

6
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

"CUAUTITLAN"

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
BOMBAS VERTICALES DE POZO PROFUNDO



Departamento de Exámenes Profesionales
T E S I S

Que para obtener el Título de
"INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA"

presentan

LUIS HERRERA GARCIA
MIGUEL MANUEL RAMIREZ
SIMON I. CASTAÑEDA ESCORZA



V N A M

1986

Cuautitlán Izcalli, Estado 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 está 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.

F E D E E R R A T A S

<u>Pág.</u>	<u>Párrafo</u>	<u>Reiglón</u>	<u>Columna</u>	<u>Dice</u>	<u>Debe decir</u>
V	3	1	-	hemanos	hermanos
13	1	1	-	Gasto potencial acuífero	Gasto potencial del acuífero
13	10	5	-	Capas de suelo que está	Capas de suelo que están
16	-	6	-	$S_c = \frac{2.246 \text{ Tt}}{T_o^2}$	$S_c = \frac{2.246 \times 10^{-3} \text{ Tt}}{T_o^2}$
22	-	6	4	12.0	305
22	-	7	4	12.0	305
22	-	8	4	13.5	343
22	-	9	4	13.5	343
22	-	10	4	13.5	343
22	-	11	4	22.0	559
22	-	12	4	22.0	559
22	-	13	4	22.0	559
22	-	14	4	22.0	559
22	-	15	4	22.0	559
22	-	16	4	22.0	559
22	-	17	4	22.0	559
22	-	18	4	22.0	559
32	-	11	-	cenética	cinemática
32	-	12	-	calulo	cálculo
32	-	15	-	primas	primarias
39	-	15	-	Un solo gasto.	Un solo gasto. (47.08 IPS)
45	-	18	-	$\rho =$ densidad agua en m^3	$\rho =$ Peso específico de agua en Kg/dm^3
63	3	3	-	flexión	torsión
65	3	3	-	selección	selección
71	3	4	-	concéntricos	con centros en el
77	2	4	-	equipo	empuje
96	3	5	-	por la del pozo	por la pared del pozo
98	3	5	-	dntro	dentro

INDICE

	Prólogo	4
	Lista de símbolos y abreviaturas	5
I	Introducción	8
II	Descripción de un Sistema de Bombeo típico, en el suministro de agua potable y/o para riego	10
	II.1 Importancia	10
	II.2 Mantos acuíferos	11
	II.3 Pruebas de aforo	19
	II.4 Sistemas de almacenaje y distribución de agua	22
III	Principios generales de un sistema de bombeo de pozo profundo	28
	III.1 Carga dinámica total	28
	III.2 Golpe de Ariete	35
	III.3 Cavitación	37
	III.4 Turbulencia	43
	III.5 Eficiencia del sistema	45
IV	Integración de la bomba centrífuga vertical sumergible	48
	IV .1 Motor sumergible	48
	IV .2 Acoplamiento bomba - motor	52
	IV .3 Colador	54
	IV .4 Bomba sumergible	54
	IV .5 Válvula de retención.....	64
	IV .6 Tubería de elevación	64
	IV .7 Placa soporte	64
	IV .8 Cable sumergible	65

V	Limitaciones en la selección de equipos de bombeo para pozo	
	profundo	68
	V.1 Vibraciones y balanceo	68
	V.2 Rectitud y verticalidad de un pozo	69
	V.3 Causas y efectos del empuje axial	77
	V.4 Producción de arena en pozos	83
	V.5 Manejo de agua corrosiva en pozos profundos	84
VI	Estudio económico	86
VII	Conclusiones	95
	Apéndice A	100
	Apéndice B	104
	Bibliografía	121

PROLOGO

El objetivo de éste trabajo, consiste en establecer las bases para seleccionar un sistema de bombeo de pozo profundo tomando en cuenta los aspectos técnico y económico, para lo cual es necesario la descripción de los conceptos relacionados con los equipos de bombeo para una aplicación determinada.

Se establece el enlace entre la fuente de suministro y el equipo utilizado para la explotación, haciendo un breve estudio de los fenómenos existentes en un sistema de bombeo, la forma operativa de los diferentes equipos que pueden ser empleados para ésto y así tener las bases suficientes para cuantificar la inversión que implica la selección de cualquiera de los tipos de equipos que se tienen como alternativa.

La importancia de éste trabajo, se fundamenta en la situación que prevalece actualmente en la sociedad moderna, caracterizada por tener un alto costo de la vida; lo cual hace necesario la implementación de métodos que permitan la creación de sistemas eficientes y al menor costo posible.

Se realiza un estudio económico, considerando la situación actual en México, de tal forma que cualquier variación en el costo de materiales, mano de obra, energía, tasas de interés, etc., puede implicar que la alternativa óptima sea diferente a la que aquí se obtiene.

LISTA DE SIMBOLOS Y ABBREVIATURAS

Abatimiento	z
Aceleración gravitacional	g
Altura	H, h
Altura adicional	AA
Altura de suspensión	Es
Altura de aspiración	Hs
Area	A
Caballo de fuerza	HP
Cambio de almacenamiento subterráneo	ASg
Cambio de almacenamiento superficial	ASS
Carga dinámica total	CDT
Carga neta positiva de succión disponible	CNPSD
Carga neta positiva de succión requerida	CNPSR
Coefficiente de almacenamiento	Sc
Corriente subterránea	Qg
Corriente superficial	Qs
Deformación longitudinal	e
Densidad	ρ
Diámetro	D, ϕ
Distancia	s, x, y, a, b, c
Eficiencia	Ef, n
Esfuerzo combinado	S
Factor de potencia	Fp
Fuerza	F
Gasto	Q

Gasto potencial de un acuífero susceptible de ser bombeado ..	G
Grados centígrados	C
Infiltración	Qi
Longitud	L
Masa	m
Módulo de elasticidad	E
Nivel dinámico	ND
Nivel estático	NE
Pérdida de presión por fricción	Hr
Permeabilidad / Porosidad / Presión	P
Peso específico	γ
Peso	W
Potencia absorbida	Na
Potencia interna	Ni
Potencia útil	Nu
Precipitación pluvial	Pp
Presión de saturación	Ps
Presión atmosférica	Pb
Relación del módulo de elasticidad, del agua y del acero	K
Rendimiento específico	Re
Rendimiento hidráulico	hh
Rendimiento mecánico	hm
Rendimiento total	ht
Rendimiento volumétrico	hv
Reynolds, número / resistencia eléctrica / relación de diámetros	R
Revoluciones por minuto	RPM, N
Rugosidad relativa	k
Sumergencia	K

Temperatura de saturación Ts
Tiempo t,T
Transmisibilidad T
Vaporación / transpiración Et
Velocidad de la onda de presión en el golpe de ariete ... a
Viscosidad cinemática ν
Viscosidad dinámica γ
Volumen / velocidad V,v

I. INTRODUCCION

Las bombas son máquinas hidráulicas que se emplean para impulsar -
flúidos en distintas circunstancias, ésto es, refiriendose a presión, -
temperatura, corrosión, abrasión, etc. Al seleccionar o diseñar un sis-
tema de bombeo es necesario considerar éstos factores para proporcionar
el sistema más adecuado.

Para comprender más ampliamente todo lo concerniente a un sistema
de bombeo, es necesario que se definan perfectamente algunos conceptos
básicos como carga dinámica total, golpe de ariete, cavitación, turbu-
lencia, etc.

Este estudio enfocará específicamente a las bombas verticales pa-
ra pozo profundo empleadas principalmente para el suministro de agua -
potable y agua para riego, en aquellos lugares donde los mantos acuífe
ros están a profundidades considerables y que tradicionalmente son ex-
plotados con bombas verticales para pozo profundo de flecha larga úni-
camente.

En la actualidad se está eliminando la bomba vertical de flecha -
hueca, instalando un motor sumergible acoplado directamente a la bom -
ba. Por lo que se logra un ahorro económico al suprimir la flecha de -
columna. Obviamente, un motor sumergible tiene más limitaciones que -
un motor que opera en la superficie, fuera del agua, por lo que es im-
portante determinar en que circunstancias es más recomendable un sistem
a, respecto del otro.

Es importante también ya que se tiene bien definido un sistema de
bombeo para el cual existen dos o más alternativas, aparte de evaluar -
los aspectos técnicos, hacer una evaluación económica. En la actuali -

-dad dicha evaluación es de suma importancia sobre todo si se habla de una cantidad considerable de equipos, ésta evaluación será la que determine la alternativa más viable.

II. DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE BOMBEO TIPICO EN EL SUMINISTRO DE AGUA PARA USO DOMESTICO, INDUSTRIAL Y PARA RIEGO.

II.1 IMPORTANCIA

Mediante la creación de un sistema de bombeo eficiente, muchas de las tierras áridas o semiáridas pueden ser aprovechadas para la agricultura y/o la ganadería, explotando el agua subterránea de la región, si no se cuenta con una fuente de suministro de fácil acceso como un río, laguna o presa. De la misma manera, se puede asegurar el abastecimiento de agua para uso industrial o doméstico. La importancia de éste estudio se debe a que la existencia de muchos poblados, sea cual sea su actividad, dependen de la disponibilidad de agua, así como de la continuidad en el suministro de la misma. Por tal motivo, es también importante tener conocimiento del comportamiento de los mantos acuíferos, para no incurrir en sistemas mal diseñados. En éste capítulo se verán algunos conceptos básicos relacionados con el comportamiento de mantos acuíferos, y en su momento se hará referencia a un pozo, para el cual se presenta su prueba de aforo; además se han complementado datos de otros pozos en forma arbitraria, con la finalidad de mostrar algunos aspectos importantes que deben ser considerados al momento de hacer la selección de un equipo, algunos de éstos aspectos son: rectitud, verticalidad, producción de arena, análisis económicos, etc., que se verán en capítulos posteriores.

II.2 MANTOS ACUIFEROS

Estos están formados por el agua subterránea que se encuentra en el subsuelo. Es muy importante tener referencias sobre los mantos acuíferos cuando se proyectan sistemas de bombeo de pozo profundo, ya que algunas veces, cuando no se tiene buenas referencias, se podría incurrir en un gasto infructuoso o bien a sistemas de bombeo que fallen debido al desconocimiento del comportamiento del manto acuífero a través de las diferentes épocas del año. Esto se explica fácilmente si se tiene en cuenta que la mayoría de los mantos acuíferos, son formados principalmente por el agua que proviene de la precipitación pluvial, por lo que al proyectar la perforación de un pozo, deben considerarse todos los parámetros y fenómenos meteorológicos que norman el comportamiento de un manto acuífero. Entre los parámetros y fenómenos que están relacionados con el comportamiento de un manto acuífero y que se relacionan con las características de funcionamiento de un sistema de bombeo de pozo profundo, se encuentran los siguientes:

Potencial de un manto acuífero.

Se conoce como potencial del manto acuífero al gasto (volumen / tiempo) que dicho acuífero puede permitir como ritmo de explotación sin que haya variaciones radicales en la configuración del subsuelo y que pueda ser equilibrado por los diferentes flujos existentes en el subsuelo, como se puede apreciar en la figura II - 1 (pag. 12) de donde se establece la siguiente ecuación:

$$G = Pp + Qs + Qg + Qi - Et - ASg - ASs \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

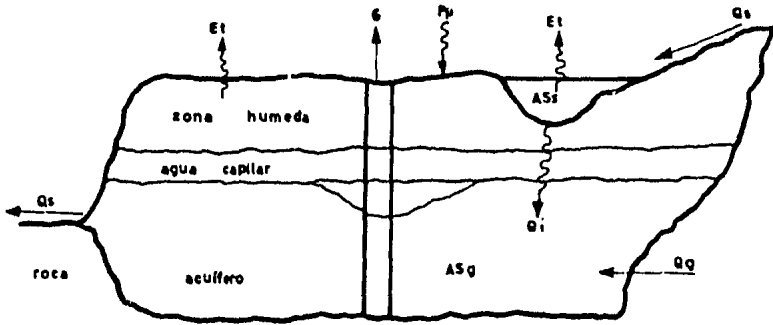
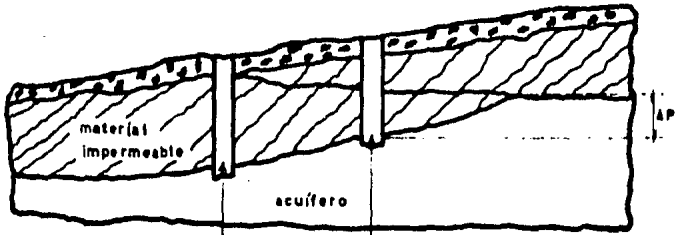


FIG. II1. Acuífero Práctico



Nivel donde comienza a brotar agua durante la perforación.

FIG. II2. Acuífero Artesiano

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Mantos Acuiferos		

donde: G = Gasto potencial acuífero susceptible de ser bombeado.

P_p = Precipitación pluvial.

Q_s = Corrientes superficiales que salen o entran.

Q_g = Corrientes subterráneas (percolación).

Q_i = Infiltración.

E_t = Vaporación y transpiración.

ΔS_g = Cambio de almacenamiento subterráneo.

ΔS_s = Cambio de almacenamiento superficial.

Acuífero Freático:

Este tipo de acuífero está formado por agua, la cual, está bajo - los efectos de la presión atmosférica, debido a esto cuando se perfora un pozo, el nivel estático coincide con el nivel freático del acuífero.

Acuífero artesiano:

Estos acuíferos son formados por masas de agua contenida en zonas - impermeables y normalmente existe una diferencia de presión en el punto donde se hace contacto con el manto acuífero. Además, están sometidos a otra presión, consecuencia del peso de las capas de suelo que están sobre él, como se muestra en la fig. II - 2 (pag. 12).

Abatimiento:

El concepto de abatimiento es muy importante dentro del estudio de los mantos acuíferos y para el proyecto de pozos de bombeo, por ésto, a pesar de que su estudio es complicado y corresponde más al área de los - ingenieros en Hidrología, se explicará brevemente la aplicación de las - gráficas que se emplean para predecir el abatimiento de un pozo.

a) Gráfica de tiempo - abatimiento:

El abatimiento Z se representa en una gráfica de escala aritmética contra el tiempo t en escala logarítmica (fig. II - 3 pag. 15)

$$\Delta Z = \frac{15806 Q}{T} \dots\dots\dots \text{Ec. 2}$$

$$Sc = \frac{2.246 \times 10^{-3} T t_0}{r^2} \dots\dots\dots \text{Ec. 3}$$

donde: ΔZ = Abatimiento en metros, que se tienen en un ciclo logarítmico, entendiéndose a éste por el período entre dos tiempos, tales que:

$$\text{Log} \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = 1 \dots\dots\dots \text{Ec. 4}$$

Q = Gasto en litros por segundo.

T = Transmisibilidad del acuífero en litros por día por metro (ver apéndice A).

Sc = Coeficiente de almacenamiento del acuífero, adimensional

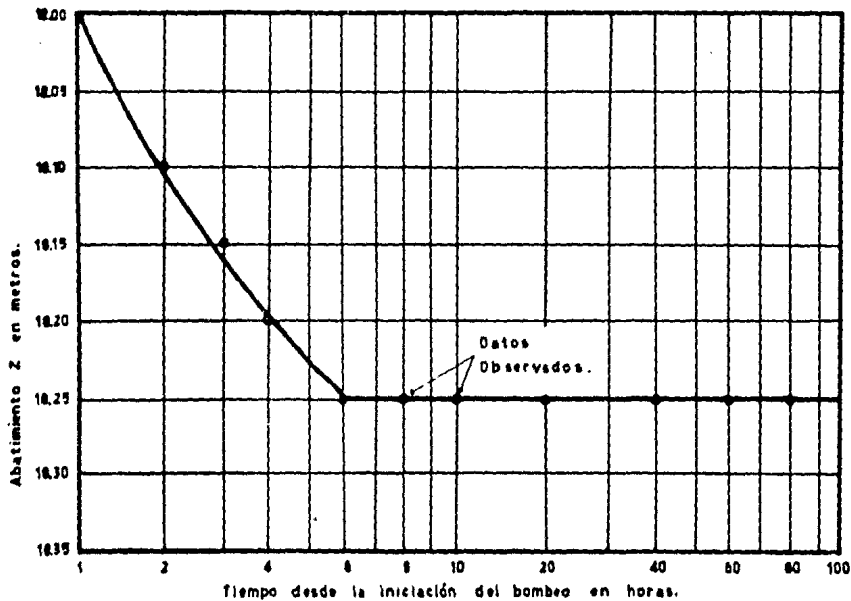
r = Distancia del centro del pozo de bombeo al centro del pozo de observación, en metros.

t_0 = Tiempo en días que se obtiene al prolongar la línea recta hasta cortar el eje horizontal.

Este método facilita el trabajo para calcular Sc y T y es empleado para predecir abatimientos futuros, recargas en el acuífero y límites del mismo. Este método es aproximado cuando $U < 0.5$, lo cual se logra cuando t es grande; donde U se define como:

$$U = \frac{819.43 r^2 Sc}{T t} \dots\dots\dots \text{Ec. 5}$$

b) Gráfica distancia - abatimiento:



Para un gasto constante de 47.08 L.P.S., la pendiente de la gráfica es igual a cero y se mantiene constante en el intervalo de 10 a 100 horas, por lo que se deduce que el nivel del pozo permanecerá estable a través de un largo tiempo.

FIG. II.3

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	SI. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
Gráfica Tiempo contra Abatimiento		

Este método permite conocer T y Sc, determina abatimientos a varias distancias, interferencias con otros pozos, eficiencia del pozo de bombeo, así como el radio de influencia del mismo (fig. II-4 pag. 17 y - II-5 pag. 18).

$$\Delta Z = \frac{31612 Q}{T} \dots\dots\dots \text{Ec. 6}$$

$$S_c = \frac{2.246 Tt}{r_o^2} \dots\dots\dots \text{Ec. 7}$$

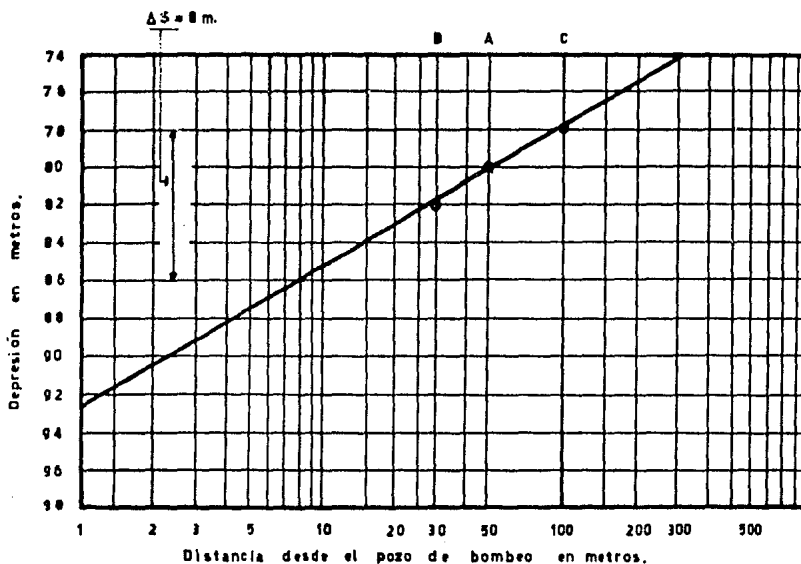
donde :

t = Tiempo en días desde el inicio del bombeo hasta cada instante en que se mide el abatimiento.

r_o = Distancia al punto en que se corta el eje horizontal al prolongar la línea en su parte recta, en metros.

T = Definido anteriormente.

Q = Definido anteriormente



Para un gasto constante de 47.00 L.P.S. y un tiempo de bombeo de 500 minutos.

FIG. II. 4

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S.I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Gráfica		
Distancia contra Abatimiento		

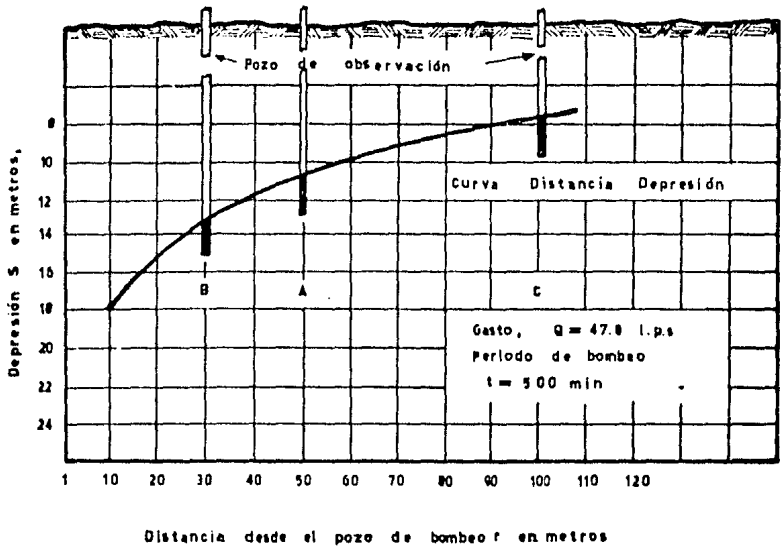


FIG. II. 8

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L.HERRERA GARCIA	S.I.CASTAÑEDA ESCORZA	M.MANUEL RAMIREZ
Cono de Abatimiento		

II. 3 PRUEBAS DE AFORO

Las pruebas de aforo consisten en un método práctico para determinar la capacidad de producción de un determinado pozo, también se determinan el nivel estático y dinámico. El nivel estático es el nivel normal del agua en el pozo sin explotar. Y el dinámico es el que alcanza el agua, y que se mantiene estable, cuando es explotado el pozo.

Esta prueba se lleva a cabo normalmente con una bomba de pozo profundo impulsada con un motor de combustión interna, ya que en la mayoría de los casos, cuando ya se tiene listo el pozo, no se cuenta con obras de electrificación.

La importancia de la prueba de aforo se debe a que los datos que arroje dicha prueba, serán los parámetros que se tomen en cuenta para el cálculo y selección del equipo, lo cual puede traducirse en fallas del sistema de bombeo o bien a un equipo muy costoso en comparación con el que realmente debiera instalarse, si se efectúa mal la prueba. Esto se explica analizando los siguientes puntos:

Nivel dinámico menor al correcto.

Esto implica que al momento de seleccionar el equipo se tomará una columna más corta de la que realmente se necesita, teniéndose que al ir aumentando la carga, el equipo proporcione un gasto menor al deseado.

Nivel dinámico mayor al correcto.

Esto implica que al momento de seleccionar el equipo se tomará una columna más larga de la que realmente se necesita, además, como el nivel dinámico forma parte de la altura dinámica total se seleccionará un motor de mayor potencia a la realmente requerida, en fin, el equipo se vuelve más costoso.

- Gasto incorrecto,

Si el gasto con el cual se selecciona el equipo, es menor al gasto con el que se tiene el nivel dinámico establecido, lo más probable es que se seleccione un equipo que proporcione un gasto mayor, y consecuentemente habrá una sobre demanda de potencia, creando la posibilidad de sobre cargar el equipo eléctrico, inclusive el abatimiento del nivel puede ser tal que llegue hasta el colador, provocando que la bomba succione aire.

A continuación se presenta una tabla de datos que generalmente se tabulan en el momento de realizar la prueba de aforo. Tomando los datos de ésta tabla se elabora una gráfica, llamada curva de aforo, en la cual se determina fácilmente cualquier punto de operación deseado; el pozo para el cual se presenta la prueba de aforo, servirá como referencia en capítulos posteriores para determinar y analizar el tipo de equipo más adecuado.

Datos del equipo de bombeo

- Motor:

Marca: General Motors

Modelo: 6V-71 tipo industrial

R.P.M. 2400

Potencia: 313 HP

- Bomba:

Marca: Ocelco

Núm. de impulsores: 10

Orificio: 152 mm

Tipo de impulsores: Semi-abier

Ø Columna: 203 mm

to de bronce.

Ø Impulsor: 254 mm

Acoplamiento: Cabezal Eng.

Long. col. 90 m

Relación: 1/1

- Pozo:

Profundidad total: 200 m

Nivel estático: 74 m

Diámetro de ademe: 356 mm

Tabla No. 1 Datos de la prueba de aforo

Día	Hora	RPM de bomba	H. piezometrica en mm	Gasto (LPS)	N.D. (m)	Abatimiento (m)
1	13.00	1400	102	22.6	88.05	14.05
	16.00	1400	102	22.6	88.43	14.43
	19.00	1400	102	22.6	88.60	14.60
	22.00	1400	102	22.6	88.60	14.60
2	1.00	1400	102	22.6	88.66	14.66
	4.00	1400	102	22.6	88.66	14.66
	7.00	1400	102	22.6	88.66	14.66
	10.00	1400	102	22.6	88.65	14.65
	13.00	1400	102	22.6	88.62	14.62
	16.00	1400	102	22.6	88.62	14.62
	19.00	1400	102	22.6	88.65	14.65
	22.00	1400	102	22.6	88.65	14.65

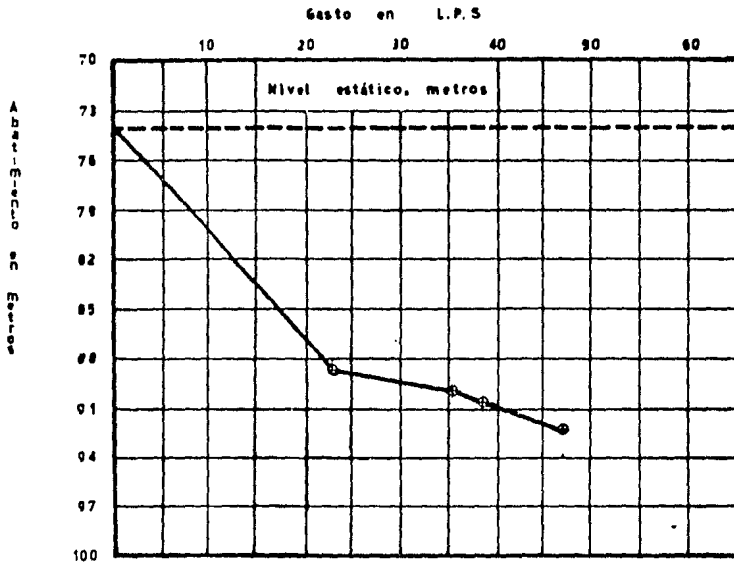
3	1.00	1400	102	22.65	88.65	14.65
	4.00	1400	102	22.65	88.65	14.65
	7.00	1400	102	22.65	88.65	14.65
	10.00	1400	102	22.65	88.65	14.65
	13.00	1400	102	22.65	88.65	14.65
	15.00	1600	12	35.18	90.05	16.05
	18.00	1600	12	35.18	90.06	16.06
	20.00	1700	13.5	37.27	90.77	16.77
	23.00	1700	13.5	37.27	90.77	16.77
4	2.00	1700	13.5	37.27	90.77	16.77
	4.00	1800	22.0	47.08	92.00	18.00
	5.00	1800	22.0	47.08	92.10	18.10
	7.00	1800	22.0	47.08	92.19	18.19
	9.00	1800	22.0	47.08	92.25	18.25
	13.00	1800	22.0	47.08	92.25	18.25
	16.00	1800	22.0	47.08	92.25	18.25
	19.00	1800	22.0	47.08	92.25	18.25
5	19.00	1800	22.0	47.08	92.25	18.25

Nota: Este pozo fué desarrollado hasta alcanzar un contenido en el agua bombeada de 3 PPM de arena. El tamaño promedio de los granos de arena fué de 0.076 mm.

Los datos de la prueba de aforo se grafican en la fig. II-6, - pag. 23.

II.4 SISTEMAS DE ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Los sistemas de almacenaje de agua son muy importantes, ya que permiten asegurar la disponibilidad de agua cuando los equipos se sacan de servicio para darles mantenimiento o por alguna otra causa, además son utilizados para tener una presión hidrostática independiente de la presión producida por la bomba, o bien para regular o distribuir el agua.



Prof. del pozo 200 m. Diam. del adame 355.6 mm.
 Long. de columna 90 m. Diam. de columna 203 mm.
 Orificio utilizado 152 mm.

RPM	Gasto	N. Dinámico	Abatimiento
1400	22.65	80.65	14.65
1600	35.10	80.06	16.06
1700	37.27	80.77	16.77
1800	47.08	82.25	18.25

FIG. II.6

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Grafica de aforo típica		

Las funciones de los sistemas de almacenaje se logran con el diseño adecuado de piletas, cárcamos y tanques elevados, como a continuación se describe.

El almacenamiento por medio de una pileta superficial (fig. No. II-7 pag. 25) la cual puede llevar un control de electronivel para automatizar el funcionamiento de la bomba, se emplea comunmente en la agricultura y la distribución del agua puede ser a través de canales o bien por tuberías.

El almacenamiento en cárcamo (fig. No. II-8 pag. 25) se emplea cuando es necesario rebombear el agua, ya sea para elevarla a grandes alturas o bien cuando se requiere de un gasto y una presión que no pueden ser suministrados por la bomba de pozo profundo.

El almacenamiento en tanque elevado (fig. No. II-9 pag. 26) permite almacenar agua y disponer de ella aprovechando la altura del tanque para mantener presurizada la tubería de distribución. Este sistema se emplea principalmente en redes de distribución municipal.

El sistema conectado directamente a la red de distribución (fig. II-10 pag. 26) a diferencia de los demás, lleva instalado en la descarga un interruptor de presión en lugar de un interruptor de niveles.

En conclusión, un sistema de bombeo consta de:

Pozo: Es la perforación que se hace para tener contacto con el acuífero.

Bomba: Es la máquina que transforma la energía mecánica en energía de presión.

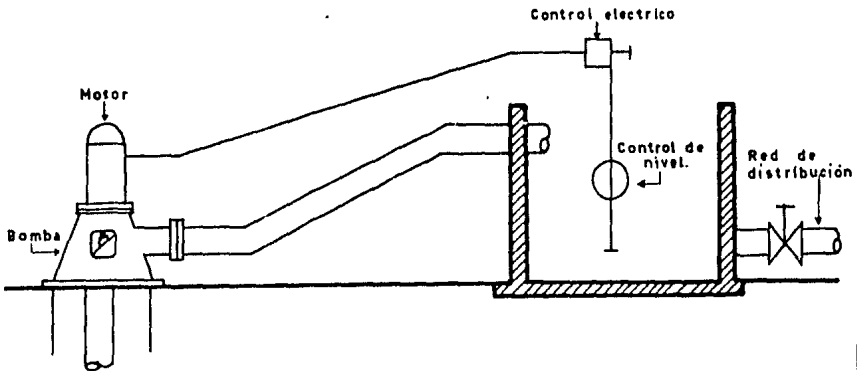


FIG. II. 7 Almacenamiento de agua en una pileta superficial

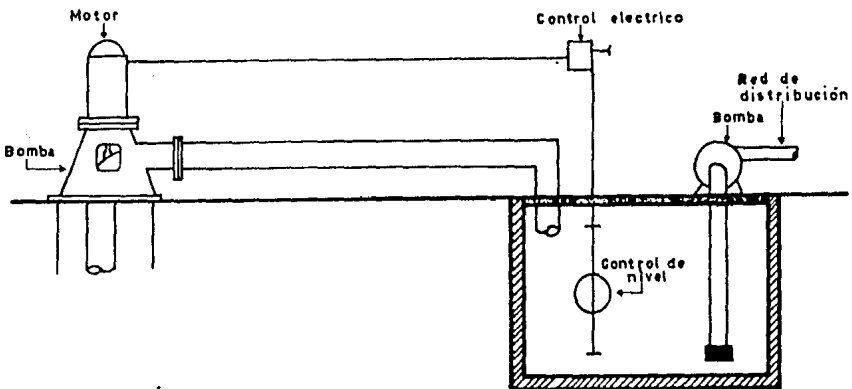


FIG. II. 8 Almacenamiento de agua en un carcamo o cisterna

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Sistemas de almacenaje		

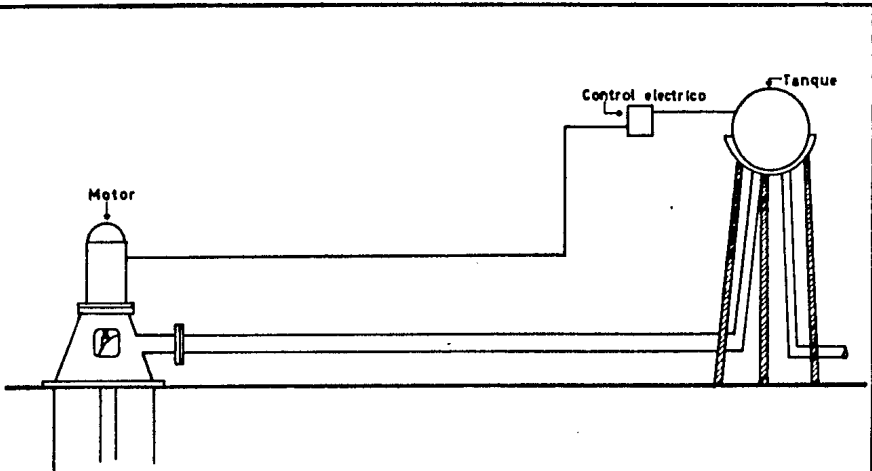


FIG. II. 9 Almacenamiento de agua en tanque elevado

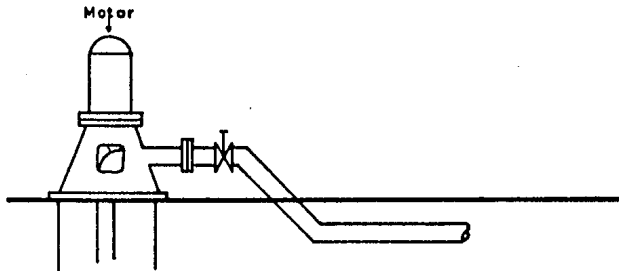


FIG. II. 10 Sistema conectado directamente a la red de distribución

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Sistemas de almacenaje		

Motor:

Es la máquina motriz que transforma la energía eléctrica, o la energía producto de la combustión de algún combustible, en energía mecánica.

Control de presión y/o de niveles:

Estos instrumentos, tienen la función de arrancar o parar el equipo de bombeo cuando se llegue a los límites de presión y/o niveles pre-establecidos por los sistemas de regulación que se tengan en ambos casos.

Fuente de energía:

Es la que provee la energía necesaria para el accionamiento del motor, está constituida por la subestación eléctrica y el transformador eléctrico, o en su defecto por el combustible que accione a un motor de combustión interna.

Tanque de almacenaje o de regulación y red de distribución:

Estos son la parte del sistema que hace llegar al agua en las condiciones necesarias, hasta los lugares donde se utilizará.

III. PRINCIPIOS GENERALES DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE POZO PROFUNDO.

El objeto de analizar todos los conceptos relacionados con los equipos de bombeo de pozo profundo, es con la finalidad de que al proyectar un sistema de bombeo de pozo profundo, sea económico y funcional.

Analizando los conceptos hidráulicos, mecánicos y eléctricos desde un punto de vista de economía y funcionalidad, siempre se tendrá como resultado un sistema de bombeo en óptimas condiciones.

En éste capítulo se mencionan algunos aspectos que ayudarán más adelante para hacer un análisis comparativo entre las bombas de motor vertical de flecha hueca y las bombas con motor sumergible.

III.1 CARGA DINAMICA TOTAL

La carga dinámica total (CDT) también se conoce como altura manométrica o altura dinámica total, ésta consiste en la presión total que puede desarrollar una bomba. Para el caso de las bombas verticales de pozo profundo, (figs: III-1, pag 29 y III-2, pag. 30) la CDT está constituida por el nivel dinámico (ND), la altura adicional sobre la superficie (AA), y las pérdidas de presión por fricción del fluido en la tubería de descarga (Hr).

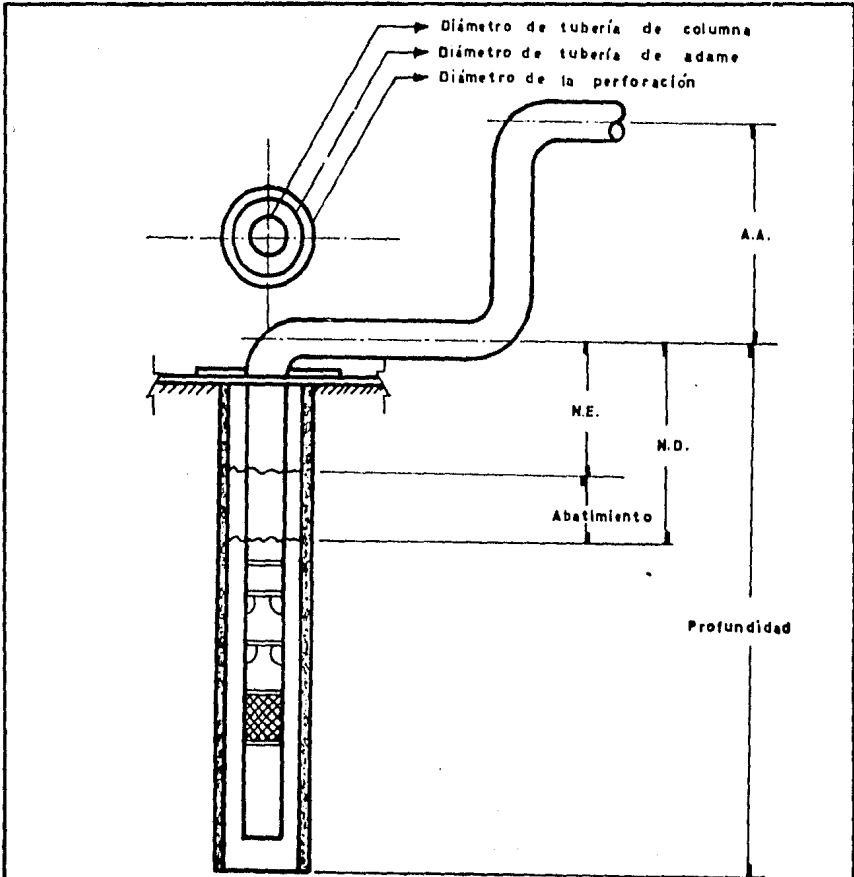


FIG. III. 1

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L.HERRERA GARCIA	S.I.CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Alturas en bombeo con motor sumergible		

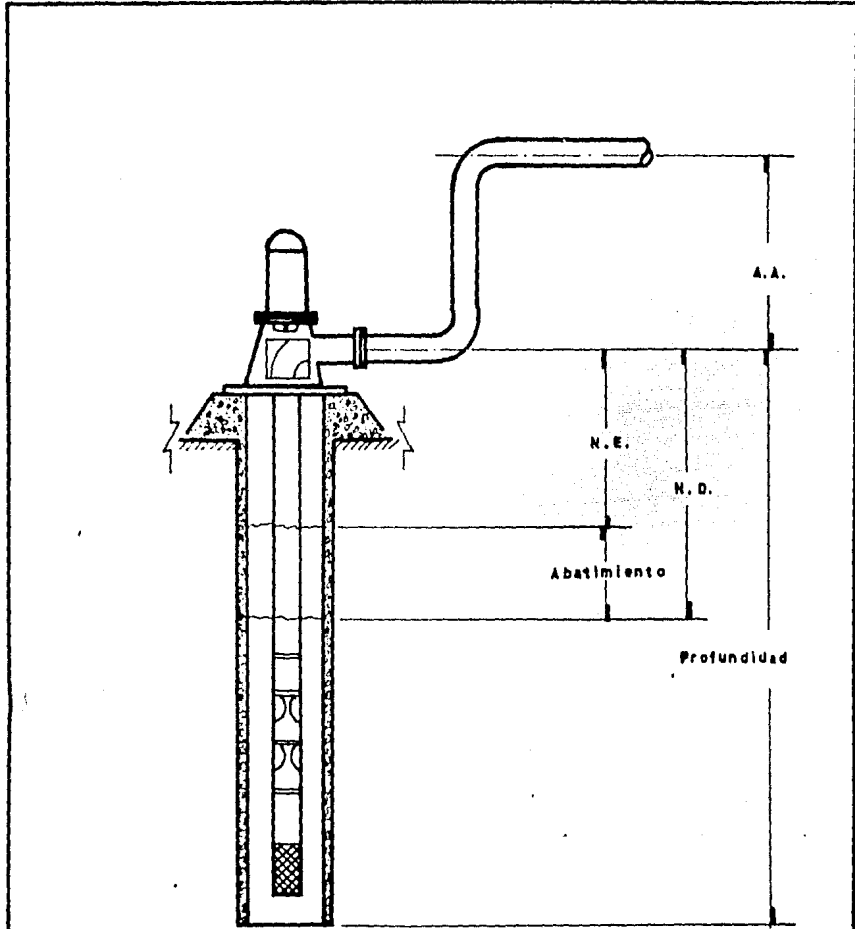


FIG. III. 2

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Alturas en bombeo con bomba vertical de flecha hueca.		

ALTURA ADICIONAL

Se conoce comunmente como altura adicional sobre la superficie a la altura estática que existe entre el centro de la descarga de la bomba y el centro del diámetro de la tubería en el punto donde ésta descarga el agua. Esta dimensión es muy fácil de obtener, ya que la mayoría de las veces, solo se requiere de una cinta métrica para medir dicha altura. Algunas veces cuando el punto donde descarga la tubería se encuentra a cierta distancia y altura sobre un plano inclinado como es el caso de un depósito sobre una loma, es necesario en éstos casos hacer un levantamiento topográfico o al menos aplicar ciertos principios trigonométricos para obtener dicha altura lo más exacta posible, ya que de ello depende muchas veces el buen funcionamiento del equipo de bombeo.

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LAS TUBERIAS DE DESCARGA Y COLUMNA.

Estas se clasifican en pérdidas primarias y secundarias:

Las pérdidas primarias son aquellas que se originan por rozamiento con la superficie de la tubería (capa límite), fricción entre capas del fluido (flujo laminar), fricción entre partículas del fluido (flujo turbulento).

El caso de mayor interés, desde el punto de vista de ingeniería es cuando se cuenta con tubería comercial como en éste caso, y el flujo está en la zona de transición. Para estos casos se puede utilizar

la fórmula de Colebrook - White:

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \log \left(\frac{K/r + 2.51}{(2.4 \frac{R}{R\lambda})} \right) \quad \dots \text{ Ec. 8}$$

donde:

λ = Coeficiente de pérdidas primarias.

K = Rugosidad relativa del material de la tubería.

r = Radio de la tubería.

R = Número de Reynolds.

$$R = \frac{V D}{\nu} \quad \dots \text{ Ec. 9}$$

V = Velocidad de flujo.

D = Diámetro de la tubería.

ν = Viscosidad cinética.

Esta ecuación es de cálculo muy laborioso, por lo que en la práctica se utiliza el diagrama de Moody para la determinación de λ . Finalmente el valor de λ se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach y se calculan las pérdidas primas como sigue:

$$H_r = \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \lambda \quad \dots \text{ Ec. 10}$$

Sin embargo, en la práctica común así como en éste caso, son de gran empleo los factores de pérdidas hidráulicas (fph) establecidos experimentalmente por fabricantes, donde:

$$fph = \frac{V^2 \lambda}{D 2g} \quad \dots \text{ Ec. 11}$$

En el apéndice B-1 (pag. 104), se presentan los factores que se emplean en éste trabajo. Así, las pérdidas hidráulicas en la tubería se indican como:

$$H_r = (fph)(L) \quad \dots \text{ Ec. 12}$$

donde: L = Longitud de tubería.

Las pérdidas secundarias son aquellas que se derivan de la expansión, contracción o desviación del conducto que guía el fluido. El cálculo de éstas pérdidas, se basa en la determinación de una "Longitud equivalente de tubería" (L.E) de tal manera que la pérdida por fricción en un accesorio determinado, sea igual a la pérdida registrada en este tramo L.E. . Este método se ilustra en la (fig. III-3 pag. 34), en base a lo anteriormente expuesto, se tiene la siguiente ecuación:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad \dots \text{Ec. 13}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = fph \quad \dots \text{Ec. 14}$$

Siendo fph determinado por los fabricantes de tuberías, para distintas condiciones de diámetro y gasto, tal como se muestra en las tablas B-1 y B-2 del apéndice B. En el caso de los cabezales de descarga, se dan directamente las pérdidas por fricción en función del diámetro y el gasto, en la Tabla B-3 del apéndice B. Para determinar la longitud equivalente de los diferentes accesorios hidráulicos, se pueden consultar a los fabricantes o bien, los Nomogramas para determinar la longitud equivalente de tubería, en los diferentes manuales de hidráulica.

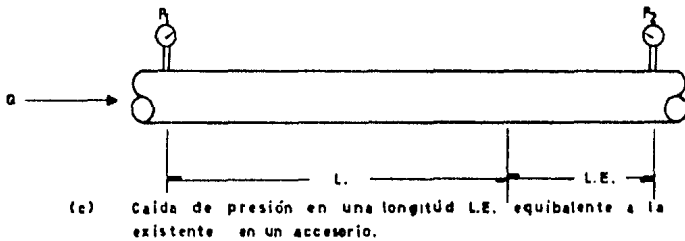
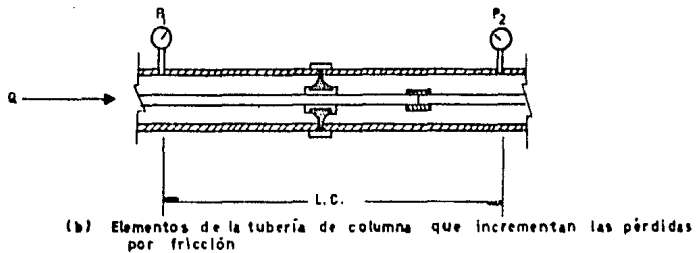
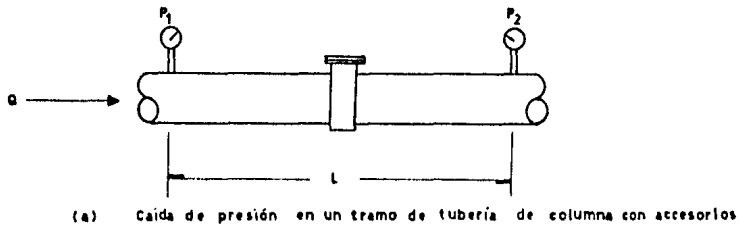


FIG. III.3

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCÍA.	S. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMÍREZ.
Tubería de descarga, columna y elevación.		

III.2 Golpe de Ariete

El golpe de ariete consiste en un fenómeno que se presenta cuando se hace funcionar una bomba, o bien cuando se abre o cierra una válvula, cuando se tiene un cambio brusco en la velocidad de rotación de la bomba o bien un cambio de dirección del flujo. Básicamente el fenómeno se manifiesta a causa de una sobrepresión o una depresión.

En las bombas con motor vertical de flecha hueca el efecto por golpe de ariete es mínimo, debido a que la flecha motriz está articulada con un mecanismo llamado trinquete de no retroceso, el cual se articula a la armadura del motor, de ésta manera, cuando existe un paro, la bomba no gira en sentido inverso al giro de la operación normal, sin embargo, el fluido no es frenado bruscamente sino que se escurre lentamente hasta alcanzar el nivel del agua en el pozo. El trinquete de no retroceso evita también la posibilidad de que pueda haber desacoplamiento entre las uniones roscadas de las flechas por la inversión del sentido de rotación.

Una válvula de retención es instalada en las bombas con motor sumergible con la finalidad de evitar un retorno violento del líquido que puede provocar velocidades de rotación muy elevadas en los elementos giratorios de la bomba, y consecuentemente, daños mecánicos en el motor sumergible, que posteriormente provocan fallas eléctricas.

La aplicación de la válvula de retención implica la existencia del fenómeno del golpe de ariete por lo que es necesario conocer su magnitud para poder hacer una selección adecuada del espesor y del material del tubo de columna, así como de la válvula de retención.

En la práctica la magnitud de la sobrepresión creada por el golpe de ariete se calcula tomando en cuenta la naturaleza elástica tanto del agua como del acero de que está hecha la tubería, mediante la fórmula siguiente:

$$h = \frac{\Delta v a}{g} \quad \dots \text{Ec. 15}$$

donde:

Δv = Variación de la velocidad del fluido desde que se inicia el cierre hasta el cierre total.

g = Aceleración gravitacional = 9.81 m/seg^2

a = Velocidad de la onda de presión (m/seg)

$$= (1420) / (\sqrt{1 + KR}) \quad \dots \text{Ec. 16}$$

K = Relación del módulo de elasticidad del agua entre el del acero, normalmente igual a 0.010

R = Relación del diámetro interior entre el espesor de la tubería.

Para reducir el golpe de ariete se pueden utilizar los siguientes medios:

- a) Cerrar lentamente la válvula de retención.
- b) Elegir el diámetro de la tubería de tal manera que la velocidad del flujo sea pequeña.

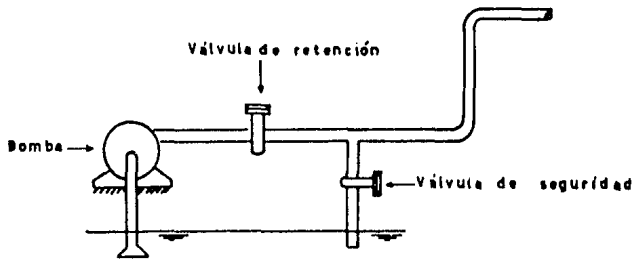
- c) Diseñar la bomba con un exceso de masa distribuida en las partes rotativas, de manera que ésta actúe como un volante, produciendo un momento de masa de inercia para que la reducción de la velocidad de la bomba sea en forma gradual.
- d) Inyectar aire con un compresor para producir un muelle elástico durante la sobrepresión.
- e) Utilizar alguno de los sistemas mostrados en las figuras - III - 4 a, b o c de la pág. 38.

III.3 CAVITACION

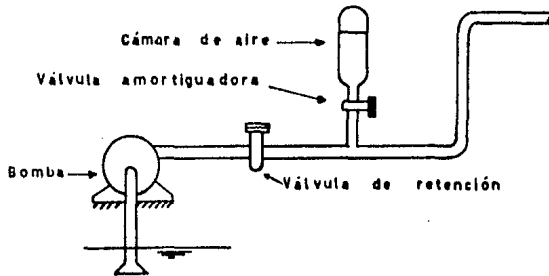
La cavitación se define como la vaporización local de un líquido, debido a las reducciones locales de presión por la acción dinámica del fluido, aunado ésto a la forma geométrica de los componentes del sistema. Este fenómeno se caracteriza por la formación de burbujas de vapor en el interior o en las proximidades de una vena fluída.

El fenómeno puede producirse lo mismo en estructuras hidráulicas estáticas (tuberías, venturis, etc.) que en máquinas hidráulicas (bombas, hélices, turbinas, etc.).

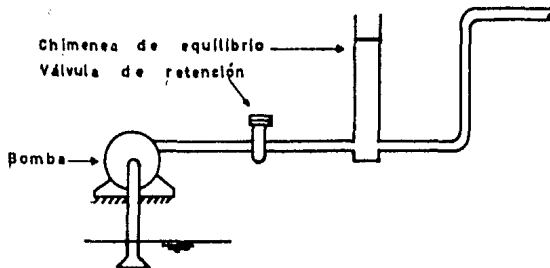
La termodinámica dice que un líquido entra en ebullición a una presión determinada cuando se tiene una temperatura constante, a esta presión se le conoce como presión de saturación P_s y a la temperatura como temperatura de saturación T_s . A manera de ejemplo, se tiene que el agua entra en ebullición a 100°C a nivel del mar, ésto implica una presión atmosférica de 1.0332 Kg/cm^2 , en éste caso ambos parámetros corresponden a la condición de saturación. Para tener una idea de la correlación existente entre estas dos magnitudes, se presenta en el apéndice B-4 una tabla que muestra la presión de saturación del vapor -



(a) Sistema de desvío a través de una válvula de seguridad



(b) Sistema de cámara de aire con válvula amortiguadora



(c) Sistema con chimenea de equilibrio

FIG. III. 4

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S.I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Metodos para eliminar el golpe de ariete.		

de agua, a diferentes temperaturas.

El comienzo de la ebullición es también el comienzo de la cavitación.

Ahora bien, la altura de aspiración (sumergencia para bombas verticales sumergibles) debe ser tal que al funcionar la bomba no se lleve a la presión de saturación del vapor del agua. Para evitar esto, la instalación debe ser tal que cumpla la condición de que $CNPSR \leq CNPSD$ (Carga Neta Positiva de Succión Requerida y Disponible respectivamente), siendo que la CNPSR varía para cada bomba dependiendo del gasto y velocidad manejados.

En la siguiente tabla se observan diferentes valores de CNPSR para diferentes bombas, manejando todas un mismo gasto pero a diferentes velocidades (ver apéndice B)

Tabla No. 2: CNPSR, a diferentes velocidades, diferentes bombas y un sólo gasto.

BOMBA	RPM	CNPSR (m)	CNPSR Prom. (m)
1	1170	1.41	2.3
2	1170	3.05	
3	1170	2.44	
4	1770	4.08	4.08
5	1770	4.50	
6	1770	3.66	
7	3500	8.50	8.58
8	3500	8.50	
9	3500	8.75	

Como se puede ver, las bombas que giran a 3 500 RPM tienen una CNPSR más alta en comparación con las que trabajan a 1 170 ó 1 770-RPM, ésto lleva a deducir en lo referente a cavitación lo siguiente:

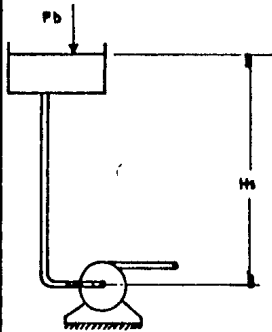
- Las bombas con motor para operar a 3 500 RPM tienen una - CNPSR elevada, consecuentemente, para evitar la cavitación-se requiere de mayor tubo de columna adicional para dar mayor sumergencia a la bomba, como sucede en las bombas con motor-sumergible girando a dicha velocidad.
- Las bombas con motor vertical de flecha hueca girando a 1 770 RPM o 1 170 tienen una CNPSR más baja por lo que no requieren de tanta sumergencia para evitar la cavitación.

La CNPSD varía de acuerdo al sistema de bombeo existente, como se muestra en las figuras No. III-5 a,b,c,d y e de la pág. 41, ésta se obtiene para cada caso como sigue:

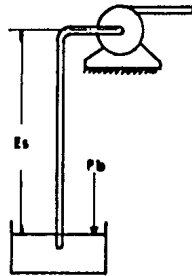
Figura	CNPSD	
a	$P_b + H_s - H_{ra} - P_s$ Ec. 17
b	$P_b - E_s - H_{ra} - P_s$ Ec. 18
c	$P_m + H_s - H_{ra} - P_s$ Ec. 19
d	$P_m - E_s - H_{ra} - P_s$ Ec. 20
e	$P_b + K - P_s - H_{ra}$ Ec. 21

Para evitar el riesgo existente de la cavitación, se debe cumplir que:

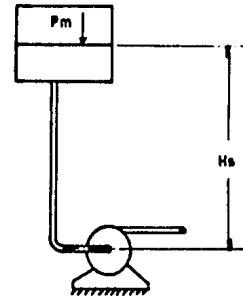
$$CNPSD \geq CNPSR \quad \text{..... Ec. 22}$$



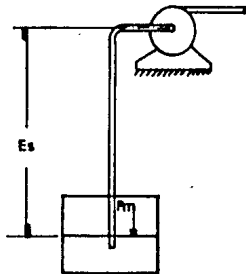
(a) Altura de succión positiva.



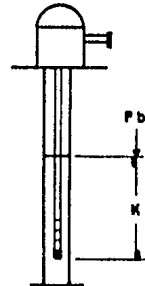
(b) Altura de succión negativa.



(c) Presión positiva en la succión.



(d) Presión de succión negativa.



(e) Altura de succión positiva.

FIG. III.9

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L.HERRERA GARCIA.	S.I.CASTAÑEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
Diferentes condiciones de succión		

SIGNOS DE EXISTENCIA DE CAVITACION

- 1.-Ruido.- El ruido se debe al choque brusco de las burbujas de vapor, cuando éstas llegan a la zona de alta presión, y es más fuerte en bombas de mayor tamaño.
- 2.-Caída de las curvas de gasto contra carga y eficiencia. Cuando se observa ésto en una bomba, es posible que se esté presentando el fenómeno de la cavitación.
- 3.-Desgaste del impulsor. Si un impulsor de una bomba se pesa antes de someterse al fenómeno de cavitación, se observa que después de un período determinado de operación, registra una disminución en su peso. Tan es así que para grandes unidades, el fabricante tiene que especificar la cantidad máxima de peso que se estima perder por año de servicio.

Ahora bien, ¿A qué se debe éste desgaste?. El desgaste se debe solamente a la acción mecánica (golpeteo) de las partículas de líquido, ya que la acción química y electrolítica son insignificantes en éste proceso. El desgaste por cavitación se debe distinguir del que producen la corrosión y la erosión. El de corrosión lo causa única y exclusivamente la acción química y electrolítica de los líquidos bombeados. El segundo es causado por las partículas abrasivas tales como la arena, coke o calcio.

III.4 TURBULENCIA

Se conoce como turbulencia al fenómeno que se presenta en el flujo de un líquido cualquiera. Este fenómeno consiste en la formación de remolinos o vórtices, a consecuencia de una expansión o contracción del área de flujo, o bien, a consecuencia de desviaciones u obstáculos en la dirección del flujo; este fenómeno se ilustra mediante las figuras III-6 a,b,c, y d de la pag. 44.

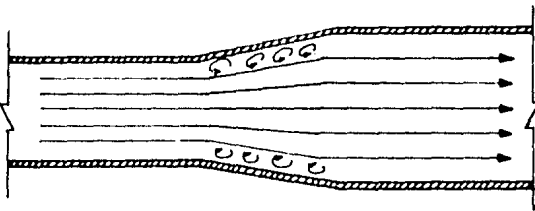
Experimentalmente se ha comprobado que, para números de Reynolds menores a 2 000 generalmente no se produce turbulencia, es decir existe flujo laminar. La zona de transición entre flujo laminar y turbulento no está muy definida, pero se han logrado flujos laminares con números de Reynolds hasta de 4 000.

Los efectos negativos producidos por la turbulencia consisten en:

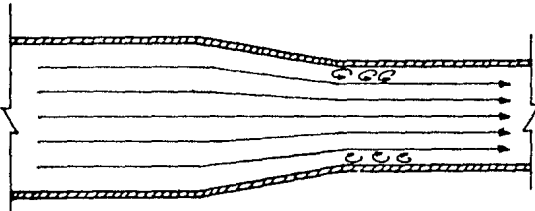
- Pérdidas de energía útil debido a la fricción que se genera entre las moléculas del fluido, así como la energía de la cantidad de movimiento que se consume en los vórtices o remolinos que se forman.

- El ruido también es un efecto de la turbulencia,

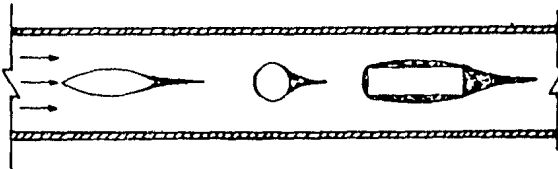
La turbulencia puede ser disminuída diseñando todos los perfiles, conductos o accesorios de tal manera que, las venas de flujo no sufran cambios bruscos en su dirección ni deslizamientos marcados entre capas, así como la separación entre éstas.



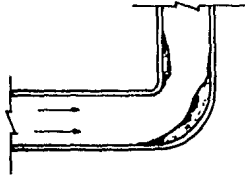
(a) Flujo en una transición brusca, se difunde y provoca turbellinos.



(b) Contracción de flujo en un tubo convergente o tobera.



(c) Turbulencia en diferentes tipos de perfiles.



(d) Turbulencia en las zonas de desviación de flujo.

FIG. III. 6

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
Manifestaciones de turbulencia		

III.5 EFICIENCIA DEL SISTEMA

En el diagrama No. 1 de la pág. 47, se presenta la forma de como está integrada la potencia total que un sistema de bombeo demanda de la red de distribución de energía eléctrica. La eficiencia que se obtiene del sistema se calcula de la relación de la potencia útil entre la potencia suministrada por la red.

La eficiencia total de la bomba n , se obtiene de las gráficas elaboradas por los fabricantes para diferentes gastos y alturas proporcionados por la bomba como se muestra en las gráficas del apéndice B. Para la determinación de ésta eficiencia se han considerado las pérdidas de potencia por razonamiento mecánico, pérdidas volumétricas e hidráulicas, en el interior de la bomba, o sea en el cuerpo de tazones.

La potencia de accionamiento queda expresada como sigue:

$$N_a = \frac{(Q)(CDT)(\gamma)}{(76)(n)} \quad \dots \text{Ec. } 23$$

donde:

N_a = Potencia de accionamiento en HP

Q = Gasto en LPS

CDT = Carga dinámica total en m .

γ = Densidad del agua en m^3

n = Eficiencia de la bomba

Esta fórmula es general para cualquier tipo de bomba, pero si se habla de una bomba vertical de flecha, la altura manométrica (CDT) deberá incluir las pérdidas por fricción en la tubería de columna y se deberán considerar las pérdidas mecánicas por rozamiento de la flecha- (P_m) , siendo la potencia:

$$N_a = \frac{(Q)(CDF)(\gamma)}{(76)(n)} + P_m \dots \text{Ec. 24}$$

En una bomba vertical acoplada a un motor sumergible, la altura manométrica deberá incluir las pérdidas por fricción en la altura de elevación y se deberán considerar las pérdidas de potencia en el cable sumergible (P_e), siendo la potencia:

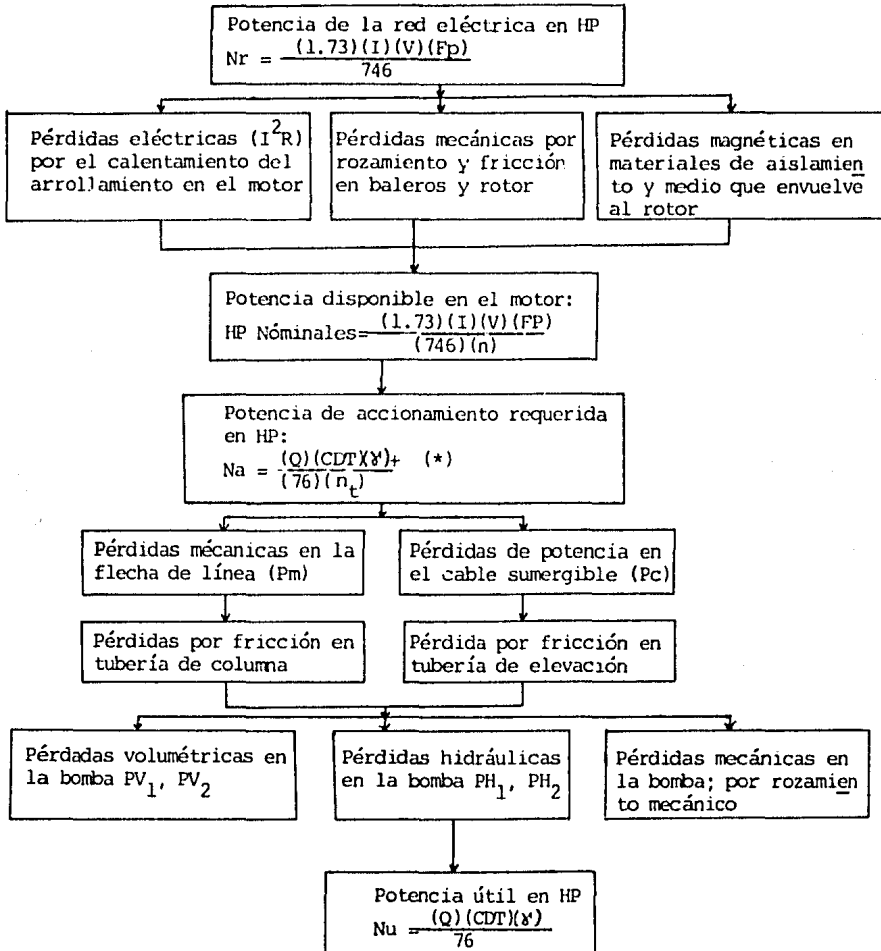
$$N_a = \frac{(Q)(CDF)(\gamma)}{(76)(n)} + P_e \dots \text{Ec. 25}$$

Con el cálculo de la potencia en ambos casos, se determina la capacidad nominal del motor, del cual se puede decir en relación a su eficiencia que: En un motor sumergible de 100 HP es aproximadamente de 85% y la de un motor vertical flecha hueca de 91% aproximadamente, la diferencia se debe básicamente a lo siguiente:

- Mecánicamente se tiene que los baleros del motor vertical-flecha hueca provocan menos pérdidas de potencia por fricción, mientras que en los cojinetes tipo Kingsbury del motor sumergible existe una mayor pérdida de potencia también por fricción.
- Otro motivo, es que el motor vertical de flecha hueca gira en un medio ambiente formado por aire, mientras que el motor sumergible gira dentro de agua, que es un medio más viscoso. Además, la permeabilidad magnética del aire es mucho más alta que la del agua, por lo que la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica es más eficiente en el motor vertical de flecha hueca.

D I A G R A M A 1

Análisis de la eficiencia general de un Sistema de Bombeo.



* Pérdidas en flecha de línea o pérdida de potencia eléctrica en el cable sumergible.

IV. INTEGRACION DE LA BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL SUMERGIBLE

En éste capítulo se hará un desglose de los componentes de un equipo de bombeo de pozo profundo con motor sumergible, describiendo sus características principales de funcionamiento y construcción.

IV.I MOTOR SUMERGIBLE

El motor es el accionador de la bomba sumergible, se coloca por debajo de la succión de la bomba debidamente acoplado a la flecha. Como es natural, las dificultades en éste motor son mayores que para el de la bomba vertical con motor situado al nivel del piso.

Los primeros motores utilizados en éstas instalaciones se construían de tal manera que se mantenía completamente hermético al estator. Sin embargo, debido a los cambios de la temperatura del aire del motor y, a los cambios de presión exterior debido a la variación del nivel del agua en el pozo, se origina la penetración del líquido al motor.

Las dificultades que supone la reposición del aire han hecho pasar del motor seco al motor inundado. Existen el inundado por aceite y el inundado por agua.

El motor inundado por aceite utiliza un aceite mineral dieléctrico, no higroscópico, que protege al aislamiento contra la destrucción y, contra la corrosión a las partes internas ferrosas. Este tipo de motor está provisto con un sello mecánico en la flecha que evita que el aceite se escurra hacia afuera y que entren el agua o materias extrañas (fig. No. IV-1, pag. 49)

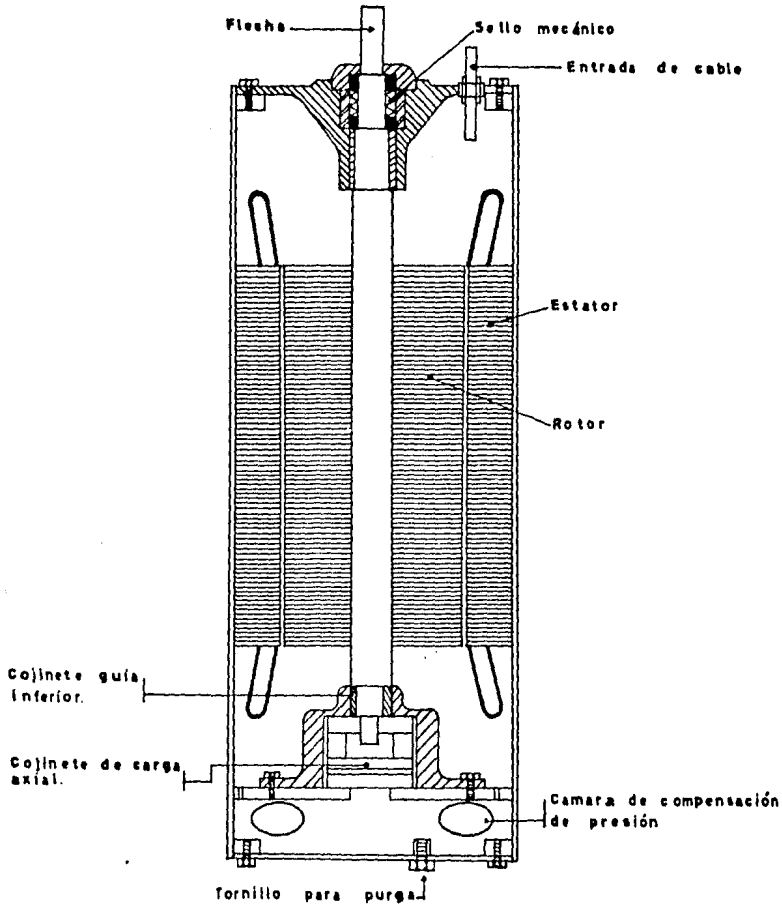


FIG. IV. 1

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Motor inundado con aceite.		

Para el bombeo de agua de pozo profundo, el motor más empleado en la actualidad es el inundado por agua, debido a los problemas que se presentan para la reposición del aceite en los motores inundados por este. El interior del motor está continuamente bañado por una corriente de agua que ha atravesado un filtro cerámico antes de entrar. De esta manera se consigue un enfriamiento forzado y una mayor posibilidad de sobrecarga del motor.

Mediante la creación de un nuevo material artificial termoplástico, el "lupulen", que presenta buenas características de material dieléctrico además de ser altamente impermeable, se ha conseguido llevar a cabo un arrollamiento del estator prácticamente seguro y duradero. En los casos en que el agua impulsada contiene ácido carbónico y otros componentes agresivos, las piezas de hierro peligran en cuanto a corrosión. Por éste motivo, el estator y las piezas fundidas se protegen con una pintura especial resistente a los ácidos, mientras que el rotor recibe un revestimiento metálico (fig. No. IV-2, pag. 51).

Para los motores lubricados con agua como para los lubricados por aceite, se utilizan comunmente cojinetes de plomo especiales, combinados con manguitos hechos de acero inoxidable templado y rectificado. En los motores lubricados por aceite, este proporciona una lubricación superior a los cojinetes y reduce el desgaste y mantenimiento en comparación con las construcciones que usan cojinetes lubricados con agua.

Para absorber el empuje axial, éstos motores hacen uso de cojinetes de empuje tipo "Kingsbury" de alta resistencia, construídos con acero inoxidable (fig. No. IV-3, pag. 53).

Además, ambos tipos de motor cuentan con una cámara de expansión-

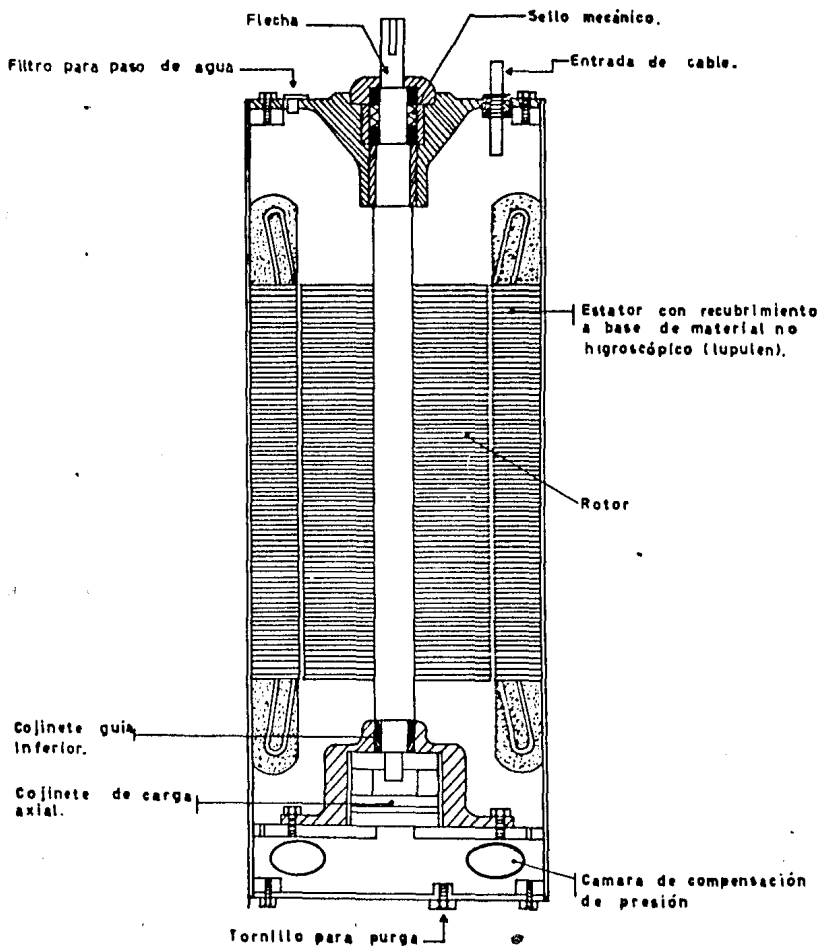


FIG. IV. 2

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S.I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
Motor inundado con agua.		

que se encuentra ubicada en la base del mismo, y su función es compensar la sobrepresión que es producida por el calentamiento del debanado que provoca la dilatación del agua del motor o del aceite, según el flujo de lubricación.

IV. 2 ACOPLAMIENTO BOMBA-MOTOR

Las bombas centrífugas están unidas a su motor por medio de un acoplamiento, excepto las unidades unidas en forma compacta, en las que el impulsor está montado en una extensión de la flecha de la unidad motriz. Los acoplamientos pueden ser rígidos o flexibles.

Un acoplamiento flexible es un dispositivo que une dos flechas, pero además es capaz de transmitir un par de la flecha del motor a la flecha impulsadora, pero tolerando un pequeño desalineamiento (angular, paralelo o una combinación de los dos). Además, debe permitir también algún desplazamiento lateral de las flechas para que sus extremos puedan acercarse o separarse bajo la influencia de la expansión térmica, fluctuación hidráulica, o desplazamiento de los centros magnéticos de los motores eléctricos, y moverse así sin imponer empuje excesivo en los cojinetes.

Los acoplamientos usados en las bombas verticales son del tipo rígido. Este tipo de acoplamiento no permite movimiento relativo axial o radial entre la flecha del motor y la de la bomba. Existen el tipo rígido de abrazadera y el de compresión.

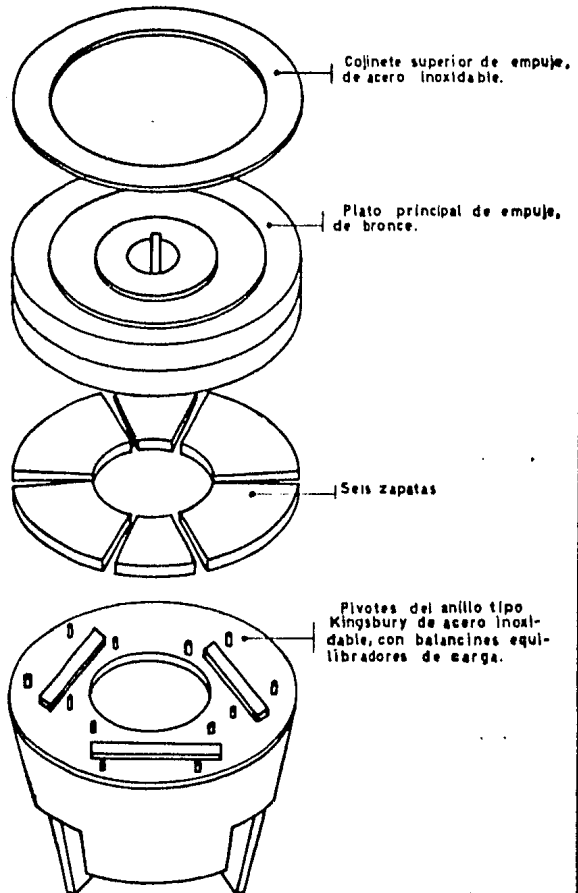


FIG. IV.3

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
		Cojinete de empuje axial tipo Kingsbury

El acoplamiento de abrazadera consiste básicamente de una manga dividida, provista de tornillos de manera que pueda prensarse en los extremos - adjuntos a las dos flechas y formar una conexión sólida. Generalmente se incorporan cuñas axiales y circulares en el acoplamiento para que la transmisión del par y del empuje no se haga solamente dependiendo de la fricción de la sujeción (fig. No. IV-4-a, pag. 55).

En el acoplamiento de compresión la porsión central del acoplamiento - está formada de un manguito ranurado, taladrado para ajustarse a las dos - flechas y cónico en su diámetro exterior, del centro a ambos extremos. Las dos mitades del acoplamiento en sí están acabadas con perforaciones para a adaptarse a ésta conicidad. Cuando se aprietan una a la otra con tornillos, el manguito se comprime contra las dos flechas y la sujeción por fricción - transmite el par sin el uso de cuñas. El material comunmente usado para su fabricación es acero inoxidable con alta resistencia a la torsión (fig. No. IV-4-b, pag. 55).

IV.3 COLADOR

El colador de éstos equipos, a diferencia de los de las bombas tipo - turbina vertical de flecha larga, va sujeto al motor así como a la bomba - con tornillos, éste viene a ser la entrada del agua a la bomba. Se fabrica de lámina y evita el paso de materiales en suspensión.

IV.4 BOMBA SUMERGIBLE

En seguida se hará una descripción de las partes que forman una bomba de motor sumergible (fig. IV-5, pág. 57), la cual no difiere radicalmente - de la bomba turbina tipo vertical de flecha larga.

TAZON

Un tazón es una caja de fierro fundido, con guías directrices y difu-

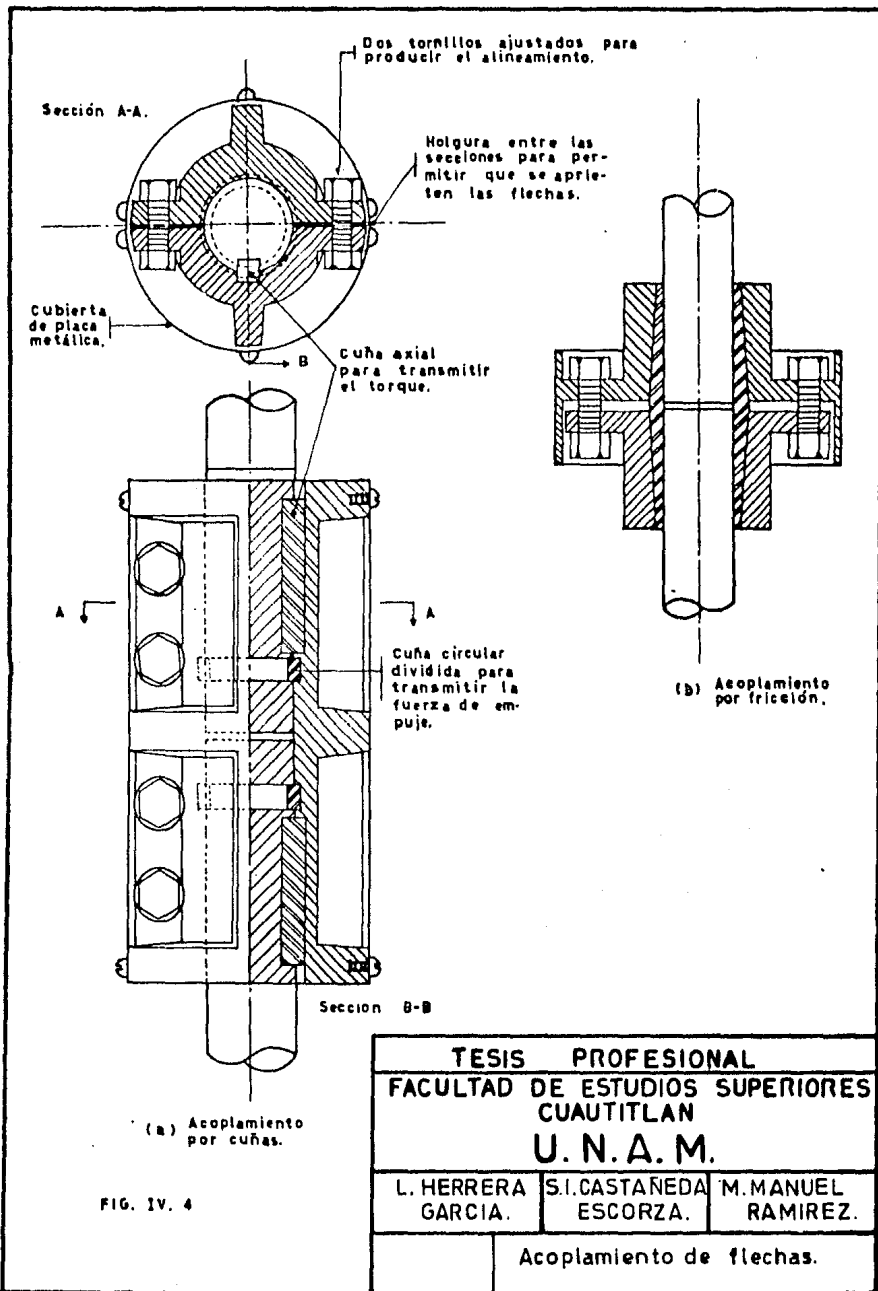


FIG. IV. 4

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S.I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
		Acoplamiento de flechas.

-sores montados sobre las paredes internas, las cuales tienen la función de guiar a la parte superior del mismo, la corriente del líquido impulsado por las aspas móviles del impulsor (fig. No. IV-6 pag. 58 y IV-7, pag. 59). Según su función desempeñada en el cuerpo de tazones pueden ser clasificados de la siguiente manera: Primer tazón (o tazón de succión), tazón intermedio y tazón superior (tazón de descarga). Teniendo en cuenta que los diámetros de los pozos son relativamente pequeños y en ocasiones la profundidad de éstos es muy grande, un solo impulsor no logra dar la carga por ser demasiado alta, por lo que es necesario usar más de uno para dar la carga requerida, que va en proporción directa con el número y diámetro de impulsores; esto quiere decir que, la bomba de dos pasos dará el doble de carga que la de uno, la de tres dará el triple de carga y así sucesivamente dependiendo de las condiciones de trabajo para las que se seleccionará.

El material comunmente usado para la fabricación de los tazones es hierro fundido. Sin embargo, en el caso en que el agua a bombear tenga cantidades considerables de arena, se podrá emplear hierro fundido con 1 a 2 % de níquel con lo cual se reducirán los problemas de erosión.

IMPULSOR •

El impulsor es el elemento básico o principal de la bomba (fig. IV-8, pag. 61), ya que de él depende el traslado del líquido bombeado. Del impulsor pasa hacia los álabes directrices o difusor (que pueden estar formados de una sola pieza con el tazón o pueden ser cambiables) transformando en presión la energía cinética que recibe del impulsor.

Los impulsores más comunes en bombas de pozo profundo acoplados a motor sumergible, son los del tipo de flujo radial o semiaxial cerrados. Cuando se necesita bombear poco gasto y la carga a vencer es muy grande se prefieren los impulsores tipo radial, cuando se desean bombear grandes gastos

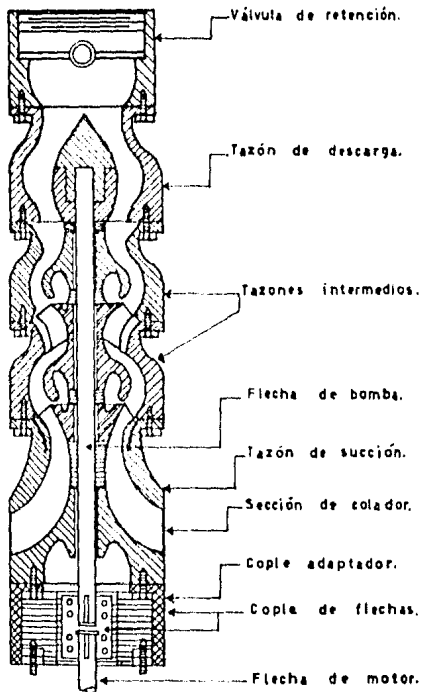


FIG. IV.9

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ
Bomba vertical tipo turbina para motor sumergible.		

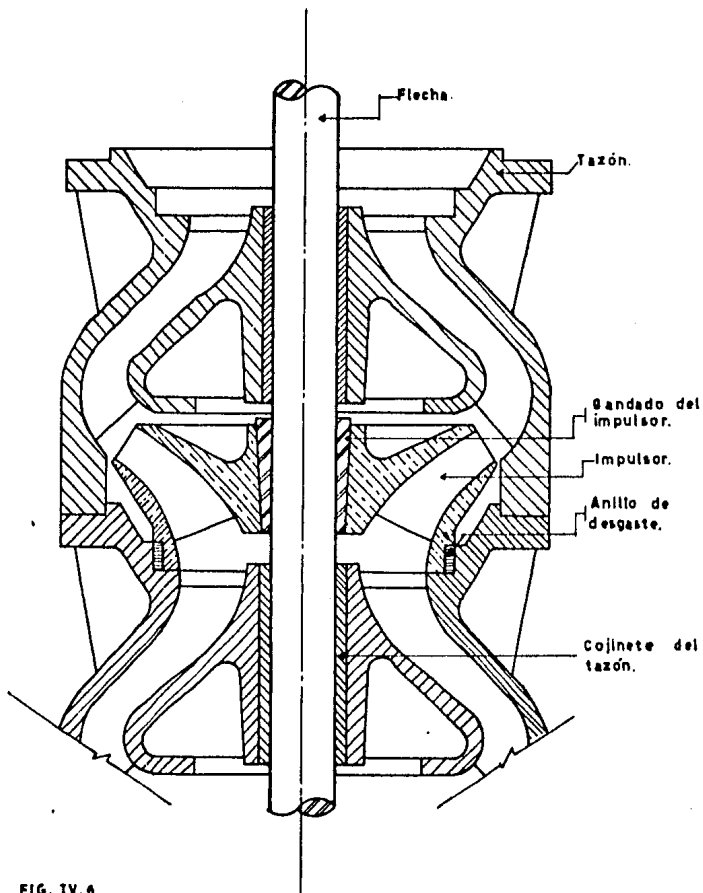


FIG. IV.6

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L HERRERA GARCIA	S.I.CASTANEDA ESCORZA	M.MANUEL RAMIREZ
		Tazón con impulsor cerrado

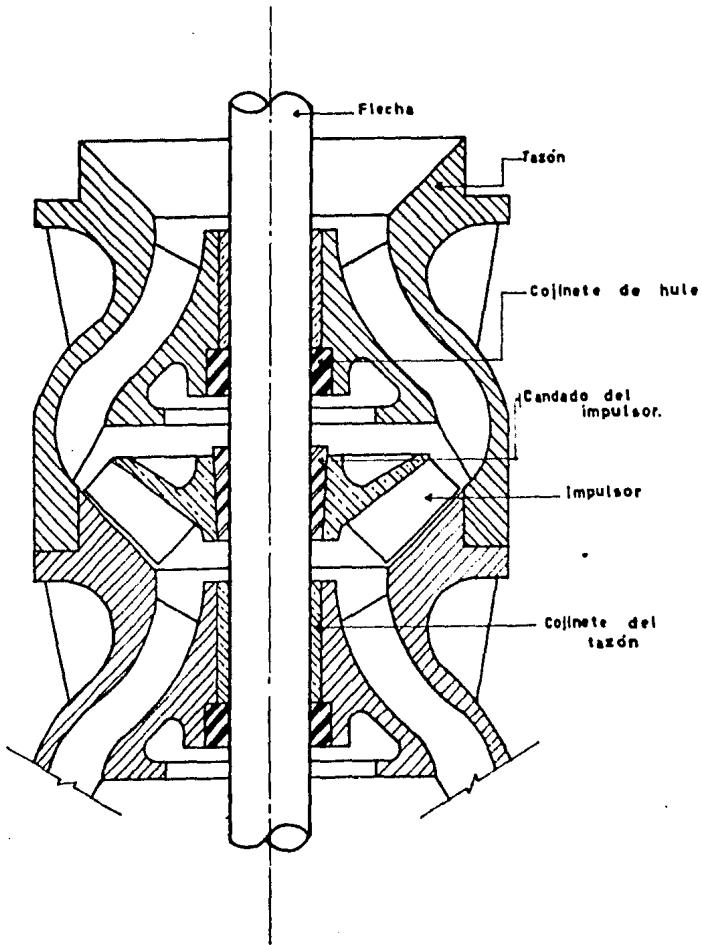


FIG. IV.7

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTANEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
		Tazón con impulsor semiabierto

y la carga a vencer es poca se utilizan los impulsores tipo semi axial.

Por el tipo de construcción, pueden ser semiabiertos o cerrados. Se prefieren los impulsores cerrados a los semiabiertos porque el desgaste de éstos últimos reduce la capacidad de la bomba, que no puede restaurarse a menos que se instalen nuevos impulsores. En los impulsores cerrados en lugar de tener que cambiar todo el impulsor o la carcaza, únicamente se cambian los anillos de desgaste, que pueden estar montados a presión en la carcaza, en el impulsor, o en ambos.

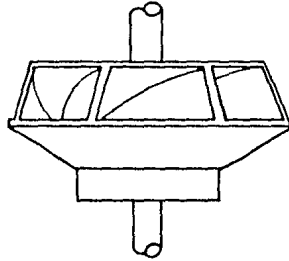
Otra causa por la que no se recomienda instalar impulsores semiabiertos, fig. IV-8-C pag. 61 es, por la pérdida de eficiencia a causa del desajuste de los impulsores, causado por la dilatación térmica de la flecha del motor sumergible, cuando ésta se ha calentado a la temperatura de trabajo del motor (ver la fig. No. IV-9, pag. 62).

El empuje producido por los impulsores semiabiertos puede ser hasta 150 % mayor que el producido por los cerrados.

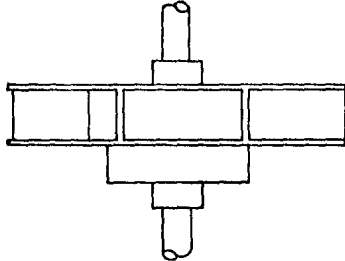
El material comúnmente usado para la fabricación de los impulsores es el bronce. Sin embargo, dependiendo de la cantidad de arena existente en el agua, se podrán utilizar como materiales recomendables el hierro co lado, ferro-níquel fundido y aún el acero al cromo.

ANILLOS DE DESGASTE

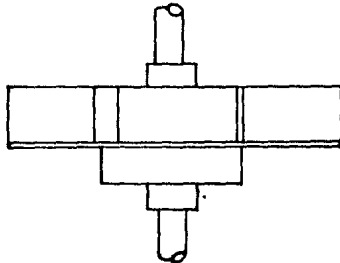
La función del anillo de desgaste (fig. No. IV-6, pag. 58) es la de tener un elemento barato y fácil de remover en aquellas partes en donde, debido a las holguras cerradas que se requiere entre el impulsor y la carcaza, la presencia del desgaste es casi segura. Así en lugar de tener que cambiar todo el impulsor o toda la carcaza, solamente se cambian los ani-



(a) Semiaxial cerrado.



(b) Radial cerrado.



(c) Semiaabierto.

FIG. IV. 0

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCÍA.	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
	Impulsores.	

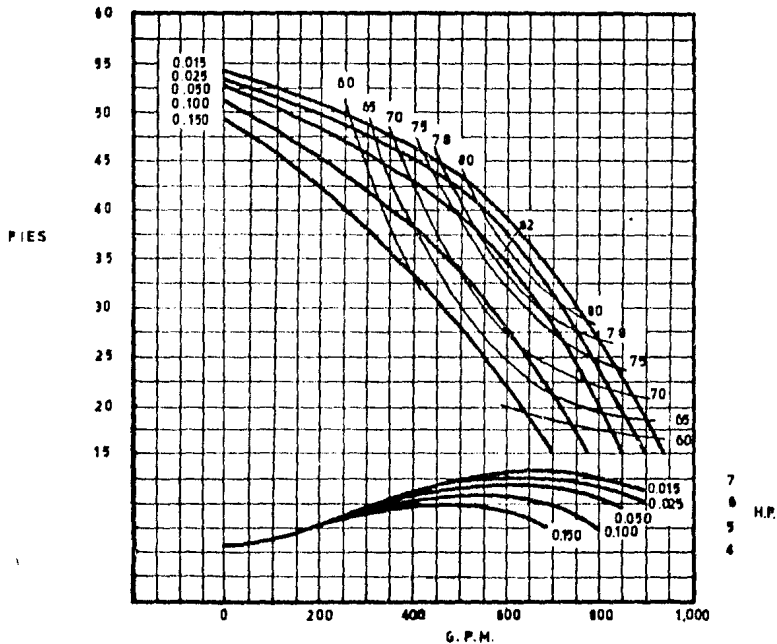


FIG. IV.8

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
Ajustes del claro de un impulsor semabierto.		

-llos, los cuales pueden estar montados a presión en la carcaza, en el impulsor, o en ambas.

Generalmente los anillos de desgaste se hacen de bronce y al igual que los impulsores, algunas veces se fabrican de hierro colado, acero fundido, acero inoxidable o monel, sea lo que fuere de lo que esté hecho el impulsor, si se requiere dureza u otras propiedades que no se pueden obtener con bronce.

FLECHA

La flecha de una bomba centrífuga es el eje de todos los elementos que giran con ella, transmitiéndoles los momentos de flexión o torque producidos por el motor durante el arranque y operación. En el caso de las bombas verticales con motor sumergible, solo se tiene la flecha de impulsores.

Las flechas generalmente son de acero, modificándose únicamente el contenido de carbono, según la resistencia que se necesite. En el caso de bombas de pozo profundo, las flechas de impulsores son de acero inoxidable con 13 % de cromo generalmente. Para seleccionar el diámetro de una flecha de acero 1045, usando comunmente para flechas de tubería de columna, en función de la potencia a transmitir y a la carga axial, soportada por la flecha, se puede consultar el Apéndice B-5.

COJINETES

Los cojinetes utilizados en bombas verticales son de tipo de manga o chumacera, teniéndose el cojinete de entrada, cojinete en cada tazón y cojinete en el tazón de salida. El material con que generalmente se fabrican es bronce. También se tienen los cojinetes de neopreno en cada tazón intermedio, los cuales sirven para amortiguar las vibraciones producidas por los impulsores semi-abiertos principalmente.

IV. 5 VALVULA DE RETENCION

Este es otro elemento más de suma importancia que forma parte de la - bomba. Esta válvula (fig. No. IV - 10, pag. 66) se usa con el objeto de re- tener la masa de agua que se encuentra en la tubería cuando la bomba suspen- de su operación. Otro de los objetivos importantes de ésta válvula es evi- tar que la bomba gire en un sentido inverso, sobrepasando la velocidad crí- tica de diseño (la cual generalmente es 120% la velocidad máxima de opera- ción) cuando la bomba suspende su funcionamiento y el agua contenida en la- tubería tiende a regresar súbitamente, creándose además riesgo de un desaco- plamiento de la tubería de columna por la inversión momentánea del par. La- instalación de ésta válvula requiere de un análisis de la magnitud del gol- pe de ariete, para que en el caso de que éste sea elevado, se pueda reducir mediante la instalación de una válvula de retención adicional.

IV. 6 TUBERIA DE ELEVACION

Esta columna por lo general está formada por tramos de tubos de acero- de 3.05m. de longitud, existiendo los diámetros comerciales más comunes en- este tipo de tubería que son fabricados de diferentes cédulas. Estos tubos- son el soporte del cuerpo de tazones y del motor, además de que conducen el líquido bombeado. Esta sostenida en la parte superior (es decir en la super- ficie) por una placa soporte donde va colgado todo el equipo. La unión en- tre los tramos de tubería se efectua por medio de coples roscados.

IV. 7 PLACA SOPORTE

La función de ésta placa (fig. No. IV - 11, pag. 67) es la de sostener todas las partes que van colocadas dentro del pozo como lo son: el motor, - la bomba, la tubería de elevación y el líquido bombeado. Se encuentra colo- cada sobre la base de sustentación que se coloca en el nivel del terreno. -

La placa soporte desempeña la misma función del cabezal de descarga en una bomba vertical tipo turbina de flecha larga, ya que ambos son el sostén del equipo.

IV. 8 CABLE SUMERGIBLE

El cable submarino es el encargado de conducir la corriente eléctrica al motor sumergido, por lo que deberá estar bien protegido contra el agua y los compuestos químicos que ésta contenga, así como para los daños mecánicos que sufra durante la instalación. Este cable transmite la corriente del arrancador al motor, está constituido de tres cables flexibles con aislamiento de polietileno en colores diferentes para identificación de fases, su cubierta sobre el conjunto de alambres es de magneto plástico de PVC o cloruro de polivinilo de color negro de alta densidad para soportar en ocasiones más de 115°C siendo por lo tanto un buen dieléctrico. El cable sale del motor a través de unos prensaestopas para cables, es conducido y protegido a lo largo de la bomba por una cubierta de lámina que lo protege contra los daños de instalación, y se sujeta a la tubería de descarga por medio de abrazaderas o amarres cada tres metros aproximadamente.

El método de selección del cable consiste en los siguientes pasos:

- Con la corriente nominal del motor, se selecciona el calibre del conductor, de acuerdo a la gráfica "selección de cable sumergible" del Apéndice B-6 pag. 110.
- Con la corriente y el calibre seleccionado se obtiene de la gráfica de pérdidas de potencia en el cable sumergible (Apéndice B - 7 pag. 111), las pérdidas en HP, por cada 30.48 m. de longitud de cable.

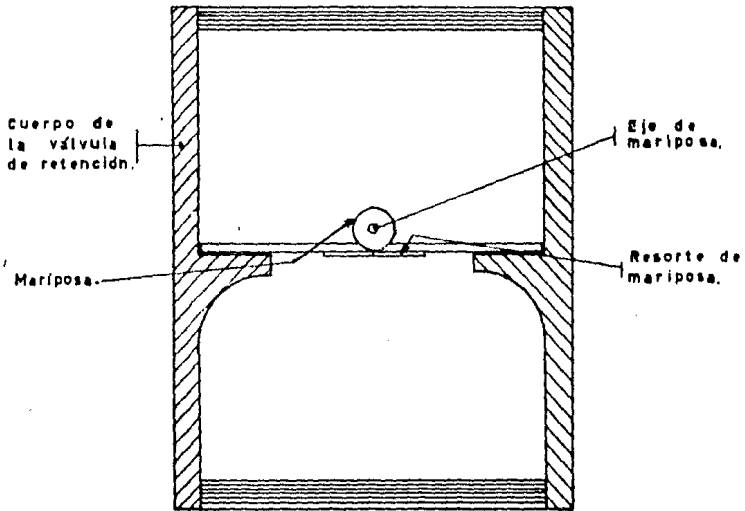
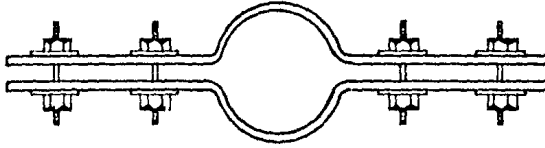
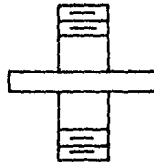
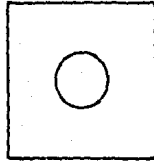


FIG. 1V.10

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
		Válvula de retención



(a) Soporte tipo abrazadera.



(b) Placa base de sustentación

FIG. IV. 11

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	S.I. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Soportes para bombas con motor sumergido.		

V.- LIMITACIONES EN LA SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO PARA POZO PROFUNDO

De acuerdo a la experiencia adquirida en campo, se han observado algunos aspectos que en un momento dado influyen de manera negativa en el funcionamiento de un equipo de bombeo, cuando éste ha sido mal seleccionado, ocasionando pérdidas económicas.

Por lo tanto, a continuación se menciona como influyen en el equipo de bombeo aspectos tales como: rectitud y verticalidad del pozo, producción de arena en el pozo, corrosividad del agua bombeada; además del efecto del empuje axial y las vibraciones del mismo equipo sobre si mismo.

VI VIBRACION Y BALANCEO

El fenómeno de vibración, no deseable en los equipos de bombeo, tiene mayores efectos destructivos en una bomba con motor sumergible, cuando, los elementos giratorios no están balanceados estática y dinámicamente, éste se debe básicamente a la velocidad de operación que comunmente es de 3500 RPM. Este fenómeno es muy frecuente, sobre todo en equipos fabricados sin un buen control de calidad en la homogeneidad de los materiales, así como en los maquinados, Como éstos equipos trabajan sumergidos, la manifestación de las vibraciones es notoria solamente cuando ha causado fallas mecánicas y eléctricas en el equipo. En las bombas con motor VFH, la presencia de vibraciones en el motor y la bomba es notoria y puede ser corregida para evitar daños mayores, además, como se pueden manejar velocidades más bajas (1 760 RPM) los efectos destructivos de un desbalanceo de masas son menores en éste tipo de equipos.

Para reducir la posibilidad de que los equipos operen dentro de un-

régimen de vibraciones, se recomienda que: las principales partes de los elementos en rotación tales como el impulsor, deben ser balanceados estáticamente en forma individual, además, el impulsor debe ser balanceado - dinámicamente para cuando en un punto de operación determinando se rebasa cualquiera de las siguientes limitaciones:

- A velocidades sobre 1 800 RPM cuando la capacidad exceda los 15.8 LPS y el diámetro del impulsor sea mayor a 152.4 mm.
- A velocidades sobre 1 800 RPM para dos o más pasos.
- A velocidades sobre 3 600 RPM.

Las porta-chumaceras o rodamientos de la bomba pueden ser colocados para permitir la medida de la amplitud de las vibraciones en una parte - adyacente a las chumaceras.

Los límites pico de las vibraciones en bombas horizontales con cojinetes antifricción y casquillos, o bien en las bombas verticales con cojinetes antifricción integrados, no deben rebasar los límites indicados - en la tabla No. 3 de la pag. 70 durante las pruebas de funcionamiento, - ya que de lo contrario puede producir ruidos y desgaste prematuro del - equipo.

V. 2 RECTITUD Y VERTICALIDAD DE UN POZO.

La rectitud y verticalidad de un pozo, son realmente características propias de un pozo profundo, éstos conceptos tienen importancia cuando - se tiene que tomar la decisión de elegir una bomba de flecha larga o - bien una de motor sumergible, en función de las condiciones de rectitud - y verticalidad del pozo; por esta razón, a continuación se definen los - criterios, que se toman en cuenta para determinar cuando un pozo puede -

TABLA No.3 Tolerancia de vibraciones para bombas verticales y horizontales a diferentes rangos de potencia.

POTENCIA (HP)	LIMITE DE VIBRACION EN BOMBAS (mm)	
	HORIZONTALES Rodamientos Antifricción	VERTICALES Cojinetes Antifricción
0 - 25	0.032	0.038
30 - 75	0.029	0.038
75 - 0 más	0.028	0.038
	(1)	(2)

(1) Medidas sobre la portachumacera.

(2) Medidas sobre la flecha.

considerarse vertical y recto, según las normas de la American Water Works Association (AWWA).

VERTICALIDAD DEL POZO

Se dice que un pozo es vertical, cuando en el se pueden instalar una bomba de pozo profundo, de tal manera que ésta cuelgue libremente desde la base de sustentación, sin recargar en las paredes del tubo de ademe. - Un método para determinar la verticalidad, consiste en introducir una plomada dentro del pozo, la cual debe estar suspendida de una estructura rígida a una altura sobre el brocal del pozo no menor de 3 m, el centro de la plomada, deberá coincidir con el centro geométrico del pozo, y además, deberá tener el peso suficiente para mantener el cable de la misma, lo suficientemente tenso para tener mayor exactitud en las mediciones, el diámetro de la plomada debe ser 12.7 mm menor que el diámetro interior del tubo de ademe.

El procedimiento consiste en ir bajando la plomada a distancias uniformes, por ejemplo a cada 4 m y mediante la ayuda de una escuadra graduada colocada sobre el brocal del pozo (de tal manera que se formen dos sistemas de coordenadas, con ejes paralelos (X,Y) y (X_0,Y_0) concéntricos al centro del pozo y en el vértice de la escuadra respectivamente), tomar las lecturas correspondientes. El sistema de ejes coordenados se orienta convenientemente con la ayuda de una brújula.

Es muy importante cuidar que la posición de la escuadra, así como el punto del cual cuelga la plomada, sea la misma para todas las lecturas; - es conveniente analizar gráficamente las lecturas tomadas ya que cuando el pozo está demasiado chueco, las lecturas que se toman, pueden ser erróneas a causa de que el cable de la plomada roce con la pared del tubo. Los resul

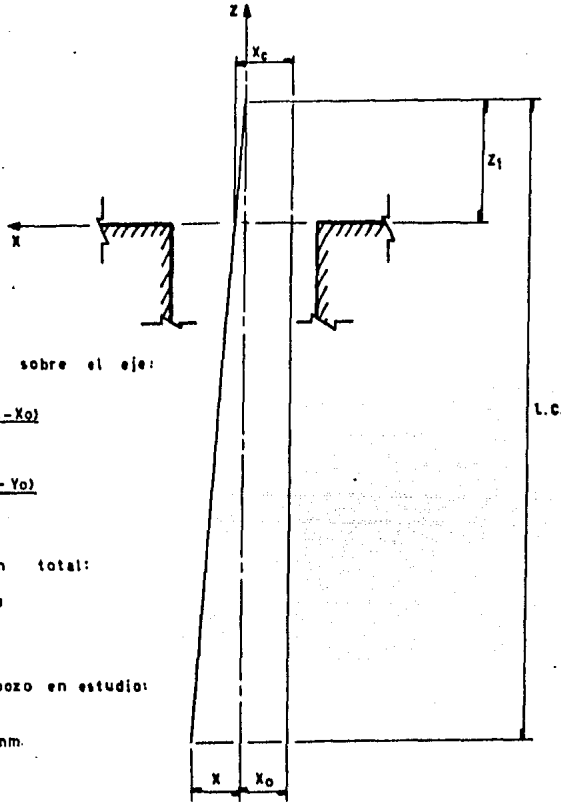
tados de éste método, también pueden ser empleados para determinar por mé todos gráficos la rectitud del pozo, en base a las siguientes considera - ciones.

Un pozo es considerado recto, cuando por éste puede pasar un calibra dor de 12m de longitud y con un diámetro 12.7 mm menor que el diámetro in terior del tubo de ademe.

Para ilustrar los conceptos de rectitud y verticalidad, se presenta un estudio aplicado al pozo del cual se presento el aforo en la seccion - II.3. El análisis gráfico del método se presenta en la fig. V-1, pag. 73, el resumen de datos para determinar la desviación total en la tabla No. 4, pag. 74, el perfil del pozo sobre los ejes X y Y en las figs. V-2 y V-3 pag. 75 y la desviación total del pozo en la fig. V-4 pag. 76.

Analizando la desviación del pozo se tiene que: para la explotación de un gasto de 47.08 LPS el nivel dinámico es 92.25 m por lo que la bomba deberá estar a una profundidad de 101.40 m, ésto es considerando un margen de seguridad de 9.15 m por abatimientos futuros. A ésta profundidad el po zo no es vertical, y la bomba que se instale, forzosamente apoyará sobre la pared del mismo. La inclinación en un pozo no es deseable, pero en és te caso puede instalarse cualquier tipo de bomba, siempre y cuando en ca so de ser una bomba de flecha larga, se le de una inclinación adecuada al cabezal de descarga, de tal manera que la flecha no quede flexionada.

En relación a la rectitud del pozo, existen dos puntos (a 20 y 60 m de profundidad) donde aparentemente se puede atorar el calibrador de rec titud, pero matemáticamente se puede deducir que la máxima desviación en estos puntos no rebasa los 12.7 mm por lo que, aun metiendo tazones de ta ño 304.8 mm, columna de 203.2 mm y flecha de 38 mm de diámetro, el equi



Desviación sobre el eje:

$$x = \frac{L.C. (x_0 - x)}{Z_1}$$

$$y = \frac{L.C. (y_0 - y)}{Z_1}$$

Desviación total:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Para el pozo en estudio:

$$x_0 = 100 \text{ mm.}$$

$$Z_1 = 4 \text{ m.}$$

$$L.C. = 204 \text{ m.}$$

$$y_0 = 100 \text{ mm.}$$

FIG. V. 1

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
Representación gráfica del método de rectitud y verticalidad.		

Tabla No. 4. Resumen de datos y calculos

no. de ob- servacion	Prof. Calib.(m)	Long. Cable (m)	Xc mm	Y c mm	X mm	Y mm	Desviación Total (mm)
1	4	8	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2	8	12	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
3	12	16	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
4	16	20	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
5	20	24	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
6	24	28	100.0	101.0	0.0	7.0	7.0
7	28	32	100.3	102.0	2.4	16.0	16.2
8	32	36	100.7	103.0	6.3	27.0	27.7
9	36	40	100.9	103.3	9.0	33.0	34.2
10	40	44	101.2	103.6	13.2	39.6	41.7
11	44	48	101.3	103.9	15.6	46.8	49.3
12	48	52	101.5	104.2	19.5	54.6	57.9
13	52	56	101.7	104.5	23.8	63.0	67.3
14	56	60	101.9	104.8	28.5	72.0	77.4
15	60	64	102.0	105.0	32.0	80.0	93.8
16	64	68	102.1	105.1	35.7	86.7	94.5
17	68	72	102.2	105.2	39.6	93.6	101.6
18	72	76	102.4	105.3	45.6	100.7	110.5
19	76	80	102.6	105.4	52.0	108.0	119.9
20	80	84	102.8	105.5	58.8	115.5	129.6
21	84	88	103.0	105.6	66.0	123.2	139.8
22	88	92	103.2	105.8	73.6	133.4	152.4
23	92	96	103.4	105.9	81.6	141.6	163.4
24	96	100	103.6	106.0	90.0	150.0	174.9
25	100	104	103.8	106.2	98.8	161.2	189.1
26	104	108	104.2	106.4	113.4	172.8	206.7
27	108	112	104.4	106.5	123.2	182.0	219.8
28	112	116	104.6	106.6	133.4	191.4	233.3
29	116	120	104.8	106.7	144.0	201.0	247.3
30	120	124	105.5	106.7	155.0	207.3	259.2
31	124	128	105.2	106.7	166.4	212.7	270.1
32	128	132	105.5	106.6	181.5	217.8	283.5
33	132	136	105.7	106.6	193.8	224.4	296.5
34	136	140	105.9	106.6	206.5	231.0	309.8
35	140	144	106.1	106.6	219.6	237.6	323.5
36	144	148	106.3	106.5	233.1	240.5	334.9
37	148	152	106.5	106.5	247.0	247.0	349.3
38	152	156	106.7	106.5	261.3	253.5	364.1
39	156	160	106.9	106.5	276.0	260.6	379.8
40	160	164	107.1	106.4	291.1	262.4	390.9
41	164	168	107.3	106.4	306.6	268.8	407.7
42	168	172	107.5	106.4	322.5	275.2	424.0
43	172	176	107.7	106.3	338.8	277.2	437.8
44	176	180	107.9	106.3	355.5	283.5	454.7
45	180	184	108.1	106.2	367.5	285.2	465.2
46	184	188	108.3	106.2	390.1	291.4	486.9
47	188	192	108.5	106.2	408.0	297.6	505.0
48	192	196	108.7	106.1	426.3	298.9	520.6
49	196	200	108.9	106.1	445.0	305.0	539.5
50	200	204	109.0	106.0	459.0	316.0	557.3

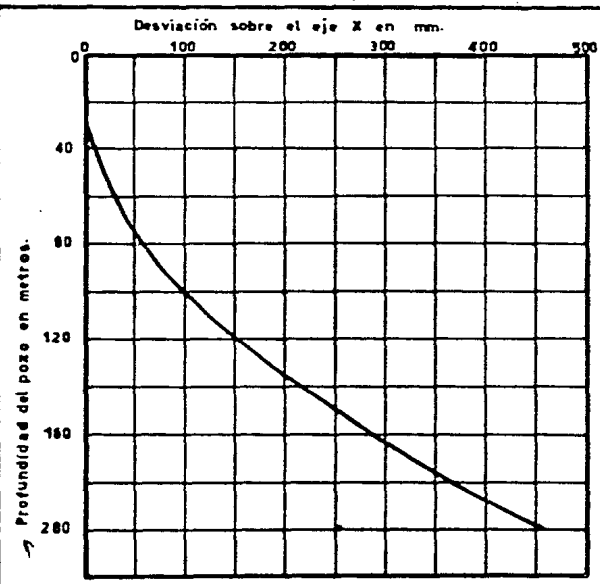


FIG. V. 2

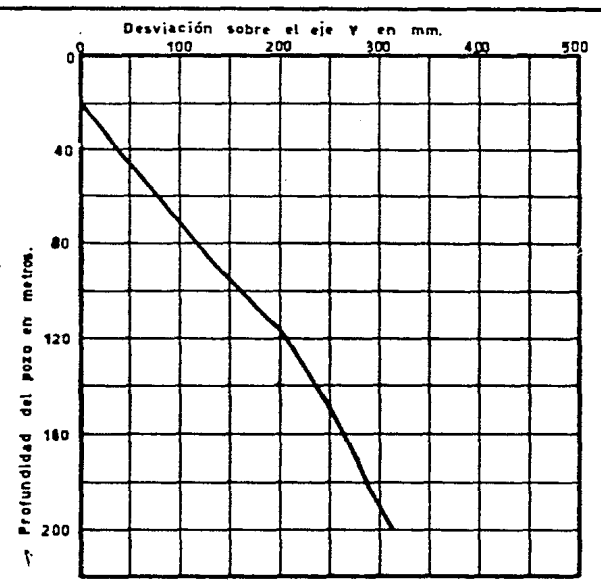


FIG. V. 3

TESIS PROFESIONAL FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTANEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
Desviación del pozo sobre los ejes X y Y.		

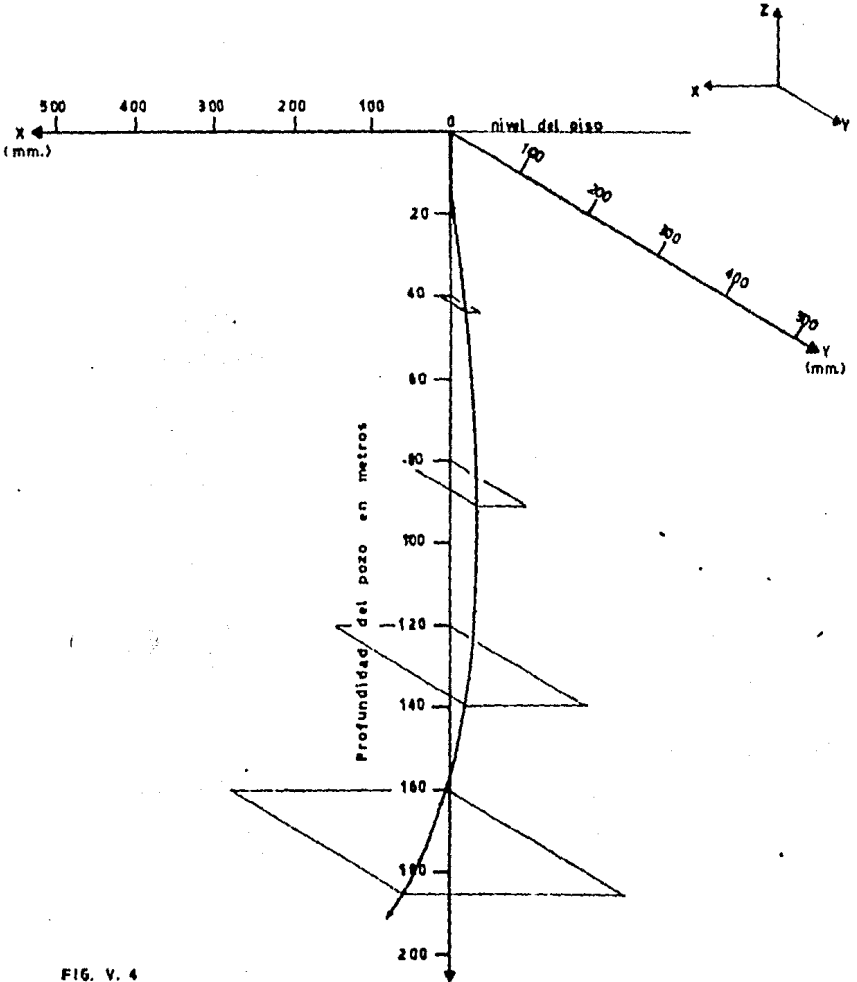


FIG. V. 4

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
		Desviación total del pozo.

-po no tendrá problemas de instalación ni de funcionamiento por no ser completamente recto.

V.3 CAUSAS Y EFECTOS DEL EMPUJE AXIAL.

Otra diferencia entre las bombas con motor vertical de flecha hueca y las de motor sumergible, es la que se refiere a las causas y efectos del equipo axial resultante de la suma de todos los factores que lo originan (Fig. V-5, pag. 78), y que a continuación se explican.

EMPUJE VERTICAL HACIA ABAJO:

Este consiste en la fuerza resultante que el fluido transmite a los impulsores, con dirección paralela al flujo, pero en sentido contrario, ésta fuerza es transmitida a su vez a la flecha y depende básicamente del diámetro y forma del impulsor y de la altura dinámica total, normalmente se le expresa como:

$$EAH_1 = (K_1) (CDT) \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 26}$$

donde:

EAH_1 = Empuje axial hacia abajo.

K_1 = Constante característica de cada modelo y que se determina experimentalmente.

CDT = Carga dinámica total.

EMPUJE VERTICAL MOMENTANEO HACIA ARRIBA.

Este consiste en la fuerza resultante que se genera por la diferencia de presiones que actúan sobre el costado inferior del impulsor. El empuje hacia arriba es más significativo en los impulsores semiabiertos, debido a que en éstos se elimina el plato inferior, el cual es sustituido por la pared interior del tazón, esto trae como consecuencia que se originen fuerzas de reacción normales a la superficie inferior del impulsor.

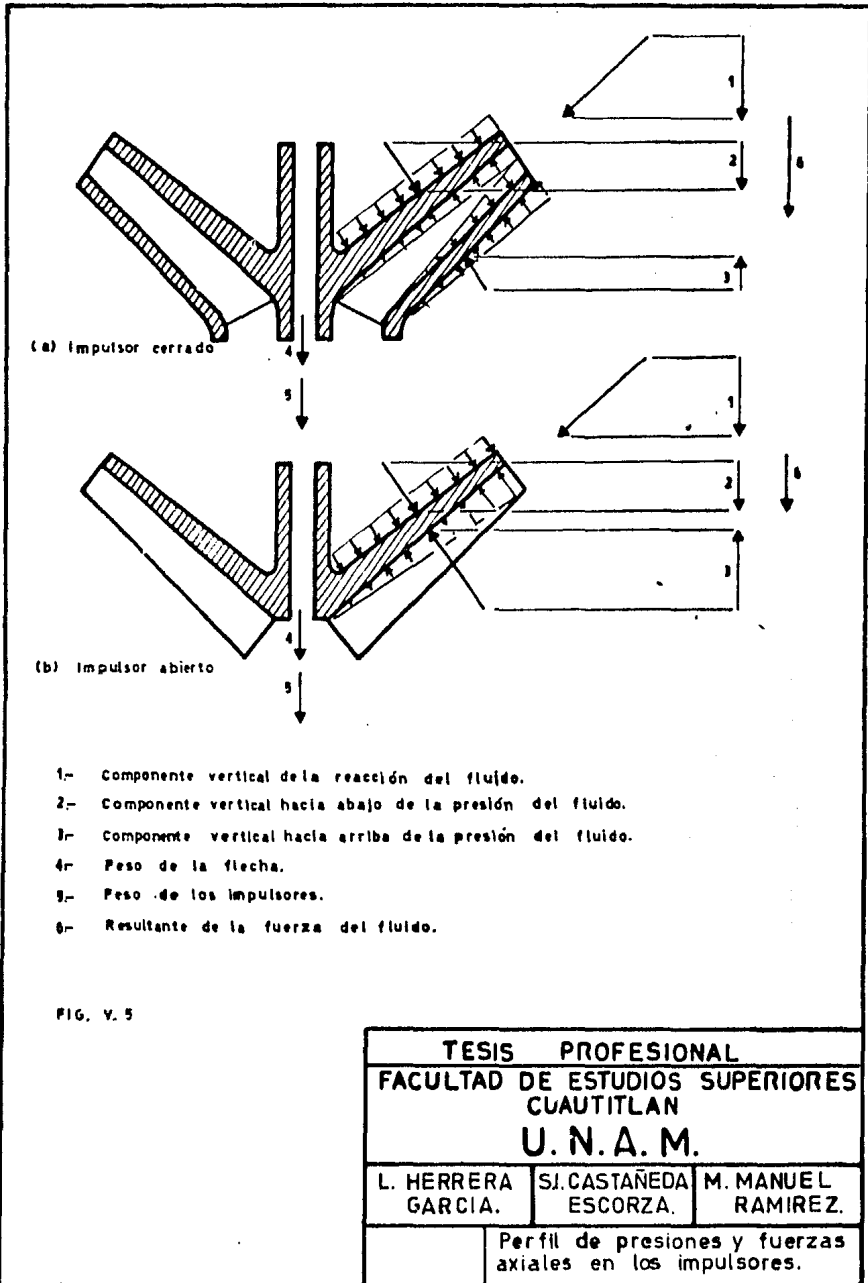


FIG. V. 5

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA.	SI. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
		Perfil de presiones y fuerzas axiales en los impulsores.

-sor, cuya resultante es una fuerza vertical hacia arriba, la cual se puede representar como:

$$EAH_2 = (K_2) (CDT) \dots\dots\dots Ec: 27$$

donde:

EAH_2 = Empuje vertical momentaneo hacia arriba.

K_2 = Constante característica de cada modelo y que se determina experimentalmente.

El empuje axial hacia arriba, es mayor cuando se tiene en el interior del impulsor la mayor velocidad del flujo, que corresponde al gasto máximo y CDT mínima (fig. V-6, pag. 80)

PESO DE LA FLECHA

Este se determina multiplicando la longitud de la flecha por el pe so por unidad de longitud de la misma, o sea:

$$Wf = (Lf)(Wf') \dots\dots\dots Ec: 28$$

donde:

Wf = peso de la flecha.

Lf = Longitud de la flecha.

Wf' = Peso de la flecha por unidad de longitud.

PESO DE LOS ELEMENTOS EN ROTACION.

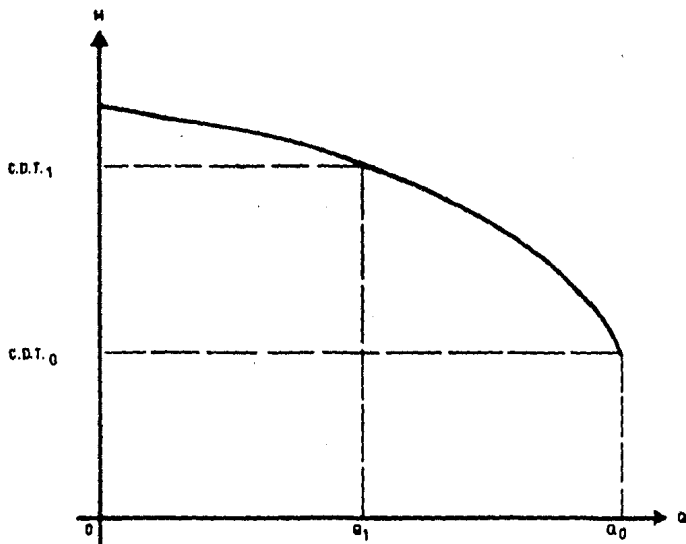
Este consiste en el peso de los impulsores junto con sus chumaceras y elementos de fijación, de tal manera que el peso de éstos en un cuerpo de tazones de varios pasos es:

$$WER = (\text{Núm. de pasos})(Wer) \dots\dots\dots Ec: 29$$

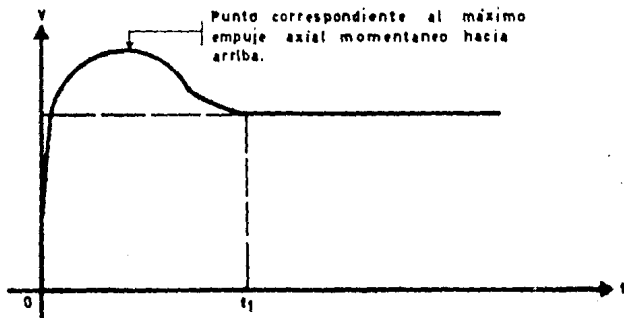
donde:

WER = Peso total de los elementos en rotación.

Wer = Peso de los elementos en rotación por cada paso.



(a) Gráfica de comportamiento hidráulico de un impulsor



(b) Comportamiento de la velocidad del flujo contra el tiempo en el impulsor.

FIG. V. 6

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	SI. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Gráficas altura-gasto y velocidad de fluido-tiempo		

EMPUJE AXIAL TOTAL.

Este consiste en la suma algebraica de las diferentes fuerzas que actúan sobre el balero de carga axial del motor, en caso de ser una bomba vertical de flecha larga, o bien en el cojinete de tipo Kingsbury de un motor sumergible; éste se calcula mediante la siguiente ecuación:

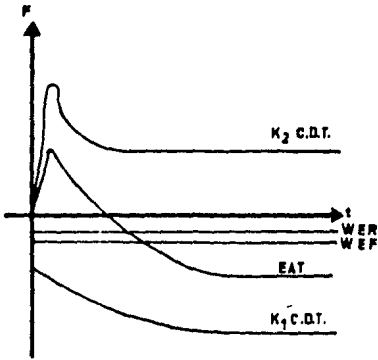
$$EAT = EAH_1 + EAH_2 + Wf + WER \dots\dots\dots Ec: 30$$

El compartimiento del empuje axial total se representa gráficamente en la fig. V-7, pag. 62

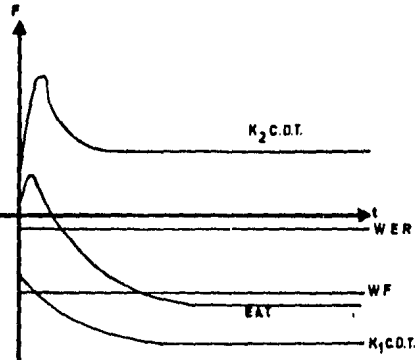
En una bomba con motor sumergible e impulsor semiabierto, la componente del empuje axial total, correspondiente al peso de la flecha es pequeña debido a que ésta es muy corta, y como en el arranque el empuje momentáneo hacia arriba es relativamente alto (aproximadamente el 66% del empuje total generado) el conjunto de flecha y elementos en rotación pueden quedar sometidos a una fuerza hacia arriba, situación que puede perjudicar a los motores, ya que en el paro y arranque se produce un golpe contra las partes que limitan la carrera axial del conjunto, provocando daños mecánicos y posteriormente daños eléctricos, por ésta razón los impulsores semiabiertos no se recomiendan para ensamblarse en bombas que irán acopladas a motor sumergible.

En algunos casos de bombas con motor vertical de flecha hueca e impulsores semiabiertos, éste efecto se evita anclando la tuerca de ajuste a la armazón del motor, sobre todo cuando se trata de bombas con columnas muy cortas.

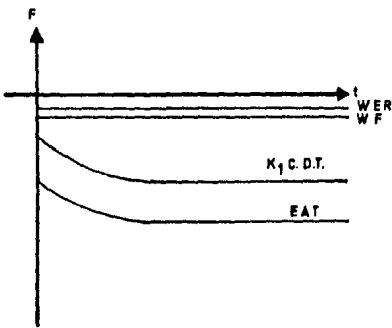
Los impulsores cerrados no tienen el problema del empuje axial momentáneo hacia arriba, ya que las fuerzas que lo originan, en éste caso tienden al equilibrio, por ésta razón pueden ser ensamblados en cualquiera de



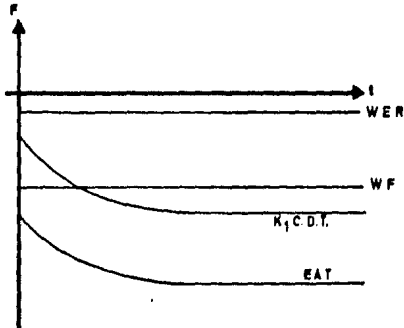
(a) Impulsor semiabierto y motor sumergible.



(b) Impulsor semiabierto y motor vertical de flecha hueca.



(c) Impulsor cerrado y motor sumergible



(d) Impulsor cerrado y motor vertical de flecha hueca.

FIG. V 7

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L. HERRERA GARCIA	SI. CASTAÑEDA ESCORZA	M. MANUEL RAMIREZ
Representación gráfica del empuje axial.		

los dos tipos de bombas sin mayores consecuencias.

V.4 PRODUCCION DE ARFNA EN POZOS.

Cuando un pozo es perforado, normalmente se le practica un desarrollo (después de ademarse y colocarse el filtro de grava) el cual consiste en - extraer el material fino que está dentro de la zona acuosa y lograr un reacomodo de la arena y grava que forman el filtro, de tal manera que los granos de mayor tamaño queden frente a las ranuras de la rejilla, con ésto se evita que la arena fina sea arrastrada hacia el pozo cuando se está bombeado.

Como la arena es un elemento no deseable, es recomendable cuando se va a instalar una bomba de flecha lubricada por aceite, cerciorarse que el pozo no produzca más de 5 ppm de granos de arena, ni mayores de 0.152 mm ni menores de 0.076 mm. Para las bombas de flecha lubricada por agua, se recomienda que el pozo no produzca más de 3 ppm de granos de arena, mayores - de 0.076 mm. Cuando se trata de pozos donde se pretende instalar bombas - con motor sumergible, se recomienda de preferencia, que no produzca arena, aceptandose como límite 3 ppm y que el tamaño del grano de arena, no sea - menor de 0.076 mm ni mayor a 0.152 mm, ésto se debe a que la arena muy fina provoca una fuerte abrasión y, la arena más gruesa causa una fuerte e - rosión.

En relación a los períodos de vida útil, asi como a los períodos en - tre cada servicio de mantenimiento requerido, no existen criterios unificados, por lo tanto, en base a diversas recomendaciones, se presenta la tabla No. 5 que relaciona los períodos de vida útil y períodos entre cada servicio de mantenimiento requerido, tomando en cuenta la cantidad de arena - producida por el pozo.

Tabla No. 5. Períodos entre servicios de mantenimiento y períodos de vida útil, en función de la producción y tamaño (ϕ) de arena.

Bomba vertical de flecha lubricada por aceite. (Tamaño de arena - $0.076 \leq \phi \leq 0.152$ mm)

Cantidad de arena (ppm)	Período entre cada servicio de mantenimiento (hrs)	Período de vida útil (años)
0	12000	30
3	11000	25
5	10000	20
10	7500	9
20	5000	7

Bomba vertical de flecha lubricada por agua. (Tamaño de arena $\phi \leq 0.076$ mm)

0	12000	25
3	11000	20
5	9000	15
10	7000	7
20	5000	5

Bomba vertical con motor sumergible. (Tamaño de arena $0.076 \leq \phi \leq 0.152$ mm).

0	7500	15
1	6000	13
3	5000	10
6.5	2160	6
12.5	1200	3

V.5 BOMBEO DE AGUA CORROSIVA EN POZOS PROFUNDOS.

Cuando un pozo produce agua con productos químicos, se debe de hacer un análisis sobre los efectos de dicha agua sobre el equipo de bombeo, ya que cuando la acción química sea fuerte, es necesario determinar que tipo de equipo es más conveniente, así como los materiales de este.

El agua con características ácidas produce en el equipo un desgaste - por corrosión que trae como consecuencia un desajuste mecánico en las partes giratorias que están en rozamiento.

Para éste tipo de aguas, es más recomendable una bomba vertical de flecha larga, con los interiores recubiertos con pintura anticorrosiva, la flecha puede ser de acero inoxidable. Los efectos corrosivos se pueden contrarrestar, evitando usar materiales que formen pares galvánicos, o bien, utilizando ánodos de sacrificio que sean los que cedan material y no las partes propias del equipo.

Algunas veces el agua contiene sales que forman costras en la superficie del equipo. Este efecto es perjudicial sobre todo en el motor sumergible, ya que suele ser de características refractarias, por lo que no se disiparía libremente el calor producido durante el funcionamiento, alcanzando un calentamiento excesivo que daña el aislamiento del embobinado del estator para después quemarse por corto circuito; por ésta razón, en casos donde se tiene agua con éstas características, no se recomienda instalar bombas con motor sumergible.

VI.- ESTUDIO ECONOMICO.

Para llevar a cabo el estudio económico, se consideran los datos de un sistema de bombeo, tomando en cuenta las características del pozo presentado en la sección II.3, analizando algunos conceptos de acuerdo al siguiente orden:

A) Datos del sistema de bombeo.

B) Memoria de cálculo para selección del equipo.

C) Especificación y determinación del precio de los componentes del equipo, incluyendo un paquete de refacciones para asegurar la mínima interrupción en el servicio, funcionando los equipos 12 horas diarias. Análisis del gasto por consumo de energía eléctrica, en base a los precios publicados por la Comisión Federal de Electricidad de fecha: 2 de agosto de 1982. Además una estimación del costo por mantenimiento preventivo y correctivo durante el período de vida útil.

D) Realización de un estudio económico, basado en el método de costo anual. En éste estudio, los precios se establecen en base a cotizaciones del mes de noviembre de 1983, habiendo tomado el precio promedio de tres diferentes cotizaciones, para no incurrir en precios disparados, que estén fuera de la realidad y poder tener una buena base para hacer una selección correcta de la alternativa más viable.

Es necesario establecer que la alternativa que resulte más económica, no necesariamente deberá ser la alternativa que se seleccione. El tipo de equipo que finalmente se seleccione, habrá sido como consecuencia de una evaluación de todas las ventajas y desventajas, técnicas y económicas, para cada una de las posibles soluciones, tomando en cuenta las características del pozo, así como los requerimientos del servicio y la capacidad económica del contratante.

Tabla No. 6 DATOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Gasto -----	47.08 L P S
Nivel estático (N E) -----	74.00 m
Nivel dinámico (N D) -----	92.25 m
Diámetro de ademe -----	355.6 mm
Profundidad del pozo -----	200.00 m
Altura adicional sobre la superficie (A A) -----	5.00 m
Presión atmosférica -----	8.95 m c a
Temperatura media del agua -----	15.00 °C
Margen de seguridad (M S) -----	9.15 m
Voltaje disponible -----	13 200 volts
Producción de arena en el pozo -----	3 P P M
Tamaño medio de los granos de arena -----	0.076 mm
Características químicas del agua -----	Neutra
Tipo de servicio -----	12 Hrs diarias
Uso del agua -----	Potable / domestico
Requerimiento del servicio -----	Continuo durante to do el año.

Tabla No. 7 Memoria de cálculo para especificación de una bomba -
vertical tipo turbina, con flecha lubricada por agua o
aceite.

Selección de bomba; (ver figs. B-8 a B-13 del apéndice B)	Curva de la fig. B-12
Balance de la C N P S $P_b + K - H_{ra} - P_s \geq C N P S R$	$8.95 + K - 0.2 - 0.017 = 4.00$ $K = - 4.733 \text{ m}$
Longitud de columna $L C = N D + M S + K$	$92.25 + 9.15 - 4.733 = 96.667 \text{ m}$
Estimación de C D T $C D T = (1.05)(L C) + A A$	$(1.05) (96.667) + 5 = 106.5 \text{ m}$
Número de pasos $N P = C D T / \text{altura por paso}$	$106.5 / 17 = 7 \text{ pasos}$
Diámetro de tubería de columna (ver apéndice B-2)	203.3 mm con un factor de pérdidas de presión = 2.3 m / 100 m
Estimación de potencia $H P = (H P \text{ por paso}) (N P)$	$(14) (7) = 98 \text{ H P}$
Diámetro de flecha (ver apéndice B-5)	38 mm con un factor de pérdidas mecánicas = 3.84 hp / 100 m
Rectificación de C D T $C D T = L C + A A + H r$	$96.667 + 5 + 2.22 = 103.89 \text{ m}$
Pérdidas mecánicas en flecha $P_m = (L C) (f p m)$	$(96.667) \left(\frac{3.84}{100} \right) = 3.71 \text{ H P}$
Potencia de accionamiento $N_a = \frac{(Q) (C D T) (X)}{(76) (n)} + P_m$	$\frac{(47.08) (103.89) (1)}{(76) (0.825)} + 3.71$
La eficiencia es en base al punto de operación de la curva seleccionada	= 81.72 HP
Empuje axial total $E A T = (C D T) (K_t) + (L C) (W F') + (N P) (W_e r) \text{ (ver apéndice B-5 y fig. B-12)}$	$(103.89) (13.33) + (96.667) (9.24) + (9.98) (7) = 2348.0 \text{ Kgs}$
Elongación de la flecha en cm $e = \frac{(C D T) (L C) (K_t) (100)}{(A) (E)}$	$\frac{(103.89) (96.667) (13.33) (100)}{(11.34) (2 038 700)}$
A = Área de la sección transversal de la flecha en cm ² E = Módulo de elasticidad del acero al carbon 1045 de la flecha en Kg/cm ²	= 0.579 cm

Tabla No. 8 Memoria de calculo para la especificación de una bomba vertical tipo turbina, acoplada a motor sumergible.

Selección de bomba (ver figs. B-14 a B-16 del apéndice B)	Curva de la fig. B-15
Balance de la C N P S Pb + K - Hra - Ps \approx C N P S R	$8.95 + K - 0.2 - 0.017 = 11$ $K = 2.267 \text{ m}$
Longitud de tubería de elevación $I. T = N D + M S + K$	$92.25 + 9.15 + 2.267 = 103.667 \text{ m}$
Diámetro de tubería de elevación (ver apéndice B-1)	152.4 mm con un factor de pérdidas de presión = 3.59 m / 100 m
Pérdida de presión en tubería de elevación: Hr = (LT) (fph)	$\frac{103.667 \times 3.59}{100} = 3.72 \text{ m}$
Carga dinámica total $C D T = L T + A A + Hr$	$103.667 + 5 + 3.72 = 112.387 \text{ m}$
Número de pasos $N P = C D T / \text{altura por paso}$	$112.387 / 62 \approx 2 \text{ pasos}$
Longitud de cable y calibre $LC = L T + L C T + 7.5 \text{ m}$ 7.5 = Longitud recomendada para conexión con el arrancador. (ver fig. B-6)	$103.667 + 0.62 + 7.5 = 111.787 \text{ m}$ de cable trifásico 1/0
Pérdida de potencia en cable sumergible: (de la fig. B-7) $Pe = (LC) (f p c)$	$\frac{(111.787) (0.75)}{30.5} = 2.74 \text{ H P}$
Potencia de accionamiento $HP = \frac{(Q) (C D T) (\gamma)}{(76) (n)} + Pe$ La eficiencia es en base al punto de operación de la curva seleccionada	$\frac{(47.08) (112.387) (1)}{(76) (0.774)} + 2.74$ $= 92.689 \text{ H P}$
Empuje axial total: $E A T = (C D T) (Kt) + (Lf) (Wf') + (N P) (Wer)$	$(112.387) (10.26) + (0.62) (9.24) + (2) (8.16) = 1175.14 \text{ kgs}$
Golpe de Ariete $h = \frac{(a) (v)}{g}$ (ver sección III.2)	$\frac{(1287.39) (2.59)}{9.81} = 339.89 \text{ m}$

Tabla No. 9 Especificación y determinación del precio de componentes, refacciones, montaje, mantenimiento y consumo de energía eléctrica para cada tipo de bomba.

Concepto	Precios unitarios por partida		
	Bomba V T T de flecha lub./aceite	Bomba V T T de flecha lub./agua	Bomba V T T con motor sumergible
Motor vertical de inducción tipo - jaula de ardilla, con trinquete de no retroceso, F.S. 1.15, aislamiento clase B, para 100 H P 440 volts, 3 fases, 60 c.p.s.y empuje axial de 2365.55 Kgs, APG	816 292. 00	816 292.00	
Motor vertical de inducción tipo - jaula de ardilla, F S 1.0, aislamiento a base de lupulen para trabajar sumergido en agua, para 100 H P, 440 volts, 3 fases, 60 c p s y empuje axial de 782 Kgs .			799 023.00
Bomba vertical tipo turbina, curva de figura B-12, de 7 pasos con: cabezal de descarga de 508 mm x 203.2 mm de diám.; tubería de columna de 97.267 m de long., 203.2 mm de diám. ; tubería de cubierta de 63.5 mm de diám.; flecha de 38 mm de diám. lubricada por aceite; tubo de succión de 3.05 m de long., 203.2 mm de diámetro; colador tipo cónico de 203.2 mm .	2 413 742.00		
Bomba vertical tipo turbina, similar a la anterior, pero con flecha lubricada por agua, por lo cual, no lleva tubería de cubierta.		2 249 330.00	
Bomba vertical tipo turbina, curva de figura B-15, de 2 pasos con: placa base de sustentación de 152 mm; tubería de elevación de 103.667 m de long., 152 mm de diám.; válvula de retención de 152 mm de diám., y 111.87 m de cable sumergible 3 x 1/0 AWG .			1 501 127.00
Subestación eléctrica tipo rural de 112.5 K V A con transformador de distribución sumergido en aceite, con 4 derivaciones de 2.5% c/u , 2 arriba y 2 abajo, para un voltaje primario			

de 13 200 volts y secundario de - 440/254 volts, 3 fases, 60 c p s; lo te de material eléctrico para conec- tar desde el transformador, hasta el motor, cón desarrollo de 33 m por li- nea; arrancador magnético tipo au- totransformador a voltaje reducido, - combinado con interruptor termomagné- tico, con elementos térmicos; dos pos- tes de concreto para montaje del - transformador.	1 039 598.00	1 039 598.00	
Para la bomba con motor sumergible - es la misma subestación, pero en és- te caso se consideran instrumentos - de medición, tales como amperímetro, voltímetro y conmutador de fases.			1 089 895.00
Paquete de refacciones para: bomba, - motor y subestación eléctrica para - un período de 5 años.	565 164.00	535 436.00	764 840.00
Mano de obra por montaje del sistema de bombeo, incluyendo bomba, motor y subestación, sin la obra civil neces- aria.	250 000.00	225 000.00	175 000.00
Consumo de energía eléctrica, operan- do el equipo durante 12 horas al día todo el año, en base a las tarifas - de Comisión Federal de Electricidad.	270 892.86	270 892.86	319 804.00
Gasto promedio anual por maniobras - de mantenimiento preventivo y correc- tivo.	110 000.00	100 000.00	180 000.00

Con la información proporcionada anteriormente se realiza un estudio -
económico para un período de servicio requerido para el equipo, de 10 años.
Este estudio económico, se basará en los métodos de costo anual y valor ac-
tual.

Los parámetros que se manejan son:

n - Período de vida útil del equipo en años, el cual se obtiene del fa-
bricante en base a su experiencia.

I - Inversión inicial, la cual está constituida por el costo del equi-

-pc, abarcando los conceptos de: bomba, motor, subestación e instalación electromecánica del equipo.

D - Gastos anuales ocasionados por el consumo de energía eléctrica, -- mantenimiento y refacciones necesarias para su buen funcionamiento.

R - Valor de recuperación del equipo que se considera como un porcentaje del costo inicial de éste, dicho valor es el que se espera obtener al vender el equipo como chatarra al final de su vida útil, en éste caso se considera un 20 % .

i - Tasa mínima de rendimiento requerida, la cual en éste caso será la tasa de rendimiento establecida por las instituciones bancarias, - siendo para nuestro caso del 50% aproximadamente.

Primeramente se obtendrán los costos anuales para cada equipo durante su período de vida útil estimado, construyendo una escala de tiempo para visualizar mejor la situación. Los símbolos económicos utilizados son:

crf - Factor de recuperación de capital.

sdfd - Factor de depósito de fondo de amortización.

uspwf - Factor de series uniformes - valor actual.

sppwf - Factor de pago simple - valor actual.

Designando con "A" a la bomba de flecha lubricada por aceite, con la letra "B" a la bomba de flecha lubricada por agua, con "C" a la bomba con motor sumergible, CA al costo anual y VA al valor actual se tiene que:

$$A \quad \frac{I = 4\,519\,632.00 \quad D = 493\,925.66}{i = 50\%} \quad R = 853\,926.40$$

$$n = 25$$

$$B \quad \frac{I = 4\,330\,220.00 \quad D = 478\,015.50}{i = 50\%} \quad R = 821\,044.00$$

$$n = 20$$

$$C \quad \frac{I = 3\,565\,045.00 \quad D = 652\,772.42 \quad R = 678\,009.00}{i = 50\% \quad n = 10}$$

Primero se determinará el costo anual de las alternativas A y B para posteriormente pasar a valor presente ésta serie de gastos, pero considerando únicamente el período de servicio requerido que es de 10 años. Así, se tiene que:

$$CA = (I) (crf) - (R) (sfd) + D$$

por lo tanto:

$$\begin{aligned} CAA &= (4\,519\,632.00) (0.50002) - (853\,926.40) (0.00002) + 493\,925.50 \\ &= 2\,253\,831.90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CAB &= (4\,330\,220.00) (0.50015) - (821\,044.00) (0.00015) + 478\,015.50 \\ &= 2\,163\,774.70 \end{aligned}$$

Entonces, el valor actual de cada una de éstas alternativas es:

$$VA = (CA) (uspwf)$$

por lo tanto:

$$VAA = (2\,253\,831.90) (1.9653) = 4\,422\,105.80$$

$$VAB = (2\,163\,774.70) (1.9653) = 4\,250\,810.40$$

Para determinar el valor actual de la alternativa C, no es necesario obtener el costo anual de ésta, ya que, el período de vida útil del equipo, corresponde al tiempo de servicio requerido, éste se determina como sigue:

$$VA = I - (R) (sppwf) + (D) (uspwf)$$

por lo tanto:

$$\begin{aligned} VAC &= 3\,565\,045.00 - (678\,009.00) (0.01734) + (652\,772.42) (1.9653) \\ &= 4\,186\,182.00 \end{aligned}$$

Como se puede ver, la alternativa más económica es la "C" ya que --
tiene una ventaja de 575 923.80 sobre la alternativa A y 359 628.40 so -
bre la alternativa B.

VII. CONCLUSIONES

A continuación se hace mención de los aspectos que habrán de conciderarse en su conjunto, para poder elegir el equipo de bombeo adecuado que cumpla con los requerimientos establecidos en cada servicio.

Económicamente; en orden del equipo de bombeo de pozo profundo más económico, al más costoso, quedan como sigue:

- Bomba vertical tipo turbina con motor sumergible.
- Bomba vertical tipo turbina, con flecha lubricada por agua.
- Bomba vertical tipo turbina, con flecha lubricada por aceite.

Durabilidad; éste concepto está relacionado estrechamente con la velocidad de operación de los equipos, de sus materiales de construcción de las normas de calidad durante su proceso constructivo, del mantenimiento preventivo y del tipo de película lubricante entre las superficies en constante rozamiento, así como también de las características del pozo y del agua a bombear. En términos generales y en igualdad de circunstancias, los equipos de bombeo para pozo profundo, son en orden del más al menos durable como sigue:

- Bomba de flecha lubricada por aceite.
- Bomba de flecha lubricada por agua.
- Bomba con motor sumergible.

Confiabilidad y continuidad en el servicio; éste es muy importante cuando se requiere tener la seguridad de que el servicio de bombeo no falle imprevistamente, ya que de suceder esto, se puede ocasionar serios problemas y aún pérdidas económicas. La durabilidad de un equipo da mayor confiabilidad en la continuidad del servicio, por lo que el equipo más confiable será el más durable y viceversa.

Contaminación del agua; es un factor importante el cual se tiene que evitar al máximo. Por lo tanto, en el bombeo de agua potable, directamente a la red de distribución, es recomendable instalar equipos que no contaminen el agua como suele suceder con las bombas lubricadas por aceite.

Versatilidad para funcionar con distintas fuentes de energía; las bombas con motor sumergible únicamente pueden ser operadas en lugares donde se cuente con energía eléctrica, mientras que las bombas con flecha larga, pueden operar con fuentes de energía tales como la generada por un motor de combustión interna, ya sea de gasolina o diesel, inclusive una turbina de vapor o un molino de viento. Por ésta razón las bombas de flecha larga son, en relación al tipo de fuente de energía que las acciona, más versátiles que las bombas con motor sumergible.

Flexibilidad para ser instaladas en pozos fuera de rectitud y verticalidad; para pozos en los que su perforación no es completamente recta ni vertical, resultan más prácticas las bombas con motor sumergible ya que la tubería de elevación puede absorber hasta cierto punto los esfuerzos flexionantes, producidos por la del pozo. Las bombas de flecha larga no pueden trabajar sometidas a esfuerzos flexionantes, ya que cuando se flexiona una tubería de columna, la flecha también se flexiona provocando fuertes fricciones en los puntos de apoyo, siendo en éste caso las chumaceras de hule o de bronce, según se trate de bombas lubricadas por el agua o aceite, se desgastan rápidamente, gastando también la flecha, provocando con ello vibraciones y posibilidad de ruptura.

Capacidad para bombear agua, con arena; en los pozos donde existe una considerable infiltración de arena, es preferible instalar bombas de flecha larga lubricada por aceite o agua, dependiendo de la cantidad de arena, así como del tamaño de los granos de ésta. En referencia a los impul-

-sores, la experiencia ha mostrado que los del tipo semiabierto son más prácticos, ya que el desgaste provocado por la arena puede ser compensado, ajustando los impulsores con la tuerca de ajuste. Las bombas con motor sumergible tienen varios inconvenientes que son: alta velocidad de operación; el motor trabaja sumergido en el medio donde la arena se puede encontrar suspendida, por lo que tiene un desgaste prematuro de sellos y cojinetes; el tipo de impulsor más usual es el de tipo cerrado, por lo que se requiere del cambio del anillo de desgaste cuando la bomba se ha desajustado, a causa del desgaste provocado por la arena.

Capacidad para manejar agua con características corrosivas; en pozos donde el agua es corrosiva, es preferible instalar bombas de flecha larga lubricada por agua o aceite. Si se trata de lubricación por agua, se recomienda instalar la flecha de acero inoxidable y recubrir todas las superficies expuestas a la corrosión con pintura resistente a la acción corrosiva. Cuando se trate de bombas lubricadas por aceite, únicamente se tienen que recubrir todas las superficies con pintura anticorrosiva. En ambos casos se debe evitar al máximo el ensamble de metales ferrosos con no ferrosos para evitar que por acción galvánica se desgasten más rápidamente algunas piezas. Una manera de evitar la corrosión por acción galvánica, consiste en colocar un trozo de material que sirva como ánodo de sacrificio, para que de ésta manera el ánodo sea el que ceda el material durante la acción galvánica. El motor sumergible normalmente está desprotegido -- contra las aguas corrosivas y su protección resulta muy costosa, por lo que no se recomienda instalar bombas con motor sumergible en pozos donde el agua tenga ésta característica.

Manejo de agua caliente; para cualquier tipo de bomba, el agua caliente disminuye la C N P S D . Siendo que las bombas de flecha larga ge-

neralmente operan a 1750 R P M, requerirán una C N P S R más baja que la de una bomba con motor sumergible que opera normalmente a 3 500 R P M, por lo que para evitar la cavitación en la bomba con motor sumergible, es necesario darle más sumergencia que a la de flecha larga. Otro inconveniente del motor sumergible, consiste en que al no tener un medio ambiente a una temperatura lo suficientemente baja, no podrá disipar el calor producido, creando un sobrecalentamiento, que incluso puede llegar a quemar el motor.

Eficiencia global del sistema; en relación a la eficiencia de los diferentes tipos de equipos para pozo profundo, el equipo con menor eficiencia es el de motor sumergible, esto se debe básicamente a las pérdidas volumétricas ocasionadas por una mayor diferencia de presión entre la entrada y la salida del impulsor. Además la eficiencia eléctrica del motor sumergible es muy baja debido a que la permeabilidad magnética del agua es menor que la del aire. Otro factor que disminuye la eficiencia del motor sumergible, es la mayor viscosidad del medio acuoso que provoca una mayor pérdida de energía por rozamiento entre el agua y el rotor del motor.

Para poder decidir que tipo de equipo es más conveniente, tomando en cuenta los requisitos del servicio de bombeo, las características del pozo, las características del agua, las diferentes alternativas y el aspecto económico, se puede realizar una tabla de decisión, asignando una puntuación según la importancia del concepto a evaluar y dentro de una escala de 100, como se muestra en la tabla No. 10.

Tabla No. 10 Evaluación de alternativas para su selección.

Concepto	Puntuación	Bomba de flecha lubricada por aceite	Bomba de flecha lubricada por agua	Bomba con motor sumergible.
Económico	10			X
Durabilidad	10	X		
Confiabilidad y continuidad	20	X	X	
Contaminación del agua	20		X	X
Versatilidad	5	X	X	
Flexibilidad	5			X
Bombeo de agua con arena.	10	X	X	
Bombeo de agua corrosiva.	5	X	X	
Bombeo de agua caliente.	5	X	X	
Eficiencia global del sistema.	10	X	X	
	100	65	75	35

Para el pozo en estudio y de acuerdo a los requisitos establecidos, se tiene que los aspectos más importantes son la confiabilidad y continuidad del servicio, así como también la contaminación del agua. Después de estos aspectos, le siguen en importancia el económico, durabilidad, capacidad para bombear agua con arena y la eficiencia global del sistema. Los aspectos de menor importancia en éste caso son la versatilidad, la flexibilidad, la capacidad para manejar agua corrosiva y agua caliente.

Con lo cual se puede concluir que el equipo más adecuado es la alternativa constituida por una bomba vertical tipo turbina, con flecha lubricada por agua.

APFNDICE "A"

A.1 POROSIDAD: Es el conjunto de intersticios intercomunicados que pueden almacenar agua. La porosidad de una muestra de material se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V_2}{V_t} \times 100$$

$$V_2 = V_t - V_1$$

$$V_1 = \frac{W}{P_e}$$

donde:

P = Porosidad en %

V_t = Volumen total de una muestra de material

V_2 = Volumen total de intersticio

V_1 = Volumen real de la muestra de material

W = Peso de la muestra

P_e = Peso específico de la muestra de material - compactado.

Para tener una idea de los valores de porosidad y permeabilidad en algunos materiales, se presenta la Tabla No. 11

TABLA No. 11 POROSIDAD Y PERMEABILIDAD

MATERIAL	POROSIDAD (%)	PERMEABILIDAD (lts/día m ²)
Arcilla	45	0.3993
Arena gruesa	35	40991.553
Arena media	31	37685.796
Arena fina	31	14259.49
Grava	25	499155.3
Grava y arena	20	409915.53

Arenisca	15	4099.1553
Calizas densas y esquistos	5	40.9858
Cuarsito y granito	1	0.3993

A.2 PERMEABILIDAD:

Se define como la relación de flujo en litros por día, a través de una sección transversal de un metro cuadrado bajo el efecto de una presión hidráulica de un metro columna de agua a 15 ° C. En la tabla No. 11 se muestran algunos valores para diferentes materiales.

A.3 TRANSMISIBILIDAD:

Es el flujo de agua que pasa por una franja vertical de un metro de ancho y altura igual al espesor del acuífero o altura de la zona saturada. La transmisibilidad, se determina mediante la siguiente ecuación;

$$T = PY$$

donde:

P = Permeabilidad

Y = Altura de la zona saturada

A.4 RENDIMIENTO ESPECIFICO: Es el porcentaje del volumen de agua que se puede drenar libremente del volumen total almacenado en el acuífero. Algunos materiales que comunmente forman los acuíferos tienen los rendimientos mostrados en la tabla No. 12 como sigue:

TABLA NO. 12 RENDIMIENTO ESPECIFICO

Material	Rendimiento (especifico %)
Arcilla	3
Arena	25
Grava	22
Grava y arena	16
Arenisca	8
Calisas densas y esquistos	2

A.5 INFILTRACION: Es el flujo de agua que va hacia el acuífero desde la superficie, la cual puede provenir desde un lago, presa, río, etc., y depende de la permeabilidad.

A.6 PERCOLACION: Es el flujo de agua que va hacia el acuífero en forma horizontal a través de las capas del subsuelo y su intensidad depende básicamente de la transmisibilidad y capilaridad.

A.7 CAPILARIDAD: Es la fuerza con que es atraída el agua en un tubo capilar. Para un acuífero se dice que a mayor capilaridad se tiene una mayor retención del agua, éste factor hace que el nivel del agua en un acuífero tenga ligeras variaciones en función de la capilaridad, la cual es a su vez función del tamaño de los intersticios, - dicho ésto en otras palabras, depende de la porosidad del acuífero. La altura alcanzada por la capilaridad, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{2 t_s}{\rho r}$$

donde:

H = Altura alcanzada por el agua

t_s = Tensión superficial

ρ = Densidad del agua

r = Radio del tubo capilar

Entonces para el agua:

$$H = \frac{0.15}{r}$$

A.8 VISCOSIDAD: Se dice a la cohesión entre las moléculas de un fluido, la viscosidad cinemática (μ) $\frac{\text{Kg seg}}{\text{m}^2}$ puede ser medida por un viscosímetro en centistokes, y que multiplicando a ésta por la densidad, Kg/m^3 , se obtiene la viscosidad absoluta (γ) o dinámica m^2/seg

$$\gamma = \mu / \rho = \mu \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La viscosidad cinemática del agua, a las temperaturas más comunes es la mostrada en la Tabla No. 13

TABLA NO. 13

Temperatura °C	Viscosidad Cinemática $= \frac{\text{Kg seg} \times 10^4}{\text{m}^2}$	Viscosidad Dinámica $= \frac{\text{m}^2 \times 10^{-6}}{\text{seg}}$	Peso Específico $= \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
4.44	1.575	1.545	1000.129
15.6	1.029	1.130	999.167
20.0	1.029	1.011	998.206
32.0	0.780	0.769	995.002
60.0	0.478	0.477	983.308
100.0	0.289	0.296	958.477

APENDICE "B"

B - 1 PERDIDAS DE FRICCION EN TUBERIA CED. 40 DE ACERO AL CARBON

TABLA No. 14

Diam. N6minal - 152.4 mm			
Diam. interior 154.051 mm			
L P S	Velocidad m/seg	Carga de Velocidad m	Fricci6n- m/100 m
21.97	1.186	0.073	0.851
25.11	1.354	0.095	1.09
28.25	1.524	0.119	1.36
31.39	1.692	0.146	1.66
37.66	2.030	0.210	2.34
40.80	2.198	0.247	2.72
43.94	2.369	0.287	3.13
47.08	2.537	0.329	3.59
50.22	2.707	0.375	4.03
53.36	2.875	0.424	4.50
56.50	3.046	0.473	5.05
59.64	3.216	0.527	5.61
62.77	3.384	0.585	6.17
69.05	3.720	0.707	7.41
Diam. N6minal 203.2 mm			
Diam. interior 202.717 mm			
31.39	0.979	0.049	0.424
37.66	1.174	0.070	0.597
40.80	1.268	0.082	0.694
43.94	1.639	0.095	0.797
47.08	1.463	0.110	0.911
50.22	1.564	0.125	1.020
53.36	1.662	0.140	1.130
56.50	1.759	0.159	1.270
59.64	1.860	0.177	1.420
62.77	1.954	0.195	1.560
69.05	2.149	0.235	1.870
75.33	2.348	0.280	2.200
82.00	2.546	0.329	2.560
88.32	2.738	0.381	2.950
94.63	2.933	0.439	3.370
100.93	3.140	0.500	3.820
107.24	3.323	0.564	4.290
113.55	3.506	0.673	4.790
119.86	3.820	0.704	5.310

B - 2 PERDIDAS DE FRICCIÓN HIDRAULICA EN METROS DE COLUMNA DE AGUA POR
CADA 100 METROS DE LONGITUD DE COLUMNA LUBRICADA POR ACEITE O
AGUA.

TABLA No. 15

Columna Diam. (mm)	Flecha Diam. (mm)	FLUJO (L P S)							
		25.11	28.25	31.39	34.53	37.66	40.8	43.94	47.08
152.4	19.05	2.0	2.5	3.0	3.6	4.2	4.8	5.5	6.2
	25.4	2.5	3.1	3.7	4.4	5.2	6.0	6.8	7.7
	30.16	3.3	4.1	4.9	5.8	6.8	7.8	9.0	10.1
	38.10-42.86	4.6	5.7	6.9	8.1	9.5	11.0		
	49.21	7.5	9.3	11.5					

Flujo (L P S)

		31.39	34.53	37.66	40.8	43.94	47.08	50.22	56.50
203.2	19.05				1.0	1.2	1.5	1.8	2.3
	25.4			1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.5
	30.16	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.7
	38.10-42.86	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	3.2
	49.21	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6	4.5
	55.56-61.91	2.2	2.6	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	6.4

NOTA: Los factores de pérdidas de fricción hidráulica, corresponden a las especificaciones de la AWWA-E101.

B - 3 PERDIDAS DE FRICCION EN (m) PARA CABEZALEZ DE DESCARGA DE Fo.

Fo.

TABLA No. 16

DIAM. DE DESCARGA (mm)	FLUJO EN LPS											
	3.15	4.73	6.31	7.89	9.46	11.04	12.62	15.77	18.93	22.08	25.23	28.39
50.8	0.08	0.18	0.30	0.52	0.73							
63.5	0.04	0.08	0.15	0.23	0.34	0.46	0.61	0.91				
76.2		0.04	0.08	0.12	0.17	0.23	0.30	0.46	0.67	0.91		
101.6				0.04	0.05	0.07	0.10	0.15	0.21	0.30	0.37	0.46
	FLUJO EN LPS											
	37.85	50.47	63.08	78.85	94.63	110.40	126.17	157.71	189.25	220.79	252.33	283.88
152.4	0.16	0.29	0.46	0.73	1.04							
203.2	0.05	0.09	0.14	0.23	0.34	0.46	0.61	0.91				
254.0			0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.37	0.52	0.73	0.91	
304.8					0.06	0.09	0.11	0.18	0.26	0.37	0.46	0.58

NOTA: Las pérdidas tabuladas, corresponden a cabezales de descarga de fierro fundido, sin esmaltar.

B - 4 PRESION DE SATURACION DEL VAPOR DE AGUA, A DIFERENTES TEM-
PERATURAS.

TABLA No. 17

T_s (°C)	P_s (Kg/cm ²)
1	0.006695
3	0.007724
5	0.008891
10	0.012513
15	0.017377
20	0.02383
25	0.03229
30	0.0458
35	0.05733
40	0.0752
45	0.09771
50	0.12578
55	0.1605
60	0.2031
65	0.255
70	0.3178
75	0.3931
80	0.4829
85	0.5895
90	0.7149
95	0.8619
100	1.0332

B - 5 TABLA DE SELECCION DE FLECHA DE LINEA Y FACTORES DE PERDIDA -
 POR FRICCION MECANICA EN FLECHA DE LINEA, EN HP POR CADA 100 m
 DE LONGITUD DE ACUERIO A LAS NORMAS ASA - 58.1 Y AWKA - 101.

TABLA No. 18

DIAMETRO DE FLECHA (mm)	PESO DE FLECHA Kgs/m	CARGA AXIAL MAXIMA KGS	POTENCIA MAXIMA (HP) PERDIDAS DE POTENCIA EN HP/m								
			3500	1760	1175	875	700	585	500	440	390
19.05	2.29	1016	38.6	19.4	13.0	9.7					
			2.00	1.02	0.66	0.49					
25.40	4.12	1724	114	57.5	38.4	28.6	22.8				
			3.51	1.77	1.18	0.99	0.72				
30.16	5.83	2540	179.0	90.0	60.0	44.8	35.8	30.0			
			4.59	2.29	1.54	1.15	0.92	0.75			
38.10	9.24	3991	370.0	186.0	124.0	92.5	74.0	61.8	57.9		
			7.61	3.84	2.56	1.90	1.51	1.28	1.08		
42.86	11.75	5215	567.0	280.0	187.0	139.0	111.0	92.0	79.5	70.0	
			9.25	4.66	3.12	2.33	1.87	1.54	1.34	1.18	
49.21	15.62	7029		440.0	294.0	219.0	175.0	146.0	125.0	110.0	97.5
				6.00	4.00	2.98	2.39	2.00	1.71	1.51	1.31
55.56	20.08	9070		650.0	434.0	324.0	259.0	216.0	185.0	163.0	144.0
				7.54	5.05	3.74	3.02	2.49	2.13	1.90	1.67
61.91	25.14	11338		792	529	394	315	263	225	198	175
				9.48	6.33	4.72	3.77	3.15	2.69	2.36	2.10
68.26	36.49	13605		1035.0	691.0	514.0	412.0	346.0	294.0	259.0	229.0
				10.63	7.31	5.44	4.36	3.64	3.12	2.76	2.43
74.61	36.44	16553			915.0	683.0	546.0	456.0	390.0	345.0	304.0
					8.72	6.49	5.18	4.33	3.71	3.25	2.89
80.96	42.84	19501			1190.0	884.0	707.0	591.0	505.0	449.0	394.0
					10.56	7.87	6.30	5.75	4.50	3.97	3.51

NOTA: La capacidad de Transmisión especificada en la Tabla es para acero al-carbón rolando en frío.

AISI-C-1045. Para situaciones no contempladas en esta Tabla, se puede

calcular la potencia en base a la siguiente fórmula:

$$P = \frac{N D^3}{369770} \sqrt{S^2 - \left(\frac{2F}{\pi D^2}\right)^2}$$

DONDE:

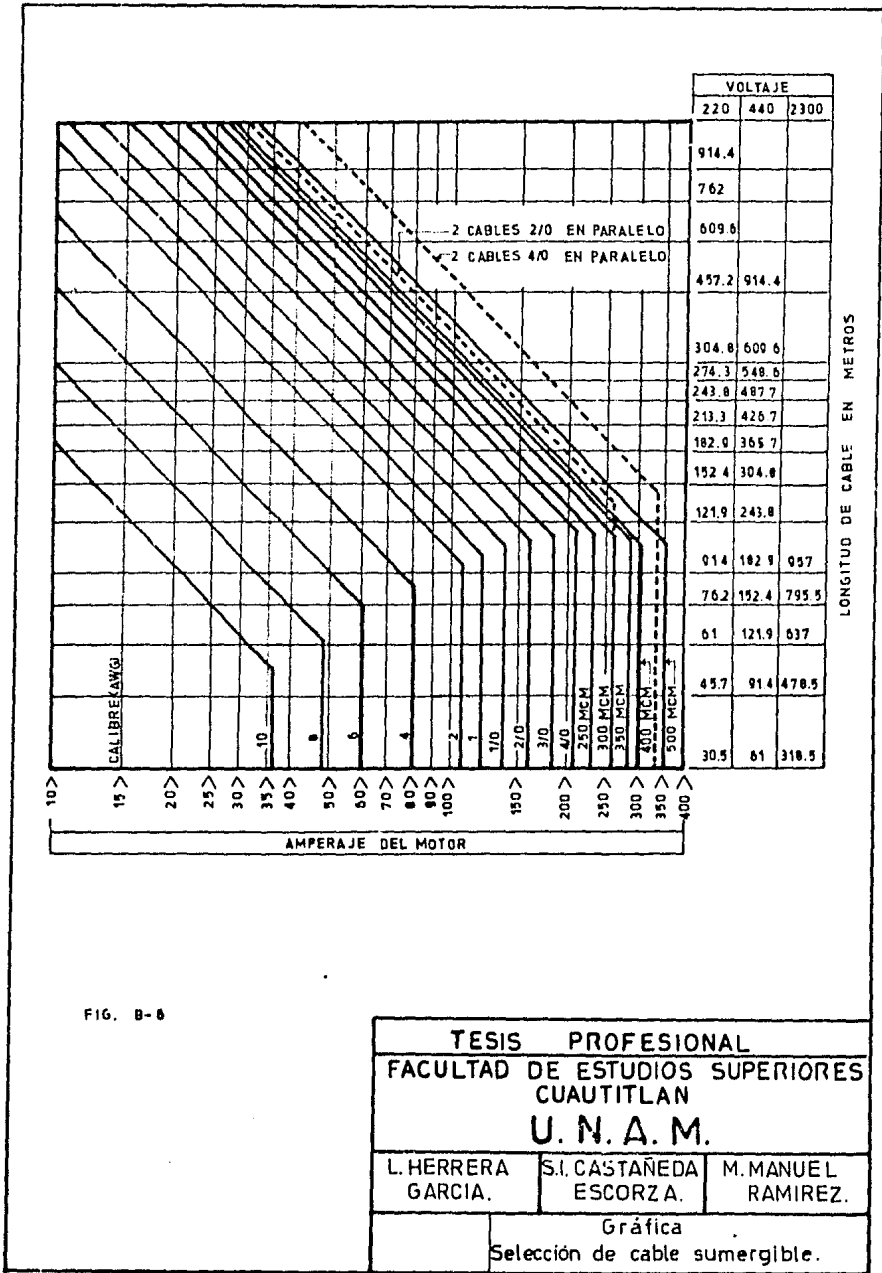
P = Potencia máxima permitida en HP

N = Velocidad de operación en RPM

D = Diámetro de la flecha, medida en la raíz de la rosca (cm).

S = Esfuerzo combinado cortante permisible, el cual no debe exceder al 18% del límite elástico ni el 30% del esfuerzo de ruptura a la tensión. Para el acero AISI - 1045 se tiene 703 Kg/cm².

F = Empuje axial (Kg)



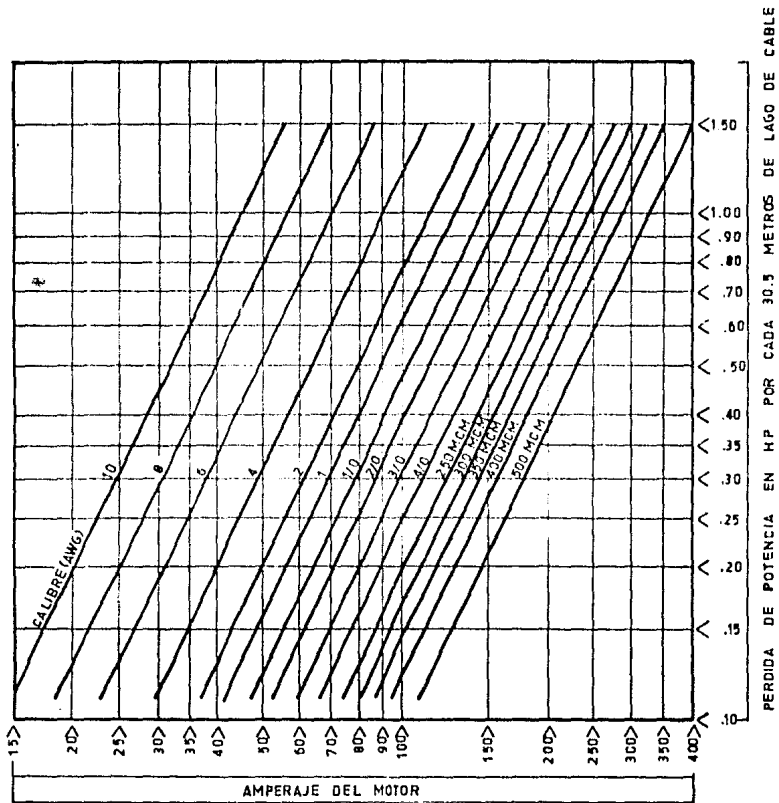
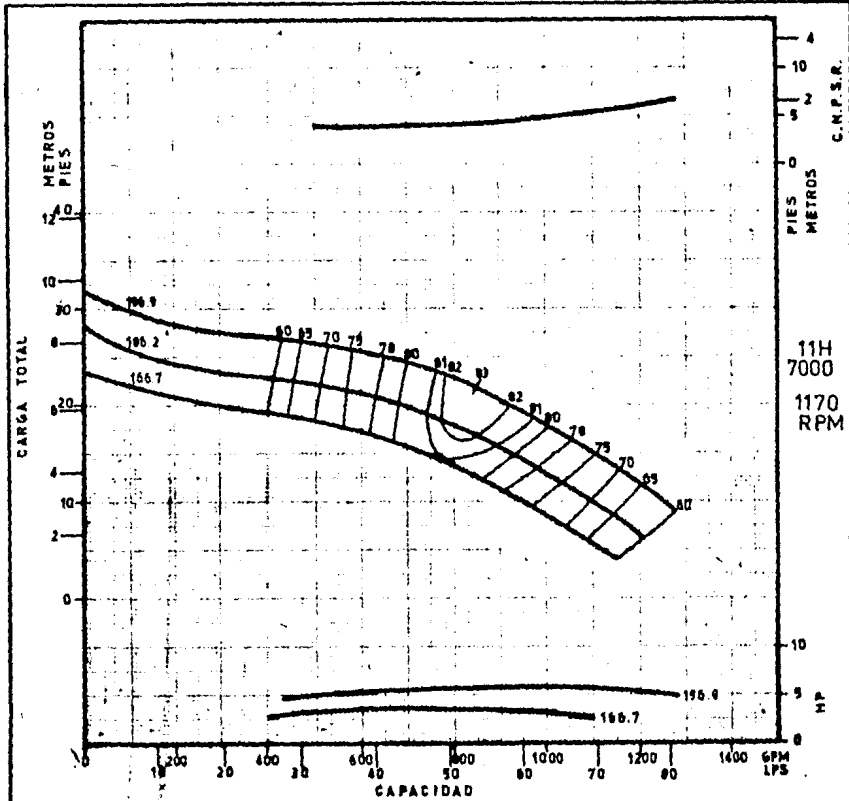


FIG. B-7

TESIS PROFESIONAL		
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES		
CUAUTITLAN		
U. N. A. M.		
L.HERRERA GARCIA.	S.I.CASTAÑEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
Gráfica Perdidas en cables.		



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	10
Diámetro flecha de la bomba	36.91 mm.
Paso máximo de esfera	22.35 mm.
Mt (factor carga hid. axial)	22.316 Kg/m
W _r (peso rotor por paso)	14.886 Kg
W _m (por paso)	0.08 Kg/m ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	2.1082 cm.
Area del ojo del impulsor	14.925 cm ²

NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.975
2	0.995
3	0.995
4 ó más	1.000

MATERIALES	
Tazón	Hierro fundido
Impulsor	Bronce

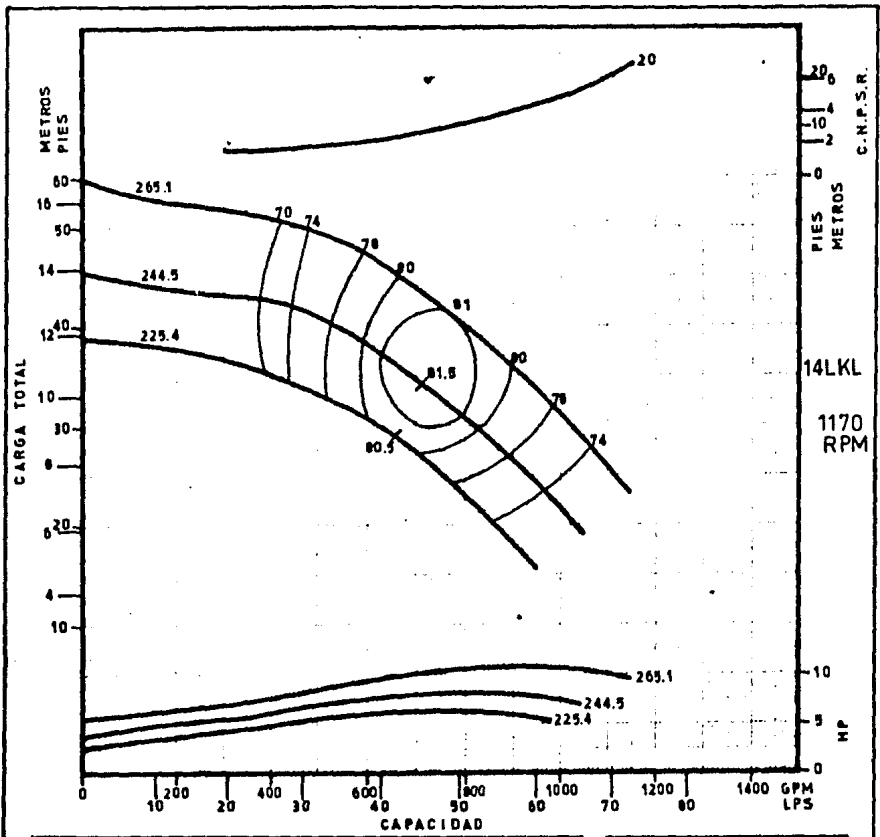
TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L. HERRERA GARCIA.	S. I. CASTAÑEDA ESCORZA.	M. MANUEL RAMIREZ.
-----------------------	-----------------------------	-----------------------

Curva de rendimiento.

FIG. B-8

TESIS CON FALLAS DE ORIGEN



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de Pasos	23
Díametro flecha de la bomba	49.21 mm.
Paso máximo de esfera	17.46 mm.
Kt (factor carga híd. axial)	18.6 Kg/m
Wet (peso rotor por paso)	14.51 Kg
Wp ² (por paso)	0.123 Kg m ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	2.2225 cm.
Area del ojo del impulsor	128.459 cm ²

NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.96
2	0.99
3 ó más	1.00

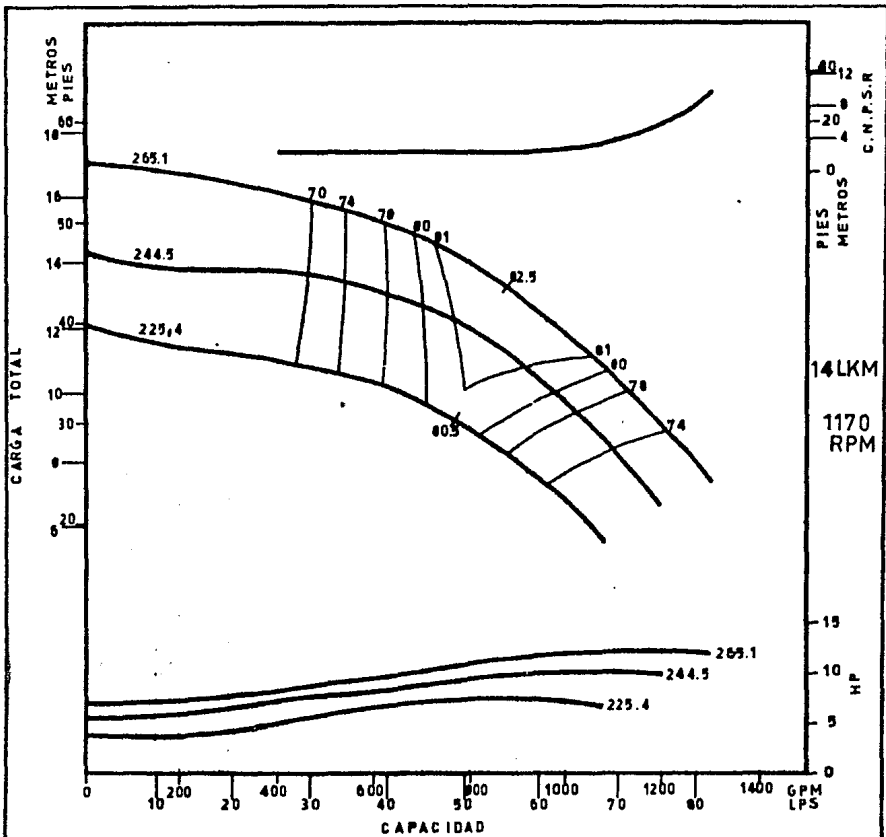
MATERIALES	
Tazón	Hierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L.HERRERA GARCIA.	S.I.CASTAÑEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
----------------------	---------------------------	----------------------

FIG. B-9

Curva de rendimiento



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	23
Diámetro flecha de la bomba	49.21 mm.
Paso máximo de esfera	19.05 mm.
Kt (factor carga hid. axial)	18.6 Kg/m
W _r (peso rotor por paso)	14.51 Kg
WR ² (por paso)	0.117 Kg ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	2.2225 cm.
Area del ojo del impulsor	181.3 cm ²

NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.98
2	0.99
3 ó más	1.00

MATERIALES	
Tazón	Hierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

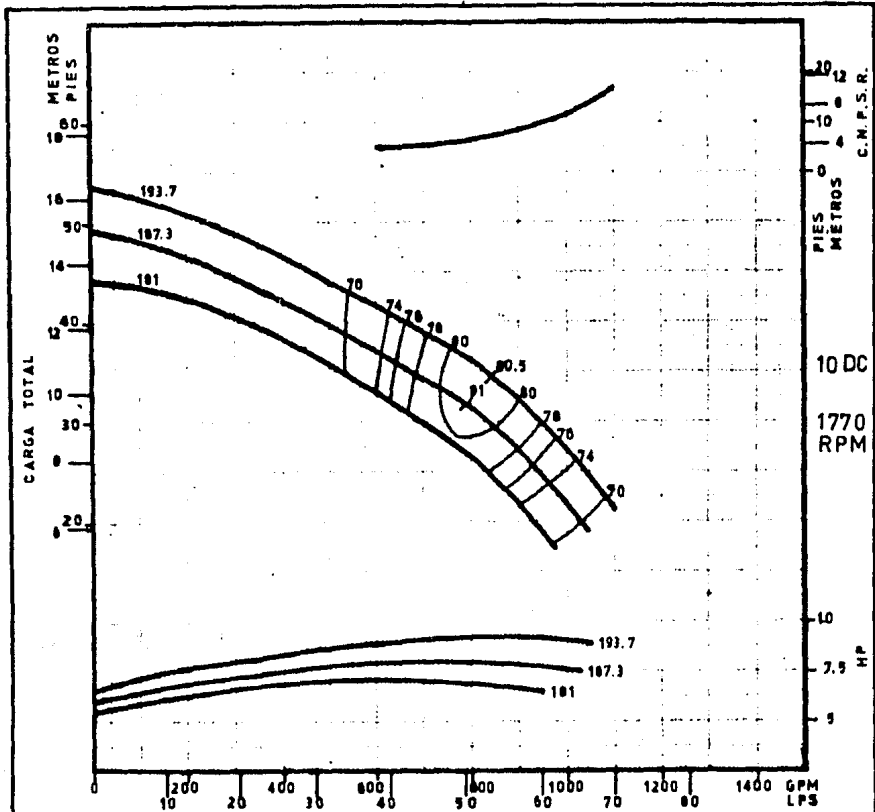
L. HERRERA
GARCIA

S. I. CASTAÑEDA
ESCORZA

M. MANUEL
RAMIREZ

Curva de rendimiento

FIG. B-10



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	22
Diámetro flecha de la bomba	30.1 mm.
Paso máximo de esfera	22.23 mm.
Kt (factor carga híd. axial)	12.047 Km/m
W _r (peso rotor por paso)	16.51 Kg
WR ² (por paso)	0.023 Kg ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	1.27 cm
Area del opo del impulsor	116.78 cm ²

NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.95
2	0.98
3 ó más	1.00

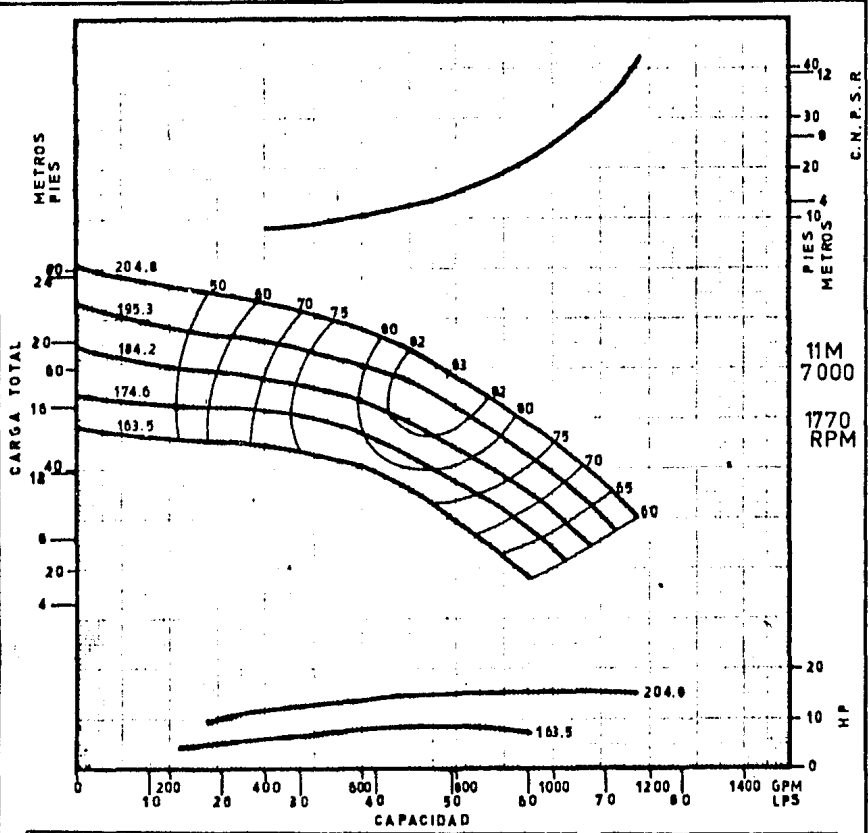
MATERIALES	
Taxón	Fierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L.HERRERA GARCIA.	SI. CASTAÑEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
-------------------	------------------------	-------------------

Curva de rendimiento.

FIG. B-11



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	14
Diámetro flecha de la bomba	38.1 mm.
Paso máximo de esfera	20.97 mm.
Kt (factor carga hid. axial)	13.33 Kg/m
W _r (peso rotor por paso)	9.88 Kg
W _r ² (por paso)	0.043 Kgm ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	1.7018 cm
Area del ojo del impulsor	99.877 cm ²

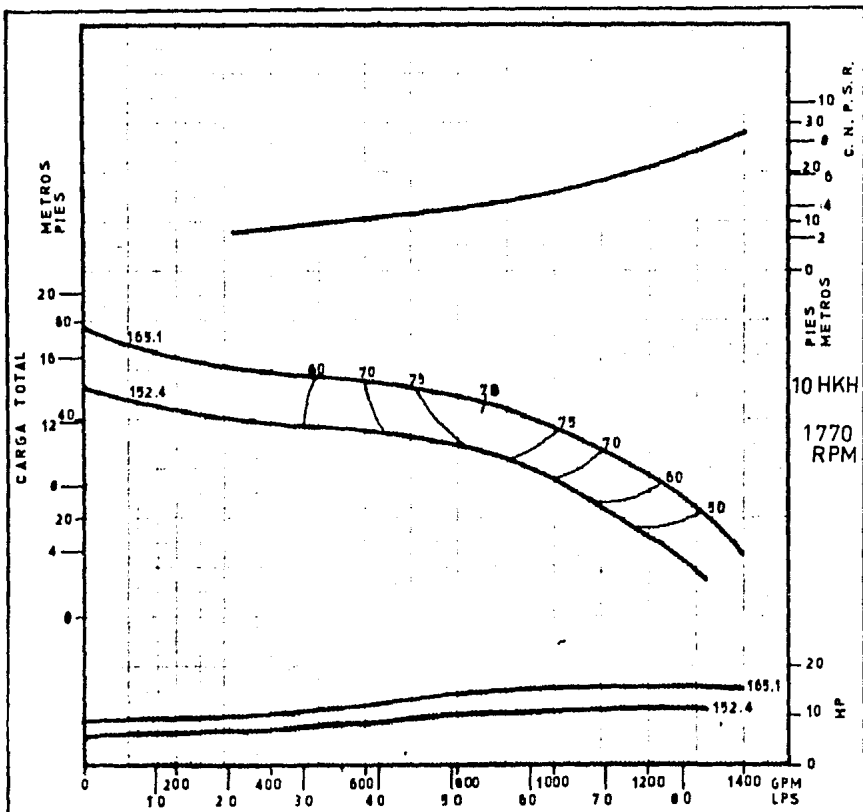
NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.975
2	0.985
3	0.995
4 ó más	1.000

MATERIALES	
Tazon	Fierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L.HERRERA GARCIA.	S.I.CASTANEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
Curva de rendimiento		

FIG. 8-12



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	21
Diámetro flecha de la bomba	30.1 mm.
Paso máximo de esfera	22.23 mm.
Kt (factor carga hid. axial)	12.94 Kg/m
W _{er} (peso rotor por paso)	11.34 Kg
WR ² (por paso)	0.023 Kgm ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	2.2225 cm
Area del ojo del impulsor	100.0 cm ²

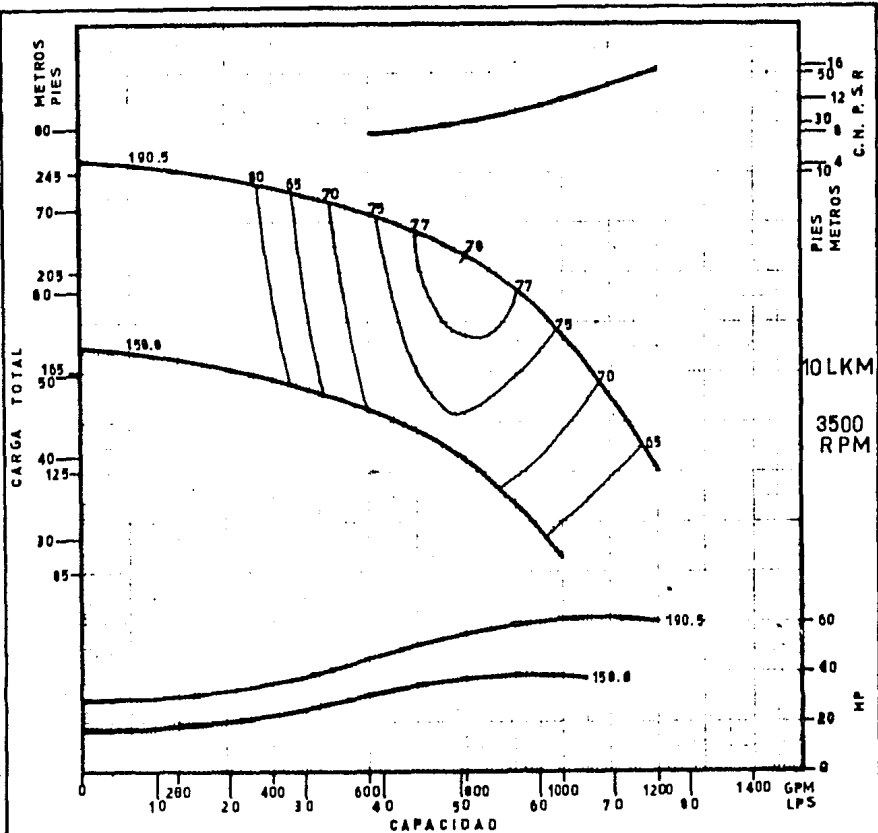
NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.97
2	0.99
3 ó más	1.00

MATERIALES	
Tazon	Hierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L.HERRERA GARCIA.	SI.CASTAÑEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
Curva de rendimiento.		

FIG. B-13



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	5
Diámetro flecha de la bomba	38.1 mm.
Paso máximo de esfera	12.7 mm.
Kt (factor carga hid. axial)	7.74 Kg/m
W _r (peso rotor por paso)	8.82 Kg
WR ² (por paso)	0.028 Kgm ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	1.27 cm
Area del ojo del impulsor	65.185 cm ²

NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.98
2	0.98
3 ó más	1.00

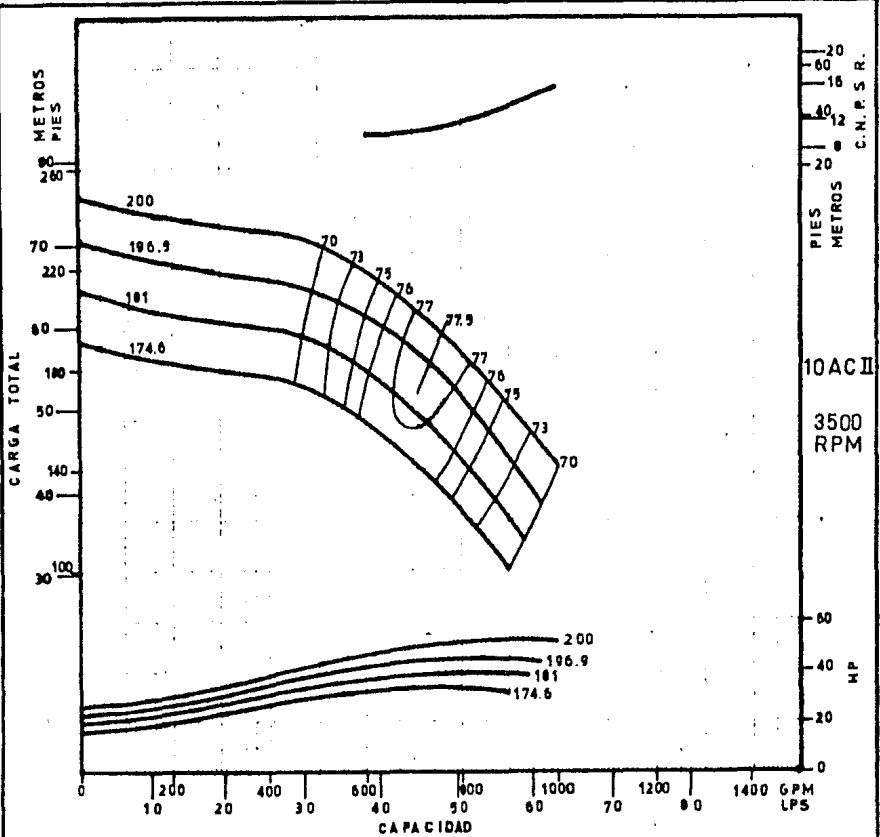
MATERIALES	
Tazón	Fierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L.HERRERA GARCIA	S.I.CASTANEDA ESCORZA	M.MANUEL RAMIREZ
---------------------	--------------------------	---------------------

Curva de rendimiento.

FIG. B-14



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	4
Diámetro flecha de la bomba	38.1 mm.
Paso máximo de esfera	12.7 mm.
Kt (factor carga hid. axial)	10.26 Kg/m
W _r (peso rotor por paso)	8.16 Kg
WR ² (por paso)	0.023 Kg ^m ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	2.2225 cm
Area del ojo del impulsor	65.165 cm ²

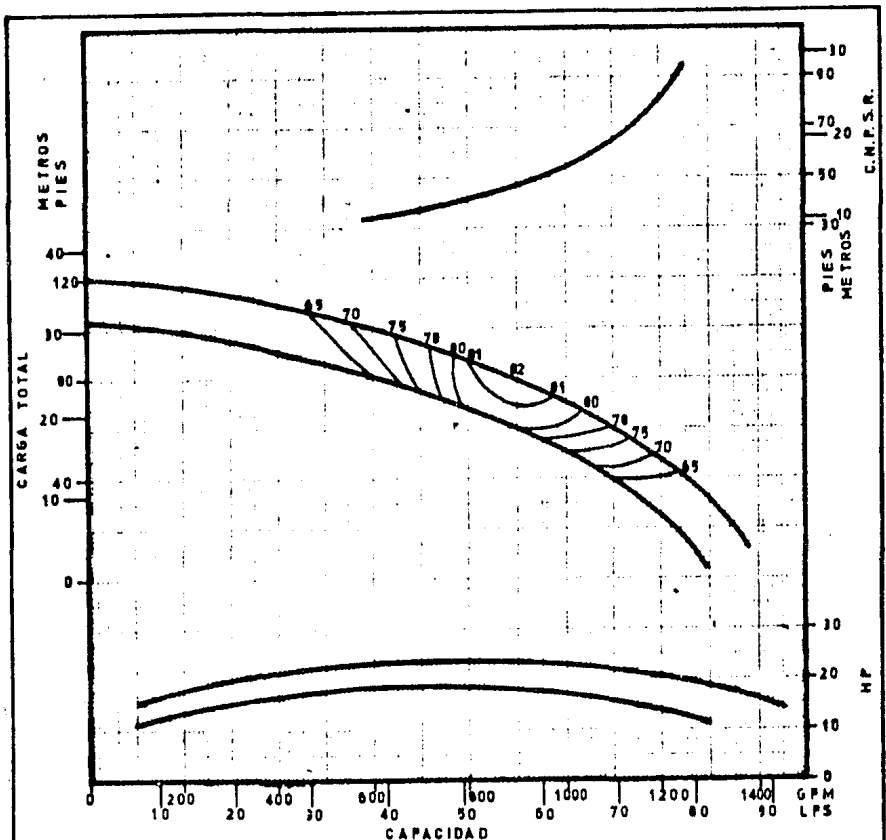
NUMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.95
2	0.98
3 o más	1.00

MATERIALES	
Tazon	Fierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M.

L.HERRERA GARCIA.	SI. CASTANEDA ESCORZA.	M.MANUEL RAMIREZ.
Curva de rendimiento		

FIG. B-15



DATOS TECNICOS	VALOR
Número máximo de pasos	5
Diámetro flecha de la bomba	20.1 mm.
Paso máximo de esfera	18.05 mm.
Kt (factor carga hid. axial)	10.56 Kg/m
Wer (peso rotor por paso)	6.07 Kg
WR ² (por paso)	0.024 Kg·m ² /paso
Alargamiento de la flecha permitido	2.2225 cm
Área del ojo del impulsor	116.781 cm ²

NÚMERO DE PASOS	CAMBIO DE EFICIENCIA, POR
1	0.89
2	0.86
3	0.97
4	0.86
Sómas	1.00

MATERIALES	
Tazon	Hierro fundido
Impulsor	Bronce

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
U. N. A. M

L.HERRERA GARCIA	S.I.CASTAÑEDA ESCORZA	M.MANUEL RAMIREZ
---------------------	--------------------------	---------------------

Curva de rendimiento.

FIG. B-16

BIBLIOGRAFIA

Agua subterránea. Curso intensivo No. 15.

Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Estudios Superiores, Sección de Ingeniería - Sanitaria. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Oficina Sanitaria Panamericana.

1968.

Bombas.

Fuchslocher-Schulz. Ed. Labor S.A. 1964.

Bombas Centrífugas. Selección, Operación y Mantenimiento.

Igor J. Karassik-Roy Carter. Cia. Ed. Continental S.
A. Méx. 1980.

Bombas. Su selección y Aplicación.

Tyler G. Hicks. Ed. C.E.C. S.A. 1981.

Catálogo de Bombas.

Fairbanks Morse. 1982.

Catálogo de Bombas.

Flow Way. 1975.

Catálogo de Bombas.

Ocelco. 1983.

Hidrología para Ingenieros.

Ray K. Linsley J.R., Max A. Kohler, Joseph L.H. Paulus.

Ed. Limusa. 1983.

Ingeniería Económica.

George A. Taylor. Ed. Limusa. 1983

Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.

Claudio Mataix. Ed. Harla. 1970.

American Standar for vertical turbine pumps

Published by American Water works Association, INC.

1961 Edition.