bomba que va a dar las demandas mínimas es una bomba más chica, más barata por razones obvias y es la que más va a trabajar, de manera que será la primera que se descompondrá, pero su costo de reposición será mínimo, ya que es una bomba pequeña y con un motor chico, además el consumo de corriente eléctrica va a ser de acuerdo con la demanda que realmente va a tener.

Con la bomba chica puede darse del 0 al 25% de la demanda si es grande el consumo. En un hotel muy grande se puede reducir a 12.5% para las horas de poca demanda, como son las horas de madrugada, entre día, entre tarde, etc., podemos seleccionar también dos bombas chicas con el 16.5%, para que entre las dos nos den 33% y, además, tres con el 33% que dan el 100% es decir, que tenemos el 133%. Si se descompone una bomba chica, tenemos la otra que estará trabajando para satisfacer las demandas mínimas y si la demanda rebasa la capacidad de la bomba entra a funcionar la grande. Es por eso que los equipos programados cuando son grandes se hacen con dos bombas chicas que nos dan el 33% y tres bombas grandes que nos dan el 100%.

Desgraciadamente el equipo tiene que ser operado por controles de presión, y los controles de presión en un equipo hidroneumático deben tener una variación no menor de 2 lb/pulg.<sup>2</sup>, o sea 0.141 kg./cm<sup>2</sup>, entonces sí tenemos 5 bombas, le tenemos que aumentar 10 lb/pulg.<sup>2</sup> (0.70 kg./cm<sup>2</sup> o 7 m.c.a.) al sistema y reducir el número de pisos de poder servir.

Entonces, el equipo de presión variable todo lo que logra es que el tanque sea más chico y que las bombas al ser programadas vayan trabajando de acuerdo con la demanda.

#### IV.6.2.- LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A PRESION VARIABLE.

Los sistemas a presión variable presentan ciertas limitaciones que hacen que no siempre sean los más indicados para resolver el problema de cómo abastecer a una edificación.

Entre las limitaciones que tienen están las siguientes:

- a) Incremento de la presión por el diferencial.
- b) Limitación de pisos a servir.
- c) Mayor consumo de agua.
- d) Mayor desgaste de válvulas y accesorios.
- e) El tamaño del tanque.

- a) Incremento de la presión por el diferencial.

El diferencial de presión, como sabemos, hace que podamos arrancar y parar las bombas automáticamente, pero nos obliga a usar bombas cuyas curvas características deben de ser de marcada tendencia vertical para que pueda operarse dentro del rango de presión que requerimos (gráfica 1).

b) Limitación de pisos a servir.

El reglamento de Ingeniería Sanitaria Relativo a Edificios obliga a que la presión en el mueble más bajo de una edificación no rebase  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  (45 m.c.a.). Si esos 45 m.c.a. le restamos los 14 m.c.a. que usamos de diferencial, nos quedan 31 m.c.a., sabiendo que la presión mínima en el mueble más alto debe ser 7 m.c.a. para muebles de tanque, tenemos que quedan únicamente 24 m.c.a. y si además consideramos que las pérdidas de carga por fricción son aproximadamente el 10% de la altura total, entonces tenemos que nos quedan 21 m.c.a. aproximadamente; si consideramos 3 m. por piso, llegamos finalmente a que el equipo a presión variable únicamente nos sirve para abastecer 7 pisos.

Podemos abastecer un piso más si aumentamos el diámetro de las tuberías para reducir la pérdida de carga por fricción.

c) Mayor consumo de agua.

Cuando el hidroneumático está trabajando a poco gasto, o sea a alta presión, sale aproximadamente un 20% de agua más de las llaves, desperdiciándose así gran cantidad de ésta,

d) Mayor desgaste de válvulas y accesorios.

Debido a las constantes altas y bajas de presión en el sistema, se presenta un mayor desgaste y como consecuencia una menor duración en las válvulas y los accesorios.

e) El tamaño del tanque.

El tanque como hemos visto generalmente es muy grande y ocupa espacio rentable que proporcionaría cierta utilidad monetaria.



#### IV.7.- SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A PRESION CONSTANTE.

##### IV.7.1. DESCRIPCION

Este sistema se diferencia básicamente del de presión variable en que no necesita de un diferencial de presión grande para arrancar y parar las bombas que forman parte del sistema, además de que no requiere tanque hidroneu--mático porque no existe variación en la presión en forma apreciable, eliminado consecuentemente el uso de inte - rruptores de presión y del cargador de aire.

En este sistema el control está auxiliado por un medidor de flujo que manda señales al tablero a gastos previamente establecidos y éste a su vez conecta las bombas. De manera que en este sistema el medidor de flujo forma parte esencial, puesto que es el que detectará los cambios de demanda en la red. Otro detalle importante para la correcta operación del sistema, es el uso de las bombas cuyas curvas características sean planas (gráfica 2), - ya que de esta manera nos aseguramos que la caída de presión en la red, para diferentes demandas será mínima.

Se trata entonces, de que en el rango de "demanda cero" a demanda 100% no existan bajas de presión considerables en la línea. Para lograr esto se requiere ir traslapan do las curvas características planas de cada una de las bombas que componen el sistema, como se observa en la - gráfica 3.

En el sistema de presión constante más comunmente usado se emplea una bomba-chica con capacidad del 12.5% de -  $Q$  máx- y cuatro bombas grandes-con capacidad de 25% de  $Q$  Máx- y cuatro bombas grandes-con capacidad de 25% de  $Q$  máx- previéndose una bomba chica únicamente como repuesto.

La demanda mínima - del 0% al 12.5% de Q máx- es satisfecha con una bomba chica; la demanda hasta 25% Q máx - con una bomba grande; la demanda hasta 50% Q máx con -- dos bombas grandes; la demanda hasta 75% Q máx con tres bombas grandes; y la demanda máxima con cuatro bombas grandes - 100% Q máx-.

La operación de estas bombas, como se ha mencionado, es regulada mediante un control que detecta la variación en la demanda a través de un medidor de flujo.

#### Secuencia.

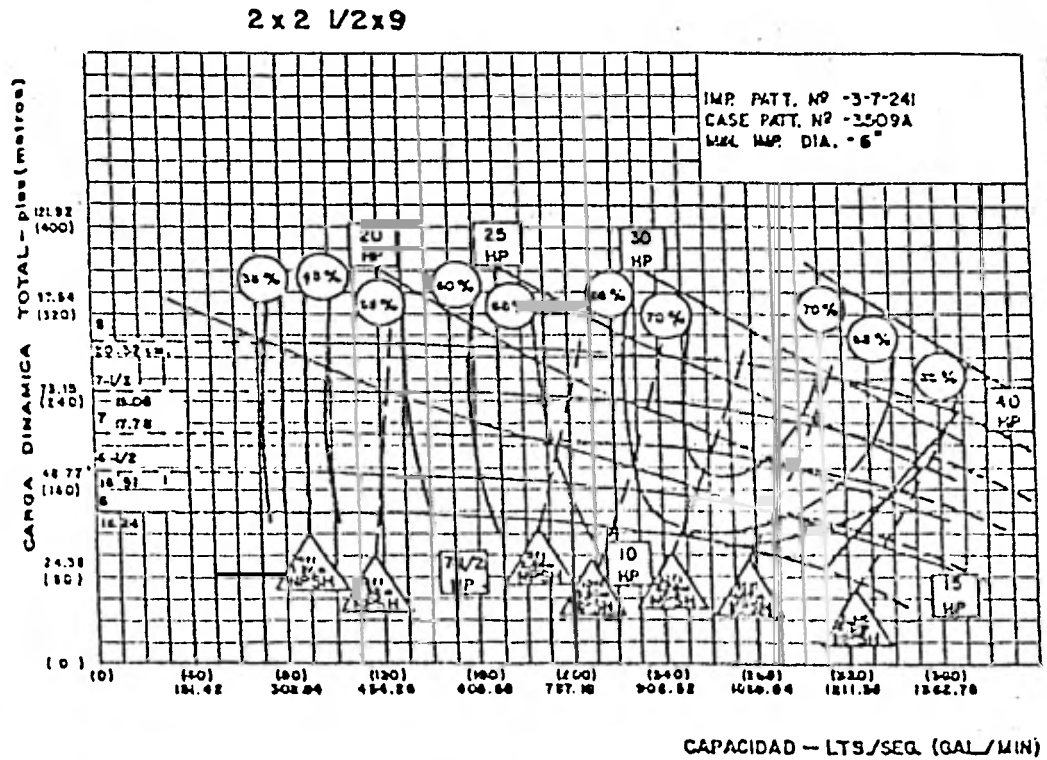
Si partimos de un estado inicial en el cual la demanda en la red es la mínima -0% al 12.5% de Q máx-, lo que quiere decir que la bomba chica está trabajando, se pueden presentar las siguientes alternativas:

- 1º Si la demanda está comprendida entre 0 y 12.5% la bomba seguirá trabajando mientras dure esta situación; funcionando un retorno a cisterna para que el agua bombeada y no consumida regrese a la cisterna evitándose así una sobrecarga de la bomba.
- 2º Si la demanda es mayor al gasto que proporciona la bomba chica mayor de 12.5% del Q máx - el control auxiliado por el medidor de flujo detectará esta situación accionando una de las bombas grandes y parando la bomba chica.

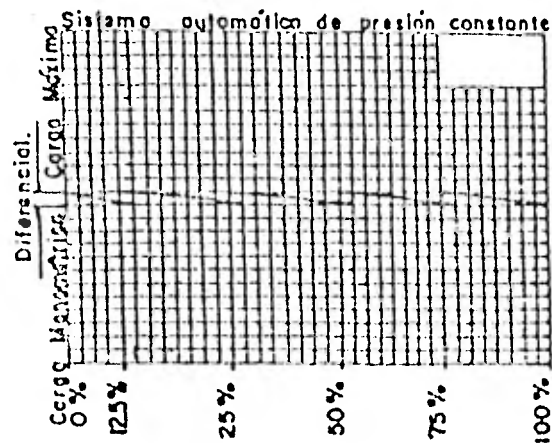
Al estar operando la bomba grande pueden presentar las siguientes alternativas:

- 3º Si la demanda baja del 12.5 % el control ordenará parar la bomba grande y arrancar la - chica, repitiéndose la secuela antes descrita.

- 49 Si la demanda se encuentra entre el 12.5% y el 25%, la bomba seguirá trabajando mientras dure esta situación.
- 50 Si la demanda es mayor al 25%, el control enviará una orden de arranque a otra de las -- bombas grandes, operando ambas simultáneamente.



Gráfica 2



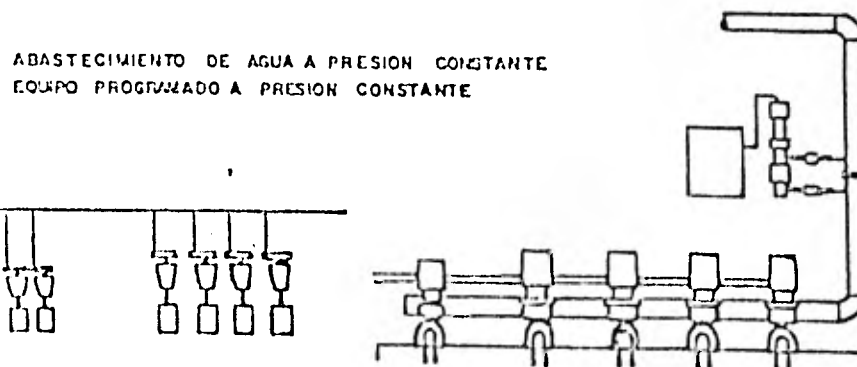
Gráfica 3

Después de estar trabajando dos bombas grandes en forma simultánea, pueden repetirse las alternativas indicadas anteriormente, en que pueden trabajar un máximo de cuatro bombas, que sería el caso de demanda máxima.

En resumen este sistema presenta las siguientes ventajas respecto al sistema de presión variable.

- i) No existe diferencial, por lo que se aumenta el número de pisos a los cuales se les puede dar servicio.
- ii) No existe variación en la presión, de esta manera aumenta la duración de la tubería y los accesorios.
- iii) No tenemos desperdicio de agua por variación de la presión.
- iv) Es un sistema más económico pues se ahorra el costo del tanque y del compresor, además que el gasto de energía eléctrica será siempre de acuerdo a la demanda que se presente.

#### DIAGRAMA DE INSTALACION DE LAS BOMBAS



## V. CONCLUSIONES

Al proyectar la instalación de agua para un edificio, el principal problema que se debe considerar, es el de abastecer de agua al edificio con un gasto variable, de acuerdo a la demanda que se presenta en cualquier instante, y a una presión constante. Otro aspecto fundamental para hacer la elección del equipo que va a instalar en el inmueble es el económico.

Un tercer concepto que se debe tener en cuenta, es el estético, que en algunos casos es muy importante y en otros completamente secundario.

Todos los sistemas o equipos que se emplean para abastecer de agua a los edificios, tienen sus ventajas y desventajas, por lo que para cada caso en particular se debe hacer un análisis antes de decidirse por determinado sistema.

El sistema por gravedad tiene las siguientes ventajas:

- a) No ocupa áreas rentables en niveles inferiores de los edificios.
- b) Menor costo por compra y mantenimiento de menos equipo eléctrico y mecánico en relación con otros sistemas.

Los equipos hidroneumáticos presentan las siguientes ventajas:

- i) El agua está almacenada en un depósito hermético que hace que la instalación sea higiénica.
- ii) Se evita problema de colocar un peso grande de agua en la parte alta del edificio, por lo que se ahorra en la estructura.
- iii) Los diámetros de las tuberías pueden ser más pequeños que de otras instalaciones.

Hay dos equipos que presentan, en cuanto a funcionamiento, la solución casi ideal al abastecimiento de agua en edificios y son:

- a) Equipo programado de presión variable, y
- b) Equipo programado de presión constante

Con el equipo programado de presión variable tenemos la ventaja de que las demandas son satisfechas dentro de los rangos de gasto para los que se programan las bombas, por lo que economizamos energía eléctrica, ya que sólo trabaja la bomba a la cual corresponde el rango de gasto que se está sustrayendo en la red.

El equipo programado de presión constante es el que más se acerca a la solución de nuestro problema ya que nos proporciona un gasto variable sin una variación notable en la -

presión; la única desventaja que tiene es, que la bomba que satisface las demandas mínimas deberá estar trabajando aunque no exista demanda en la red, es decir trabaja aunque - exista demanda cero. Este equipo se utiliza en edificios grandes, como hoteles, condominios, pequeños fraccionamientos, etc., porque en éstos la demanda cero casi nunca se presenta.

apendice



A.1.- METODO DE DAWSON Y KALINSKE

Este método se emplea para obtener el número de muebles en uso simultáneo.

TABLA A			TABLA B		
#	TOTAL (HASTA)	# EN.USO SIMULTANEO	TOTAL (G/M)	FACTOR DE FLUJO SIMULTANEO CLASE A	CLASE B
	1	1			
	2	2	50	0.50	0.80
	3	2	70	0.40	0.70
	4	2	100	0.35	0.60
	5	2	150	0.30	0.50
	7	3	200	0.25	0.40
	10	4	300	0.21	0.30
	15	5	500	0.17	0.25
	20	6	800	0.14	0.20
	30	8	1 200	0.12	0.17
	40	10	2 000	0.10	0.15
	50	12	3 000	0.09	0.13
	75	14	5 000	0.08	0.12

Gastos que se consideran para calcular número de muebles en uso simultáneo, emplear estos valores con la tabla de abajo.

W.C. Público fluxómetro-----	20 g/m
W.C. Público tanque -----	10 g/m
W.C. Particular fluxómetro-----	12 g/m
W.C. Particular tanque-----	6 g/m
Tina pública-----	8 g/m
Tina particular-----	5 g/m
Lavabo-----	2 g/m
Regadera-manzana 4" -----	4 g/m
manzana 6"	8 g/m

En general:

Tubería de 3/8" = 0.25 l/seg. = 4 g/m

Tubería de 3/4" = 12 g/m.

## A.2.- METODO EMPIRICO BRITANICO

## GASTO MAXIMO PROBABLE

Descarga de Muebles	
Mueble	Litros/Seg.
Baño(priv.)	0.32
Baño(Púb. )	0.50
Fregadero	0.25
Lavabo	0.13
Regadera	0.13
Regadera(10cm. )	0.25
Regadera(15cm. )	0.50

## DEMANDA MAXIMA PROBABLE

Gasto Total Simultaneo	Gasto Probale Simultaneo	Gasto Total Simultaneo	Gasto Probable Simultaneo
L.P.S.	L.P.S.	L.P.S.	L.P.S.
0.06 a 0.70	100 %	5.10	2.33
0.88	.82	5.29	2.46
1.01	.91	6.74	2.65
1.13	1.01	7.75	2.84
1.36	1.10	8.95	3.02
1.43	1.20	10.27	3.28
1.64	1.19	11.84	3.53
1.89	1.41	13.61	3.84
2.21	1.51	15.62	4.10
2.52	1.64	18.02	4.47
2.90	1.89	23.81	5.36
3.84	2.02	27.41	6.00
4.47	2.14	31.50	6.55
		32 y más	20 %

Ejemplo.-

<u>MUEBLES</u>	<u>NO.</u>	<u>VALOR</u>	<u>TOTAL</u>
Lavabo	10	0.13	1.30
Regadera	10	0.25	2.50
W.C. (privado)	10	0.32	3.20
Fregadero	10	0.25	2.50
Lavadero	10	0.25	2.50

Gasto total simultaneo 12.00

GASTO PROBABLE SIMULTANEO = 3.60 L.P.S.

## A.3.- METODO ALEMAN DE RAIZ CUADRADA

## DEMANDA MAXIMA INSTANTANEA

FORMULA

$$Q = Q_1 \sqrt{F_1 N_1 + F_2 N_2 + F_3 N_3 + F_4 N_4}$$

Q = Gasto Máximo probable en L.P.S.

$Q_1 = 0.25$  L.P.S. GASTO MEDIDO. SALIDA 9.5 mm

$F_1 =$  Cuadrado del valor de una salida de 9.5 mm

$N_1 =$  Número de salidas de 9.5 mm

$F_2 =$  Cuadrado del valor de una salida de 13 mm.

$F_3 =$  Número de salidas de 13 mm.

$F_3 =$  Cuadrado del valor de una salida de 19 mm.

$N_3 =$  Número de salidas de 19 mm.

$F_4 =$  Cuadrado del valor de una salida de 25 mm.

$N_4 =$  Número de salidas de 24 mm.

## EJEMPLO.-

<u>MUEBLES</u>	<u>No.</u>	<u>DIAMETRO</u>	<u>VALOR</u>
Lavabos	10	9.5 mm	1
Regadera Standard	10	13.0 mm	2.5
Mingitorios (Flux)	10	19.0 mm	9
W.C. ( Fluxometro)	10	25.0 mm	20

$$Q = 0.25 \sqrt{1 \times 10 + 2.5 \times 10 + 9 \times 10 + 20 \times 10}$$

$$Q = 0.25 \sqrt{325} = 0.25 \times 18$$

GASTO MAXIMO PROBABLE

Q = 4.5 L.P.S.

## A-4.- METODO DE HUNTER

Este método basado en la teoría de las probabilidades, es especialmente aplicable a los grandes grupos de muebles, como en los edificios de departamentos, hoteles, oficinas públicas, etc.

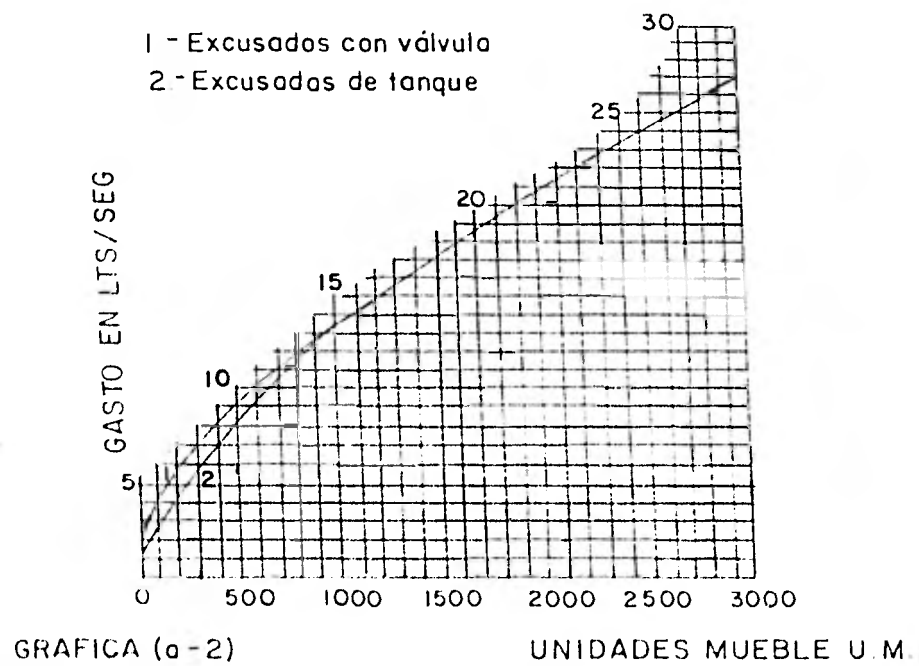
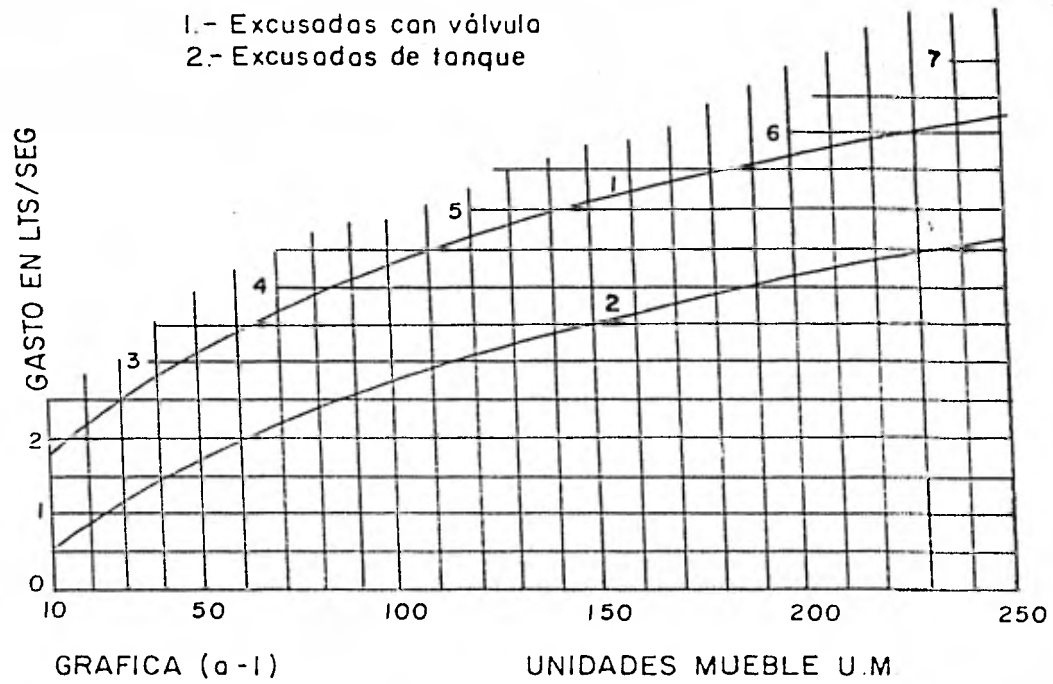
Por medio de observaciones hechas en diferentes tipos de edificios, el Dr. Hunter determinó los valores característicos de los gastos medios y los tiempos de operación de los muebles más usados en las instalaciones sanitarias, tales como lavabos, tinas, W.C., etc., y a estos gastos los valorizó en unidades muebles (U.M.), según se ve en la tabla a-1. Con base en el número de U.M. instaladas y el uso simultáneo máximo de los muebles sanitarios, obtuvo los gastos instantáneos máximos, según las gráficas (a-1) y (a-2). La secuencia recomendada, para el cálculo del gasto, es la siguiente:

- 1º.- Dibujar el diagrama de la instalación
- 2º.- Dar valor en U.M. a los muebles sanitarios (tabla a-1)
- 3º.- Acumular en sentido contrario al flujo del agua las U.M.
- 4º.- En la gráfica (a-1) ó (a-2), ver el gasto de diseño para cada tramo de tubería.

## EQUIVALENCIA DE LOS MUEBLES EN UNIDADES MUEBLES

MUEBLE	SERVICIO	CONTROL	U.M.
Excusado	Público	Válvula	10
Excusado	Público	tanque	5
Fregadero	Restaurante	Llave	4
Lavabo	Público	Llave	2
Mingitorio Pedestal	Público	Válvula	10
Mingitorio Pared	Público	Válvula	5
Mingitorio Pared	Público	Tanque	3
Regadera	Público	Mezcladora	4
Tina	Público	Llave	4
Vertedero	Oficina, ect.	Llave	3
Excusado	Privado	Válvula	6
Excusado	Privado	Tanque	3
Fregadero	Privado	Llave	2
Grupo baño	Privado	Exc. válvula	8
Grupo baño	Privado	Exc. tanque	6
Lavabo	Privado	Llave	1
Lavadero	Privado	Llave	3
Regadera	Privado	Mezcladora	2
Tina	Privado	Mezcladora	2

Tabla ( a-1)



GASTOS PROBABLES EN LITROS POR SEGUNDO EN FUNCION  
EL NUMERO DE UNIDADES MUEBLE  
METODO DE "HUNTER"

Hoja No. 1

Número de Unidades Mueble	Gasto Probable		Número de Unidades Mueble	Gasto Probable		Número de Unidades Mueble	Gasto Probable	
	Tanque	Válvula (lts/seg)		Tanque	Válvula (lts/seg)		Tanque	Válvula (lts/seg)
1	0.10		80	2.40	3.91	255		
2	0.15		85	2.48	4.00	260	4.71	6.43
3	0.20	No hay	90	2.57	4.10	265	4.78	6.48
4	0.26	No hay	95	2.68	4.20	270	4.86	6.54
5	0.38	1.51	100	2.78	4.29	275	4.93	6.60
6							5.00	6.66
6	0.42	1.56	105	2.88	4.36	280		
7	0.46	1.61	110	2.97	4.42	285	5.07	6.71
8	0.49	1.67	115	3.06	4.52	290	5.15	6.76
9	0.53	1.71	120	3.15	4.61	295	5.22	6.83
10	0.57	1.77	125	3.22	4.71	300	5.29	6.89
12							5.36	6.94
12	0.63	1.86	130	3.28	4.80	320		
14	0.70	1.95	135	3.35	4.86	340	5.61	7.13
16	0.76	2.03	140	3.41	4.92	360	5.86	7.32
18	0.83	2.12	145	3.48	5.02	380	6.12	7.52
20	0.89	2.21	150	3.54	5.11	400	6.37	7.71
22							6.62	7.90
22	0.96	2.29	155	3.60	5.18	420		
24	1.04	2.36	160	3.66	5.24	440	6.87	8.09
26	1.11	2.44	165	3.73	5.30	460	7.11	8.28
28	1.19	2.51	170	3.79	5.36	480	7.36	8.17
30	1.26	2.59	175	3.85	5.41	500	7.60	8.66
32							7.85	8.85
32	1.31	2.65	180	3.91	5.42	520		
34	1.36	2.71	185	3.98	5.55	540	8.08	9.02
36	1.42	2.78	190	4.04	5.58	560	8.32	9.20
38	1.46	2.84	195	4.10	5.60	580	8.55	9.37
40	1.52	2.90	200	4.15	5.63	600	8.79	9.55
42							9.02	9.72
42	1.58	2.96	205	4.23	5.70	620		
44	1.63	3.03	210	4.29	5.76	640	9.24	9.89
46	1.69	3.09	215	4.34	5.80	680	9.46	10.05
48	1.74	3.16	220	4.39	5.84	700	9.88	10.38
50	1.80	3.22	225	4.42	5.92	720	10.10	10.55
55							10.32	10.74
55	1.94	3.35	230	4.45	6.00	740		
60	2.08	3.47	235	4.50	6.10	760	10.54	10.93
65	2.18	3.57	240	4.54	6.20	780	10.76	11.12
70	2.27	3.66	245	4.59	6.31	800	10.98	11.31
75	2.34	3.78	250	4.64	6.37	820	11.20	11.50
							11.40	11.66

GASTO PROBABLES EN LITROS POR SEGUNDO EN FUNCION  
DEL NUMERO DE UNIDADES MUEBLE  
METODO DE "HUNTER"

Hoja No. 2

Número de Unidades Mueble	Gasto Probable		Número de Unidades Mueble	Gasto Probable		Número de Unidades Mueble	Gasto Probable	
	Tanque	Válvula (lts/seg)		Tanque	Válvula (lts/seg)		Tanque	Válvula (lts/seg)
840	11.60	11.82	2350	23.00	12.00	4100	34.90	34.90
860	11.80	11.98	2400	23.40	23.40	4500	39.50	39.50
880	12.00	12.14	2450	23.70	23.70	5000	43.50	43.50
900	12.20	12.30	2500	24.00	24.00	5500	46.30	46.30
920	12.37	12.46	2550	24.40	24.40	6000	49.00	49.00
940	12.55	12.62	2600	24.70	24.70	6500	52.60	52.60
960	12.72	12.78	2650	25.10	25.10	7000	56.00	56.00
980	12.90	12.94	2700	25.50	25.50	7500	59.00	59.00
1000	13.07	13.10	2750	25.80	25.80	8000	63.00	63.00
1050	13.49	13.50	2800	26.10	26.10	8500	63.50	63.50
1100	13.90	13.90	2850	26.40	26.40	9000	68.50	68.50
1150	14.38	14.38	2900	26.70	26.70	9500	71.50	71.50
1200	14.85	14.85	2950	27.00	27.00	10000	74.40	74.40
1250	15.18	15.18	3000	27.30	27.30	10500	77.50	77.50
1300	15.50	15.50	3050	27.60	27.60	11000	80.50	80.50
1350	15.90	15.90	3100	28.00	28.00	11500	83.50	83.50
1400	16.20	16.20	3150	28.30	28.30	12000	86.50	86.50
1450	16.60	16.60	3200	28.70	28.70	12500	89.50	89.50
1500	17.00	17.00	3250	29.00	29.00	13000	92.50	92.50
1550	17.40	17.40	3300	29.30	29.30	13500	95.50	95.50
1600	17.70	17.70	3350	29.60	29.60	14000	98.50	98.50
1650	18.10	18.10	3400	30.30	30.30	14500	101.50	101.50
1700	18.50	18.50	3450	30.60	30.60	15000	104.50	104.50
1750	18.90	18.90	3500	30.90	30.90	15500	106.50	106.50
1800	19.20	19.20	3550	31.30	31.30	16000	109.50	109.50
1850	19.60	19.60	3600	31.60	31.60	16500	112.50	112.50
1900	19.90	19.90	3650	31.90	31.90	17000	115.50	115.50
1950	20.10	20.10	3700	32.30	32.30	17500	118.50	118.50
2000	20.40	20.40	3750	32.60	32.60	18000	121.50	121.50
2050	20.80	20.80	3800	32.90	32.90	18500	124.50	124.50
2100	21.20	21.20	3850	33.30	33.30	19000	127.50	127.50
2150	21.60	21.60	3900	33.60	33.60	19500	130.50	130.50
2200	21.90	21.90	3950	33.90	33.90	20000	133.50	133.50
2250	22.30	22.30	4000	34.30	34.30	25000	163.00	163.00
2300	22.60	22.60	4050	34.60	34.60	30000	194.00	194.00



## A.5.- EJEMPLO PRACTICO

## SELECCION DE UNA BOMBA CENTRIFUGAS PARA EQUIPO HIDRO-NEUMATICO.

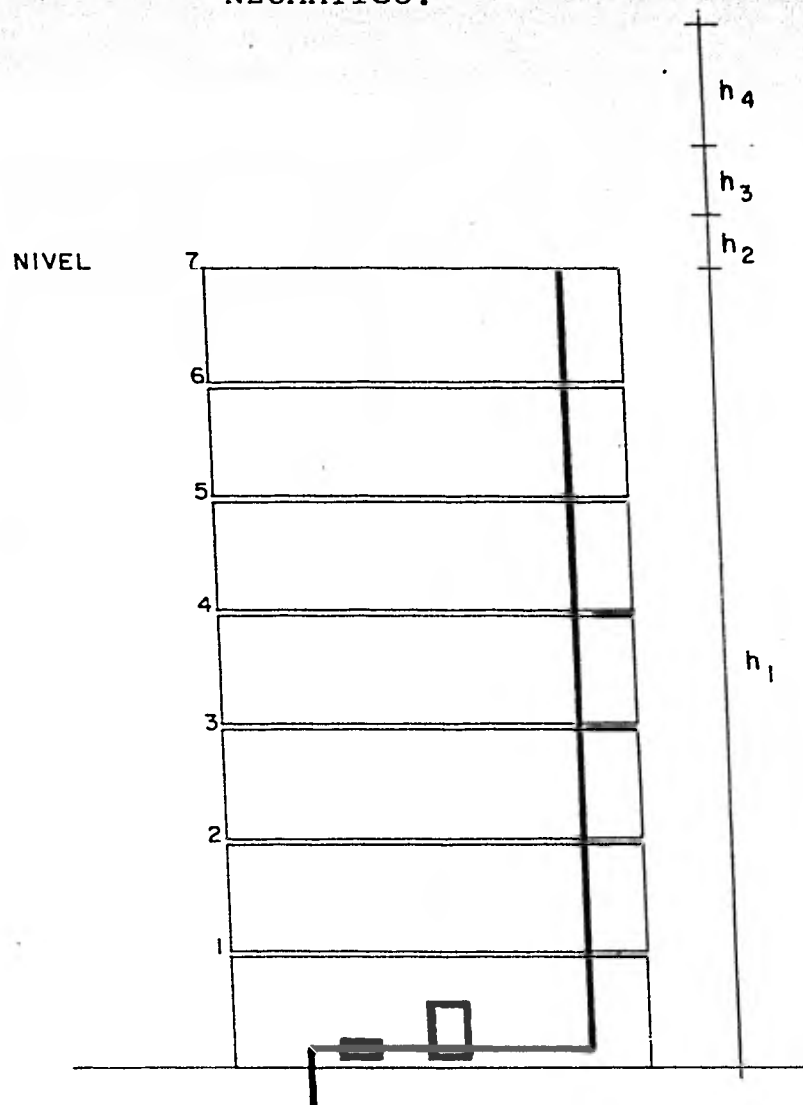


FIGURA (a-1)

## a) Datos:

El Gasto Máximo Instantáneo  
(Gasto de diseño de la bomba)  
es:

$$Q = 16.40 \text{ l./seg.}$$

La carga total (carga manométrica  
es (Fig. a-1):

$$H = 22.00 + 4.00 + 5.00 = 31.00 \text{ m.}$$

$$H = 31.00 \text{ m.}$$

carga dinámica total: 45.00 m.

diferencial de presión

(presión de parada-presión de  
arranque)  $h_4$ : 14.00 m

presión requerida en el  
mueble más alejado  $h_3$ : 5.00 m

pérdida de carga  $h_2$ : 4.00 m

altura del edificio  $h_1$ : 22.00 m

## b) RECOMENDACIONES:

- i) El diferencial de presión (presión de parada de la bomba menos presión de arranque) debe ser igual a  $1.4 \text{ kg/cm}^2$  (14 m.c.a.).
- ii) Seleccionar la bomba con mejor eficiencia.

Localizando en la curva para diámetro de impulsor = 5 7/8" la ordenada  $H = 31.00 + 14.00 = 45$  m (147.64 pies).

Se observa que:

El punto no se localiza en la gráfica, por lo tanto esta - bomba no satisface nuestra necesidad.

SEGUNDO TANTEO.

Análisis usando la curva de la gráfica inferior de la pág. 17 ( 2 x 2 1/2 x 7B).

Localizando en esa gráfica el punto cuyas coordenadas son:

$Q = 16.4$  l./seg. (260 G.P.M.) y  $H = 31$  m (101.71 pies)

Se observa que:

- \* El punto se localiza en el área recomendada.
- \* Eficiencia = 68%
- \* Potencia del motor = 10 H.P.
- \* Diámetro del impulsor = 15.88 cm. (6 1/4")
- \* N.P.S.H.R. = 3.81 m = 12.5 pies

Localizando en la curva para diámetro del impulsor = 6 1/4"

la ordenada  $H = 45$  m (147.64 pies).

Se observa que:

- El punto se localiza en el área recomendada
- Eficiencia = 35%
- Potencia del motor = 7 1/2 H.P.
- N.P.S.H.R. = 0.91 m (3 pies).

∴ Nuestra bomba elegida será:

- \* 2x 2 1/2 x 7B
- \* descarga x ø succión x ø carcasa
- \* Presión de arranque de la bomba= 31.00 m.c.a. (44#)
- \* Presión de parada de la bomba= 45.00 m.c.a. (64#)
- \* Diferencial de presión = 14.00 m.c.a. (20#).

#### OBSERVACIONES A LAS CURVAS DE OPERACION DE BOMBAS:

Las curvas de operación tienen marcada una área recomendable, dentro de la cual se garantiza el buen funcionamiento de la bomba que representan, ya que si la bomba elegida tiene su punto de operación - sobre el lado izquierdo, fuera del área recomendada, la bomba vibrará por haber turbulencia por bajo flujo, y si el punto de operación está sobre el lado derecho fuera del área recomendada, se presentará el fenómeno de cavitación por baja presión.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias y de Gas para Edificios C.E.C. UNAM.
- 2.- Bombas  
C.E.C. UNAM.
- 3.- Reglamento de Ingeniería Sanitaria Relativo a Edificios.
- 4.- Manual Helvex
- 5.- Fontanería y Saneamiento  
Rodríguez Avial.
- 6.- Manual de Hidráulica  
Azevedo y Alvarez.
- 7.- Principles and Practice of Flow Meter Engineering  
L.K. Spink.
- 8.- Hidráulica General, tomo I  
Sotelo Avila.

