



T
621.67
MIN

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**"Mejoramiento de Sistema Actual de Bombeo y Rebombeo de
Camaronera Mediante una Estación Tipo Cajón Sumergido"**

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:



INGENIERA MECÁNICA

Presentada por:

Tanya Marcela Minchala Aguirre

GUAYAQUIL – ECUADOR



Año 2002

AGRADECIMIENTO



A las personas que han colaborado en la realización de este trabajo, al CIMEG por el impulso y ayuda brindados, y especialmente al Ing. Fabricio Correa por su valiosa aportación y apoyo en todo este proceso.

DEDICATORIA

A mis hermanos que siempre me han acompañado en los momentos más importantes de la vida.

A mi Padre, cuyos propios logros siempre serán un ejemplo a seguir.

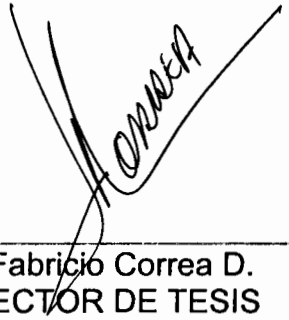
Y, principalmente a mi Madre, por todo el esfuerzo, amor, y confianza que siempre ha puesto en mí, los cuales no habían podido ver frutos hasta el día de hoy.



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Rivadenerira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Fabricio Correa D.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL



Ing. Jorge Duque R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Reglamento de Graduación de la ESPOL)





Marcela Minchala Aguirre

RESUMEN

El presente trabajo se inició con el problema planteado por una camaronera que tenía una estación para bombeo y otra para rebombeo del agua de sus piscinas, de las cuales la primera se encontraba en situación bastante precaria lo que hacía inminente su reconstrucción o reemplazo. Los equipos que utilizaban estas estaciones eran bombas centrífugas impulsadas por motores de combustión interna.

Este trabajo profesional fue contratado con la empresa en la que presto servicios y asignado a mí para realizarlo bajo la Supervisión del Ing. Fabricio Correa. Luego del análisis de la situación presentada, se propuso la solución de construir una sola estación de bombeo que preste el mismo servicio de las dos anteriores.

La mejor alternativa para este tipo de casos sería emplear bombas de tipo axial que son más eficientes y ocasionan menos pérdidas en la misma situación operativa que una bomba centrífuga. Sin embargo, el hecho de ya poseer bombas de tipo centrífugo llevó a plantear una solución que permita la

lograr las mismas ventajas operativas de la bomba axial en cuanto a la disminución de pérdidas hidráulicas, por la eliminación de accesorios tales como la válvula check. Esta solución es la estación de bombeo de tipo "cajón sumergido".


Una vez determinado el tipo de estación a utilizar se hizo una revisión de los equipos y accesorios disponibles y se seleccionaron los que se necesitaban adicionalmente.

Finalmente, conociendo las dimensiones finales de los equipos se realizó el diseño final de la estación, incluyendo elementos complementarios que determinaron su funcionalidad.

La estación planteada como solución se construyó y se encuentra al momento operativa.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
INDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	VII
NOMENCLATURA.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
	
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problemática Inicial.....	1
1.1.1. Condiciones y extensión del área de influencia.....	1
1.1.2. Requerimientos planteados y objetivo del trabajo.....	8
1.2. Fundamentos Teóricos.....	9
1.2.1. Sistemas de Bombeo.....	9
1.2.1.1. Conceptos preliminares del Flujo de Fluidos...9	
1.2.1.2. Pérdidas Hidráulicas.....	17
1.2.1.3. Potencia de una bomba.....	20
1.2.1.4. Eficiencia.....	23

1.2.1.5.	Principales tipos de bombas.....	26
1.2.1.6.	Curvas Características.....	27
1.2.2.	Motores.....	37
1.2.3.	Accesorios para transmisión de potencia.....	41
1.2.3.1.	Reductores de velocidad.....	41
1.2.3.2.	Poleas y Bandas.....	42
1.2.4.	Criterios para dimensionamiento de estaciones de bombeo.....	47
1.2.5.	Tipos de Estaciones de Bombeo.....	61
1.2.6.	Particularidades de los tipos de bombeo usados en camaroneras.....	66

CAPÍTULO 2

2.	DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO Y ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS.....	69
2.1.	Análisis de la Situación Actual y Solución Propuesta.....	69
2.1.1.	Estación de bombeo actual.....	69
2.1.2.	Estación de rebombeo.....	72
2.1.3.	Solución Propuesta.....	74
2.2.	Datos Preliminares.....	75
2.2.1.	Selección de la ubicación.....	75
2.2.2.	Selección del tipo de estación y su localización.....	76
2.2.3.	Determinación de cotas de trabajo.....	77

2.3.	Selección de Equipos.....	82
2.3.1.	Capacidad de bombeo requerida.....	82
2.3.2.	Cálculo de Pérdidas Hidráulicas.....	85
2.3.3.	Selección de motores.....	92
2.3.4.	Selección de accesorios de transmisión.....	94
2.4.	Diseño de Estación de Bombeo.....	97
2.4.1.	Disposición de los equipos.....	97
2.4.2.	Dimensionamiento de la estación.....	98
2.4.3.	Determinación de elementos complementarios.....	104
2.4.4.	Diseño final de la estación de bombeo.....	106

CAPÍTULO 3

3.	ANÁLISIS DE OPCIONES Y RESULTADOS.....	107
3.1.	Condiciones y costos de operación de la alternativa planteada.....	107
3.2.	Análisis costo-beneficio de la inversión propuesta vs alternativas convencionales.....	108

CAPÍTULO 4

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
----	-------------------------------------	-----

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1	Capacidades teóricas de los equipos actuales de la estación de bombeo.....	71
Tabla 2	Capacidades de los equipos actuales de la estación de bombeo.....	72
Tabla 3	Capacidades teóricas de los equipos actuales de la estación de rebombeo.....	73
Tabla 4	Capacidades de los equipos actuales de la estación de rebombeo.....	74
Tabla 5	Pérdidas hidráulicas en tuberías y accesorios.....	87
Tabla 6	Condiciones de operación de la alternativa propuesta.....	107
Tabla 7	Condiciones de operación con una estación del tipo convencional.....	112
Tabla 8	Elementos diferenciales de las estaciones y sus costos.....	114
Tabla 9	Condiciones de operación con la estación de bombeo para la opción 2.....	115
Tabla 10	Condiciones de operación con la estación de rebombeo para la opción 2.....	115
Tabla 11	Elementos diferenciales de las estaciones y sus costos.....	117



ÍNDICE DE GRÁFICOS

		Pag.
Gráfico 1	Meandro.....	4
Gráfico 2	Esquema de la implantación del terreno en referencia.....	6
Gráfico 3	Foto aérea de la camaronera.....	7
Gráfico 4	Flujo a través de un conducto.....	10
Gráfico 5	Deducción del Teorema de Bernoulli.....	12
Gráfico 6	Flujo a la entrada de un conducto.....	15
Gráfico 7	Perfiles de velocidades en flujos laminares y turbulentos.....	17
Gráfico 8	Representación de la rugosidad en el conducto.....	19
Gráfico 9	Esquema de un Sistema de Bombeo.....	22
Gráfico 10	Esquematzación del balance energético de una máquina operadora.....	22
Gráfico 11	Clasificación de las bombas.....	28
Gráfico 12	Dirección del flujo en los distintos tipos de bombas.....	31
Gráfico 13	Clasificación de las bombas en función de la velocidad.....	31
Gráfico 14	Curva característica de una bomba centrífuga.....	33
Gráfico 15	Eficiencia vs velocidad específica y tamaño de las bombas.....	36
Gráfico 16	Fases del ciclo de un motor de 4 tiempos.....	39
Gráfico 17	Curvas características de un motor.....	40
Gráfico 18	Principales dimensiones de las poleas.....	43
Gráfico 19	Factores de servicio según la aplicación.....	45
Gráfico 20	Medidas estándares de poleas.....	46
Gráfico 21	Cálculo del NPSH para distintas disposiciones.....	51
Gráfico 22	Dimensiones recomendadas para el diseño de la succión.- Cárcamos individuales o múltiples.....	55
Gráfico 23	Dimensiones recomendadas para el diseño de la succión .- Sin cárcamos.....	56
Gráfico 24	Dimensiones recomendadas para el diseño de la succión.- Sin cárcamos.....	57
Gráfico 25	Estructuras de hormigón para la descarga.....	60
Gráfico 26	Estación de bombeo del tipo convencional para bombas a- xiales.....	62
Gráfico 27	Estación de bombeo del tipo convencional para bombas axiales.....	62

	Pag.
Gráfico 28	Estación de bombeo del tipo convencional para bombas centrífugas.....63
Gráfico 29	Estación de bombeo del tipo convencional para bombas centrífugas.....63
Gráfico 30	Estación con cárcamo de succión.....64
Gráfico 31	Estación de bombeo con cárcamo de succión.....64
Gráfico 32	Estación tipo cajón sumergido.....65
Gráfico 33	Estación de bombeo tipo cajón sumergido.....66
Gráfico 34	Esquema de la estación de bombeo actual.....70
Gráfico 35	Vista de los equipos de la estación de bombeo actual.....70
Gráfico 36	Esquema de la estación de rebombeo actual.....72
Gráfico 37	Vista de los equipos de la estación de rebombeo actual.....73
Gráfico 38	Esquema explicativo del "bufonamiento".....77
Gráfico 39	Efecto del terreno sobre la estación de bombeo.....79
Gráfico 40	Curvas características de las bombas hidrostal de 28".....84
Gráfico 41	Curvas características del Motor Caterpillar 3406 BT.....90
Gráfico 42	Dimensiones principales del motor Caterpillar 3406BT.....99
Gráfico 43	Dimensiones principales de la bomba KDZH.....99
Gráfico 44	Esquema preliminar de la estación de bombeo, vista lateral..101
Gráfico 45	Esquema preliminar de la estación de bombeo, vista en planta.....102

NOMENCLATURA

Has.	Hectáreas
A	Area
V	Velocidad
Q	Caudal
ρ	densidad
g	aceleración de la gravedad
z	elevación
p	presión
Re	Número de Reynolds
μ	viscosidad cinemática
E	energía total
D	diámetro
Ht	Pérdidas de presión
l	longitud
f	factor de rozamiento
e/D	Rugosidad relativa
H _m	Pérdidas menores
Le	longitud equivalente
H	altura o columna total
Σh_f	sumatoria de pérdidas de carga
H _m	altura manométrica
γ	peso específico
P	potencia
KW	Kilovatios
HP	Caballos de poder
WHP	Caballaje hidráulico
η_h	rendimiento hidráulico
η_m	rendimiento mecánico
η_v	rendimiento volumétrico
η	rendimiento global
Ns	velocidad específica
rpm	revoluciones por minuto
gpm	galones por minuto
n	velocidad de rotación
PMS	Punto muerto superior

PMI	Punto muerto inferior
CV	Caballos de vapor
r	ratio de velocidad
dp	diámetro de paso de la polea pequeña
Dp	diámetro de paso de la polea grande
C	distancia entre centros
Lpth	longitud de banda
npsH	columna neta de succión positiva
ϕ	diámetro de la bomba



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata del “Mejoramiento de un sistema actual de bombeo y rebombeo de camaronera mediante una estación tipo cajón sumergido”, enfocado en buscar la mejor opción para resolver el problema actual de una camaronera cuya estación de bombeo necesita ser reemplazada urgentemente.

Se propone la opción de utilizar una sola estación de tipo cajón sumergido determinando colocarla en una ubicación donde ya previamente colapsó una estación anterior debido a las condiciones del terreno, pero que es a su vez la que asegura la mejor combinación costo-beneficio. Se procede a sustentar la factibilidad del proyecto dando soluciones a los problemas que origina la ubicación seleccionada.

Una vez realizado el diseño de la nueva estación, se compara ésta -tanto desde el punto de vista de inversión, como de operación- con otras alternativas que pudieron haberse considerado, comprobándose que es la mejor alternativa disponible y que sus beneficios se harán evidentes en un corto plazo.

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1. PROBLEMÁTICA INICIAL

1.1.1. Condiciones y extensión del área de influencia

El área de influencia total de la camaronera es de 250 has de piscinas, de las cuales, 100 se encuentran en “tierras bajas” y 150 en “tierras altas”.

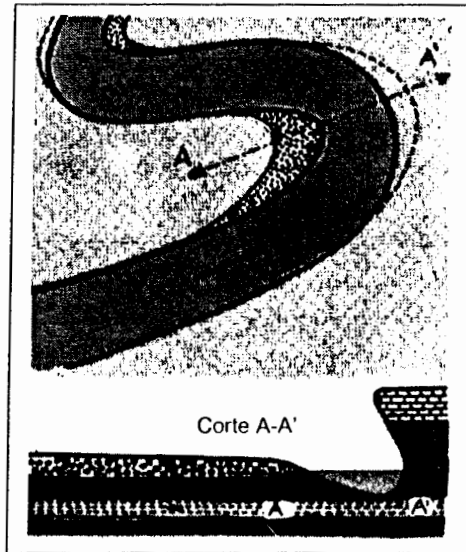
Esta camaronera está ubicada en la Parroquia Chongón, y toma agua del estero del mismo nombre, que a su vez –como en toda la costa ecuatoriana- es la desembocadura de un río de invierno, el Chongón, que hoy funge además y principalmente de desfogadero de la Represa del mismo nombre, lo cual lo hace tremendamente caudaloso y peligroso durante la época lluviosa, particularmente cuando se da el evento de El Niño.

Pero aún antes de que existiera la Presa Chongón, y sus desfuegos de fondo y rebose, el Río Chongón igual descargaba intensamente el agua cuando llovía en su gran cuenca. La incidencia de estas correntadas sobre el terreno causó la formación de un "meandro" de casi 180° que, a pesar de no ser lo hidráulicamente apropiado, se eligió originalmente para ubicar la estación de bombeo dado que su penetrante "asa" llegaba prácticamente hasta las tierras altas, permitiendo llevar agua a las piscinas concebidas en ellas sin necesidad de rebombeo ni un extenso canal conductor-reservorio.

Los meandros son frecuentes en los ríos y esteros de nuestro Litoral, pues sus suelos sedimentarios o sueltos dan lugar a que en toda curva la disminución de la velocidad en la margen interna provoque una sedimentación, que va originando la formación de playas superpuestas. Esto a su vez aumenta la velocidad en la margen externa lo que provoca una erosión que lleva a que el asa meándrica se extienda cada vez más, al mismo tiempo que disminuye su radio de curvatura. (Ver gráfico 1). Por eso no es recomendable ubicar una Estación de Bombeo en ninguna de sus márgenes, máxime cuando en el sitio elegido desembocaba un Esterito colector también, aunque pequeño, de lluvias, que agravaba las ya grandes

dificultades constructivas y peligros operativos.

GRÁFICO 1. MEANDRO



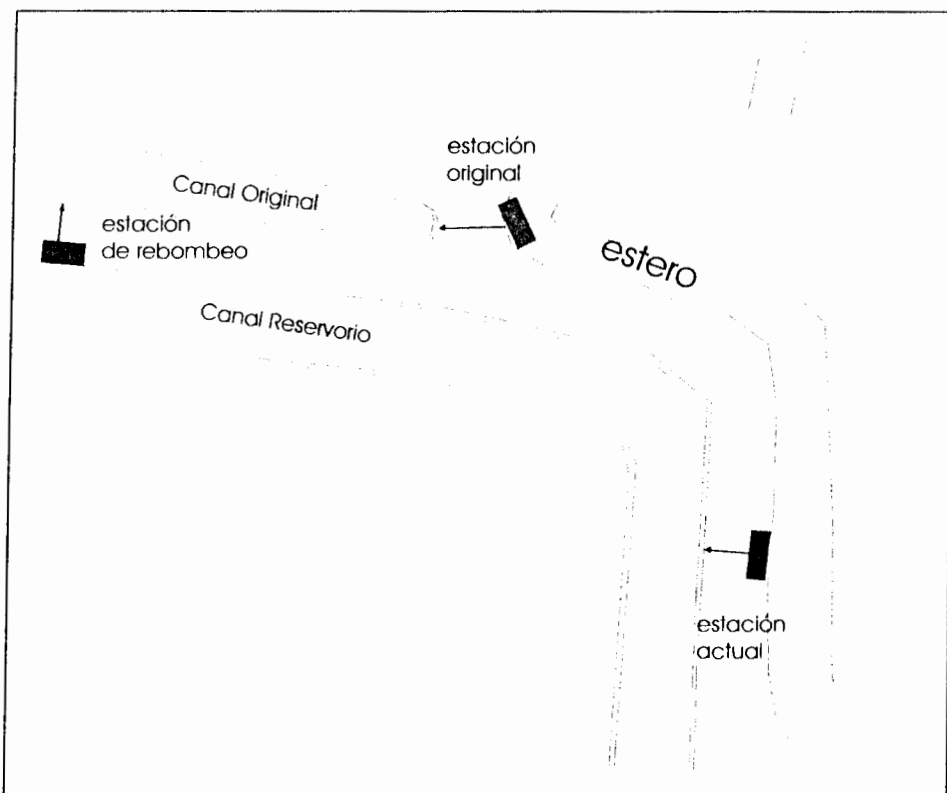
A pesar de todo, se construyó una única estación de bombeo, ubicada en la parte externa del meandro. Generalmente, se suele construir una estación de bombeo para las tierras bajas y otra de rebombeo para las tierras altas -que suelen ser un porcentaje bajo del total del área de influencia- para optimizar el uso de equipos, ya que si se usara una sola estación todos ellos deberían descargar a una cota superior, cuando solo una pequeña parte del terreno así lo requiere. En este caso se justificaba utilizar una sola estación de bombeo ya que el porcentaje de tierras altas (150 has) es elevado y resultaba más económico construir y operar una sola estación, lo que terminó de inclinar la balanza a favor de asumir el riesgo de construirla

en el asa meándrica.

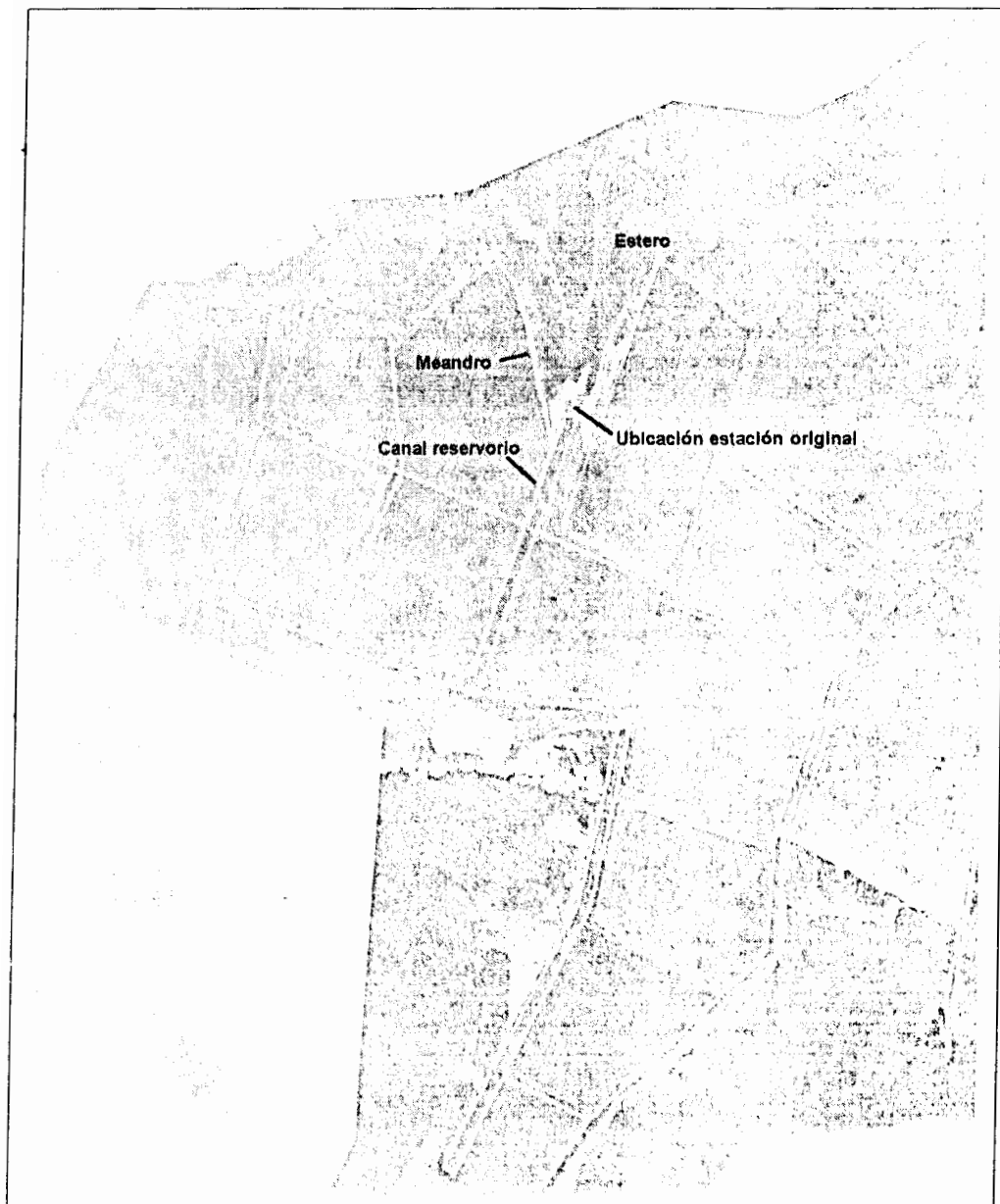
La estación elegida fue el clásico tipo de estación sobre pilotes para bombas axiales. Su descarga fue construida sobre el pequeño estero que, por su parte, fue rellenado, aunque constituía una pobre sub-base para el canal de descarga y su inmensa presión. Todos estos efectos unidos a la formación de vórtices alrededor de los pilotes por acción de la corriente ocasionaron finalmente que la estación se derrumbara por completo.

Por tal razón, los propietarios tuvieron que echar mano del plan "B" y erigir una nueva estación de bombeo para servir a las zonas bajas en la parte recta contigua al meandro (la cual no sufre alteración en su forma por injerencia de la corriente) y construir una estación de rebombeo para servir a las zonas altas, con el consiguiente rediseño de la camaronera. Ambas estaciones fueron de tipo plataforma en tierra firme para bombas centrífugas y tuberías de succión y descarga soportadas por vigas apoyadas en pilaretes que, a su vez, descansan en riostras fundidas en el fondo.

GRÁFICO 2. ESQUEMA DE LA IMPLANTACIÓN DEL TERRENO EN REFERENCIA



Esta nueva estación de bombeo se vio afectada por el Fenómeno del Niño en el año 1998, ya que por efecto de la Presa Chongón, la afluencia de todos los Ríos se canalizó por una sola vía, aumentando sus desfuegos aún más la energía del flujo de agua del Río Chongón, lo que originó la formación de vórtices más intensos en sus apoyos, socavándolos. Mas, lo que hizo colapsar la estación (lo anterior sólo afectaba a las tuberías de succión) se dio cuando se elevó el muro del canal reservorio ubicado frente a ella para aumentar su capacidad y

GRÁFICO 3. FOTO AÉREA DE LA CAMARONERA

consecuentemente el tiempo de permanencia del agua y así favorecer la sedimentación de contaminantes, como medida para prevenir la Mancha Blanca, epidemia que venía devastando la producción camaronera. El incremento

resultante de la presión sobre el suelo provocó que el terreno circundante a la estación empezara a resquebrajarse, lo cual finalmente volvió inoperativo también el "Plan B".

1.1.2. Requerimientos planteados y objetivo del trabajo

Tomando en cuenta los hechos mencionados, el requerimiento planteado es el diseño emergente –en vista de la inminencia del colapso de la estación actual- de una nueva estación de bombeo, que se pueda mantener operativa pese a las condiciones expuestas.

Esta nueva estación debe a su vez tratar de aprovechar los equipos ya disponibles en la camaronera y realizarse al mínimo costo posible, ya que la situación del sector camaronero es crítica y no permite la disponibilidad de todos los recursos que en otras circunstancias reclamaría un proyecto de este tipo.

1.2. FUNDAMENTOS TEORICOS

1.2.1. Sistemas de Bombeo

1.2.1.1. Conceptos preliminares del Flujo de Fluidos

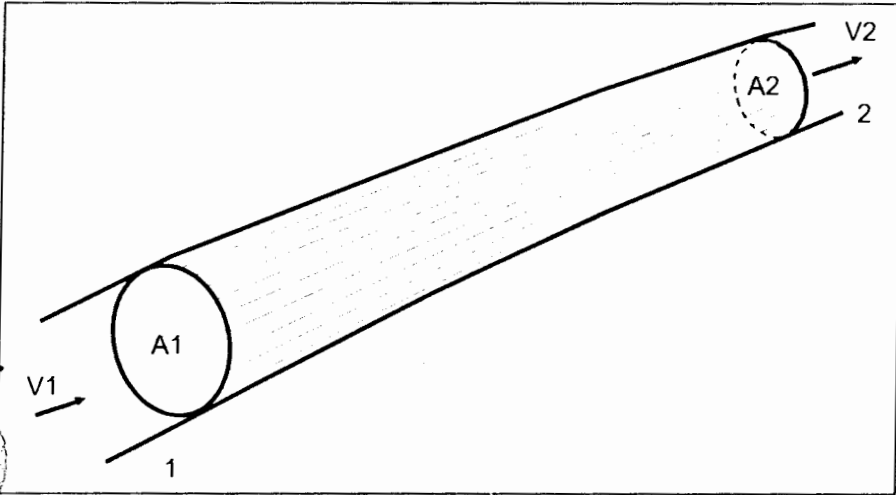
El movimiento de un fluido se denomina permanente o estacionario cuando la velocidad del fluido en un punto cualquiera de la corriente se mantiene constante en el tiempo en magnitud y en sentido. Si la misma varía en el tiempo con una ley cualquiera se dice que la corriente se mueve con movimiento variado.

Ecuación de Continuidad:

Para un sector aislado de la corriente de un fluido en movimiento estacionario que atraviesa una determinada sección A_1 , cada una de las partículas que atraviesan esta sección en determinado instante siguen una trayectoria especial que no cortará a la de las partículas que la circundan. Por la característica de este movimiento, estas trayectorias son constantes en el tiempo. En tales condiciones, cada trayectoria constituye

una línea de flujo o línea de corriente, y la velocidad de la partícula que la describe es tangente a la misma en cada uno de sus puntos.

GRÁFICO 4. FLUJO A TRAVÉS DE UN CONDUCTO



La velocidad de cada una de las partículas del líquido tiene una dirección tangencial a las paredes y no transversal. La cantidad de líquido que fluye en el tubo de corriente debe permanecer constante en el tiempo y a lo largo de todo el recorrido. Si se considera una segunda sección A_2 del tubo el volumen del líquido que la atravesará en la unidad de tiempo (caudal) deberá ser igual al que atraviesa la sección A_1 . El volumen del líquido (sustancialmente incompresible) que atraviesa la sección 1 está determinado por el producto de la velocidad V_1 , constante para todas las partículas que

pasan, por el área A_1 , es decir,

$$Q = V_1 A_1$$

Análogamente,

$$Q = V_2 A_2$$

De ambas se obtiene la relación

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = \text{constante},$$

Que toma el nombre de ecuación de continuidad y expresa la constancia del gasto en el interior de una corriente de flujo y es válida también aunque el movimiento sea variado, pero teniendo en cuenta que en este caso se expresa la constancia del caudal en todas las secciones en determinado instante.

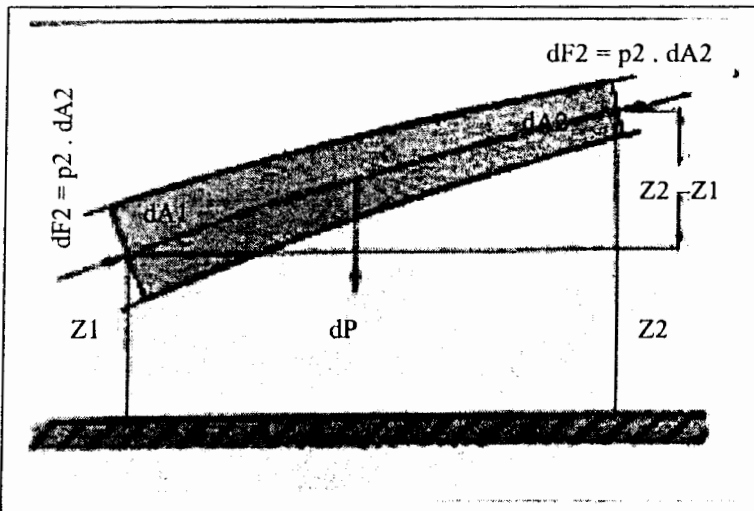
Teorema de Bernoulli para el movimiento estacionario de un líquido perfecto:

Al aplicar a un volumen infinitesimal comprendido entre las secciones dA_1 y dA_2 el teorema de la energía cinética, expresando que el trabajo realizado por las fuerzas externas que actúan sobre él es igual a la variación de su energía cinética, se deduce que:

$$\frac{1}{2}\rho V_1^2/g + p_1 + \rho z_1 = \frac{1}{2}\rho V_2^2/g + p_2 + \rho z_2$$

que expresa la igualdad entre la suma de los tres términos correspondientes a la sección 1 y los correspondientes a la sección 2. Por ser las citadas dos secciones cualesquiera del tubo de corriente, se deduce que el trinomio permanece constante a lo largo de dicho tubo.

GRÁFICO 5. DEDUCCIÓN DEL TEOREMA DE BERNOULLI



Este trinomio, denominado trinomio de Bernoulli, puede expresarse también de la forma:

$$Z + p/\rho + V_2^2/g = E = \text{Constante.}$$

Los tres términos del trinomio de Bernoulli tienen las dimensiones de una longitud y se denominan altura geométrica, altura piezométrica y altura cinética.

El hecho de que la energía total E se mantenga constante tiene como consecuencia práctica que la altura geométrica, la presión y la velocidad están vinculadas entre sí a lo largo de la trayectoria de la partícula.

Flujo en Conductos:

La naturaleza del flujo (laminar o turbulento) está determinada por el número de Reynolds.

$$Re = \rho V D / \mu$$

La experiencia ha demostrado que si $Re < 2.000$ el movimiento es laminar para todos los líquidos, que existe una zona de transición para $Re = 2.000 - 10.000$, y que si $Re > 10.000$ el movimiento es turbulento. Este criterio también se aplica a conductos que no tengan sección circular, porque en la expresión de Re se sustituye el diámetro del Conducto D por el diámetro hidráulico equivalente.

Flujo Laminar

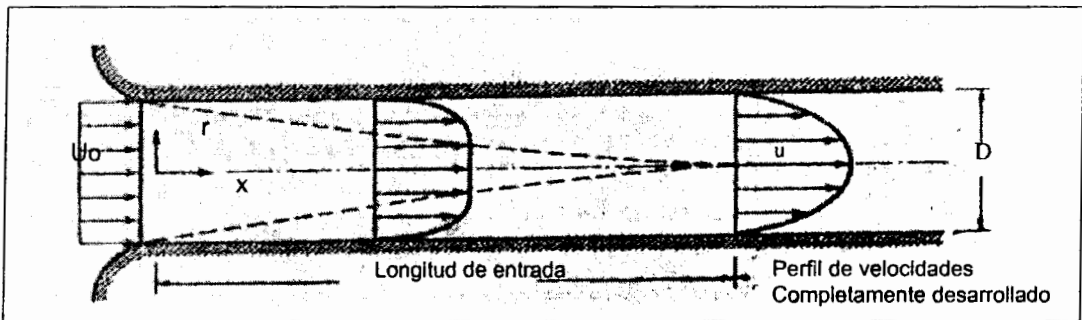
Una corriente se desplaza con movimiento laminar cuando su velocidad es muy pequeña o la viscosidad del líquido es muy elevada. El fluido se mueve en este caso en láminas o capas.

Debido a la condición de no deslizamiento de las paredes de un tubo, la velocidad en ellas debe ser cero en toda la longitud de la tubería. El flujo a la entrada del ducto ingresa con una velocidad uniforme U_0 . La superficie sólida ejerce una fuerza cortante retardadora sobre el flujo, efecto que se hace cada vez más pronunciado en el interior del flujo. Esto ocasiona una modificación del perfil de velocidades que se ilustra en la figura 5. La capa límite desarrollada sobre la pared del tubo alcanza la línea del centro a cierta distancia de la entrada del tubo. Esta distancia se denomina "longitud de entrada".

A partir de ella, el perfil de velocidades no cambia y se dice que el flujo está "completamente desarrollado". Para un flujo laminar la longitud de entrada es proporcional al número de Reynolds.

Para un flujo incompresible, la velocidad en la línea del centro del tubo debe incrementarse con la distancia desde la entrada, sin embargo, la velocidad promedio V en cualquier sección transversal es igual a la velocidad U_0 de ingreso.

GRÁFICO 6. FLUJO A LA ENTRADA DE UN CONDUCTO



Flujo Turbulento

El movimiento laminar resulta físicamente posible sólo cuando la velocidad media de la corriente es pequeña; en el momento en que ésta supera un determinado valor, intervienen fenómenos de inestabilidad propios de los hilos del fluido, los cuales se interfieren y dan origen a un movimiento con abundantes vórtices que es el que se denomina turbulento.

Como en el movimiento turbulento existe un intercambio de masa entre los diversos fluidos, se puede pensar en expresar la velocidad instantánea del fluido en un punto de un hilo genérico como si tuviera dos componentes: una en la dirección del eje del conducto y otra en dirección transversal al mismo. El valor medio en el tiempo de la primera componente se denomina velocidad de transporte, por cuanto se debe al transporte del líquido en el sentido del movimiento, en tanto que la segunda, que por su orientación no contribuye al caudal, se denomina velocidad de agitación, ya que es la determinante de los intercambios de masa realizados entre los diversos hilos con la consiguiente creación de vórtices.

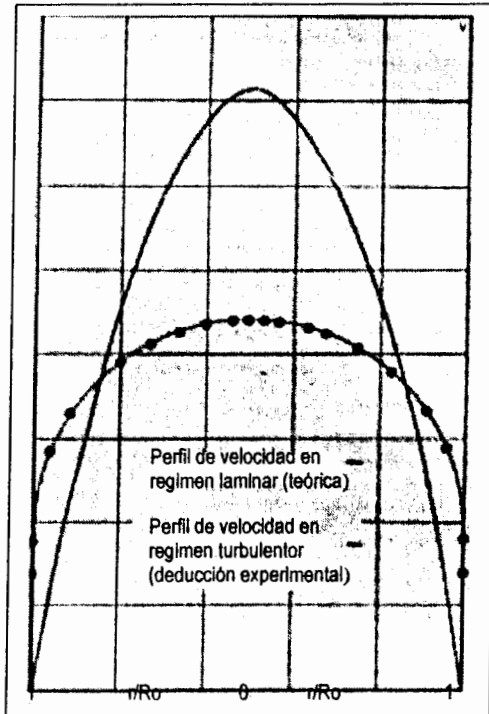
La media de las velocidades de transporte en un conducto de sección constante debe ser también constante y coincidir con la velocidad media V , en tanto que la media de las velocidades de agitación en una determinada sección debe ser nula.



El perfil de velocidad de una corriente turbulenta (figura 6) es notablemente más achatado que el perfil parabólico

deducido para la corriente laminar.

GRÁFICO 7. PERFILES DE VELOCIDADES EN FLUJOS LAMINARES Y TURBULENTOS



1.2.1.2. Pérdidas Hidráulicas

Los cambios de presión que se dan para el flujo de fluidos incompresibles pueden deberse a cambios de nivel, cambios de velocidad y al rozamiento.

Las pérdidas se dividen en:

Pérdidas mayores: Debido al rozamiento en un flujo

completamente desarrollado que pasa a través de segmentos con área de sección transversal constante.

Pérdidas menores: Debidas a la presencia de accesorios y a los efectos del rozamiento en los elementos del sistema cuya área de la sección transversal no es constante.

Pérdidas mayores: Factor de rozamiento.

Para el flujo completamente desarrollado a través de un tubo horizontal de área constante, las pérdidas mayores de carga se pueden expresar como pérdidas de presión

Flujo Laminar: La caída de presión para un flujo laminar se obtiene de la siguiente ecuación:

$$H_t = (64/re) L/D V^2/2g$$

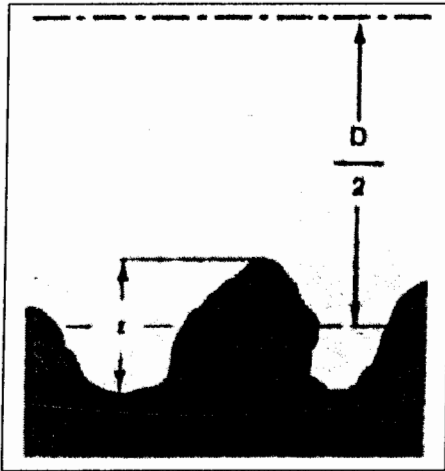
Flujo Turbulento:

La caída de presión para un flujo turbulento se obtiene en base a resultados experimentales y se expresa como:

$$H_t = f l/D V^2/2g$$

Donde f es el factor de rozamiento, que es función del número de Reynolds y la rugosidad relativa del tubo y se obtiene experimentalmente del diagrama de Moody (ver Anexo 1). El valor de la rugosidad relativa e/D se obtiene del Anexo 2.

GRÁFICO 8. REPRESENTACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN EL CONDUCTO



Pérdidas Menores:

Los conductos requieren frecuentemente la utilización de una serie de acoples y accesorios que originan pérdidas adicionales de carga.

La pérdida menor de carga se puede expresar como:

$$H_{tm} = fL_e/D V^2/2g$$

Donde L_e es una longitud equivalente de tubería rectilínea.

Los datos experimentales para estos coeficientes son numerosos. Los casos principales se enumeran a continuación y su cálculo se realiza en base a las tablas del Anexo 3.

Acceso y longitud de entrada a una tubería

Expansiones o contracciones:

Salidas

Codos

Válvulas y accesorios.

1.2.1.3. Potencia de una bomba

Las bombas son máquinas que transforman el trabajo mecánico recibido y lo transmiten al líquido que las atraviesa en forma de energía de posición, de presión o cinética. En el primer caso, el líquido es elevado de un

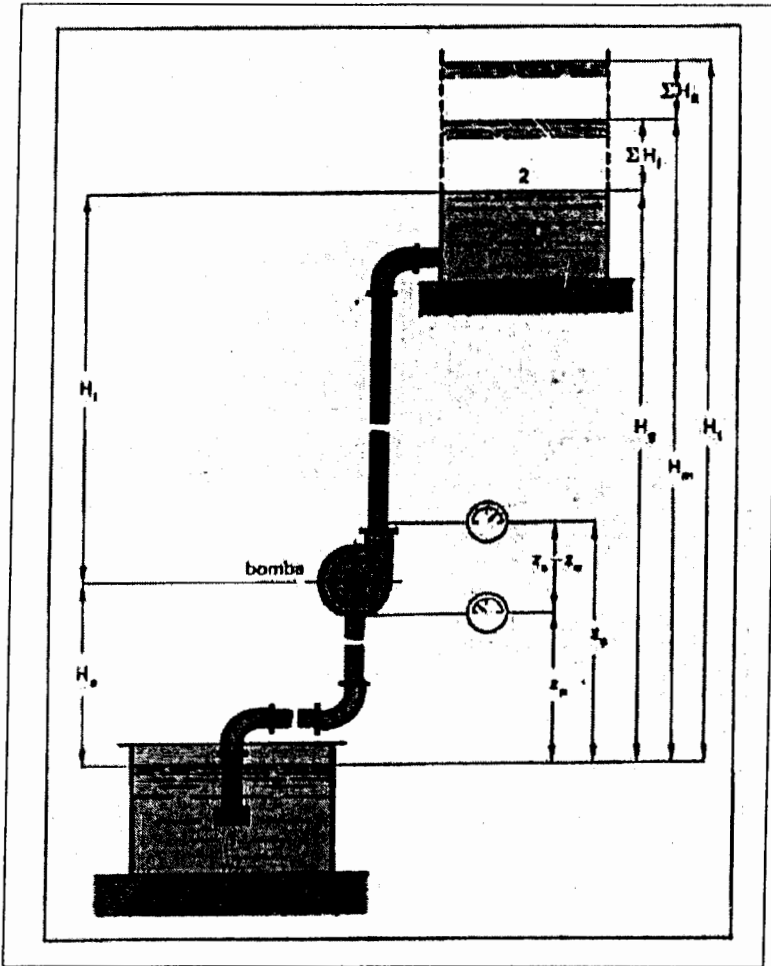
nivel a otro; en el segundo caso, el líquido que sale de la bomba tiene una presión mayor que el de entrada y en el tercero, el líquido adquiere mayor velocidad, en general transformada, en un segundo tiempo, en energía de presión.

En la gráfico 9 se esquematiza una instalación para elevación de agua desde el depósito 1 al depósito 2. Por diferencia de niveles Hg, se entiende el desnivel entre las superficies libres en los dos depósitos, la altura de aspiración Ha, es el desnivel entre la bomba y la superficie libre del depósito inferior, y la altura de impulsión o de envío Hi, se define como el desnivel entre la superficie libre del depósito superior y la bomba. Es válida la relación: $H_g = H_a + H_i$

En donde Hg es la energía adquirida por la unidad de peso del líquido en tránsito de un depósito a otro.

En realidad la bomba ha de transmitir al líquido además de la energía correspondiente a la diferencia de niveles, la energía disipada en los conductos de comunicación a causa de la pérdidas de carga que se indica como Σh_f .

GRÁFICO 9. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE BOMBEO



Por tanto, la energía que la bomba ha de proporcionar por unidad de peso del líquido es mayor que H_g y vale:

$$H_m = H_g + \Sigma h_f$$

Que es la altura efectiva o manométrica y representa la diferencia de energía del líquido entre la salida y la entrada de la bomba. Obviamente si la bomba es

atravesada por un caudal Q de peso específico γ , la potencia P que proporciona la bomba es:

$$P_m = \gamma QL$$

La potencia de una bomba se expresa en HP (Horse power) o KW. El BHP (potencia al freno) es el caballaje entregado a la bomba por su impulsor. El WHP (caballaje hidráulico) es la potencia que la bomba entrega al líquido.

1.2.1.4. Eficiencia

Teniendo presente que el líquido, al atravesar la bomba, encuentra resistencias y obstáculos y, por consiguiente, se produce pérdida de carga interna Σh_{fi} , se deduce que el trabajo hidráulico desarrollado por la bomba en el líquido es todavía mayor que el correspondiente a la altura manométrica. Para considerar esto se define una altura teórica

$$H_t = H_m + \Sigma h_{fi},$$

Que expresa el trabajo hidráulico de la máquina

operadora por unidad de peso del líquido. La relación entre el trabajo absorbido por el líquido L_a y el trabajo hidráulico L_h suministrado por la bomba, menor que el primero a causa de la inevitable pérdida de energía interna, toma el nombre de rendimiento hidráulico o manométrico η_h , que coincide también con la relación entre la altura manométrica y la altura teórica.

$$\eta_h = L_a/L_h = H_m/H_t$$

En estas máquinas, además de las pérdidas mecánicas, se ha de considerar también un rendimiento mecánico η_m , definido como la relación entre el trabajo L_h cedido al líquido por la bomba y el trabajo efectivo L_e absorbido por ella; en consecuencia,

$$\eta_m = L_h/L_e$$

Finalmente, ha de tenerse en cuenta que el volumen de agua que atraviesa la bomba por unidad de tiempo es mayor que el volumen efectivo elevado, ya que una parte del caudal retorna por el conducto de aspiración a través de los resquicios existentes entre los órganos fijos y los

móviles. Si Q es el caudal de la bomba y $Q+q$ el caudal que la atraviesa, el rendimiento volumétrico η_v puede definirse por

$$\eta_v = Q/(Q+q)$$

El trabajo útil L_u difiere del trabajo absorbido L_a , ya que mientras el primero es la energía suministrada por la bomba al volumen Q , el segundo es la energía suministrada al volumen $Q+q$. En consecuencia, puede escribirse:

$$L_u = \eta_v L_a,$$

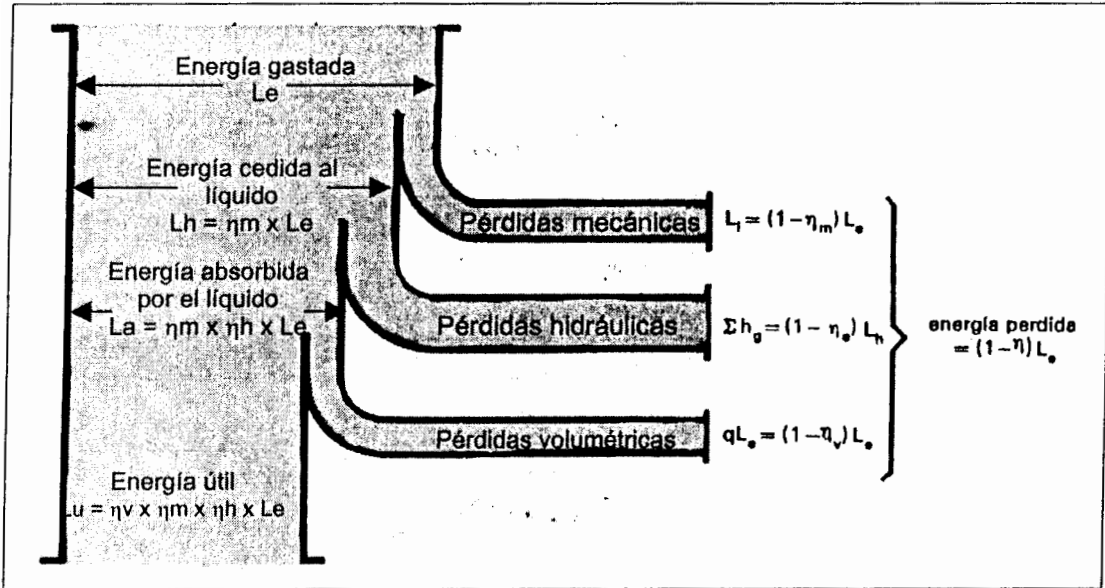
Y recordando las definiciones de los otros rendimientos:

$$L_u = \eta_v \eta_h L_h = \eta_v \eta_h \eta_m L_e.$$

El rendimiento global η , definido como la relación entre el trabajo útil y el trabajo absorbido por la bomba se puede expresar por:

$$\eta = L_u/L_e = \eta_v \eta_h \eta_m$$

GRÁFICO 10: ESQUEMATIZACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO DE UNA MÁQUINA OPERADORA



En la figura 9 se representa gráficamente el balance energético correspondiente a una máquina operadora.

1.2.1.5. Principales tipos de bombas

El Instituto hidráulico de los Estados Unidos clasifica las bombas como se muestra en la gráfico 11.

De una forma más general se puede considerar que según el método empleado para mover al fluido, las

bombas generalmente se dividen en 3 grupos principales:

Reciprocantes

Rotatorias

Centrífugas

En las bombas reciprocantes y rotatorias la energía se transfiere por "compresión" del líquido mediante la disminución del volumen ocupado.

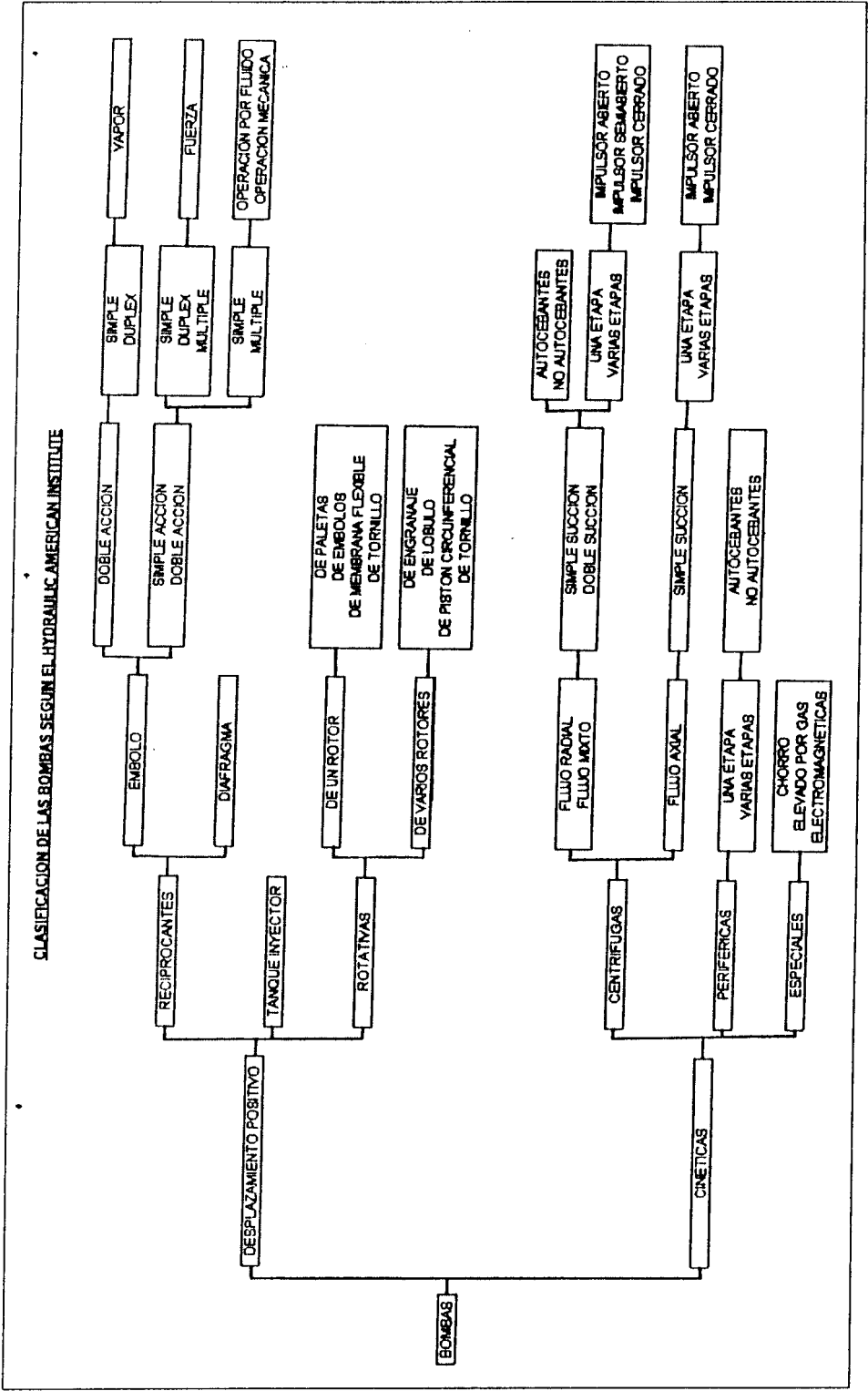
En las bombas centrífugas la energía se transfiere principalmente por aumento de la velocidad del fluido.

Bombas centrífugas: Su principio de funcionamiento es igual al de las turbinas de reacción, por lo que podría afirmarse que son turbinas de reacción de funcionamiento inverso. Están constituidas por tres órganos esenciales: uno móvil y los otros dos fijos.

El primero, denominado rotor, tiene la función de transmitir al líquido determinada energía en forma cinética.



GRÁFICO 11. CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS



De los órganos fijos, uno está en disposición de aspiración y el otro en envío. La misión del primero es dirigir el caudal hacia la entrada del rotor, obligándolo a adquirir la velocidad oportuna para que las pérdidas de energía sean mínimas. El segundo, denominado difusor, tiene la misión de transformar la energía cinética del líquido que sale del rotor en energía de presión.

Aproximadamente el 90% de las bombas de uso general son del tipo centrífugo, básicamente por su costo frente a los demás tipos de bombas.

Este tipo de bombas son generalmente usadas para transferir grandes volúmenes de flujos a presiones relativamente bajas, en donde no es necesaria una gran exactitud. Son las más adecuadas para el manejo de fluidos de baja viscosidad, entregan por lo general a la descarga flujos constantes, con un promedio de variación de alrededor del 20%.

Velocidad específica:

Es un índice de diseño hidráulico que se define como la

velocidad a la cual un impulsor, geoméricamente similar a otro, bajo ciertas consideraciones, debería girar si fuera reducido en tamaño para entregar un galón por minuto a un pie de altura.

Matemáticamente se expresa como:

$$N_s = \text{RPM}(\text{GPM})^{1/2}/H^{3/4}$$

En donde,

RPM = Velocidad de giro de la bomba

GPM = Capacidad de diseño al punto de máxima eficiencia

H = columna dinámica total por etapa en pies al punto de mejor eficiencia.

De acuerdo a la velocidad específica de los impulsores, las bombas pueden clasificarse en:

Bombas centrífugas o Radiales: Menos de 4.200

Bombas de flujo mixto: Entre 4.200 y 9.000

Bombas de flujo axial: Más de 9.000

Las gráfico 12 y 13 muestran gráficos estas disposiciones:

GRÁFICO 12. DIRECCIÓN DEL FLUJO EN LOS DISTINTOS TIPOS DE BOMBAS

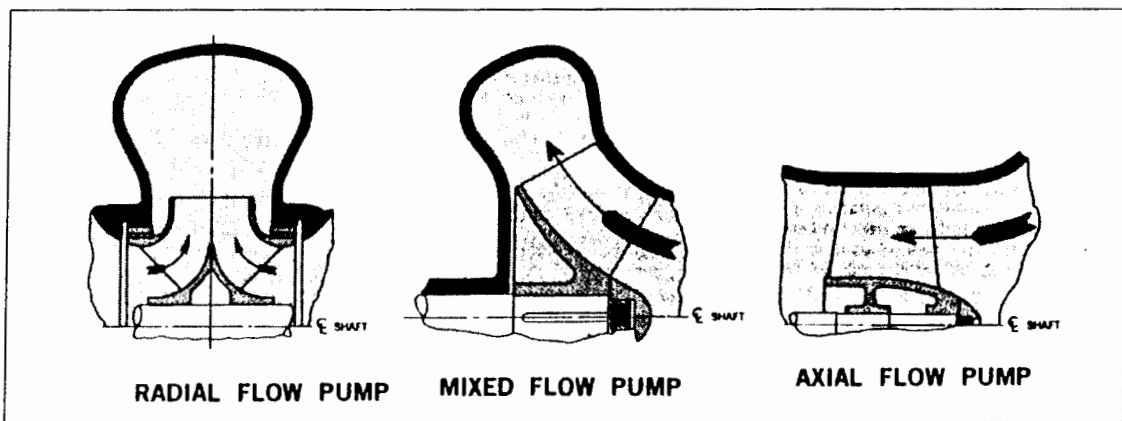
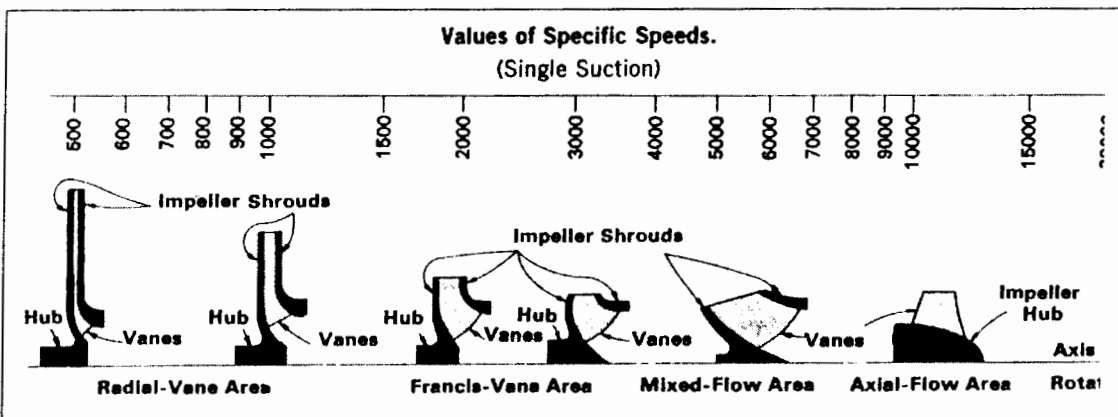


GRÁFICO 13. CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA



1.2.1.6. Curvas Características

Las curvas características muestran la relación existente entre la columna de la bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un tipo determinado de bomba.

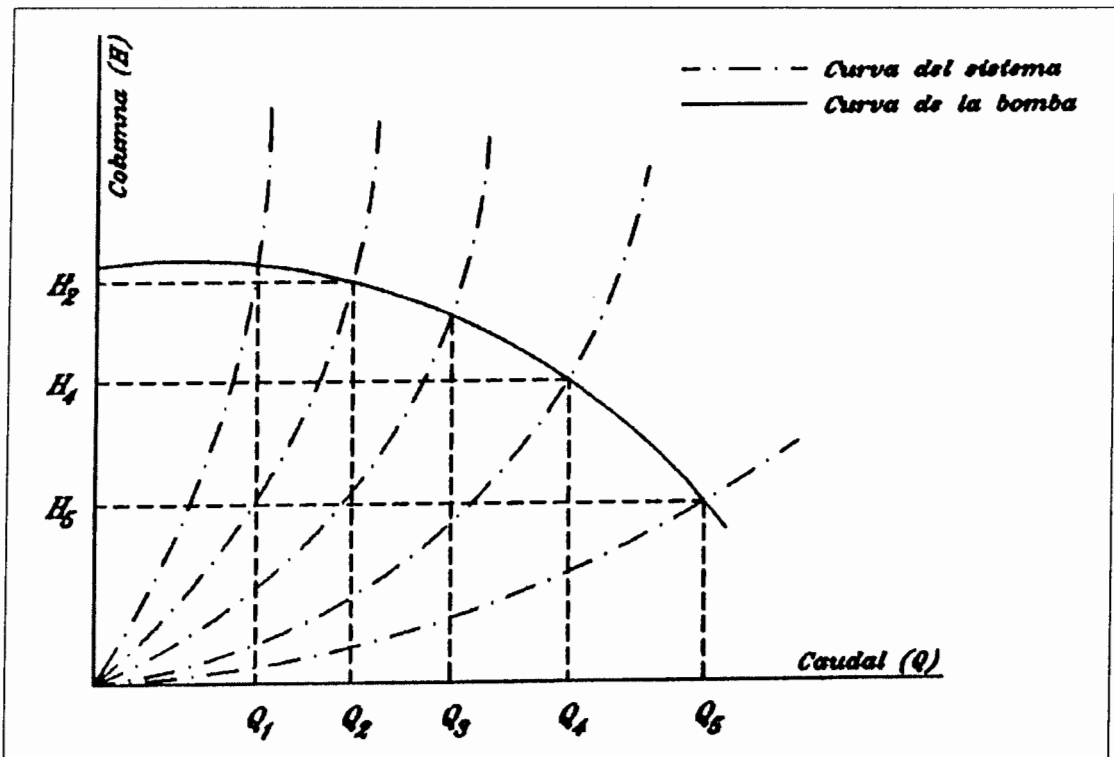
Cuando una bomba puede operar a varias velocidades se presenta un mapa que muestra el comportamiento completo para una elevación de succión dada. Para construir este mapa se trazan las curvas H-Q para las diferentes velocidades. Luego se sobreponen las curvas que representen puntos de operación de igual eficiencia, las cuales permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualquier condición de columna, dentro de los límites de la capacidad de la gráfica.

Un sistema específico dispone su propia curva de operación y es precisamente en la intersección entre la curva del sistema y la curva de la bomba en donde el equipo operará.

Se deben estimar cargas pico, las que determinarán el rango de operación de la bomba, que en ningún caso

deberá estar cerca de los extremos de la curva de la bomba.

GRÁFICO 14. CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA



Para un sistema específico, la curva del sistema obedece a la forma algebraica:

$$H = A + KQ^2$$

En la que para determinadas condiciones es factible

obtener los valores de las constantes A y K.

Leyes de Afinidad

Las leyes de afinidad expresan la relación matemática entre las variaciones involucradas en el comportamiento de una bomba.

Estas pueden aplicar a todos los tipos de bombas centrífugas y de flujo axial, tal como sigue:

Para un diámetro constante del impulsor:

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$$

Para velocidad constante:

$$Q_1/Q_2 = D_1/D_2$$

$$H_1/H_2 = (D_1/D_2)^2$$

$$P_1/P_2 = (D_1/D_2)^3$$

En donde,

n = Velocidad (rpm)

Q = Caudal

H = Altura Dinámica

P = Potencia

D = Diámetro

A partir de las relaciones anteriores y conocidos los valores de las variables, se pueden calcular nuevos valores siempre que las diferencias entre las velocidades o diámetros sean pequeñas.

Selección

Para realizar una correcta selección se debe saber lo más cercano posible, los datos de la altura total de bombeo y del caudal a suministrar, además de la columna neta de succión que la bomba deberá poseer.

El esquema de la gráfico 15 se utiliza para seleccionar el

tipo más adecuado de impulsor para cada tipo de aplicación. De allí se puede deducir que para caudales elevados y alturas de bombeo pequeñas ($H < 7\text{m}$) la selección más adecuada son las bombas del tipo axial.

GRÁFICO 15. EFICIENCIA VS VELOCIDAD ESPECÍFICA Y TAMAÑO DE LAS BOMBAS

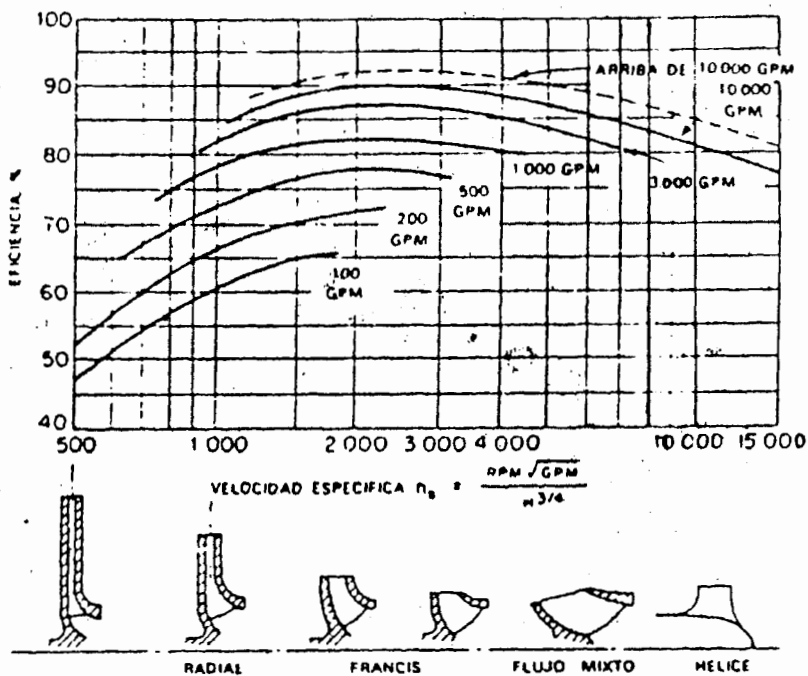


Fig. 7 Eficiencia de una bomba vs. velocidad específica y tamaño. (Worthington Pump International, Inc.)

Si la altura de bombeo aumenta ($5\text{m} < H < 20\text{m}$) serán más recomendables las bombas con impulsor de tipo mixto y finalmente para alturas mayores las bombas con impulsor del tipo radial ($15\text{m} < H > 100\text{m}$). Las alturas

mencionadas en los rangos son referencias aproximadas.

Mediante un equilibrio de los parámetros del sistema con el costo, se llega a determinar la mejor elección.

1.2.2. Motores

Los motores de combustión interna son aquellos que tienen por objeto transformar la energía calorífica -generada por la combustión en el mismo fluido del combustible- en energía mecánica directamente utilizable.

Las siguientes términos se utilizan para nombrar algunas dimensiones y valores fundamentales:

Punto muerto superior (PMS): Posición del cilindro más próxima a la culata

Punto muerto inferior (PMI): Posición del pistón más alejada de la culata

Diámetro (Bore) Diámetro interior del cilindro

Carrera (Stroke) Distancia entre el PMS y el PMI

Volumen total del cilindro (V_1): Espacio comprendido entre la culata y el pistón cuando éste se halla en el PMI

Volumen de la cámara de combustión (V_2): Comprende entre la culata y el pistón cuando éste se halla en el PMS.

Volumen desalojado por el pistón o cilindrada: Es el generado por el pistón en su movimiento alternativo desde el PMS al PMI.

Relación volumétrica de compresión: relación entre V_1 y V_2

Las operaciones que el fluido activo ejecuta en el cilindro y que repite con ley periódica se denominan ciclo operativo y su duración es medida por el número de carreras efectuadas por el pistón para realizarlo.

Si el ciclo se realiza en 4 carreras del pistón se dice que el motor es de 4 tiempos y si se hace en 2 es de 2 tiempos. Los motores de 4 tiempos realizan un ciclo cada dos revoluciones del motor y los de 2 tiempos cada revolución.

El ciclo de 4 tiempos comprende las 4 fases siguientes:

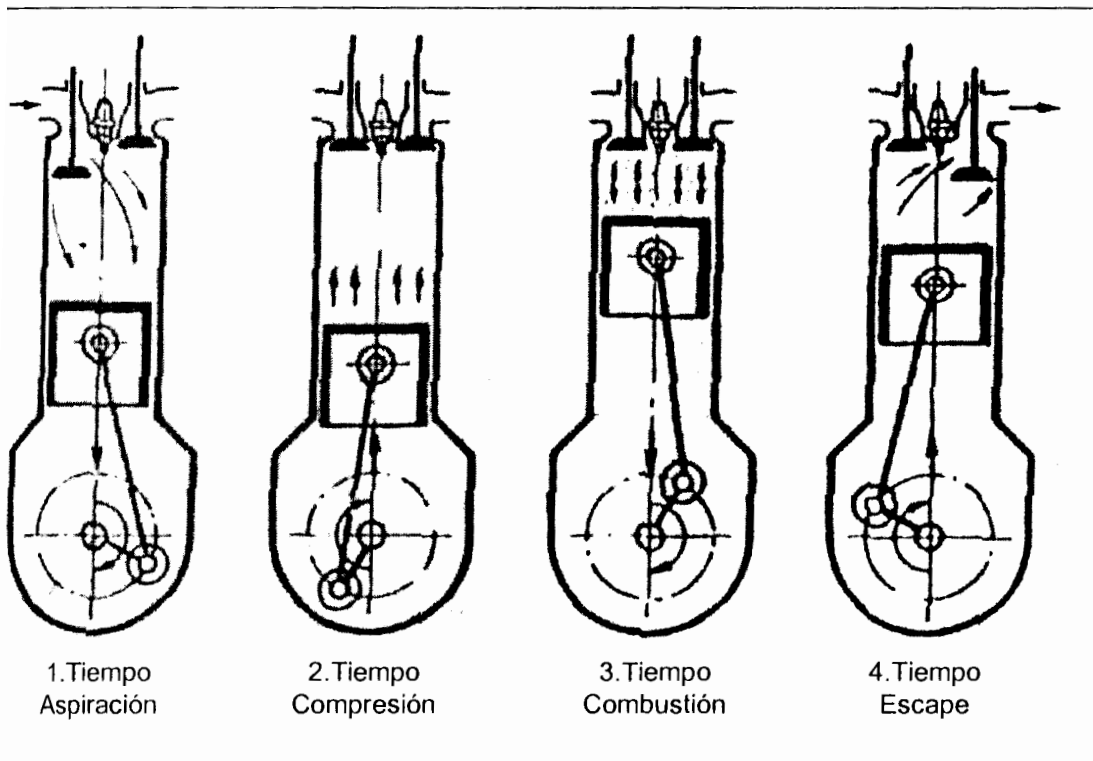
Admisión de la carga en el cilindro

Compresión de la carga

Combustión y expansión

Expulsión o escape de los productos de la combustión.

GRÁFICO 16. FASES DEL CICLO DE UN MOTOR DE 4 TIEMPOS



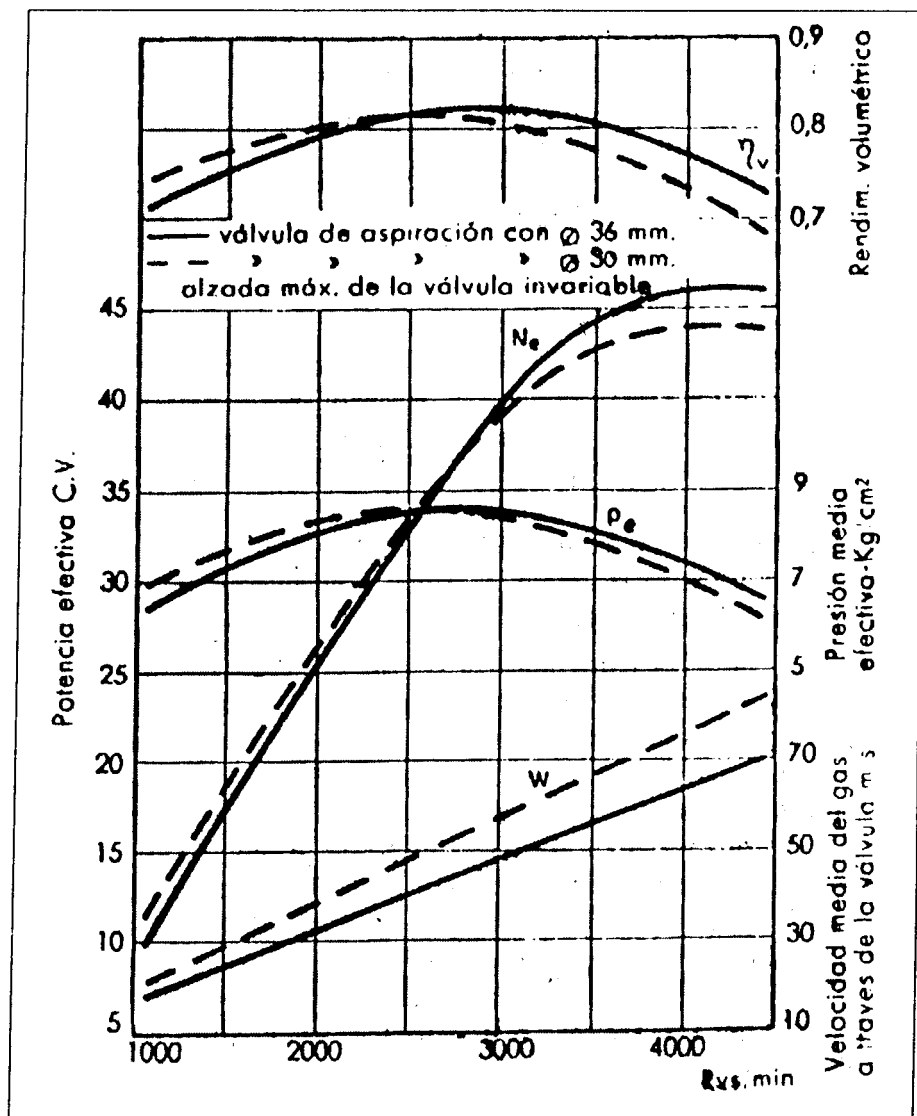
La potencia que se genera en el interior del cilindro (potencia indicada) no se recoge íntegramente en el eje del motor porque parte de ella es absorbida por resistencias pasivas (rozamiento de las partes mecánicas en movimiento).



POTENCIA EFECTIVA
CIB - ESPOL

La potencia efectiva o potencia al freno es la que en realidad se obtiene en el eje del motor y se determina midiendo con un freno el trabajo en el eje.

GRÁFICO 17. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR



La razón entre la potencia efectiva y la indicada es el rendimiento mecánico del motor.

El trabajo que es capaz de realizar un motor está definido por sus curvas características, que dan una variación de la

potencia, del par motor y del consumo del combustible en función del número de revoluciones (ver gráfico 17)

1.2.3. Accesorios para transmisión de potencia

1.2.3.1. Reductores de velocidad

Los reductores de velocidad son elementos de transmisión de potencia y reducción de velocidad que utilizan engranajes dispuestos de forma que se obtenga el tipo de transmisión requerida, siendo las más comunes con ejes paralelos ó a 90 grados.

Este tipo de transmisión es más eficiente y segura que la transmisión por poleas y bandas, pero a la vez mucho más costosa. Las pérdidas de potencia originadas por la transmisión van generalmente del 5 al 10% y no requieren aplicar un factor de servicio adicional.

Para la selección de un reductor de velocidades se necesita conocer la velocidad que se requiere a la salida, la razón de reducción, el sentido de rotación y el empuje al que está sometido el eje.

1.2.3.2. Poleas y Bandas

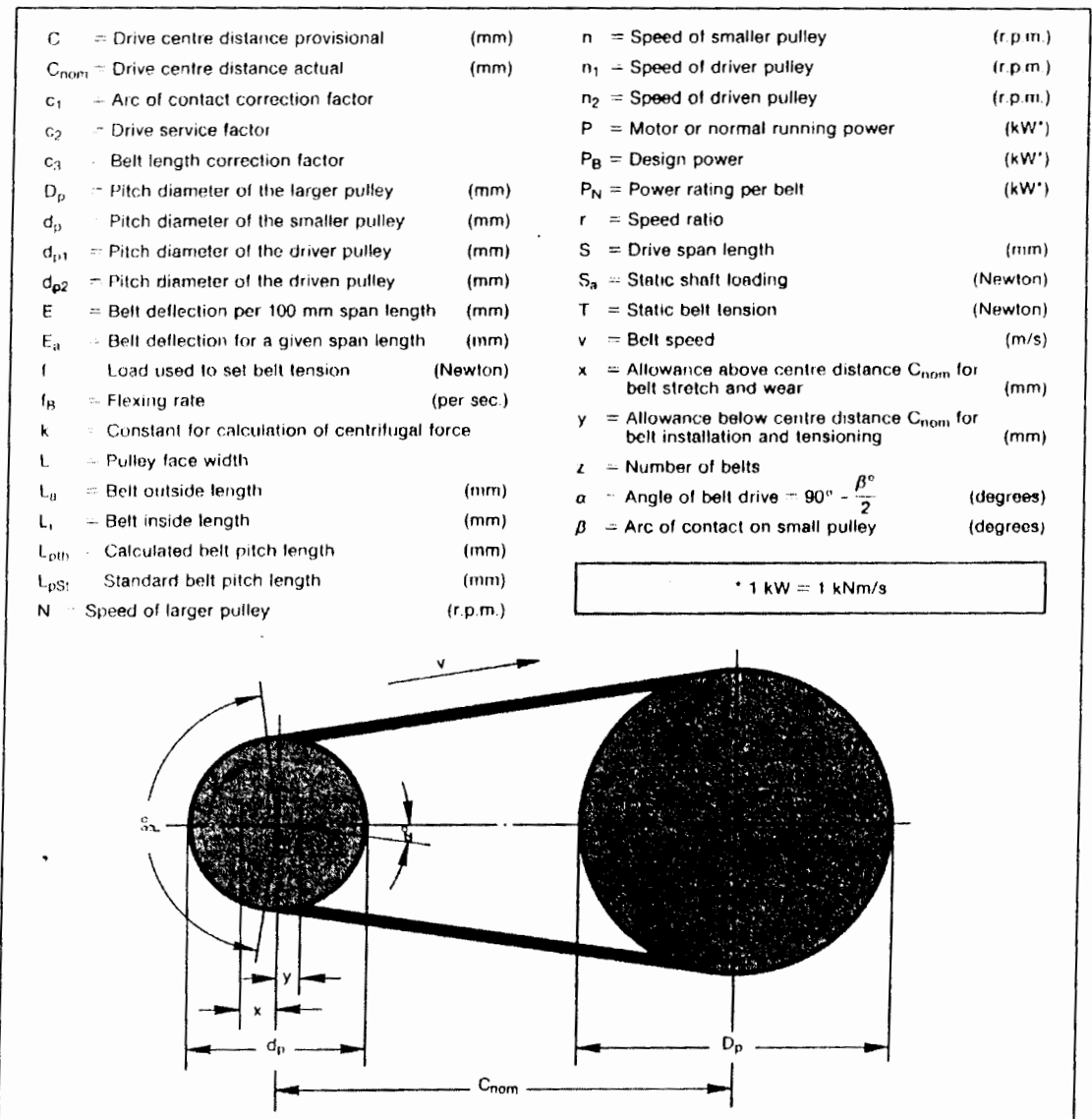
Las poleas son órganos de conexión que acoplados a un eje permite transmitir a un cable, cadena o banda un momento aplicado a dicho eje transmisor o transmitir a éste los esfuerzos que se ejercen sobre un cable, cadena, correa o banda.

En una polea se distinguen diversas partes: la corona, que en la transmisión para correas planas, es ligeramente abombada para mantener en su asiento la correa, en tanto que presenta guías adecuadas para la transmisión mediante bandas trapeziales; el cubo o núcleo, parte que se mantiene en contacto con el eje que lo sostiene o al que está acoplado con una chaveta, y los radios, que enlazan el cubo con la corona. A veces, en lugar de radios existe un disco continuo que puede tener orificios de aligeramiento.

Las bandas planas o en V se pueden emplear para transmitir potencia de un eje a otro cuando no se necesita mantener una relación de velocidades exacta entre los ejes. En la mayor parte de las transmisiones

por bandas las pérdidas de potencia debidas al deslizamiento y al arrastre son del 3 al 5%, pero requieren aplicar factor de servicio adicionales.

GRÁFICO 18. PRINCIPALES DIMENSIONES DE LAS POLEAS



La selección de las bandas se puede hacer en base a la aplicación de ecuaciones o utilizando las tablas suministradas por la American Leather Belting Association y los catálogos suministrados por los diferentes fabricantes de correas. El procedimiento a seguir se detalla a continuación, para el cual es necesario tomar en consideración la nomenclatura indicada en la gráfico 18.

Se selecciona un factor de servicio según la aplicación de la transmisión. Estos factores se muestran en la gráfico 19. Puede apreciarse que para las aplicaciones con menos exigencia el mínimo factor de corrección es del 10%.

Se obtiene la potencia de diseño multiplicando la potencia requerida por el factor de servicio.

Se determina el ratio de velocidad a partir de la relación $n_1/n_2 = dp_2/dp_1$. El diámetro de paso de la polea 1 se selecciona de la gráfico 20.

El diámetro de paso de la polea 2 se obtiene de $dp_2 = r \times$

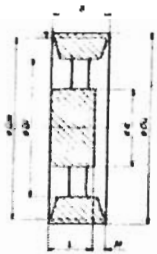
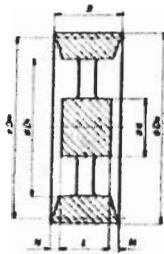
dp₁ y se selecciona de la misma figura.

GRÁFICO 19. FACTORES DE SERVICIO SEGÚN LA APLICACIÓN

Types of Driven Machine		Types of Prime Mover					
		"Soft" starts Electric motors: AC Star delta start; DC Shunt wound. Internal combustion engines with 4 or more cylinders. All prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings.			"Heavy" starts Electric motors: AC Direct-on-line start; DC Series and compound wound. Internal combustion engines with less than 4 cylinders.		
		Hours per day duty					
		10 and under	Over 10 to 16	Over 16	10 and under	Over 10 to 16	Over 16
Light Duty -	Agitators (uniform density). Blowers, exhausters and fans (up to 7.5 kW). Centrifugal compressors and pumps. Belt conveyors (uniformly loaded).	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Medium Duty	Agitators and mixers (variable density). Blowers, exhausters and fans (over 7.5 kW). Rotary compressors and pumps (other than centrifugal). Belt conveyors (not uniformly loaded). Generators and exciters. Laundry machinery. Lineshafts. Machine tools. Printing machinery. Sawmill and woodworking machinery. Screens (rotary).	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Heavy Duty	Brick machinery. Bucket elevators. Compressors and pumps (reciprocating). Conveyors (heavy duty). Hoists. Mills (hammer). Pulverisers. Punches, presses, shears. Quarry plant. Rubber machinery. Screens (vibrating). Textile machinery.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Extra Heavy Duty	Crushers (gyratory-jaw-roll). Mills (ball-rod-tube).	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

GRÁFICO 20. MEDIDAS ESTÁNDARES DE POLEAS

banda

TYPE 5 O x
B = 194 mmTYPE 8 x
B = 194 mm

CODE	D _m	D _p	Born. Bohrung Alésage Talaadri	TYPE ¹⁾	d	L	Unbalance Unwucht Unbalance Déséquilibre Desquilibrado	Weight (Bew.) Poids Peso	D _i	M	N	M
Ref.	mm	mm	mm Max.	Ref.	mm	mm	gmm Max.	Kg	mm	mm	mm	Flot.
34.0180.07 ²⁾	180	199	60	5 O	95	130	267,0	21,0	143	64	-	GC
34.0200.07 ²⁾	200	219	60	5 x	95	130	280,0	20,6	163	64	-	GC
34.0225.07 ²⁾	225	244	69	5 x	110	130	351,0	23,1	188	64	-	GC
34.0236.07 ²⁾	236	255	69	5 x	110	130	370,0	23,6	199	64	-	GC
34.0250.07 ²⁾	250	269	69	5 x	110	130	441,0	26,0	213	64	-	GC
34.0265.07 ²⁾	265	284	69	5 x	110	130	506,0	26,2	228	64	-	GC
34.0280.07 ²⁾	280	299	72	5 x	115	130	600,0	31,7	243	64	-	GC
34.0300.07 ²⁾	300	319	72	5 x	115	130	648,0	32,2	264	64	-	GC
34.0315.07 ²⁾	315	334	72	5 x	115	130	662,0	31,0	278	64	-	GC
34.0335.07 ²⁾	335	354	72	5 x	115	130	783,0	35,0	298	64	-	GC
34.0355.07 ²⁾	355	374	81	5 x	130	130	981,0	40,3	318	64	-	GC
34.0400.07 ²⁾	400	419	81	8 x	130	130	1134,0	42,0	363	32	32	GC
34.0450.07 ²⁾	450	469	88	8 x	140	130	1599,0	62,6	411	32	32	GC
34.0500.07 ²⁾	500	519	88	8 x	140	130	1861,0	55,5	461	32	32	GC
34.0560.07 ²⁾	560	579	94	8 x	150	130	2418,0	64,3	521	32	32	GC
34.0630.07 ²⁾	630	649	94	8 x	150	130	2950,0	69,8	591	32	32	GC
34.0710.07 ²⁾	710	729	94	8 x	150	130	4121,0	86,3	671	32	32	GC
34.0800.07 ²⁾	800	819	100	8 x	160	130	5544,0	103,7	759	32	32	GC
34.0900.07 ²⁾	900	919	100	8 x	160	130	6929,0	115,0	859	32	32	GC
34.1000.07 ²⁾	1000	1019	100	8 x	160	130	8694,0	130,0	959	32	32	GC

La distancia entre centros se obtiene tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

$$C > 0,7 (D_p + d_p)$$

$$C < 2 (D_p + d_p)$$

En base a este valor se determina el largo de la banda:

$$L_{pth} \approx 2C + 1.57 (D_p + d_p) + (D_p + d_p)^2/4C$$

Se selecciona un tipo de banda estándar que corresponda a la longitud obtenida.

1.2.4. Criterios para dimensionamiento de estaciones de bombeo

Operación combinada de bombas centrífugas

Existen dos tipos básicos de operación conjunta para dos o más bombas centrífugas: estas combinaciones se denominan operación en serie y operación en paralelo.

Operación en serie:

Se utiliza cuando a determinado caudal, se necesita tener alturas dinámica elevadas, o bien alturas dinámicas que normalmente no pueden ser cubiertas por una sola bomba. Su uso es infrecuente (básicamente en oleoductos) pues, o bien se usan bombas de rotores múltiples (como las bombas para pozos profundos) o bien se emplean estaciones de rebombeo, que es lo comúnmente utilizado en camaroneras.

Operación en paralelo:

Este modo de operación se usa cuando a una misma altura dinámica se necesita caudales elevados, que es el caso de la industria camaronera (además de la arroceras y bananeras) en el Ecuador.

Siempre será aconsejable instalar dos o más bombas pequeñas que ubicar una sola grande que cubra todo el rango, ya que la posible baja de una bomba será compensada por la(s) otra(s) trabajando más tiempo o a más revoluciones.

Lo más común –en camaroneras grandes, como la del caso de nos ocupa- es que se requieran varias unidades de hasta un cierto tamaño y potencia que sean comercialmente frecuentes de encontrar, ya que motores y bombas muy grandes suelen ser onerosos y demorados al momento de adquirir, escasos y caros sus repuestos al dar mantenimiento y casi imposibles de revender al darles de baja.

Lo óptimo, finalmente, será la instalación de una bomba adicional a lo que el cálculo sugiera para enfrentar las eventualidades que se suscitan a menudo.

Cuando se opera con bombas iguales, los caudales se suman algebraicamente para un punto de caudal, es decir, que para n bombas que operan a Q_1 y a una altura dinámica total H_1 , arregladas adecuadamente en paralelo, se obtendrá una curva característica del conjunto a H_1 con un caudal total de n veces Q_1 .

Debe tenerse especial cuidado cuando se dimensionan bombas para operar en paralelo, especialmente en lo relacionado a la columna neta de succión positiva (NPSH) que es un factor determinante en una buena operación del sistema de bombeo.

Columna neta de succión positiva:

Se trata de un análisis energético de las condiciones de succión de la bomba, para lograr determinar si el líquido bombeado se vaporizará en el punto de más baja presión en la bomba.

Cuando la presión de vapor dentro del líquido alcanza la de la temperatura del medio ambiente, el líquido comienza a vaporizarse. La vaporización del líquido trae consigo un incremento de volumen del orden de 4 dígitos a una misma temperatura, de lo que se deduce que para que el bombeo se

pueda realizar en forma efectiva hay que procurar mantener el fluido en forma líquida.

El NPSH es simplemente una medida de la cantidad de altura de succión necesaria para prevenir la vaporización del líquido en el punto de más baja presión.

Existen dos valores comparativos de NPSH que son los que deben tomarse en cuenta para la selección de una bomba, estos valores corresponden a NPSH para el que la bomba está diseñada, que es el NPSH requerido y el NPSH que el sistema provee o NPSH disponible.

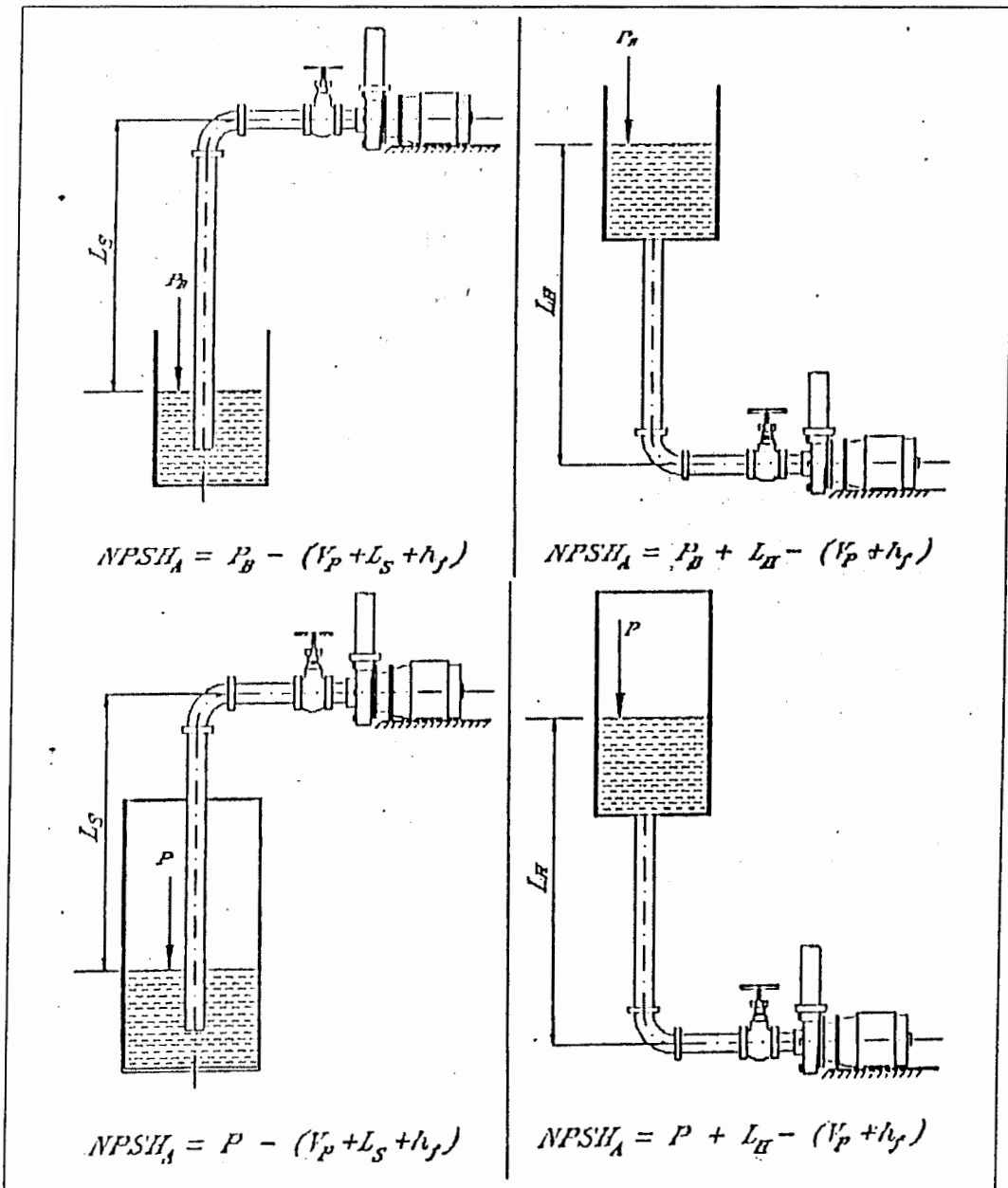
El NPSH requerido por la bomba es función de su propio diseño y es la presión positiva en pies de líquido que se requiere para soportar todas las pérdidas que sufre el líquido al atravesar la bomba. El NPSH varía de acuerdo a la velocidad y capacidad de cada tipo de bomba, y los fabricantes proveen este valor en sus curvas características.

El NPSH disponible es una función del sistema de bombeo. Depende del tipo de sistema, de la columna de elevación o de succión, columna de fricción y la presión de vapor del líquido.



El cálculo del NPSH disponible se lo realiza mediante las fórmulas expresada en la gráfico 21, en donde:

GRÁFICO 21. CÁLCULO DEL NPSH PARA DISTINTAS DISPOSICIONES



NPSHA = NPSH disponible

PS = Presión barométrica

P = Presión del recipiente de succión, de ser este el caso

VP = Presión del vapor del fluido a la temperatura de trabajo

LS = Altura estática de elevación

LH = Columna estática de succión

H_f = Columna de fricción en la succión.

La comparación cuantitativa entre el NPSH requerido y el NPSH disponible es objeto de muchas discrepancias, pero se sugiere que el NPSH disponible sea 3 pies mayor que el NPSH requerido.

Cavitación

Cuando la presión de vapor se reduce a un valor inferior que su presión de saturación se forman pequeñas burbujas de vapor del fluido. Conforme éstas se mueven a lo largo de los álabes del impulsor, van siendo transportadas a puntos de presión cada vez más grandes, ocasionando que se colapsen rápidamente. Este fenómeno se denomina cavitación.

Este colapso o implosión es tan rápido y las fuerzas ejercidas

tan elevadas y puntuales que causan fallas por impacto en la superficies de los álabes. Esta acción es progresiva y bajo severas condiciones puede causar daños muy grandes al impulsor en forma de pequeñas cavernas, de allí su nombre.

La cavitación genera también una reducción en la eficiencia volumétrica de la bomba debido a la presencia del vapor. Bajo estas condiciones, la presión se vuelve inestable y el consumo energético errático. Otras consecuencias de este fenómeno son daños mecánicos en rodamientos y ejes, vibraciones anormales y ruido.

La manera de prevenir este efecto es asegurar que el NPSH disponible sea mayor que el requerido, comprobación que es especialmente crítica para el bombeo en camaroneras por el efecto de las mareas, que en nuestro litoral producen una variación de alrededor de 3 metros en la columna de succión.

Diseño de la succión:

La función de la succión, ya sea un canal abierto o un túnel con el 100% de perímetro mojado es de proveer una distribución de flujo uniforme a la campana de succión de la bomba. Una

distribución no uniforme del flujo, caracterizada por corrientes locales fuertes favorece la formación de vórtices y, con ciertos valores bajos de sumergencia, introducen aire a la bomba, reduciendo su capacidad y provocando vibraciones.

Una distribución no uniforme puede también incrementar el consumo de potencia con un cambio en la presión total desarrollada. Puede haber vórtices que no aparecen en la superficie y estos también pueden tener efectos adversos.

La velocidad no uniforme del flujo es causada por la geometría de la succión y la manera en que el agua es introducida a esta succión desde el canal principal.

La opción ideal es un canal recto que llega directamente a la bomba. Giros y obstrucciones no son recomendables ya que causan corrientes y tienden a crear vórtices.

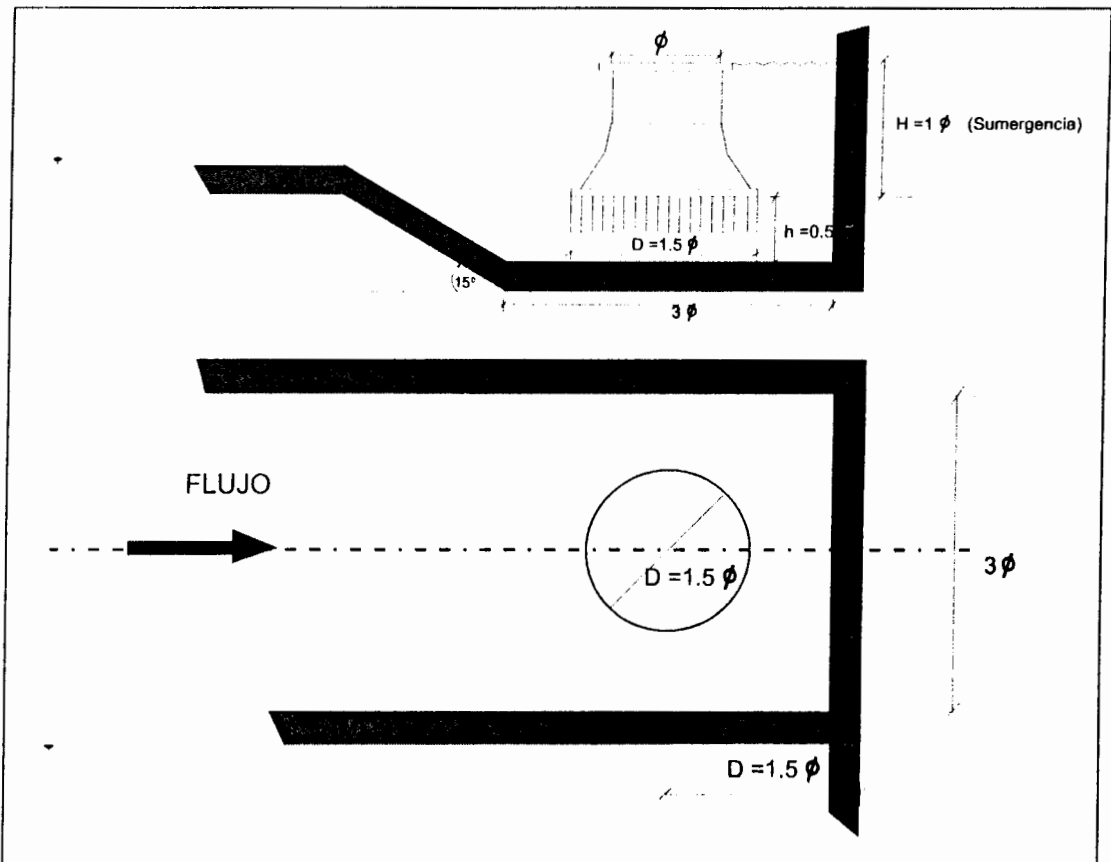
El agua no debería fluir de una bomba para llegar a otra. Si es necesario ubicar las bombas en la línea de flujo se deberá observar la distancia entre centros apropiada (Ver gráfico 23)

La cantidad de sumergencia para una operación satisfactoria

dependerá grandemente del diseño de la succión y del tamaño de la bomba.

En las gráficas 22, 23 y 24 se muestran las medidas recomendadas para la succión, que están relacionadas al diámetro de la bomba. Se utiliza la siguiente nomenclatura:

GRÁFICO 22. DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA EL DISEÑO DE LA SUCCIÓN.- CÁRCAMOS INDIVIDUALES O MÚLTIPLES



ϕ = Diámetro de la bomba.

(Para este caso ϕ , es el diámetro de una tubería que permita que el caudal circule a 10 pies/seg.)

D = Diámetro de la campana de succión

h = Altura del piso a la succión

H = Sumergencia de la bomba

GRÁFICO 23. DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA EL DISEÑO DE LA SUCCIÓN.- SIN CÁRCAMOS

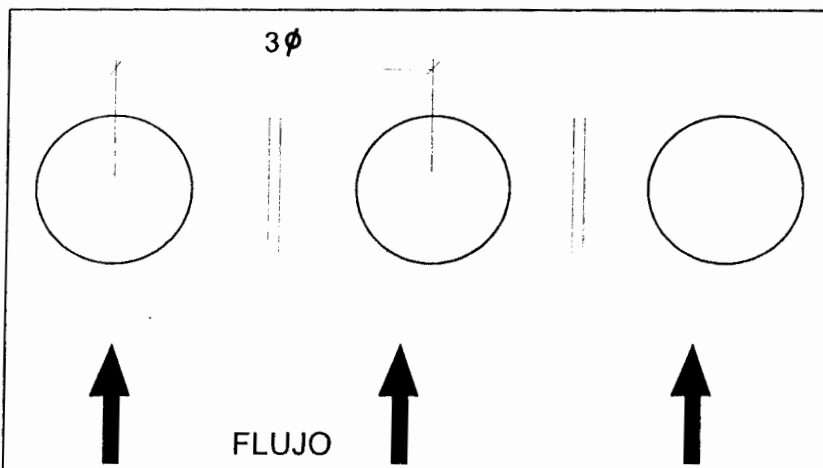
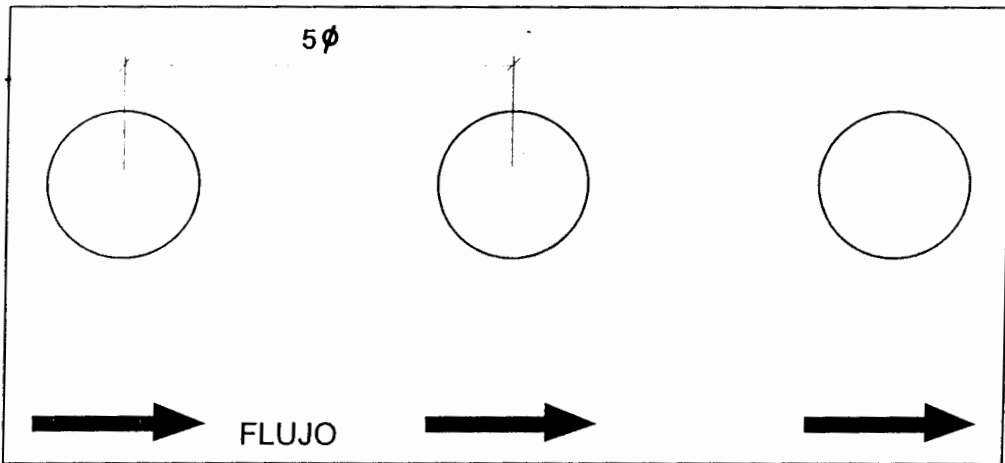
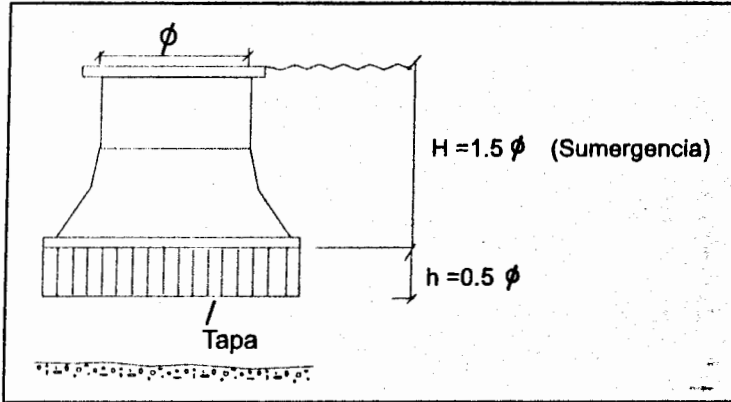


GRÁFICO 24. DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA EL DISEÑO DE LA SUCCIÓN.- SIN CÁRCAMOS



Las estaciones del tipo convencional en camaroneras no utilizan cárcamos individuales, sino múltiples.

Tubería:

Es recomendable sujetar tanto la tubería de succión como de descarga que se encuentra cerca de la bomba para evitar aplicar fuerzas y momentos a la carcasa, así como en los codos. En los demás casos, la tubería solamente descansa sobre vigas apoyadas sobre pilotes o sobre riostras apoyadas sobre el suelo.

Se aconseja además incrementar el diámetro tanto de la tubería

de succión como la de descarga para disminuir las pérdidas hidráulicas debidas a la fricción. Por la misma razón, la tubería debe ser diseñada de tal forma que se disminuyan al mínimo los cambios de dirección y en caso de que éstos se den, tratar de que los codos utilizados tengan el mayor radio posible.

Dependiendo del tipo de bomba utilizada se incluirán diferentes tipos de válvulas. Para bombas centrífugas (del tipo radial) se requiere una válvula check o de pie en la succión para permitir el cebado y puesta en marcha de la bomba. En el caso de bombas axiales se requiere una tapa basculante en el caso de que tubería quede por debajo del nivel del agua en el reservorio de descarga, para evitar que, una vez apagada la bomba, el agua se drene por la tubería. Se utilizan también válvulas antirretorno, principalmente para atenuar el efecto de el "golpe de ariete"

La tubería de succión debe mantenerse libre de entradas o fugas de aire, lo cual es particularmente importante cuando la línea de succión es larga o la columna estática es alta.

Existen problemas frecuentemente si se utilizan tuberías del tipo espiga-campana. Es preferible utilizar tuberías roscadas o

bridadas para los diámetros más pequeños y tuberías bridadas para diámetros mayores o altos cabezales de succión.

Golpe de Ariete:

El golpe de ariete es un incremento en la presión debido a rápidos cambios en la velocidad del líquido que fluye a través de una tubería. Este efecto es comparable al frenado de un tren, mientras mayor sea la velocidad del tren, el número de vagones (caudal) y la brusquedad de la frenada, mayor será el colapso. Este cambio en la presión resulta de la transformación de la energía cinética del líquido en movimiento a energía de presión. La magnitud de la presión producida es frecuentemente mucho mayor que la presión estática en la línea, lo que puede causar la ruptura o daño de la bomba, tubería o accesorios.

Esto aplica tanto a instalaciones horizontales como verticales.

El golpe de ariete puede ser controlado regulando el tiempo de desaceleración del motor, usando chimeneas por si se apaga el motor o con válvulas antirretorno que, usando la analogía del tren, dividen el convoy, lo que hace que su efecto disminuya.

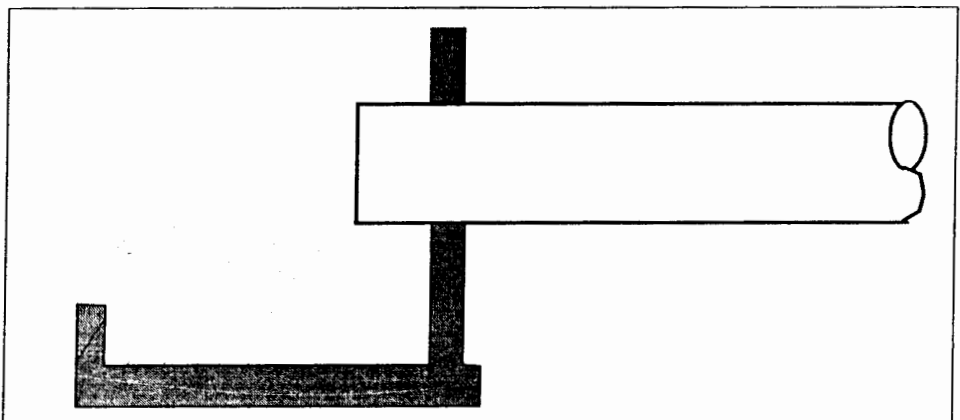
Cajón de Descarga:

Para la construcción del cajón de descarga no son aplicables los criterios utilizados para la succión, ya que lo importante no es la forma en que sale el flujo, si no el que este no erosione el terreno en la descarga. Por este motivo, las tuberías en la descarga pueden ir más juntas que en la succión, lo que genera ahorro por el menor volumen de la estructura.

Algunas recomendaciones para evitar la erosión provocada por el chorro de agua en la descarga son:

Que la altura desde la superficie del reservorio a la tubería de descarga sea baja (lo contrario sería ineficiente también pues aumenta la altura de bombeo).

GRÁFICO 25. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA LA DESCARGA



Utilizar estructuras de hormigón que permitan "romper" el chorro de agua.

Utilizar protecciones como gaviones o geotextil en las zonas que reciben directamente el chorro de agua o sus efectos (olas, remolinos, etc).

1.2.5. Tipos de Estaciones de Bombeo

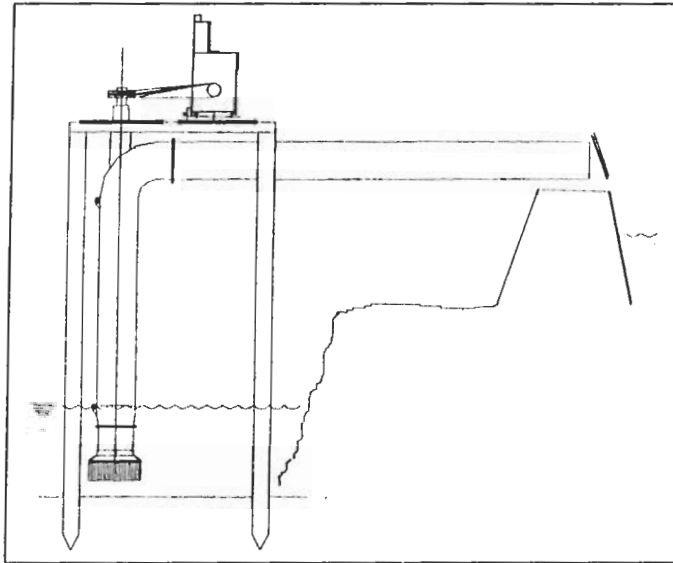
Los principales tipos de estaciones de bombeo utilizados son los convencionales (con pilotes o pilotines), tierra adentro (con cárcamo de succión) y tipo cajón sumergido.

Estación convencional:

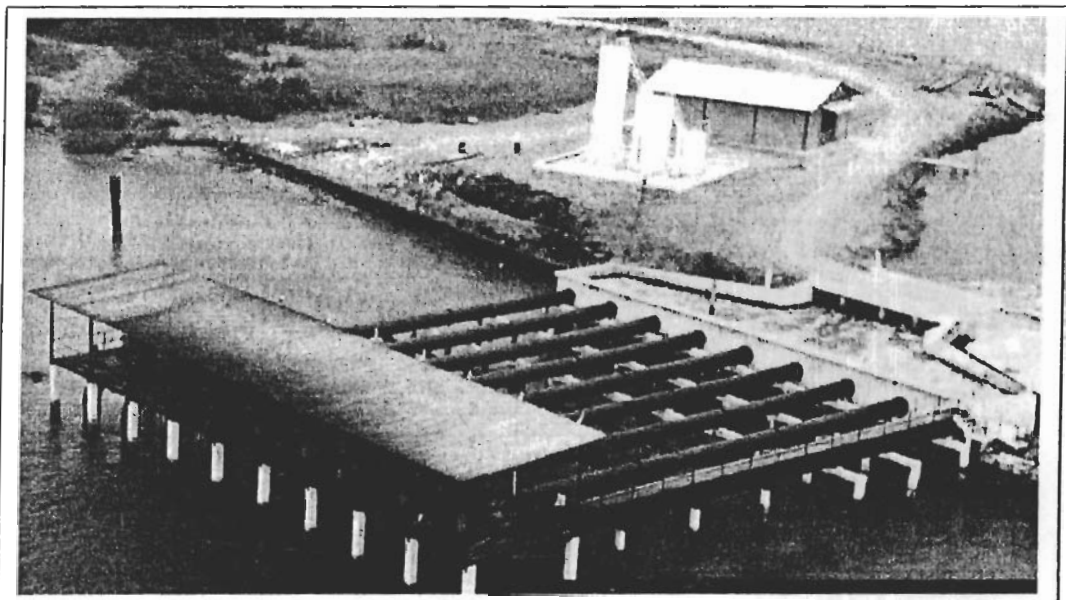
Se utiliza cuando la toma de agua o succión ubica aguas afuera. Si se utilizan bombas del tipo axial es necesario también ubicar la estructura que soporta los equipos sobre pilotes aguas afuera (Ver gráficos 26 y 27).

Si se utilizan bombas de tipo centrífugo (radial), la estación propiamente dicha se ubica en tierra firme y es sólo la tubería de succión la que se proyecta aguas afuera, soportada por

**GRÁFICO 26. ESTACIÓN DE BOMBEO DEL TIPO CONVENCIONAL
PARA BOMBAS AXIALES.**



**GRÁFICO 27. ESTACIÓN DE BOMBEO DEL TIPO CONVENCIONAL
PARA BOMBAS AXIALES.**



pilotines. (Ver gráficos 28 y 29)

GRÁFICO 28. ESTACIÓN DE BOMBEO DEL TIPO CONVENCIONAL PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS.

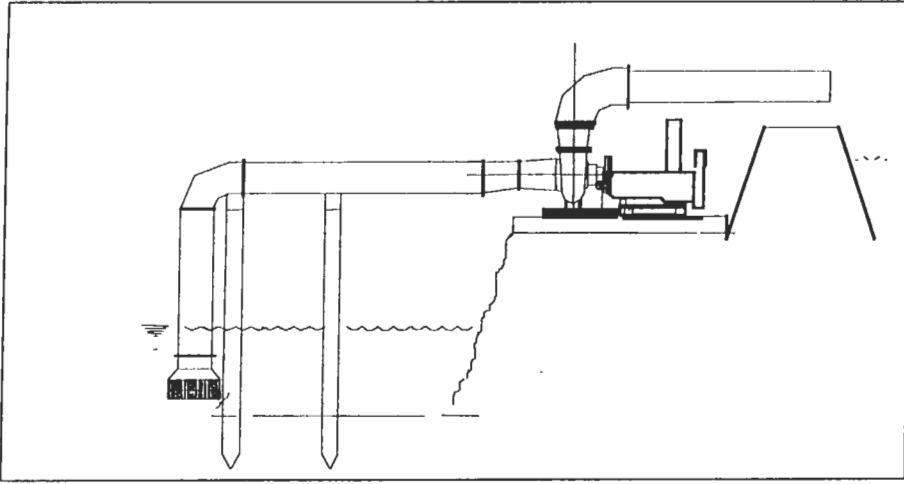
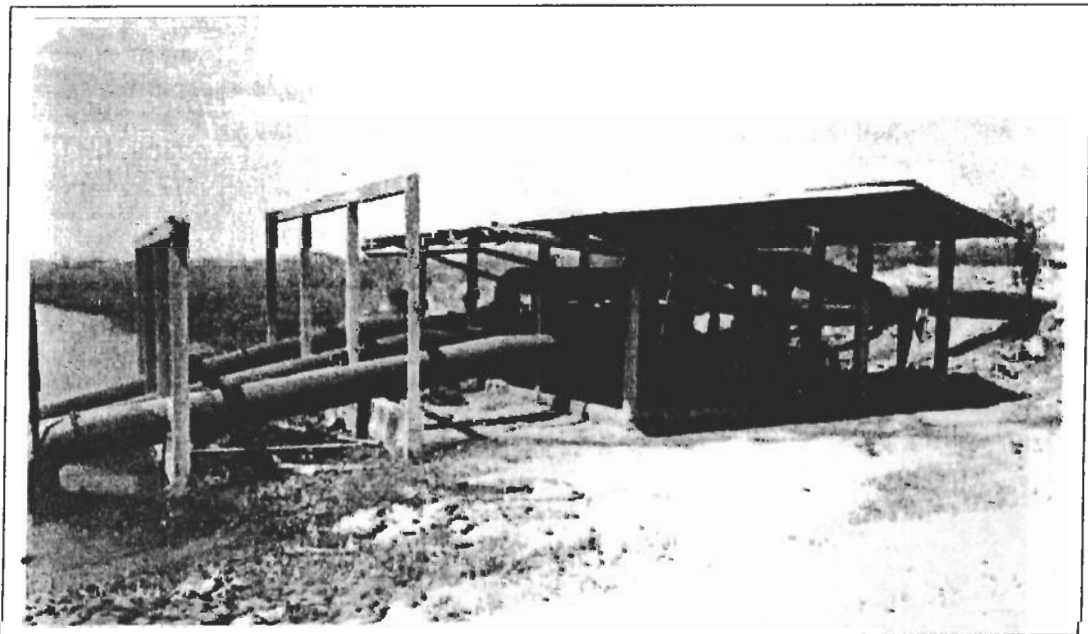


GRÁFICO 29. ESTACIÓN DE BOMBEO DEL TIPO CONVENCIONAL PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS.



Estación con cárcamo de succión:

Se utiliza para los casos en que el caudal de agua debe ser

GRÁFICO 30. ESTACIÓN CON CÁRCAMO DE SUCCIÓN

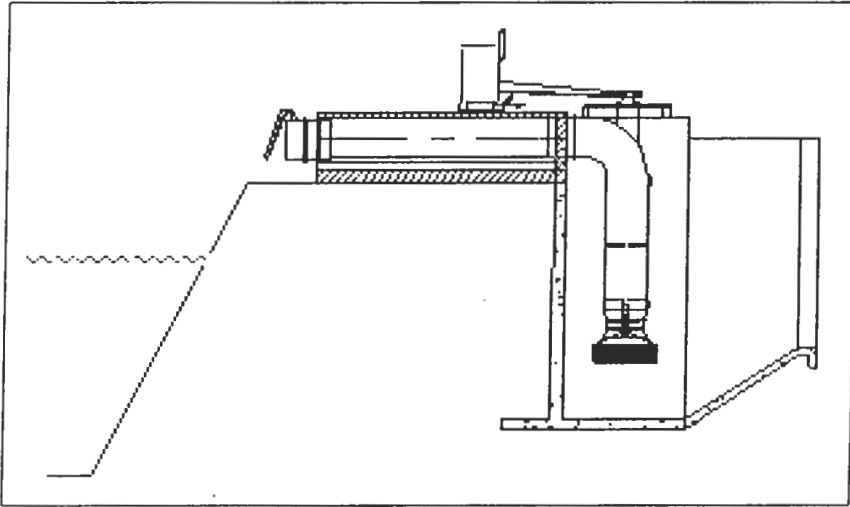
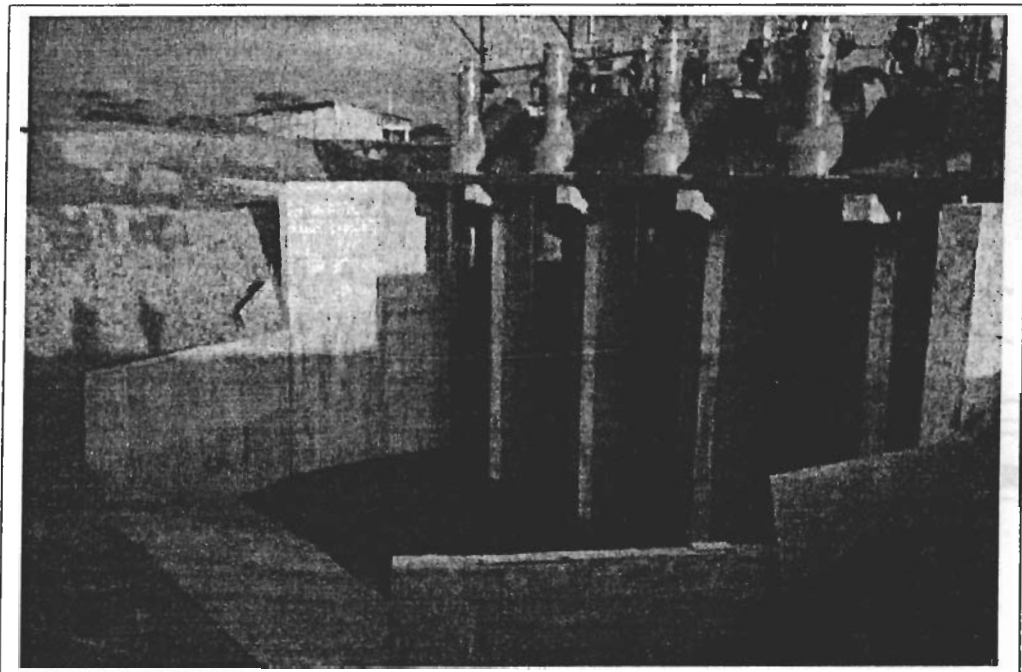


GRÁFICO 31.: ESTACIÓN CON CÁRCAMO DE SUCCIÓN



conducido por un canal desde el cual se realiza la succión.

Este tipo de estación se utiliza para rebombeos.

Estación tipo cajón sumergido:

En este caso la estación se ubica en tierra firme, pero las bombas quedan ubicadas debajo del nivel del agua y se logra trabajar como en bombas axiales sin necesidad de cebado.

GRÁFICO 32. ESTACIÓN TIPO CAJÓN SUMERGIDO

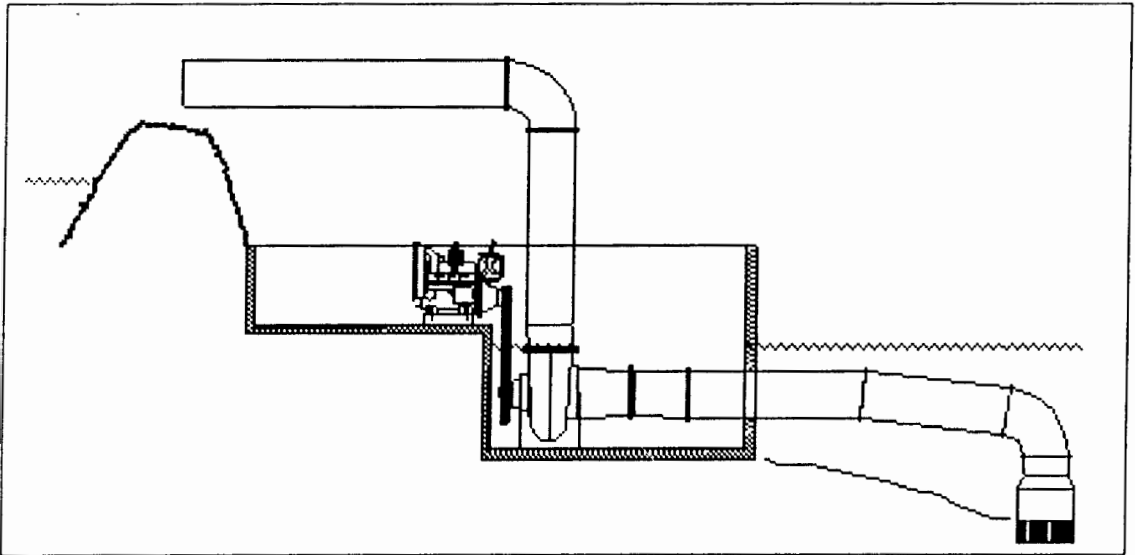
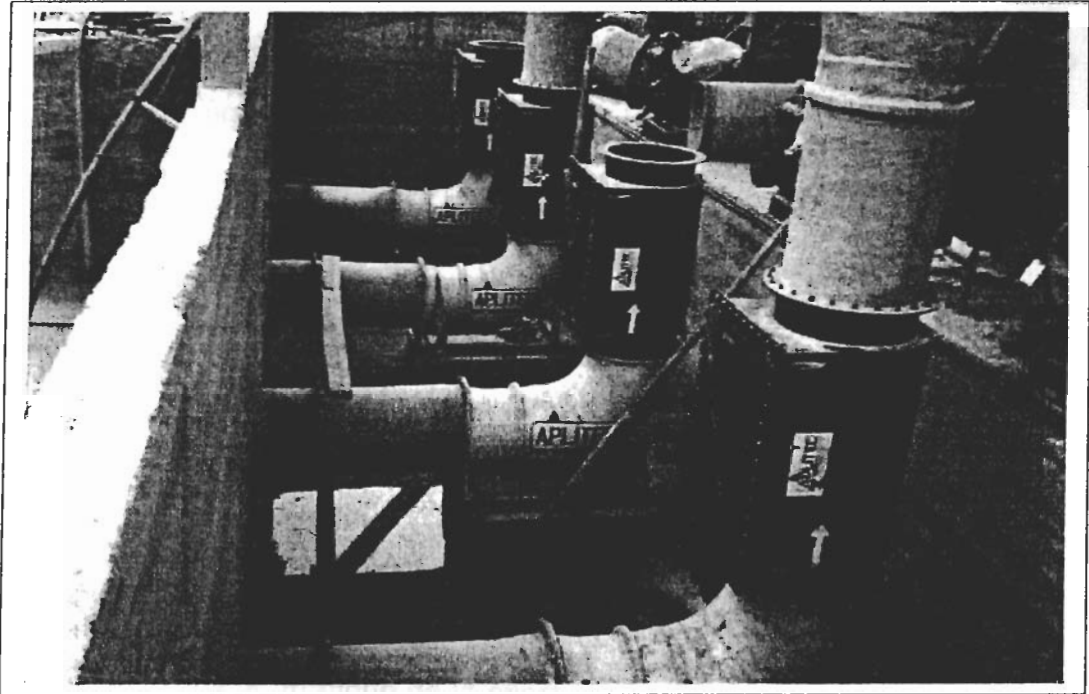


GRÁFICO 33. ESTACIÓN TIPO CAJÓN SUMERGIDO



1.2.6. Particularidades de los tipos de bombeo usados en camaroneras.

El bombeo en camaroneras se realiza principalmente para lograr un nivel de recambio de agua apropiado para el cultivo del camarón, para sustituir tanto el agua que se evapora cuanto la que se elimina para la limpieza de los fondos de las piscinas y la eliminación de los desechos (heces del camarón, algas muertas, alimento balanceado no consumido, etc).

Este recambio se logra introduciendo agua fresca de los esteros o -por asepsia para control de la Mancha Blanca- recirculando el agua fresca tratada de las piscinas mediante bombeo (generalmente a un canal conductor-reservorio) de donde se distribuye a las piscinas mediante compuertas y se desaloja por una versión modificada de las mismas que permite no sólo filtrar sino regular la capa de agua que se desea eliminar así como facilitar las labores de cosecha del camarón.

Un servicio adicional que se luce principalísimo pero que sólo lo es al arranque de la operación de las camaroneras, es el llenado de las piscinas.

Tanto los niveles de recambio como la intensidad requerida dependen de las condiciones del cultivo del camarón y son determinadas por los biólogos a cargo del mismo.

En base al recambio de agua requerido y la altura del terreno se establecen los equipos de bombeo necesarios, teniendo en cuenta capacidades disponibles para casos de mantenimiento.

Los equipos trabajan entre 6 ú 8 horas por marea durante periodos continuos de tiempo, dependiendo de la disponibilidad

de agua en el estero, lo que a su vez depende del aforo del mismo y de la intensidad de la marea (que en el Ecuador oscila alrededor de los 3 metros) y de los requerimientos operativos antes mencionados, siendo lo ideal que el estero y la estación permitan –para casos de emergencia- operar las 24 horas del día.

Los equipos y accesorios deben considerar para su construcción que estarán sometidos a las condiciones altamente erosivas del ambiente salino, además de la presencia de crustáceos que se adhieren a las tuberías y causan la descamación y finalmente la perforación (por oxidación) de las mismas. Para proteger las tuberías de este ambiente se aplican pinturas especiales -epoxipoliámidas- tanto interior como exteriormente, las cuales requieren un tratamiento previo de limpieza por abrasión metálica y desengrasado.

CAPITULO II

2. DISEÑO DE LA ESTACION DE BOMBEO Y ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

2.1. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL Y SOLUCION PROPUESTA

Como se explicó anteriormente, el sistema de bombeo actual consta de una estación de bombeo y otra de rebombeo.

2.1.1. Estación de bombeo actual

La estación de bombeo actual consta de 5 Bombas Centrifugas marca Hidrostral de 28" impulsadas por 5 motores Caterpillar 3306, 3 de ellos del tipo TA (Turboalimentados-Postenfriados) y 2 del tipo BT (Turboalimentados), cubre un área de 250 has.

Las cotas principales de la misma son las que se muestran en la gráfico 34.

GRÁFICO 34. ESQUÉMA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ACTUAL

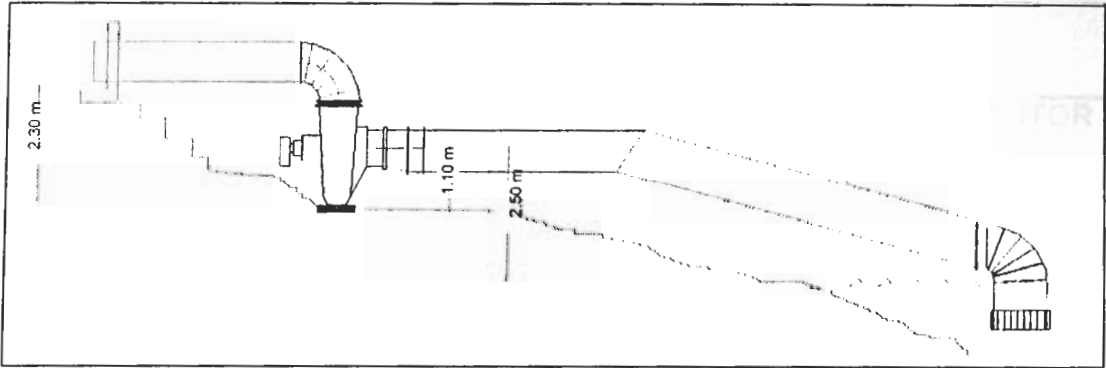
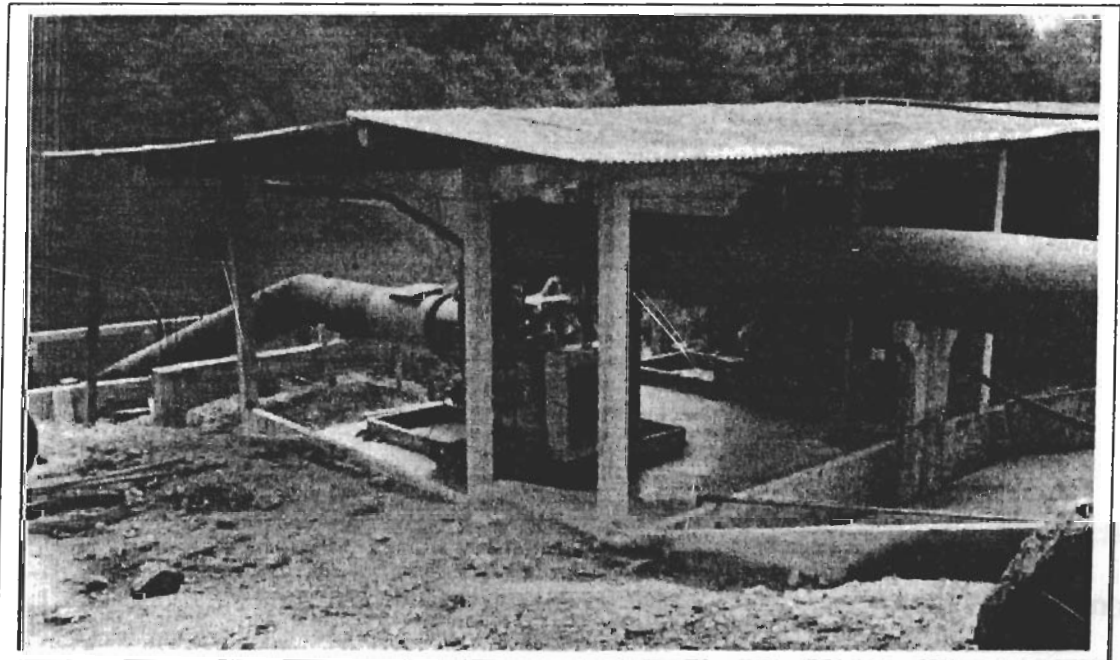


GRÁFICO 35: VISTA DE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN ACTUAL



Los datos de operación teóricos para esta disposición se resumen en la tabla 1:

TABLA 1: CAPACIDADES TEORICAS DE LOS EQUIPOS ACTUALES DE LA ESTACION DE BOMBEO

	RPM BOMBA	CAUDALGPM	TDH (aprox)	RPM MOTOR
1 GRUPO	550	23.100	4,5 m	2000

El resultado teórico es de 115.500 GPM en total para los 5 grupos. Según el comportamiento de las mareas se determina el tiempo durante el cual pueden operar los equipos durante el día. Para el caso presente, el dato proporcionado es que se pueden bombear 6 horas por marea. Esto da un caudal teórico total de 157.680 m³/marea.

Previo a presentarse el problema, se había realizado un informe de las condiciones de operación reales (las cuales se listan en la Tabla 2), obteniéndose un caudal real total de 41.904 GPM.

Lo que daría un caudal real de 41.904 GPM. La gran diferencia entre el caudal teórico y el real se explicaría por el extremo estado de desgaste en el que se encuentran los equipos, particularmente los impulsores de las bombas Hidrostal que son muy sensibles a la cavitación y a la pérdida de eficiencia volumétrica.



TABLA 2: CAPACIDADES DE LOS EQUIPOS ACTUALES DE LA ESTACION DE BOMBEO

	BOMBA	CAUDALGPM	RPM	MOTOR	RPM
EQUIPO 1	Hidrostral 28"	10.779	514	Caterpillar 3306 BT	1850
EQUIPO 2	Hidrostral 28"	10.120	507	Caterpillar 3306 BTA	1825
EQUIPO 3	Hidrostral 28"	8.800	507	Caterpillar 3306 BT	1825
EQUIPO 4	Hidrostral 28"	5.072	496	Caterpillar 3306 BTA	1786
EQUIPO 5	Hidrostral 28"	7.133	488	Caterpillar 3306 BT	1756
		41.904			

2.1.2. Estación de rebombeo

La estación de rebombeo consta de 3 bombas Hidrostral de 28" impulsadas por 3 motores Caterpillar BT y cubre un área de 150 has. Las cotas principales son las que se muestran en la gráfico 36:

GRÁFICO 36. ESQUEMA DE ESTACIÓN DE REBOMBEO ACTUAL

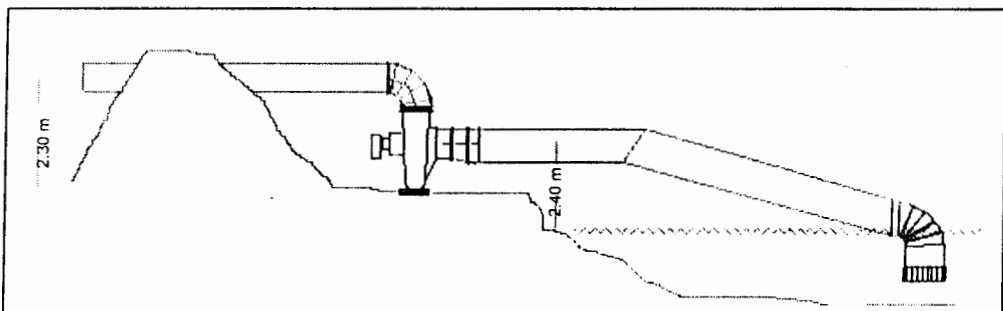
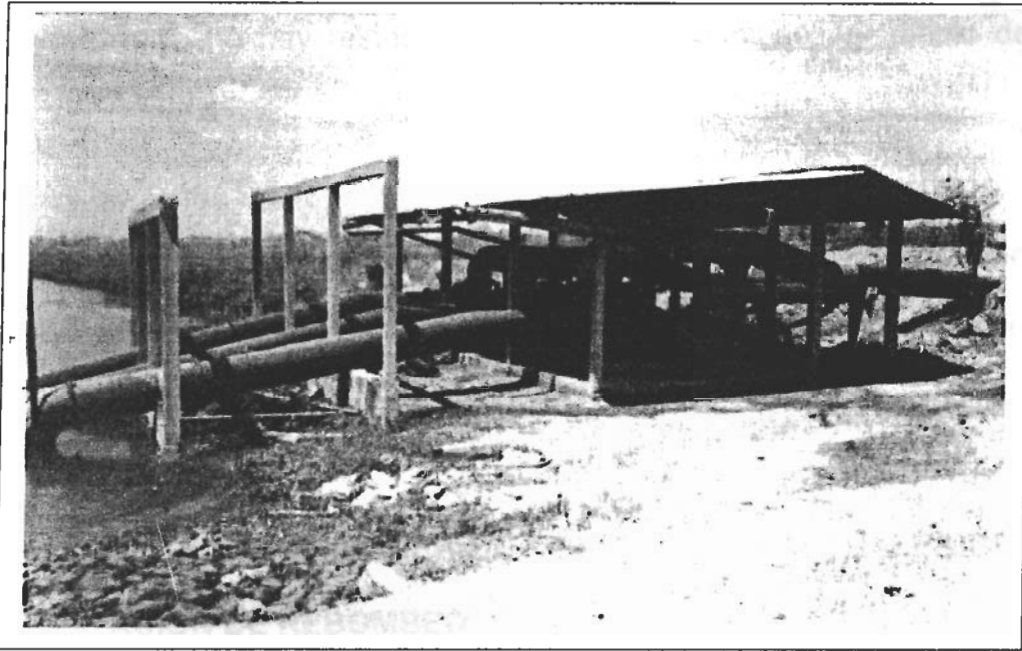


GRÁFICO 37. VISTA DE LA ESTACIÓN DE REBOMBEO ACTUAL



Los datos de operación teóricos para esta disposición se resumen en la tabla 3:

TABLA 3: CAPACIDADES TEORICAS DE LOS EQUIPOS ACTUALES DE LA ESTACION DE REBOMBEO

	RPM BOMBA	CAUDAL GPM	TDH (aprox)	RPM MOTOR
1 GRUPO	550	23.100	4,5 m	1800

Lo que da un caudal teórico de 69.300 GPM para los tres grupos de bombeo, que es el 60% de la capacidad de la Estación de

Bombeo principal dado que sirve al 60% de la camaronera (150 de 250 Has) que se encuentran a una cota superior. En este caso no hay restricción de horas de bombeo por efecto de la marea.

Las condiciones de operación reales fueron igualmente determinadas por el estudio citado y son las que se resumen en la siguiente tabla:

TABLA 4: CAPACIDADES DE LOS EQUIPOS ACTUALES DE LA ESTACION DE REBOMBEO

	BOMBA	CAUDALGPM	RPM	MOTOR	RPM
EQUIPO 1	Hidrostral 28"	10.800	520	Caterpillar 3306 BT	1820
EQUIPO 2	Hidrostral 28"	10.120	510	Caterpillar 3306 BTA	1825
EQUIPO3	Hidrostral 28"	7.133	490	Caterpillar 3306 BT	1806
		28.053			

2.1.3. Solución propuesta

La solución propuesta es la construcción de una sola estación de bombeo en el sitio donde estaba la estación original (parte externa del meandro).

La estación tendrá la capacidad de elevar a 7 metros de altura estática un caudal de 86.625 GPM, considerando un bombeo de 8 horas por marea con la posibilidad de bombear 24 horas diarias de ser necesario. Esta estación será del tipo "cajón sumergido". Se proyectó utilizar 5 bombas tipo KDZH de 24" y motores Caterpillar 3306BTA de 250 HP (185 KW) @ 1800 RPM, sin embargo, en vista de que la camaronera adquirió motores Caterpillar 3406 BT de 275 HP (205 KW) @ 1800 RPM, se modificó el diseño para utilizar 4 bombas KDZH de 24", que aprovechando la mayor potencia disponible en estos motores, permiten obtener el mismo caudal proyectado.

En las secciones siguientes se explicarán una a una las características de la solución propuesta y las razones para seleccionarla.

2.2. DATOS PRELIMINARES

2.2.1. Selección de la ubicación

La ubicación de la nueva estación se ha seleccionado atendiendo los siguientes criterios:

- (a) Es la opción económicamente más conveniente, ya que permite utilizar la estructura ya disponible (muros antiguos, compuertas existentes) siendo sólo necesario elevar la cota del muro para que haga de sedimentador.

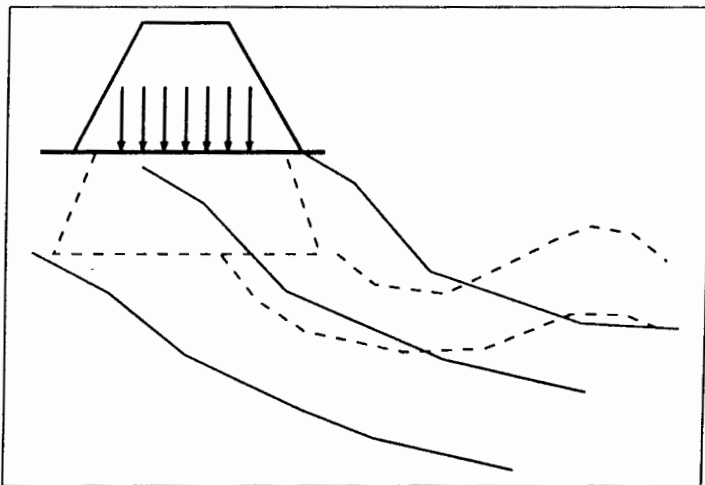
- (b) Permite la construcción de una estación de bombeo única, sin la necesidad de realizar un rebombeo, simplificando la operación de bombeo y abaratando costos tanto iniciales, cuanto de operación.

2.2.2. Selección del tipo de estación y su localización

Una vez que se determinó utilizar la misma ubicación de la estación original, se observa inevitablemente que la nueva estación estará sometida a la erosión por la mayor velocidad del flujo en la parte externa del meandro, erosión que se incrementa si se utilizan pilotes dentro del cauce para colocar las bombas y/o tuberías de succión, creando tal cantidad de vórtices que harían ineficiente, además, el bombeo. Adicionalmente, la habilitación del canal reservorio original (ahora con muros más altos) originará una presión mayor. Todos estos factores causarían que al final se repita el mismo problema que causó el colapso de la estación original.

Por otro lado, los estudios efectuados al terreno evidencian que el tipo de suelo presente en el lugar es completamente plástico, por lo que la presión ejercida en un punto del mismo haría que el terreno se elevara por otro punto, fenómeno llamado “bufonamiento” (análogo al apretón de un tubo de pasta dental), porque el plástico se comporta como un fluido, que al verse sometido a presión se expande en todas direcciones, emergiendo finalmente por la que ofrezca menor resistencia.

GRÁFICO 38. ESQUEMA EXPLICATIVO DEL “BUFONAMIENTO”.



Otro punto a considerar es que los equipos de bombeo más eficientes para este tipo de aplicación (alto caudal, baja presión) son las bombas del tipo axial. Estas bombas requieren de una

estación de bombeo sobre pilotes que permita ubicarlas en el sitio de la succión, sin embargo, la utilización de pilotes en este caso favorecería la formación de vórtices en la succión de las bombas, lo que afecta su eficiencia. El mismo efecto se tendría al utilizar una estación del tipo convencional ya que se requeriría de pilotes para ubicar la tubería de succión.

Tomando en cuenta tanto las condiciones del terreno como la eficiencia de los equipos, se considera la opción de utilizar una estación del tipo cajón sumergido, la cual tiene un mayor costo que la estación convencional, pero es conveniente para la aplicación actual por las siguientes razones:

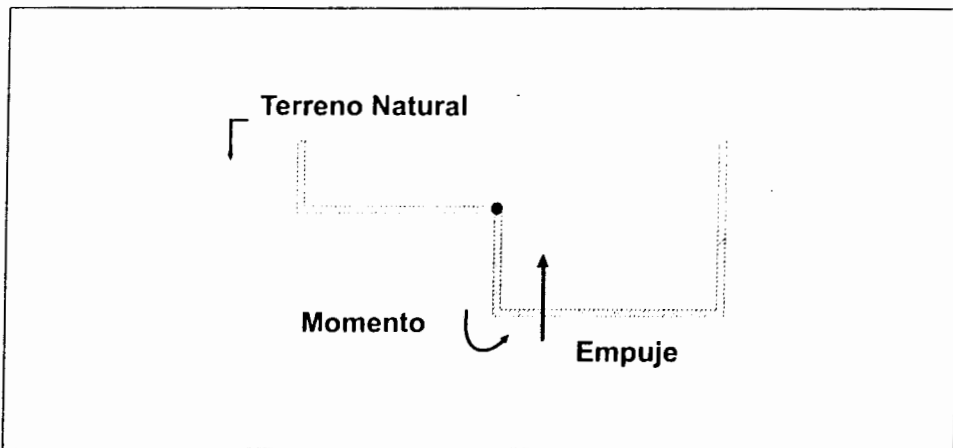
- (a) No necesitará la colocación de pilotes en el cauce del agua para la colocación de los equipos o tubería de succión.
- (b) Al estar "sumergida" la succión, es decir, la cota de los equipos está por debajo del nivel del agua en el canal, las bombas no requieren la utilización de válvulas check, comportándose prácticamente como bombas axiales, lo que ocasiona un ahorro considerable en pérdidas hidráulicas, y se disminuye por lo tanto, el requerimiento de potencia y el consumo de combustible, generando todo esto ahorros en

los costos por el incremento de la eficiencia operativa.

Quedan sin embargo latentes los efectos sobre la estación:

1. Esta tenderá a "flotar" por el desplazamiento (empuje) ejercido por el agua en el cajón (ver gráfico 39).

GRÁFICO 39. EFECTO DEL TERRENO SOBRE LA ESTACIÓN DE BOMBEO



2. La presión del relleno y el muro del canal sobre el suelo que provocaría eventualmente su deslizamiento por capas (bufonamiento).

Para contrarrestar estos efectos se considera la colocación de pilotes, los cuales cortan el deslizamiento de los lodos frenando su acción sobre la estación y sirviendo a la vez para mantenerla anclada en el suelo. Los pilotes mencionados van debajo de la

estación y no tienen efecto en la succión.

2.2.3. Determinación de cotas de trabajo

Sobre el terreno se determinan las siguientes cotas:

N + 9,4 : Nivel mínimo de marea

N +13,01: Nivel máximo de marea

N +14,39: Nivel del terreno natural

Como se va a utilizar una sola estación, las cotas para la descarga corresponden a las del actual rebombeo, más un metro adicional de altura, que es el nivel al que se ha elevado el muro:

N +19,05: Nivel del agua en el reservorio

N +20,00: Nivel del terreno muro

Para la determinación de los requerimientos operativos se utiliza un nivel promedio de marea en la succión (N +11,80) y el Nivel del agua en la descarga (N + 19,05) lo que da una altura estática total de 7,25 metros. Para esta altura se seleccionarán los equipos procurando que sea en este punto que den su

mayor eficiencia.

El Nivel de Marea alta más 0,5 m que se adicionan para considerar el efecto de las avenidas de agua de la presa, determinan el mínimo nivel al que deben ser colocados los motores para evitar que se inunden de producirse alguna falla en la hermeticidad de las tuberías de succión. Adicionalmente, el muro perimetral de Hormigón Armado que mira hacia el estero (los otros están rodeados por el terreno natural) se elevó para prevenir que el agua se rebose en caso de crecidas.

El nivel mínimo de bombeo es aquel en el que el equipo puede empezar a bombear sin ningún problema y esto sucede cuando el impulsor de la bomba queda completamente por debajo del nivel del agua. Como se requiere que la operación actual pueda realizarse continuamente por un periodo de 8 horas diarias, los Biólogos de la camaronera indican que el agua toma ese tiempo en bajar 2,41 m, es decir, el nivel mínimo de bombeo sería la cota +10,60.

Con este valor y la altura que tiene la bomba desde su impulsor hasta el piso más la altura del chasis de la misma se determina la cota del piso de la estación:

Altura desde el filo superior del impulsor al piso: 1,49 m

Altura de la viga del chasis: 0,12 m

Altura total requerida: 1,61 m

Cota del piso de la estación = 10,60 m – 1,61 m

Cota del piso de la estación = 8,99 m

Estas son las principales cotas de la estación de bombeo.

2.3. SELECCIÓN DE EQUIPOS

2.3.1. Capacidad de bombeo requerida

El requerimiento de caudal especificado para la camaronera es el caudal teórico de la estación actual, es decir:

Caudal Total = 157.680 m³/día

Considerando que el bombeo puede realizarse durante 8 horas al día, se obtiene:

Caudal Total = 86.625 GPM

La camaronera cuenta con los equipos listados en el Anexo 4,

de los cuales se deberá seleccionar los que se utilizarán en la nueva estación de bombeo.

Tomamos como primer criterio el utilizar equipos homogéneos para la operación en paralelo, lo cual facilita la operación y el mantenimiento.

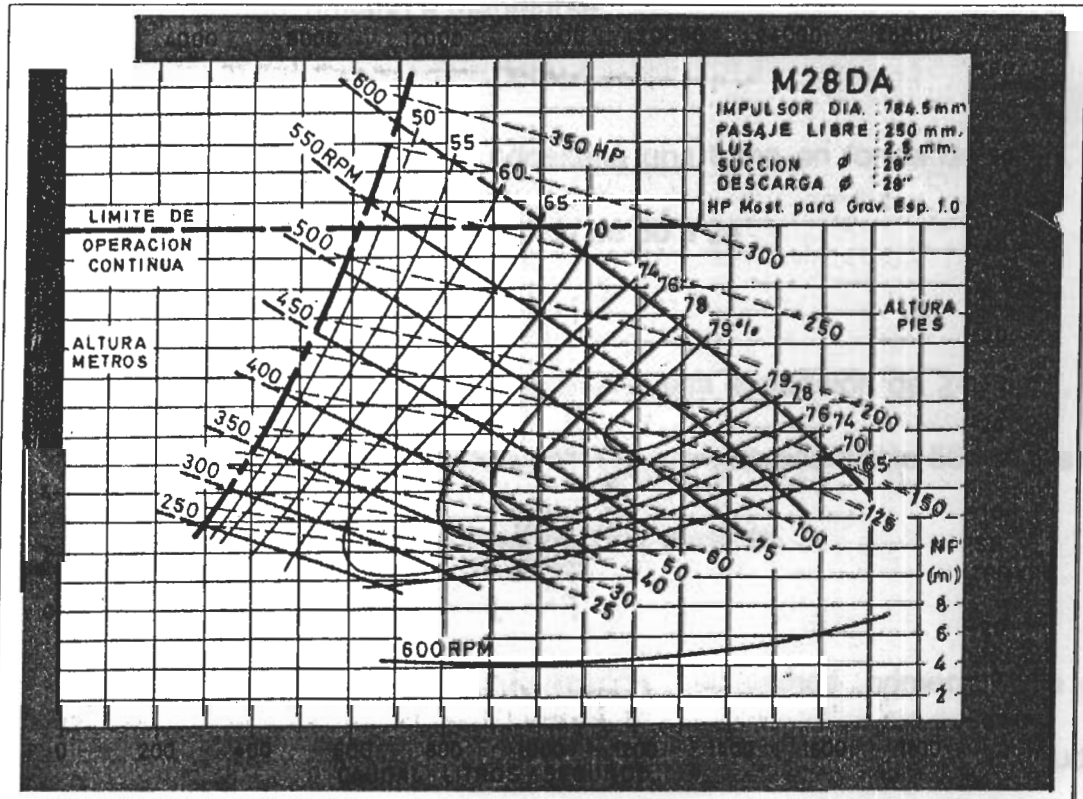
Revisamos cuáles equipos presentan las mayores eficiencias para el rango de presiones en que se trabajará, considerando que si la altura estática es de 7,25 metros, la altura dinámica total será de alrededor de 1 a 2 metros más. Para este rango de presiones, se podrían utilizar tanto los equipos Hidrostral de 28", tal como lo demuestra su curva característica (gráfico 40), como los KDZH de 24", (dato que se obtiene aplicando similitud dinámica a las curvas de dicha bombas, presentadas en el Anexo 5)

Escogimos primeramente las bombas KDZH que presentan una mejor eficiencia volumétrica y mejor desempeño para los rangos de trabajo planteados. Se escogió primeramente utilizar 5 bombas de 24" ya que con ellos se podría cubrir el requerimiento del caudal, utilizando los motores disponibles al momento (CATERPILLAR 3306 BTA, con potencia de 190 KW

a 2000 RPM). Sin embargo, se tuvo posteriormente la disponibilidad de motores de mayor potencia (CATERPILLAR 3406BT con potencia de 205 KW a 1800 RPM).

Esto permitió aprovechar el rendimiento de las bombas, y tener un mayor caudal unitario, lo que derivó en reducir el equipo requerido de 5 a 4 equipos de bombeo.

GRÁFICO 40. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS HIDROSTAL DE 28"



2.3.2. Cálculo de Pérdidas Hidráulicas

Una vez determinado el tipo de bombas a utilizar, calculamos el valor real de las pérdidas hidráulicas a generarse. Para esto es necesario conocer la velocidad del flujo que atraviesa la bomba y la cantidad de tuberías y accesorios que se utilizarán para el transporte del mismo.

Primeramente, aunque la bomba es de 24" se emplean tanto en la succión como en la descarga expansiones que permitan utilizar tubería de 30" de diámetro que es la apropiada para el caudal unitario a manejarse.

Para la succión es necesaria una toma en forma de rejilla, un codo de 90° y la reducción de 30 a 24".

Para la descarga es necesaria una expansión de 24 a 30", un codo de 90°, dos codos de 45°, aproximadamente 50 metros de tubería y una tapa basculante a la salida.

En base a esta información calculamos primeramente la velocidad del líquido que atraviesa la bomba, para el caudal teórico planteado (21.656 gpm por bomba):

$$V = Q/A$$

$$V \text{ succión} = 4,86 \text{ m/seg}$$

$$V \text{ descarga} = 3,55 \text{ m/seg}$$

Luego calculamos la velocidad de la tubería luego de las expansiones o contracciones:

$$V_2 = Q/A$$

$$V_2 = 3,09 \text{ m/sg}$$

En base a esto calculamos el Número de Reynolds, teniendo:

$$Re = \rho VD/\mu \text{ ó } VD/\nu$$

Donde

$$D = 0,75 \text{ m}$$

$$V = 3.09 \text{ m/s}$$

$$\nu = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{por lo que } Re = 257.690$$

Como $Re > 10.000$ concluimos que estamos trabajando con un flujo turbulento. En este caso el cálculo de las pérdidas hidráulicas lo realizamos de la siguiente forma:

$$H_t = f l/D V^2/2$$

Donde L es la longitud equivalente de toda la tubería utilizada.
De las tablas de pérdidas debido a accesorios (Anexo 3) determinamos que:

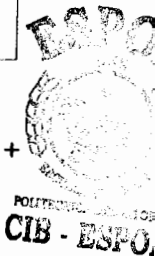
TABLA 5: PERDIDAS HIDRAULICAS EN TUBERIAS Y ACCESORIOS

L1/D	Long. Equivalente de 2 codos de 90°	60
L2/D	Long. Equivalente de 2 codos de 45°	32
L3/D	Long. Equivalente de la entrada	33
L4/D	Long. Equivalente de la salida	66,7
L5/D	Long. Equivalente de la contracción a la entrada	1,24
L6/D	Long. Equivalente de la expansión a la salida	0,75
L7/D	Long. Equivalente tapa basculante (abierta)	13
L8/D	Longitud equivalente total de la tubería	66,67

Longitud equivalente total = $L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8$

Longitud equivalente total = 273,39

f es el factor de rozamiento que se obtiene en función de la rugosidad relativa e/D y del número de Reynolds. La rugosidad relativa se la obtiene del Anexo 2 y es para este caso igual a



0,001.

Del Diagrama de Moody (Anexo 1) obtenemos el valor del factor de fricción f que es igual a 0,0145

En base a estos datos obtenemos:

$$H_t = f l/D V_2^2/2g$$

$$H_t = 0.0145 \times 273,39 \times 0,5209\text{m}$$

$$H_t = 2,06 \text{ m}$$

Finalmente, la altura dinámica total (altura estática más las pérdidas por fricción más las pérdidas dinámicas) es igual a:

$$H = H_{est} + H_t + H_d$$

$$H = 7,25 + 1,93 + 0,49 = 9,67 \text{ m}$$

En el caso más crítico (mínimo nivel de bombeo), la altura total dinámica sería de:

$$H_{\text{máx}} = 8,45 + 1,93 + 0,49 = 10,87 \text{ m}$$

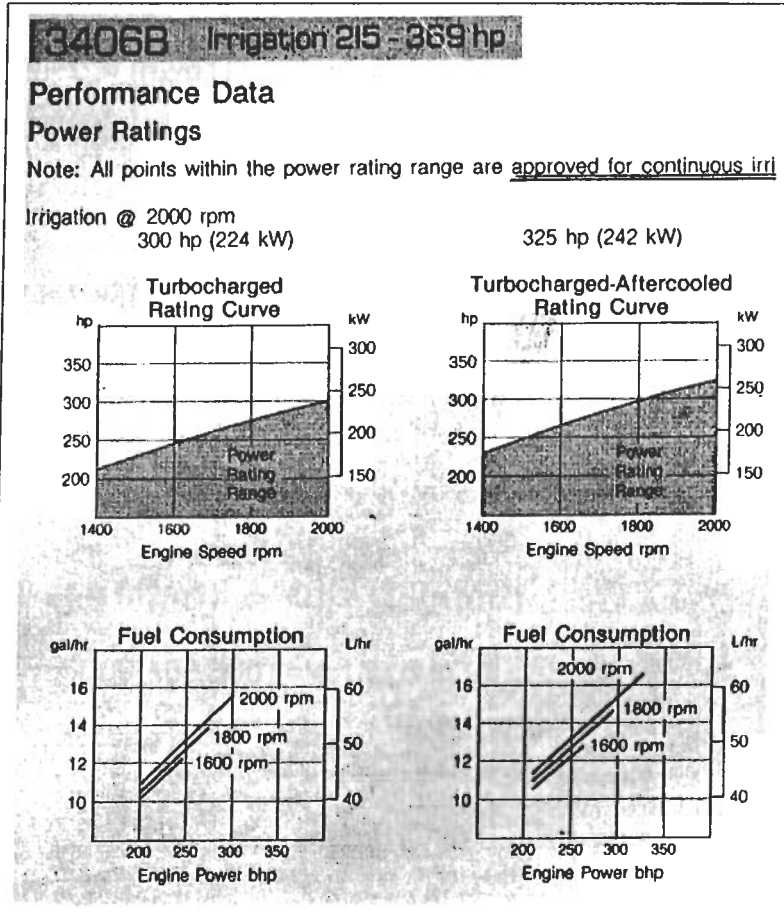
Una vez obtenido este dato corroboramos lo obtenido con la

curva característica de la bomba para obtener los valores reales que ésta puede ofrecer. En este caso la curva de la bomba presenta datos para una sola velocidad del impulsor (590 rpm), por lo que los valores para otras velocidades deberán obtenerse mediante las relaciones de afinidad dinámica.

Para realizar los cálculos de afinidad dinámica partimos en este caso del dato de la potencia. Aunque aún no se ha hecho el proceso de cálculo necesario para hallar la potencia requerida, en este caso tenemos una limitada selección de motores disponible, que son los motores que posee la camaronera. El dato referencial proporcionado es que el motor provee 205 KW efectivos a 1800 RPM. Este es un dato obtenido de la curva del motor 3406BT, que se muestra en la gráfico 41.

A este valor le aplicamos un margen de seguridad del 20% que además de proporcionar una reserva de potencia, previene el hecho de que los datos de las curvas características son determinados para condiciones ideales del fluido, sin considerar pérdidas por elementos tales como el radiador, etc. Si se aplica este margen, la potencia que dispondríamos de motor es de 170 KW a 1800 RPM.

GRÁFICO 41: CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CATERPILLAR 3406BT



De los datos de la curva podemos considerar dos puntos para el análisis: El punto de máxima eficiencia (85%), que corresponde a la curva # 1 y que requeriría una potencia de 300 KW a 590 RPM. Otro punto a considerar es uno que proporcione mayor caudal a menor altura dinámica a un alto nivel de eficiencia. Este puede ser el punto 2, correspondiente a la curva 2, con 80% de eficiencia, para el que se requiere una potencia de 250 KW. Si aplicamos las leyes de afinidad dinámica a ambos

casos obtenemos:

CASO 1:

$$P2/P1 = (n2/n1)^3 \Rightarrow n2 = n1 (P2/P1)^{1/3}$$

$$N2 = 590(170/300)^{1/3} = 488 \text{ RPM}$$

$$H2/H1 = (n2/n1)^2 \Rightarrow h1 = h2 (n1/n2)^2$$

$$H1 = 18(488/590)^2$$

$$H1 = 12,314 \text{ m}$$

$$Q2/Q1 = (n2/n1) \Rightarrow Q1 = Q2 (n1/n2)$$

$$Q1 = 5000(488/590) = 4.135,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q1 = 18.210 \text{ GPM}$$

CASO 2:

$$P2/P1 = (N2/N1)^3 \Rightarrow n2 = n1 (P2/P1)^{1/3}$$

$$N2 = 590(170/250)^{1/3} = 519 \text{ RPM}$$

$$H2/H1 = (n2/n1)^2 \Rightarrow h1 = h2 (n1/n2)^2$$

$$H1 = 12,5 \times (519/590)^2$$

$$H1 = 9,67 \text{ m}$$

$$Q2/Q1 = (n2/n1) \Rightarrow Q1 = Q2 (n1/n2)$$

$$Q_1 = 5.750(519/590) = 5014 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_1 = 22.272 \text{ GPM}$$

El desempeño de la bomba a 519 RPM es el que más se ajusta a los requerimientos, por lo que en base a esta velocidad recalculamos el caudal y el valor de las pérdidas hidráulicas obteniendo:

$$Q = 22.150 \text{ GPM}$$

$$H = 9,80 \text{ m}$$

2.3.3. Selección de motores.

La potencia requerida por el fluido se obtiene en función de caudal y la altura total dinámica:

$$P_f = Q \times H$$

Para obtener la potencia en HP utilizamos la siguiente fórmula:

$$P_f = Q(\text{gpm}) \times H (\text{pies}) \times \text{Gravedad Específica} / 3960$$

$$P_f = 22.160 \times 32,09 / 3.960$$

$$P_f = 179,56 \text{ HP (133,9 KW)}$$

La potencia que requiere la bomba se obtiene de dividir la potencia requerida por el fluido para la eficiencia total de la bomba, valor que se indica en su curva característica.

$$\eta = 80\%$$

$$P_b = P_f / \eta$$

$$P_b = 179,56 / 0,80 = 224,45 \text{ HP (167,38 KW)}$$

Finalmente, para calcular la potencia que debe entregar el motor consideramos una pérdida de alrededor del 20% debida a que el tipo de motor utilizado (de combustión interna) presenta pérdidas mecánicas en sus elementos:

$$P_m = P_b \times 1,2$$

$$P_m = 269,34 \text{ HP (200,85 KW)}$$

Como se indicó anteriormente, los motores Caterpillar 3406BT cubren los requerimientos de potencia planteados.

Sin embargo, debe comprobarse que los equipos seleccionados puedan cubrir también el rango de mayor exigencia en la operación, que es cuando se alcanza el mínimo nivel de bombeo, en cuyo caso, la altura estática será de 8,45 metros.

Las condiciones de operación en ese caso serían:

$$H = 10,70 \text{ m}$$

$$Q = 20.906 \text{ GPM}$$

$$P_f = 185,34 \text{ HP (138,35 KW)}$$

$$P_b = 229,05 \text{ HP (170,8 KW)}$$

$$P_m = 274,86 \text{ HP} = 204,97 \text{ KW}$$

Como la potencia disponible en el motor a esa velocidad es de 205 KW, concluimos que se cubre perfectamente todo el rango de operación.

2.3.4. Selección de accesorios de transmisión

Debido a la disposición de los equipos, y considerando también la economía y disponibilidad de los mismos como criterio de decisión, los accesorios de transmisión de potencia más recomendables son las poleas y bandas.

Tomando en cuenta que la velocidad de trabajo del motor Caterpillar 3406 es de 1800 RPM y la velocidad de operación de la bomba es de 519 RPM, determinamos en factor de reducción de velocidad de 3,47 a 1.

En base a esto y para el rango de potencias en el que se va a trabajar, se selecciona la polea del motor, que es de las siguientes características:

$$D1 = 250 \text{ mm}$$

Aplicando el factor de reducción obtenemos el diámetro de la polea de la bomba:

$$D2 = 867 \text{ mm}$$

Las medidas estándares disponibles son de 800 ó 900 mm. Si seleccionamos la polea de 900 mm la relación de velocidad cambia a 3,6 a 1, lo que equivaldría a que, para la velocidad del motor de 1800 RPM, la bomba giraría a 500 RPM. Comprobamos los parámetros de operación para esta velocidad y obtenemos:

$$\text{Caudal promedio} = 22.390 \text{ GPM}$$

$$\text{TDH} = 9,84 \text{ m}$$

$$P_m = 275,4 \text{ HP (205,3 KW)}$$

$$\text{TDH máx} = 10,77$$

$$\text{Caudal} = 20.897$$

$$P_m = 274,5 \text{ HP (204,7 KW)}$$

Para determinar la sección de las poleas nos basamos en los datos del Anexo 6. De los diversos tipos de secciones que pueden utilizarse (SPB, 5V, C, etc) escogemos la sección C, ya que tiene la mayor potencia transmitida por banda, lo que, además de reducir el costo al tener menos bandas, facilitará la operación de los equipos. Según esto el número de bandas es:

$$N = P_m / \text{pot transmitida por banda}$$

Según el Anexo 7, la potencia transmitida por banda para el presente caso (polea de 250 mm a 1800 RPM) es de 15,29 KW, más 1,83 adicionales que dependen de la relación de velocidades:

$$\text{Potencia transmitida por banda} = 17,12 \text{ KW}$$

$$N = 205 \text{ kw} / 17,12 \text{ kw}$$

$$N = 11,97 \approx 12$$



La distancia entre centros se fijará una vez que se tengan las dimensiones de la estación de bombeo, según los requerimientos de disposición de los equipos. Una vez conocida esta distancia, se obtendrá el largo de las bandas a utilizar.

2.4. DISEÑO DE ESTACION DE BOMBEO

2.4.1. Disposición de los equipos

Como se había mencionado anteriormente, las bombas se colocarán dentro de un cajón sumergido a una cota inferior a la del nivel de la marea mínima. Las principales cotas de la estación, determinadas en las secciones anteriores son:

N + 9,4:	Nivel mínimo de marea
N +13,01:	Nivel máximo de marea
N +14,39:	Nivel del terreno natural
N +13,05:	Cota de piso (losa de bombas)
N +8,99:	Cota de losa de motores

Los motores se colocarán desfasados en relación al eje de las bombas para permitir el temple de las bandas. Calculamos en base a los datos de diseño el valor del NPSH disponible:

$$\text{NPSH} = P + L_h + (V_p - H_f)$$

P = presión atmosférica = 10,33 m

L_h = altura de la columna de agua (nivel mínimo de bombeo – cota del eje de la tubería de succión)

$$L_h = 0,57 \text{ m}$$

V_p = presión de vapor del líquido a la temperatura de trabajo

$$V_p = 0,355 \text{ m}$$

H_f = Columna de fricción en la succión = 0,484

$$NPSH = 10,33 + 0,57 - 0,355 - 0,484$$

$$NPSH = 10,06 \text{ m}$$

Según su curva característica, el NPSH requerido por la bomba es de 4,5 m en las condiciones de operación planteadas, por lo que se cumple la relación:

NPSH disponible > NPSH requerido.

2.4.2. Dimensionamiento de la estación

AREA DE BOMBAS Y MOTORES

Para el dimensionamiento de la estación tomamos en cuenta que necesitamos ubicar 4 equipos motor-bomba en paralelo.

Las dimensiones de estos equipos se especifican en sus respectivos catálogos de los cuales se muestran las gráfico 42 y 43:

GRÁFICO 42. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL MOTOR CATERPILLAR 3406BT

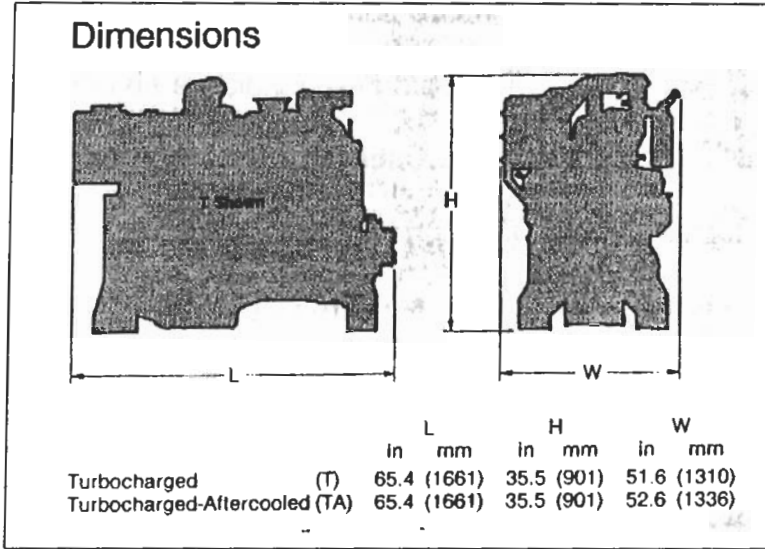
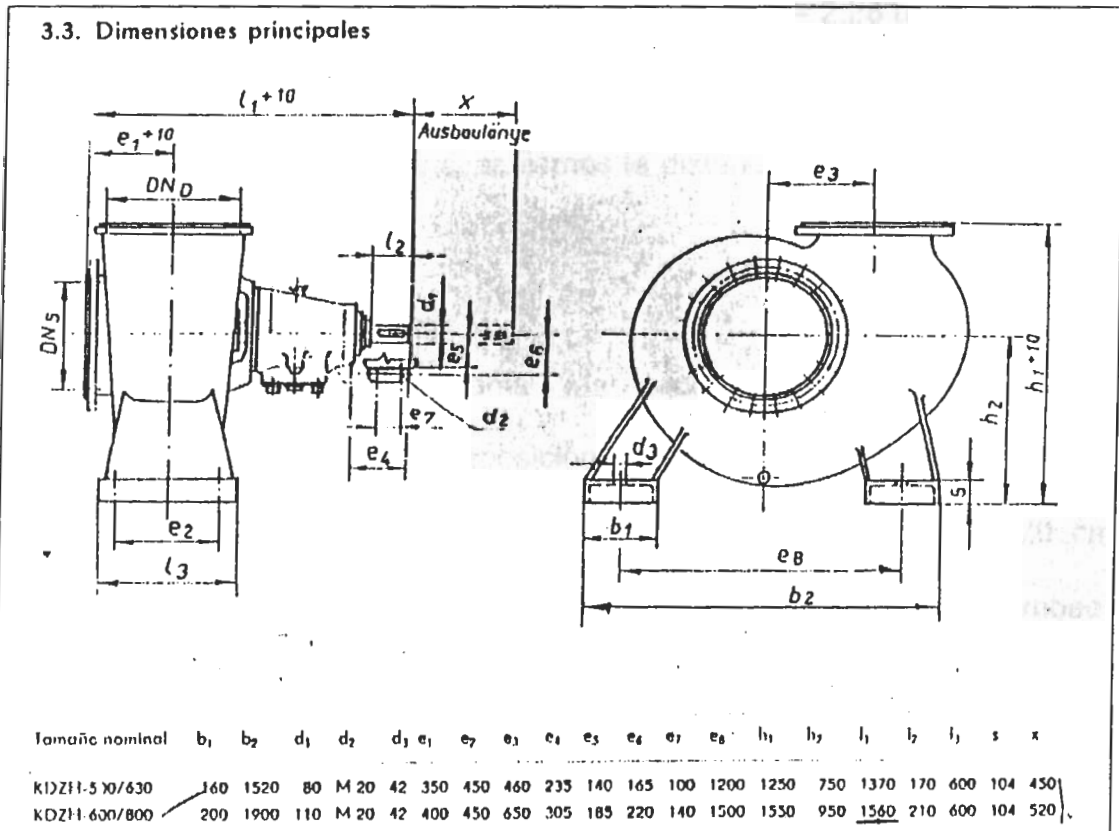


GRÁFICO 43. DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA BOMBA KDZH



Cárcamos o Pozos de Succión:

En cuanto a las bombas, cada una de ellas contará con un cajón de succión, cuyas medidas mínimas son determinadas en base a las recomendaciones citadas anteriormente como criterios para el dimensionamiento de las estaciones. En este caso, la distancia mínima entre centros para un caudal de alrededor de 22.000 GPM ($1.39 \text{ m}^3/\text{seg}$) por bomba es de:

$$\text{Diámetro equivalente} = (4Q/\pi V)^{1/2}; \quad V = 3,05 \text{ m/s (10 ft/seg)}$$

$$\text{Diámetro equivalente} = [(4 \times 1.387 \text{ m}^3/\text{seg}) / (\pi \times 3.05 \text{ m/seg})]^{1/2}$$

$$\text{Diámetro equivalente} = 0.76 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre centros } 3\phi = 3 \times 0.76; \quad W = 2,28 \text{ m}$$

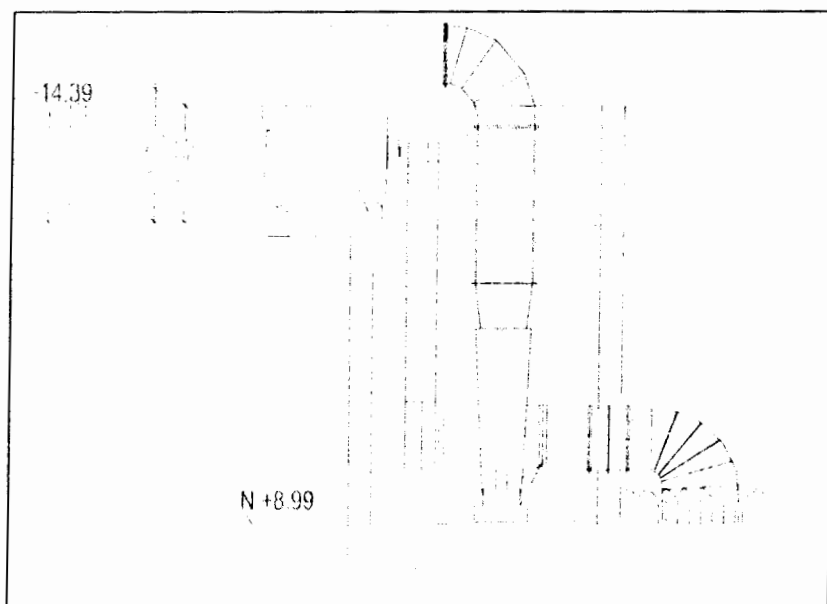
En base a lo cual fijamos la distancia entre centros en 2,30 m.

Tomando en cuenta los requerimientos mínimos aquí especificados, la disposición resultante de los equipos, y el que todas las paredes y columnas tendrán un ancho de 20 cm obtenemos las dimensiones mínimas de la estación de bombeo:

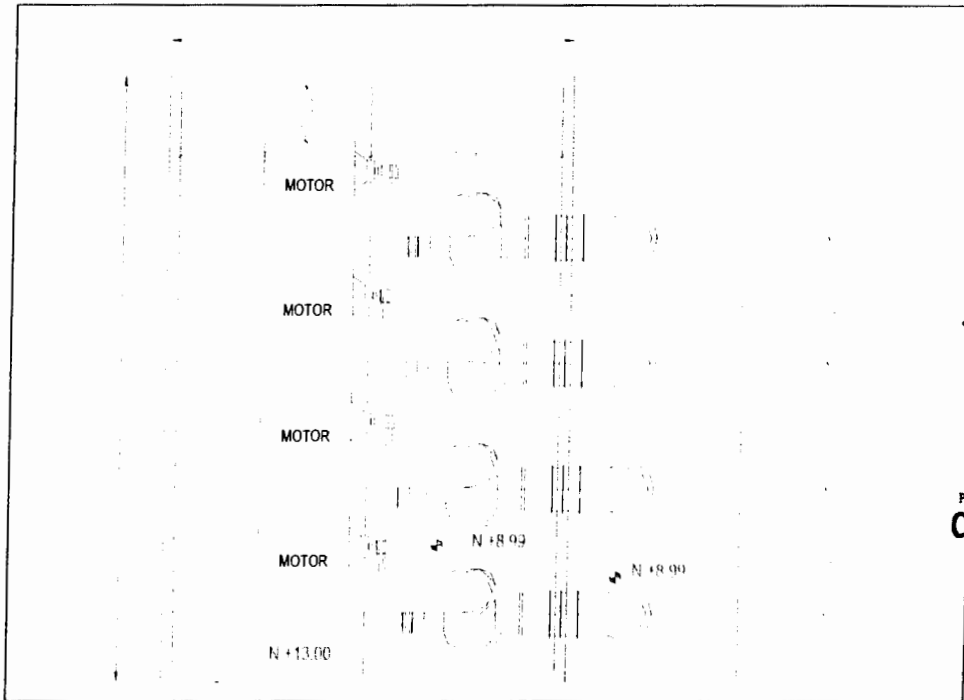
(Ver gráficos 44 y 45)

Es de notar que solo la tubería de succión debe estar en contacto con el agua. Para evitar que se produzcan filtraciones y que el agua entre al compartimiento de las bombas se construyen unos "pasamuros" que son tramos pequeños de tubería (de alrededor de 1 m de largo), generalmente de mayor espesor que la tubería normal, para mayor duración ya que están fundidos a la pared del cajón, de manera que quede completamente sellada la entrada a la estación, para lo cual tienen además una brida sin huecos que forma un "laberinto" que impide filtraciones.

GRÁFICO 44. ESQUEMA PRELIMINAR DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO, VISTA LATERAL



**GRÁFICO 45. ESQUEMA PRELIMINAR DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO,
VISTA EN PLANTA**



La tubería se acopla a estos pasamuros por medio de bridas.

Cuando se requiera realizar algún tipo de mantenimiento y sacar una bomba, se espera a que el nivel de la marea llegue al mínimo (debajo del nivel del pasamuro) y se saca el equipo, colocándose en vez de este una tapa "ciega" que impida el ingreso del agua al compartimiento de bombas una vez que la marea vuelva a subir. Aparte de esto, se incorpora una opción para poder sellar el compartimiento de las bombas, que es el sellado mediante la utilización de 2 paredes de tablas que se

deslizan por sendas ranuras contempladas en los mulos de ala que orientan el flujo y separan los cárcamos y cuyo espacio intermedio se rellena con lodo (arcilla expansiva).

En cuanto a la descarga, es necesario construir un cajón de hormigón que reciba el flujo de agua, ya que en caso contrario la fuerza del agua iría socavando el terreno en la descarga. Para las dimensiones de este cajón de descarga se deben tomar en cuenta dos aspectos: Primero, para el ancho es necesario tomar en consideración las líneas de tubería. Aunque en principio la distancia entre centros de la estación es de 2,30 m, ésta está determinada por los requerimientos mínimos a la succión, pero no es necesario que se mantenga a la descarga. Por lo tanto, en las mismas inflexiones que se utilizan para elevar la tubería a la altura requerida, se cambia su dirección de manera que las tuberías converjan a una distancia mínima, que permite disminuir el ancho requerido para el canal de descarga.

De igual forma que en la estación de succión, se funden unos "pasamuros" en la descarga de la estación. Para aumentar la eficiencia y descargar bajo el nivel del agua se utilizan tapas basculantes, las cuales permanecen abiertas cuando las

bombas están en funcionamiento por el mismo empuje del flujo de agua, pero si el bombeo se suspende se cierran previniendo así que se produzca un flujo inverso brusco que afecte a los equipos. Estas tapas basculantes consisten en una especie de ventosas, ya que tienen chimeneas, cuya altura debe alcanzar siempre un nivel superior al del agua, de manera que permita el ingreso de aire y se evite de esta forma el "golpe de ariete".

2.4.3. Determinación de elementos complementarios

Adicionalmente a los elementos mencionados, el diseño de la estación de bombeo debe tomar en cuenta los siguientes elementos complementarios:

Area de montaje y mantenimiento: Se considera un espacio lateral donde se colocarán escaleras y una rampa que permitan un cómodo acceso a los equipos. Al costado de la rampa se deja un área libre para el ingreso y estacionamiento de un vehículo, que permite la carga y descarga de los equipos para los casos de montaje, mantenimiento o reparación.

Estructura metálica para cubierta: Para su diseño se toma en cuenta que debe tener una altura que permita el izamiento de

los equipos para reparación. El mínimo recomendado es de 3 metros, pero hay que tener en consideración la ubicación de los tubos de escape de los motores. En este caso el techado se diseña de "una sola ala" con el lado más bajo hacia el canal de succión, lo que permite que el agua de lluvia se deslice hacia éste, evitando de esta manera que el agua penetre a la estación y/o erosione el terreno circundante, además de tener la ventaja de ser más económico. Para determinar la orientación y el tipo de cubierta debe tenerse en cuenta la dirección del viento. Si no es posible utilizar de "una sola ala", pueden utilizarse canaletas en el techado de "dos alas", que recojan el agua y la dirijan hacia la succión de la estación.

Esta cubierta debe cubrir las rampas y el área de carga para el vehículo.

Se considera también un espacio lateral para colocar una escalera de acceso al compartimiento de las bombas.

Puente grúa: Utilizado para izar y transportar los equipos hasta el área de montaje y mantenimiento, se desliza por medio de ruedas y rieles. Se puede utilizar una estructura tipo pórtico autoportada (generalmente para recintos abiertos) o un

puente grúa propiamente dicho que se apoya en la estructura de la cubierta, para recintos cerrados.

Los tubos de escape deberán tener un diámetro apropiado (el cual lo indica el fabricante), curvas suaves, tienen que estar bien sujetos y botar humo en la dirección del viento, fuera de la cubierta de la estación.

2.4.4. Diseño final de la estación de bombeo

En el Apéndice 1 se muestran los planos generales de la estación de bombeo propuesta.

CAPITULO III

3. ANALISIS DE OPCIONES Y RESULTADOS

3.1. Condiciones y costos de operación de la alternativa planteada

En base a los cálculos realizados en las secciones anteriores y los requerimientos del cliente se establecen las siguientes condiciones de operación:

TABLA 6: CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

Caudal por bomba	22.390 GPM
Caudal total (4 bombas)	89.560 GPM
Potencia al freno de cada motor	275 HP
Consumo de combustible	13,8 gal/hora
Consumo total de combustible	55,2 gal/hora

Tiempo diario de operación de los equipos	16 horas por día
Consumo anual de combustible (por 300 días)	264.960 galones de diesel al año
Gasto anual en combustible	\$264.960

Para el costo del galón de diesel se ha considerado el valor de \$1, tomando en cuenta a parte del costo del combustible, costos inherentes a transporte, almacenamiento, manipulación, etc.

3.2. Análisis costo-beneficio de la inversión propuesta vs las alternativas convencionales.

Este análisis lo realizaremos de dos formas:

Opción 1: Comparar dos alternativas de hacer una sola estación nueva, una convencional vs la solución propuesta

Opción 2: Comparar la alternativa de operar con estación de bombeo y rebombeo (la estación de bombeo sería nueva y la rebombeo la existente) vs la solución propuesta.

Opción 1:

Para poder realizar este análisis determinamos primero los elementos requeridos por una estación de tipo convencional en el mismo sitio y bajo las mismas condiciones. En el Apéndice 2 se presenta un esquema de esta estación.

El paso siguiente es determinar los costos operativos de cada alternativa así como la inversión requerida por cada tipo de infraestructura.

Costos Operativos:

En la sección anterior se calcularon los costos operativos de la solución propuesta, por lo que restaría calcular los de la estación convencional y de la situación actual.

Como indicamos que se utilizaría esencialmente los mismos equipos, tubería y accesorios de la solución propuesta, con la adición de 11 metros por cada línea de tubería y las válvulas check en la succión y quitando la tapa basculante. Para determinar entonces las pérdidas hidráulicas tomaremos el valor de longitud equivalente total calculado anteriormente menos la pérdida generada por la tapa basculante

(230.36) e incrementamos el valor de las pérdidas generadas por los elementos adicionales.

Para determinar las pérdidas originadas por la válvula check, consultamos las tablas indicadas en el Anexo 3 (en este se especifica el valor de K que equivale a $L/D \times f$).

$$L8 = K / f$$

$$L8 = 2 / 0,0145$$

$$L8 = 138$$

Con lo que tenemos:

$$\text{Leq total} = 230,36 + 138 + 11 / 0,75$$

$$\text{Leq total} = 383$$

Las pérdidas por fricción serán entonces:

$$H_t = f / D \times V^2 / 2g$$

$$H_t = 0,0145 \times 383 \times 0.5026m$$

$$H_t = 2,79 \text{ m}$$

Las pérdidas hidráulicas totales serán entonces:

$$H = H_{est} + H_t + H_d$$

$$H = 7,25 + 2,79 + 0,51 = 10,56 \text{ m}$$

Según los datos de la curva, la bomba deberá operar a 556 RPM para producir el caudal requerido (21.995 GPM). Esto puede lograrse con la misma relación de poleas y el motor operando a 2000 RPM.

En estas condiciones la eficiencia η de la misma es del 78%.

La potencia requerida por la bomba es, entonces:

$$P_f = Q(\text{gpm}) \times H (\text{pies}) \times \text{Gravedad Específica} / 3960$$

$$P_f = 21.995 \times 34,64 / 3960$$

$$P_f = 192,43 \text{ HP (143.5 KW)}$$

$$P_b = P_f / \eta$$

$$P_b = 192,43 / 0,78 = 246,7 \text{ HP (183,97 KW)}$$

La potencia requerida del motor es entonces:

$$P_m = P_b \times 1,2$$

$$P_m = 296,05 \text{ HP (220,77 KW)}$$

De estos datos, bajo las mismas condiciones de operación que la alternativa propuesta, se obtienen los datos de la Tabla 7

TABLA 7: CONDICIONES DE OPERACIÓN CON UNA ESTACION DEL TIPO CONVENCIONAL

Caudal por bomba	21.995 GPM
Caudal total (4 bombas)	87.980 GPM
Potencia al freno de cada motor	295,22 HP
Consumo de combustible	15,4 gal/hora
Consumo total de combustible	61,6 gal/hora
Tiempo diario de operación de los equipos	16 horas por día
Consumo anual de combustible (por 300 días)	295.680 galones al año
Gasto anual en combustible	\$295.680

La solución propuesta presenta un ahorro de costo de \$30.720 al año con respecto a la alternativa convencional.

Inversión

Para realizar el análisis de la inversión requerida determinaremos los elementos que difieren de una estación a la otra y calcularemos su costo. Los otros elementos (tales como bombas, motores, estructura de descarga, cubierta, etc.) al ser iguales en ambas alternativas no influyen en el costo diferencial.

Equipos: Los equipos utilizados son básicamente los mismos, a excepción de la tubería mencionada anteriormente (11 metros por cada línea de tubería) y las válvulas check. En la tabla 7 se resumen los elementos diferenciales de las estaciones y sus costos.

Obra civil: La diferencia radica en el volumen adicional de hormigón requerido para el cajón de succión y la excavación, así como otros elementos como excavación, relleno, etc.

Las diferencias en replantillo, hierro, excavación y relleno se resumen en la tabla 8.

De este análisis se obtiene que el costo diferencial de la inversión es de \$6,679 dólares, con lo cual se deduce que dicha diferencia se paga

en 3 meses de operación de la estación propuesta.

TABLA 8: ELEMENTOS DIFERENCIALES DE LAS ESTACIONES Y SUS COSTOS

RUBRO	U	P.U. (\$)	ESTACION PROPUESTA		ESTACION CONVENCIONAL	
			Volumen	Costo	Volumen	Costo
Replanteo	m2	5.59	159.30	\$890.49	127.20	\$711.05
Hormigón Estructural 280kg/cm2	m3	165.20	104.63	\$17,284.88	29.77	\$4,918.00
Pilotines para tubería	gl	2400.00	0.00	\$0.00	1.00	\$2,400.00
Hierro	Kg	0.84	9552.00	\$8,023.68	2717.00	\$2,282.28
Excavación con máquina	m3	0.80	550.00	\$440.00	0.00	\$0.00
Excavación a mano	m3	3.07	0.00	\$0.00	30.00	\$92.10
Relleno sin compactar	m3	1.74	550.00	\$957.00		\$0.00
Relleno compactado	m3	4.92	213.00	\$1,047.96	30.00	\$147.60
Tubería de 30"	m	242.50	0.00	\$0.00	44.00	\$10,670.00
Tapas basculantes	u	514.00	4.00	\$2,056.00	0.00	\$0.00
Válvulas Check	u	700.00	0.00	\$0.00	4.00	\$2,800.00
				\$30,700.00		\$24,021.03

Opción 2:

Para el caso de la situación actual, utilizamos los datos teóricos indicados en las tablas 1 y 3 y las curvas del motor 3306 BT (Anexo 8). En base a esto obtenemos los resultados de la tabla 9 para la estación de bombeo y los de la tabla 10 para la de rebombeo.

TABLA 9: CONDICIONES DE OPERACIÓN CON LA ESTACION DE BOMBEO PARA LA OPCION 2

Caudal por bomba	23.100 GPM
Caudal total (5 bombas)	115.500 GPM
Potencia al freno de cada motor	147,64 HP
Consumo de combustible	10 gal/hora
Consumo total de combustible	50 gal/hora
Tiempo diario de operación de los equipos	16 horas por día
Consumo anual de combustible (por 300 días)	240.000 galones al año
Gasto anual en combustible	\$240.000

TABLA 10: CONDICIONES DE OPERACIÓN CON LA ESTACION DE REBOMBEO PARA LA OPCION 2

Caudal por bomba	23.100 GPM
Caudal total (3 bombas)	69.300 GPM
Potencia al freno de cada motor	147,64 HP
Consumo de combustible	10 gal/hora
Consumo total de combustible	30 gal/hora

Tiempo diario de operación de los equipos	12 horas por día
Consumo anual de combustible (por 300 días)	108.000 galones al año
Gasto anual en combustible	\$108.000

El Gasto Operativo total de las dos estaciones sería de \$348.000 al año. La diferencia entre las dos alternativas es de \$83,040 anuales.

Inversión:

En cuanto a equipos, se utilizarían los mismos de la estación actual - luego de que se los haya sometido a un mantenimiento integral-, pero habría que cambiar todas las tuberías, ya que se encuentran en mal estado. Para el cálculo de la estación nos hemos referido a los volúmenes de la alternativa convencional de una sola estación de bombeo, pero tomando en cuenta que en este caso son 5 equipos en vez de cuatro. Estos costos se detallan en la tabla 11, donde se comparan con los costos totales de construir la alternativa propuesta. Como en el caso anterior, no se han incluido los elementos que son comunes a las dos estaciones (cubierta, puente grúa, etc). Un punto a resaltar es que para que la alternativa de utilizar nuevamente estación de bombeo y rebombeo sea viable, es necesario realizar el

mismo trabajo de pilotaje que en la solución propuesta para la construcción de la estación de bombeo. Por este motivo, no se incluye este costo en ninguno de los dos análisis de costos.

TABLA 11: ELEMENTOS DIFERENCIALES DE LAS ESTACIONES Y SUS COSTOS

RUBRO	U	P.U. (\$)	ESTACION PROPUESTA		ESTACION DE BOMBEO Y REBOMBEO	
			Volumen	Costo	Volumen	Costo
Replanto	m2	5.59	178.91	\$1,000.11	182.23	\$1,018.64
Hormigón Estructural 280kg/cm2	m3	165.20	142.74	\$23,580.65	49.62	\$8,197.64
Pilotines para tubería	gl	3000.00	0.00	\$0.00	1.00	\$3,000.00
Hierro	Kg	0.84	13077.02	\$10,984.70	4586.28	\$3,852.47
Excavación con máquina	m3	0.80	550.00	\$440.00	0.00	\$0.00
Excavación a mano	m3	3.07	0.00	\$0.00	30.00	\$92.10
Relleno sin compactar	m3	1.74	550.00	\$957.00	0.00	\$0.00
Relleno compactado	m3	4.92	213.00	\$1,047.96	30.00	\$147.60
Tubería de 30"	m	242.50	160.00	\$38,800.00	175.00	\$42,437.50
Codos de 90 grados	u	468.00	4.00	\$1,872.00	10.00	\$4,680.00
Codos de 45 grados	u	293.00	4.00	\$1,172.00	5.00	\$1,465.00
Pasamuros	u	410.00	8.00	\$3,280.00	5.00	\$2,050.00
Válvulas Check	u	700.00	0.00	\$0.00	5.00	\$3,500.00
Tapas Basculantes	u	514.00	4.00	\$2,056.00	0.00	\$0.00
Poleas	gl	8400.00	1.00	\$8,400.00	0.00	\$0.00
Motores 3406 BT	u	30000.00	4.00	\$120,000.00	0.00	\$0.00
Mantenimiento de equipos	u	30000.00	0.00	\$0.00	1.00	\$30,000.00
				\$213,590.41		\$100,440.95

La Diferencia en inversión de \$113,149.46, los cuales se pagarían en aproximadamente 18 meses de operación. Es importante recordar que en este caso la solución propuesta utiliza motores completamente nuevos.

Debe tenerse en cuenta que este análisis parte de que la camaronera cuenta ya con la mayoría de los elementos para la alternativa de bombeo y rebombeo. Es evidente que si se analizan las dos alternativas desde cero, la alternativa de bombeo y rebombeo sería mucho más cara, por la cantidad de equipos que requiere.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

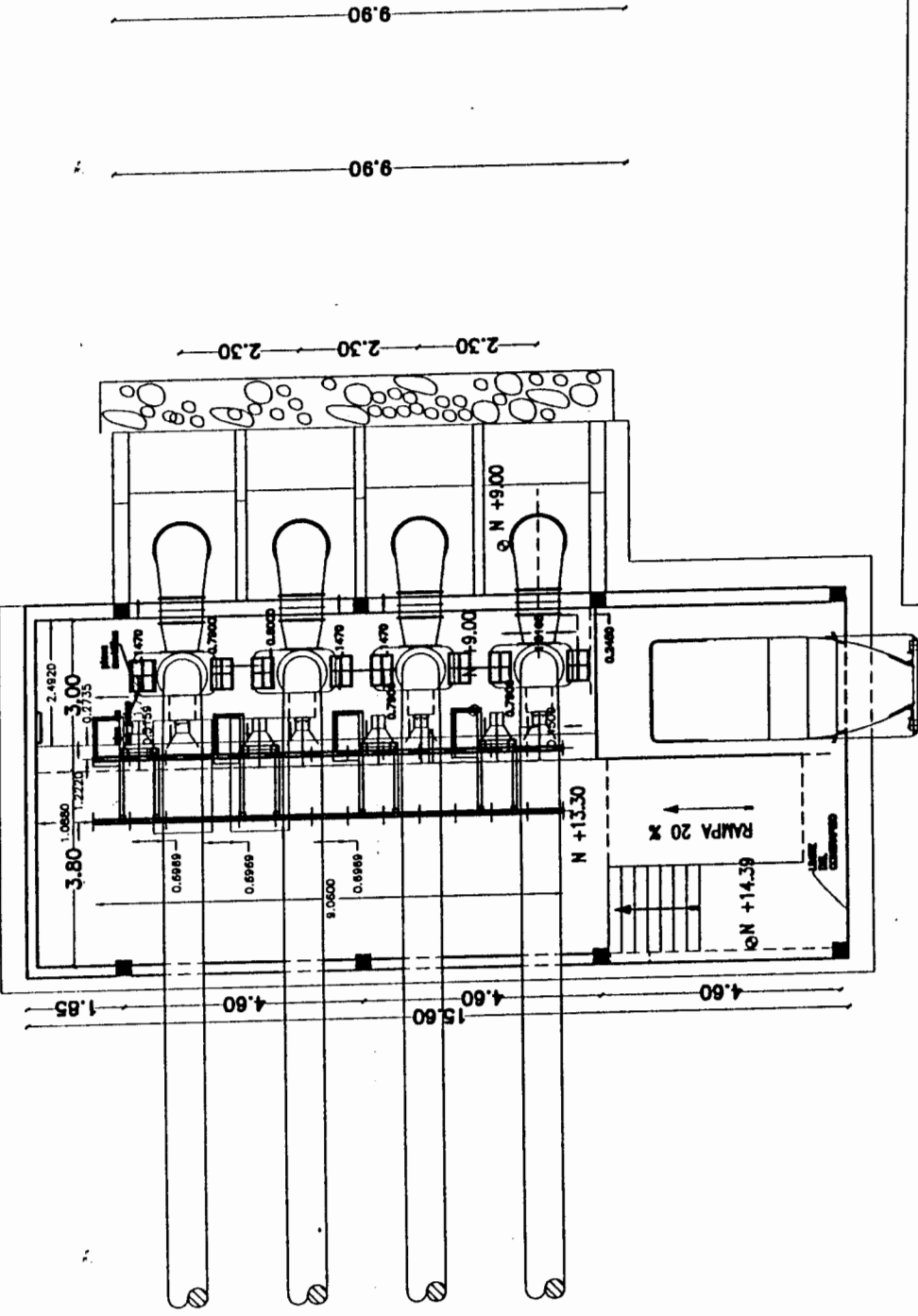
1. Para realizar un proyecto de este tipo deben analizarse paso a paso diferentes tipos de circunstancias, desde la ubicación y concepción de la estación, la selección de los equipos y los detalles operativos, ya que cada uno de ellos es determinante para el éxito del proyecto.
2. Particularmente, los resultados han evidenciado la importancia de los dos últimos factores (selección de equipos y condiciones operativas) dentro de la estructura de costos de las camaroneras, ya que variaciones muy pequeñas pueden provocar ineficiencias considerables que se reflejan claramente en los costos.
3. En forma específica se puede concluir que fue correcta la alternativa original empleada (una sola estación de bombeo), lo incorrecto fue su aplicación. La opción de utilizar una estación de bombeo y rebombeo es mucho más onerosa, tanto en inversión como en operación que la alternativa original bien ejecutada.


4. Es fundamental que al tomar decisiones de inversión como la que se ha tratado en esta tesis, se tenga en cuenta el largo plazo y no sólo el desembolso inicial, ya que es lo primero lo que proveerá la oportunidad de tener mayores eficiencias y lograr competitividad en el mercado, factor que se va haciendo cada vez más importante en el mundo actual.

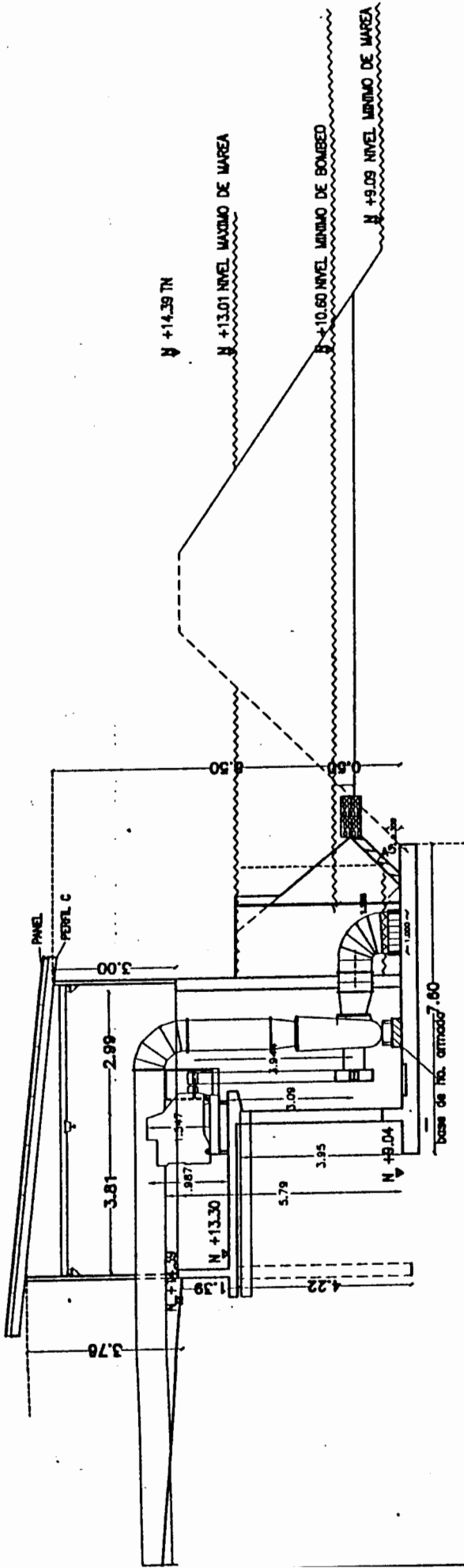
5. La tendencia cortoplacista, sin embargo, es mantenida aún en la mayoría de las empresas dedicadas a esta actividad. No obstante, los serios reveses económicos a los que se han visto sometidos por enfermedades tales como la mancha blanca han hecho que esta tendencia empiece a cambiar.

APÉNDICE 1

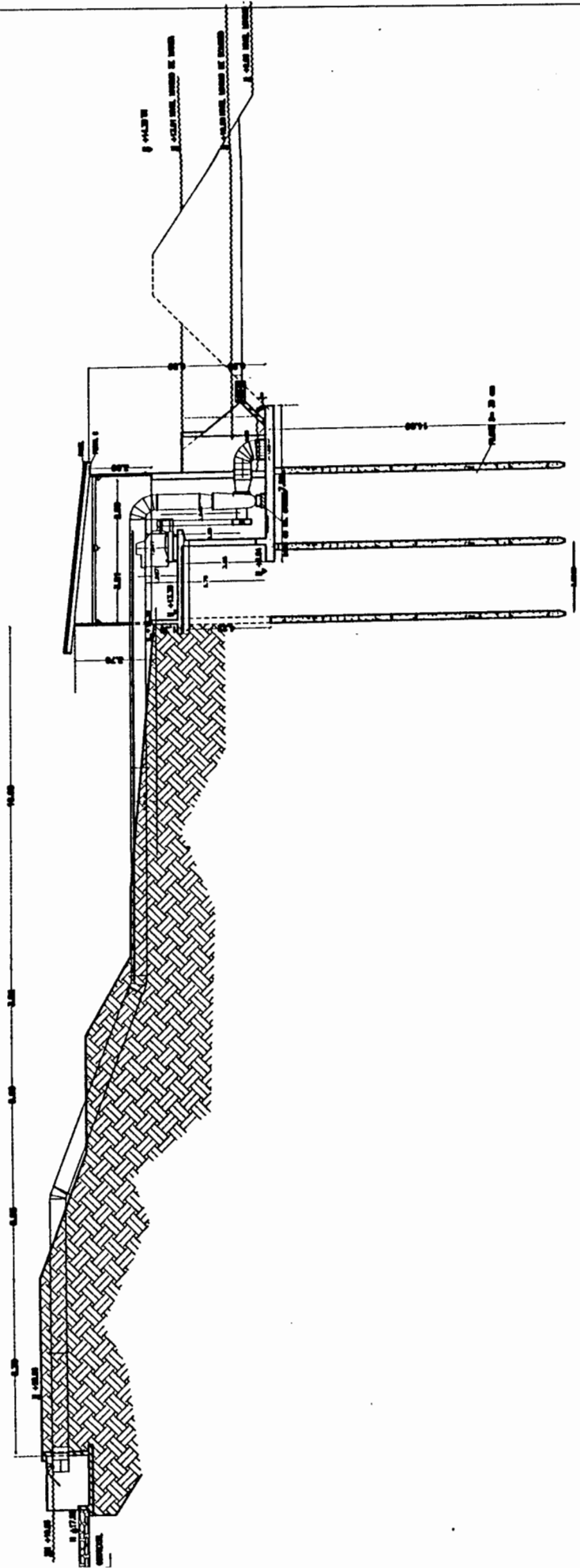
PLANOS GENERALES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO




FIMCP - ESPOL		PROYECTO:
FECHA:	NOMBRE:	PLANO No.:
DISEÑO:	D. DISEÑO:	
SERVIDOR:	D. SERVIDOR:	
ESTACION DE BOMBEO TIPO CAJON SUMERGIDO		ESCALA:
VISTA EN PLANTA		CONTENIDO:
		MATERIAL:
		MABA (Kg)

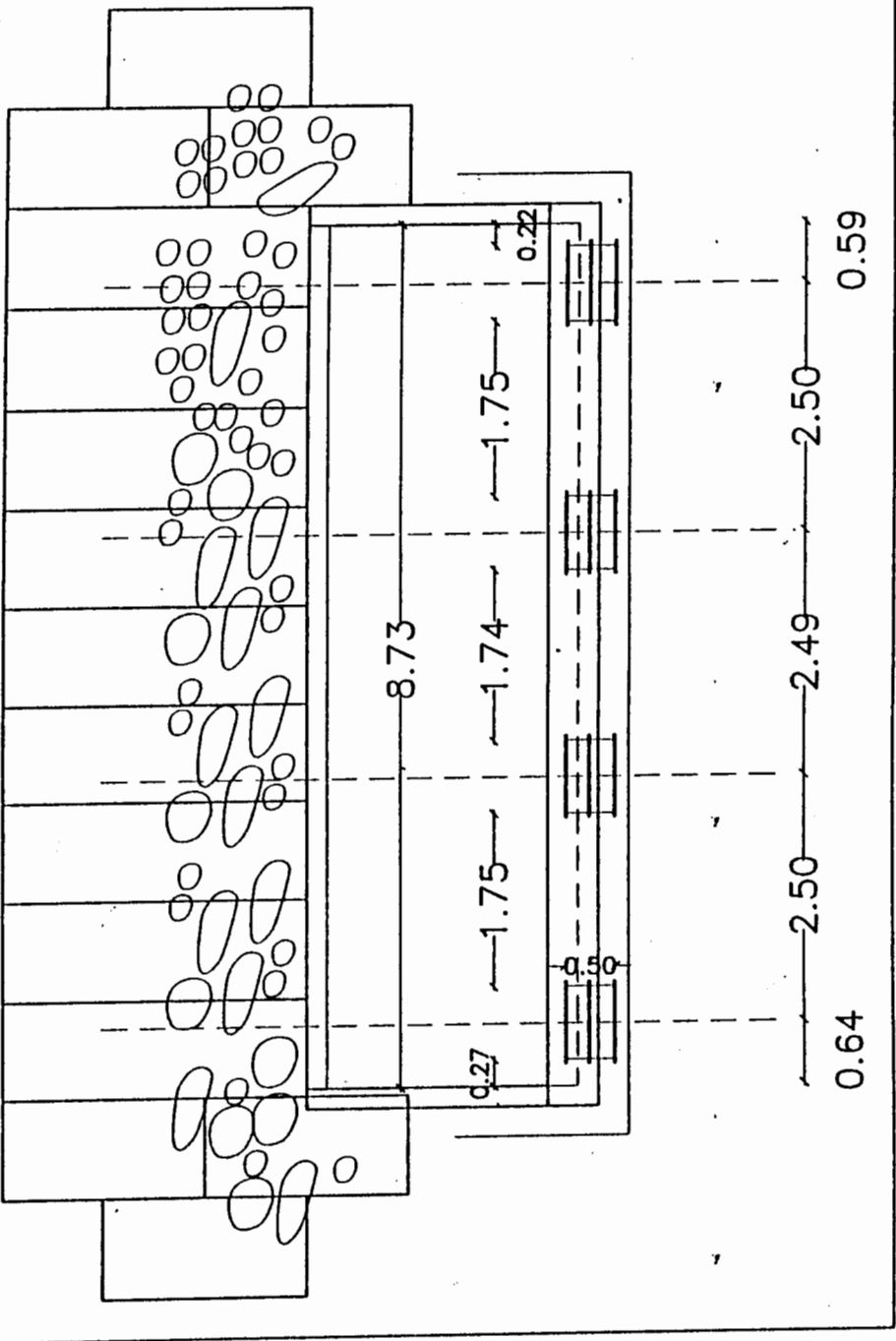




FIMCP - ESPOL		PROYECTA: PROYECTOS DISEÑA: DISEÑOS EJECUTA: EJECUCIONES
ESTACION DE BOMBEO TIPO CAJON SUMERGIDO		PLANO No. 2
ESCALA:	CONTENIDO:	MATERIALES:
		MASA (Kg)



FIMCP - ESPOL		FECHA: _____ NOMBRE: _____
		DISEÑO: _____ APROBADO: _____ REVISADO: _____
ESTACION DE BOMBEO TIPO CAJON SUMERGIDO		PLANO No.: 3
PROYECTOR: _____	ESCALA: _____	CONTENIDO: _____ VISTA LATERAL EN CONJUNTO ESTACION DE BOMBEO Y DESCARGA
	MATERIALES: _____	MASA (Kg): _____

PLANTA

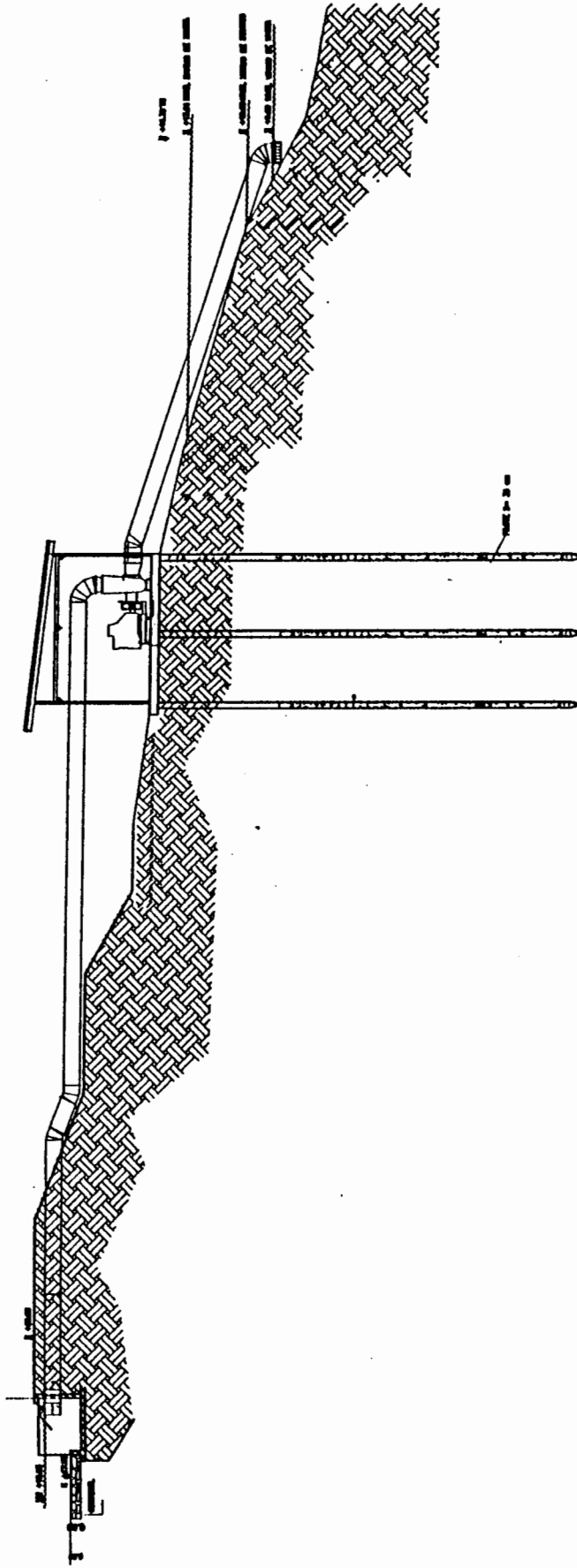



FIMCP - ESPOL		PROYECTO	PLANO No. 1	FECHA	NOMBRE
DESIGNADO	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA	NOMBRE
ESTACION DE BOMBEO TIPO CAJON SUMERGIDO			MATERIAL		
DESCARGA: VISTA EN PLANTA			MATERIAL		
					
			MASA (Kg)		

APÉNDICE 2

PLANOS DE ALTERNATIVA DE ESTACIÓN CONVENCIONAL EN LA MISMA UBICACIÓN

ESTACION TIPO CONVENCIONAL (VISTA LATERAL)



FIMCP - ESPOL		PROYECTO:	ESTACION DE BOMBEO TIPO CAJON SUMERGIDO	
ESCALA:	CONTENIDO:		VISTA LATERAL EN CONJUNTO ESTACION CONVENCIONAL	
MATERIALES:		MATERIALES:		
		PLANO No. 1 5		
DIRECTOR INGENIERO DISEÑADOR DIBUJANTE		NOMENCLATURA N. NOMBRE N. NOMBRE N. NOMBRE		
		MARCA (Kg)		

BIBLIOGRAFÍA

1. CATERPILLAR, Guía de Instalación de Motores Caterpillar (Catálogo)
2. ESPOL, "Criterios para la selección de bombas de agua y planeación de proyectos de bombeo", (Seminario, Facultad de Ingeniería en Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral)
3. ESPOL, Sistemas de Bombeo, (Seminario Mayo 29-Junio02 1995, Escuela Superior Politécnica del Litoral)
4. HALL, Allens S. Jr; HOLOWENKO, Alfred R; LAUGHLIN, Herman G, Teoría y Problemas de Diseño de Máquinas, McGraw-Hill, 1971
5. HIDRAULIC INSTITUTE, Pipe Friction Manual, Third Edition, 1961
6. HIDRAULIC INSITUTE, Hidraulic Institute Standards for centrifugal, rotary & reciprocating pumps, 1983

7. **HIDROSTAL, Bombas Centrifugas (Manual de Instalación y Catálogo)**

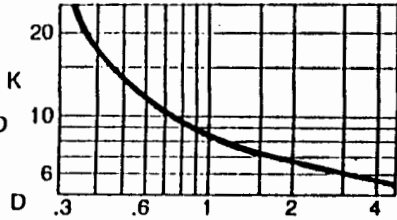
8. **OPTIBELT, Catálogo de Bandas**

ANEXO 3

TABLAS DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS

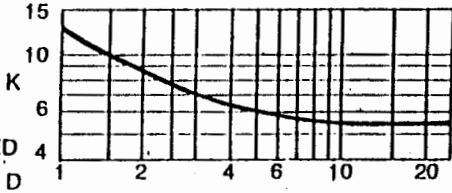


SCREWED

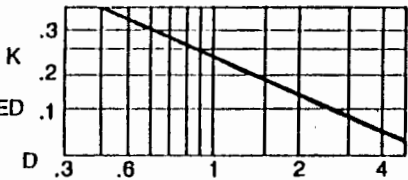


GLOBE VALVE

FLANGED

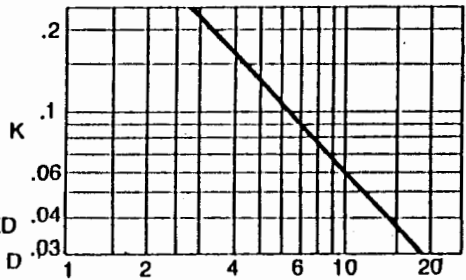


SCREWED

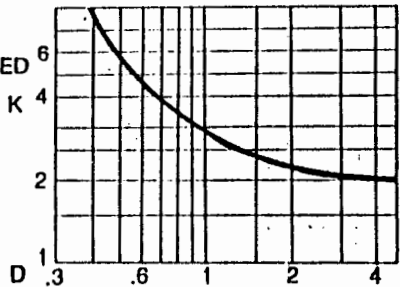


GATE VALVE

FLANGED

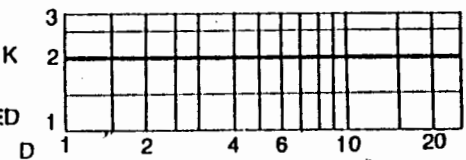


SCREWED

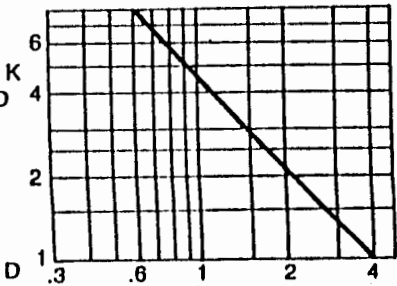


SWING CHECK VALVE

FLANGED

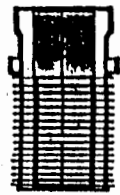
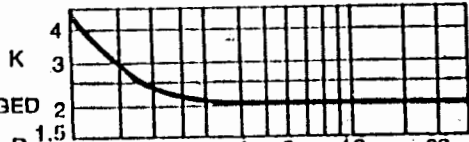


SCREWED

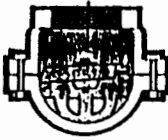
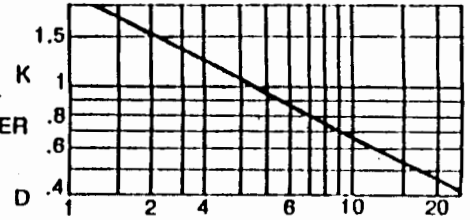


ANGLE VALVE

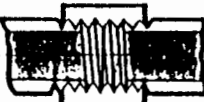
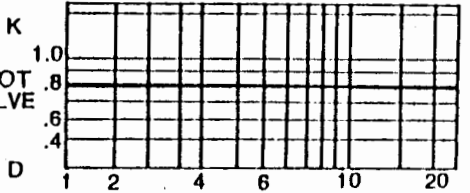
FLANGED



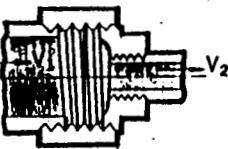
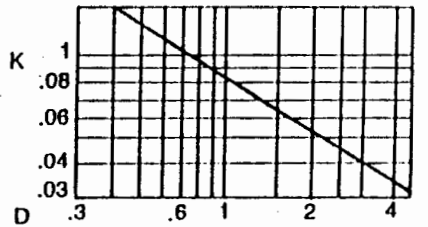
BASKET STRAINER



FOOT VALVE



COUPLINGS AND UNIONS



REDUCING BUSHING AND COUPLING

$$h = K \frac{V_2^2}{2g}$$

USED AS REDUCER $K = 0.05 - 2.0$
 SEE ALSO FIG. 3
 USED AS INCREASER LOSS IS UP TO 40% MORE THAN THAT CAUSED BY A SUDDEN ENLARGEMENT



SUDDEN ENLARGEMENT

$$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \text{ FEET OF FLUID}$$

SEE ALSO EQUATION(5)
 IF $A_2 = \infty$ SO THAT $V_2 = 0$

$$h = \frac{V_1^2}{2g}$$

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

ANEXO 4

LISTADO DE EQUIPOS DE LA CAMARONERA

BOMBAS QUE SE ENCUENTRAN EN EL PATIO DE LA BODEGA DE LANGUA

CODIGO	MARCA	TIPO	CAP.	SEGÚN INSPECCION DE OCTUBRE 27/97
101001037	Ideal	Caracol	16"	Completa, con polea, caballete e impulsor estaba acoplada al motor 3304 serie 4 B-13942
101001038	Ideal	Caracol	16"	Completa, con polea, caballete e impulsor. Pendiente por hacer el mantenimiento respectivo
101001053	Ideal	Caracol	16"	Completa, con polea, caballete e impulsor. Estaba acoplada al motor IFA 6V0135 serie 2799889
51001063	Ideal	Caracol	20"	Completa, con polea, caballete e impulsor Estaba acoplada al motor CAT 3208 serie 90N-72955 de la sub estación de Vigma. Se encuentra en proceso de mantenimiento
101001068	Kdzh	Caracol	20"	Completa, con polea, caballete e impulsor. Desarmada, en proceso de mantenimiento
5100154	Kdzh	Caracol	20"	Completa, con polea, caballete e impulsor. Hecho el mantenimiento
51001052	Kdzh	Caracol	20"	Solo el Caracol y camisa, separados, y enviados desde Agrinpaca. Pendiente informe del NVF sobre polea, caballete e impulsor
51001020	Kdzh	Caracol	24"	Completo, con polea, caballete e impulsor. Se encuentra lista, hecho el mantenimiento
51001022	Kdzh	Caracol	24"	Completa con polea, caballete e impulsor. Solo le falta una cuña del impulsor. Está en mantenimiento.
101001040	Kdzh	Caracol	24"	Completa pero desarmada. El caracol está en est. Princ. De Vigma, la polea, caballete e impulsor están en el patio de Bodega de Langua. Necesita cambio de rulimanes al caballete.
51001005	Kdzh	Caracol	28"	Completa con polea, caballete e impulsor. Tiene camisa nueva, es del tipo prenan estopa. Necesita cambio de rulimanes de Caballete.
51001009	Kdzh	Caracol	28"	Completa con polea, caballete e impulsor. Tiene camisa nueva, es del tipo prenan estopa. Necesita cambio de rulimanes de Caballete.
51001067	Kdzh	Caracol	28"	Solo el caracol y camisa, es del tipo sello mecánico. Hay un caballete para bomba tipo prensa estopa. Para usarlo habría que cambiar la bomba a prensa estopa. Se espera informe de NVF sobre los otros componentes.
51001010	Kdzh	Caracol	28"	Solo caracol y camisa. Tipo sello mecánico. Se espera informe de NVF sobre los otros componentes.
51001030	Kdzh	Caracol	24"	Bomba completa removida de la estación 5 y llevada a la bodega de Langua
51001062	Kdzh	Caracol	24"	Bomba completa removida de la estación 5 y llevada a la bodega de Langua
51001024	Kdzh	Caracol	28"	Bomba sola desarmada se encuentra en el mismo lugar en la Est. 2
51001026	Kdzh	Caracol	28"	Bomba sola desarmada se encuentra en el mismo lugar en la Est. 2
51001061	Kdzh	Caracol	28"	Bomba sola desarmada se encuentra en el mismo lugar en la Est. 2

MOTORES DISPONIBLES FUERA DE LAS CAMARONERAS

CODIGO	MARCA	MODELO	OBSERVACION	HP
101003072	Ifa	6 V0135		180
101003071	Dertz	BF6L1913		120
101003083	Cat	3306		190
101003031	Cat	3306		190
101003075	Cat	3306		190
50325015	Cat	3306		190
50325005	Cat	3304		125
50325007	Cat	D318		135
101003016	Cat	3208		210
101003082	Cat	3306	7 N3374	190
51003003	Cat	3306	7 N3278	190
101003086	Cat	3304	7 N9638	125
201003015	Cat	3208		210
351003085	Cat	3208		210
201003047	Cat	3304		125
51003098	Cat	D320		125



ANEXO 5

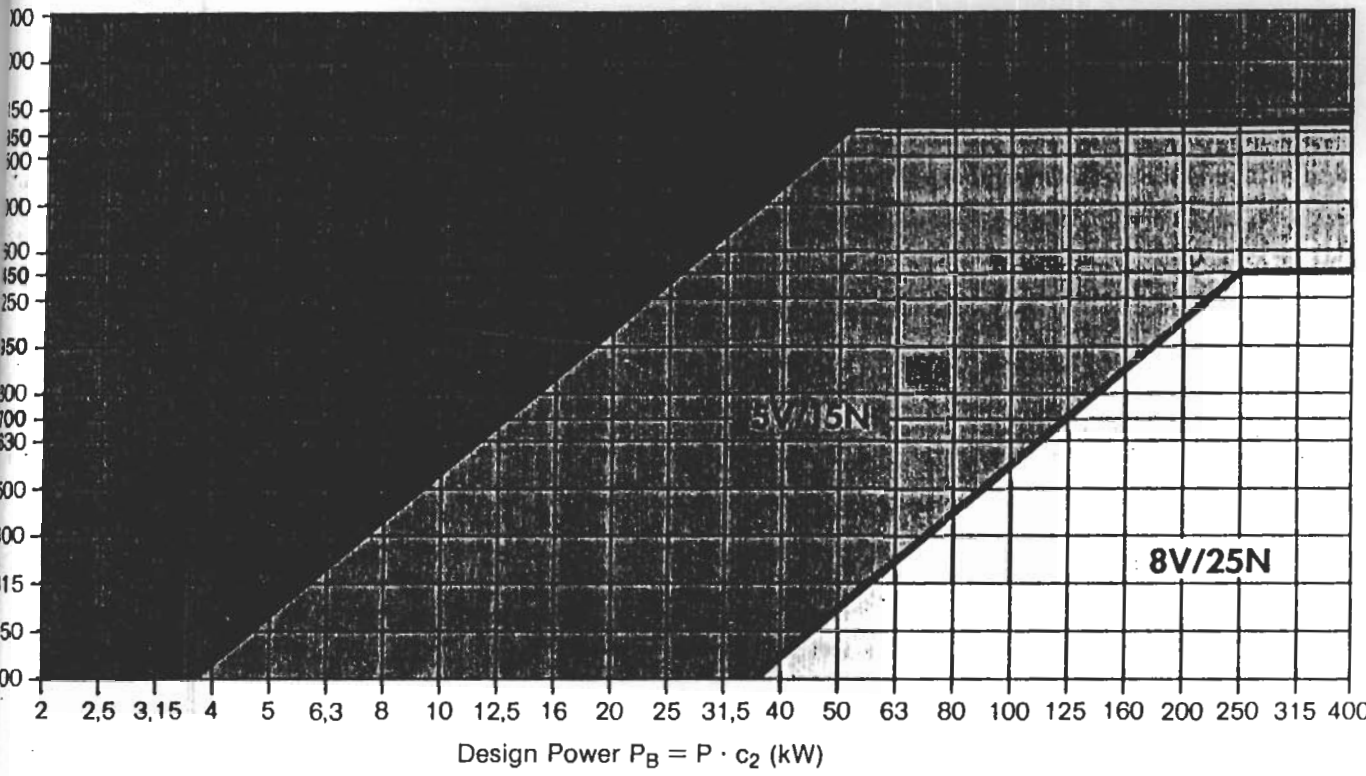
CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS KDZH

ANEXO 6

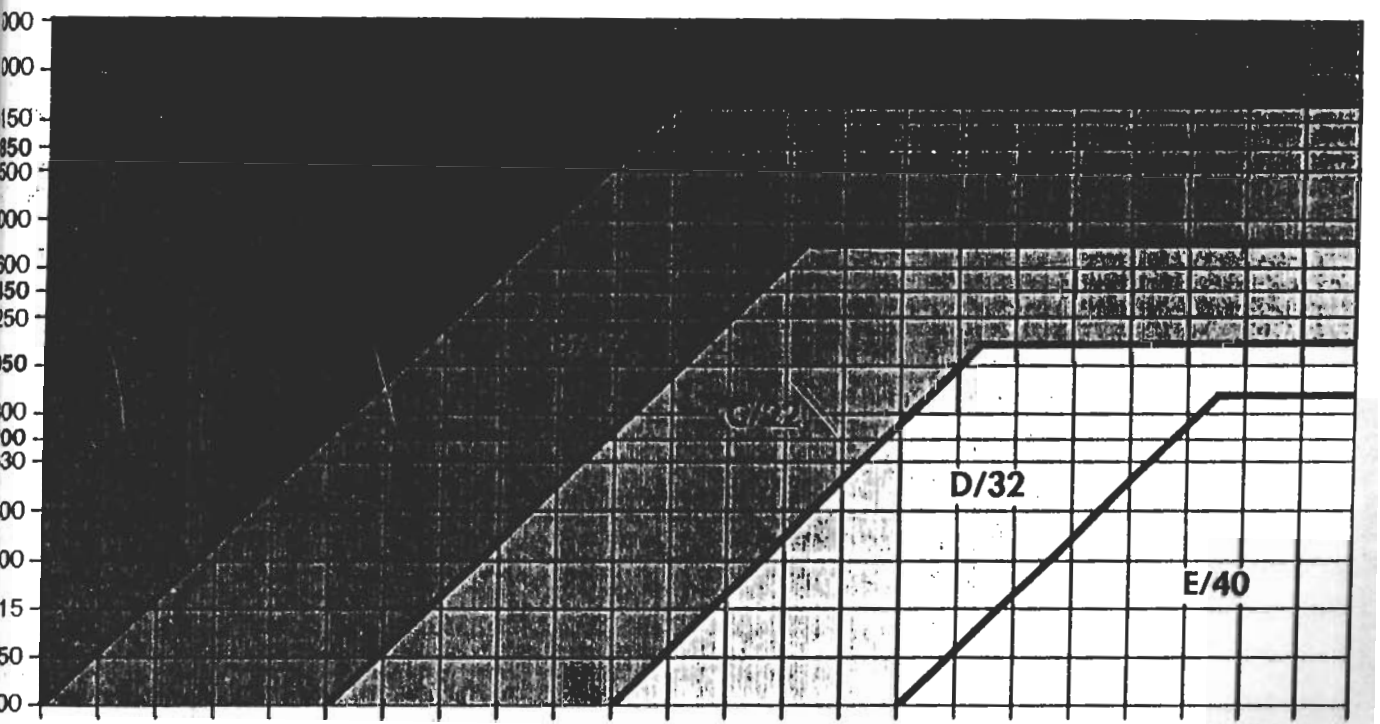
SECCIÓN DE LAS POLEAS

ve Design Section Selection

mm 2
Belt-SK Wedge Belts to USA-Standard RMA/MPTA



mm 3
Belt-VB V-Belts to BS 3790 and DIN 2215



ANEXO 7

POTENCIA TRANSMITIDA POR BANDA

ANEXO 8

CURVAS MOTORES CATERPILLAR 3306 BT





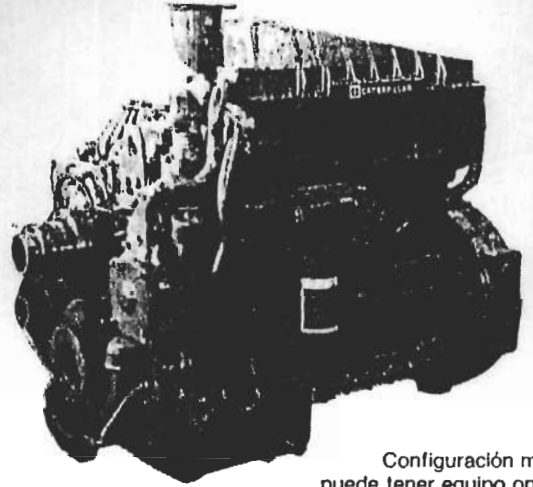
3306B

190-300 hp

ESPECIFICACIONES

Motor de 4 tiempos y 6 cilindros en línea

Alargamiento - mm (pulg).....	121 (4,75)
Altura - mm (pulg).....	152 (6,00)
Capacidad - litros (pulg ³).....	10,5 (638)
Sistema de combustión	Inyección directa
Ubicación (desde el frente).....	A la izquierda
Capacidades - litros (gal E.U.A.)	
Sistema de enfriamiento (motor sólo).....	18,2 (4,8)
Aceite lub. (reabastecimiento)	27,6 (7,3)
Peso neto del motor, seco (aprox.) - kg (lb)	
Turboalimentado posenfriado (TA).....	1007 (2220)



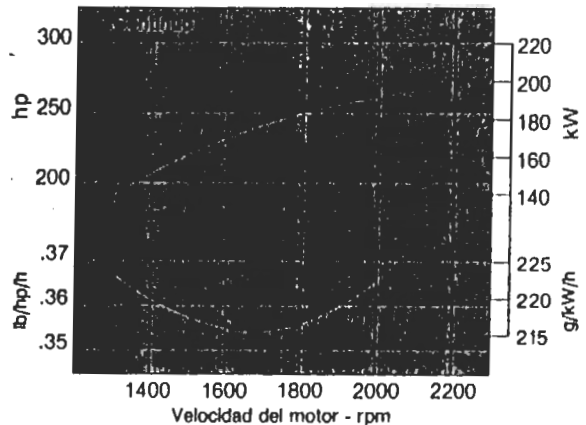
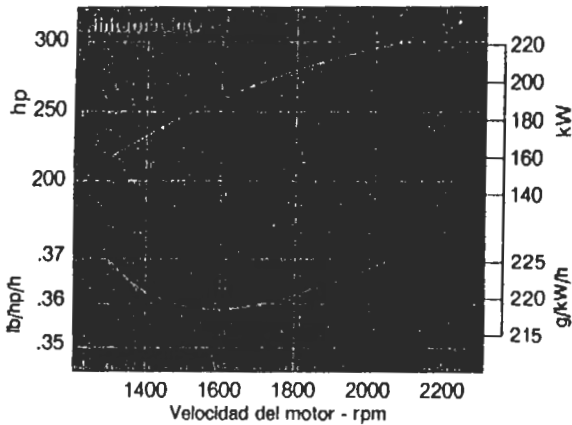
Configuración móvil - puede tener equipo optativo

CURVAS DE RENDIMIENTO

Potencia y régimen

224 kW (300 hp) a 2100 rpm

194 kW (260 hp) a 2000 rpm

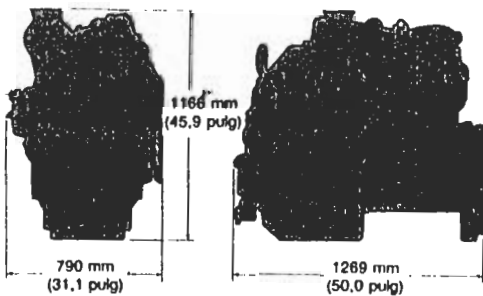


Altitud máxima

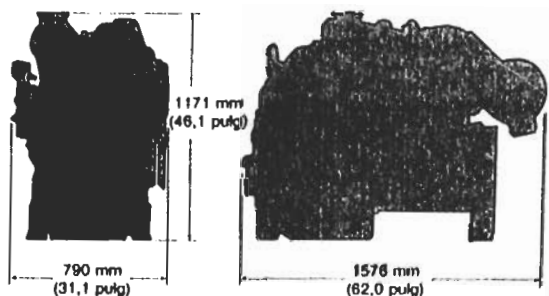
1830 m (6000 pies)

1740 m (5700 pies)

DIMENSIONES



Configuración Móvil



Configuración Estacionaria