ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“ Instalación de Sifones en Sistema de Bombeo en una Camaronera”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Jorge Alfredo Espinosa Sánchez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2004

A G R A D E C I M I E N T O

A todos y cada uno de mis maestros que en las diversas etapas de mi vida contribuyeron con su trabajo a mi superación personal.

A mis compañeros y amigos.

Un reconocimiento especial a:

Ing. Ignacio Wiessner

Dr. Alfredo Barriga

Ing. Marco Pazmiño

D E D I C A T O R I A

A la memoria de mi Madre

A mi Padre Jorge Arturo

A mi Esposa Diana

A mis hijos: Diana Natalie
Adriana Elisa
Jorge Daniel
Michelle Arianne

A mis Hermanos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Eduardo Rivadeneira P. DECANO DE LA FIMCP PRESIDENTE	Ing. Ignacio Wiesner F. DIRECTOR DE TESIS
_____	_____
Ing. Manuel Helguero G. VOCAL	Ing. Francisco Andrade S. VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Jorge Alfredo Espinosa Sánchez

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....II

ÍNDICE GENERAL..... III

ABREVIATURAS.....V

SIMBOLOGIA..... VI

ÍNDICE DE FIGURAS..... .VII

ÍNDICE DE TABLAS..... VIII

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPITULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....3

1.1. Instalaciones Originales.....3

1.2. Condiciones de Operación del Sistema.....4

1.3. Cálculos de ingeniería del sistema existente.....6

1.4. Deficiencias del sistema.....11

CAPITULO 2

2. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA.....12

2.1. Cálculo de Ingeniería del sistema 12

2.2. Instalación de sifón en tubería de descarga.....14

2.3. Rendimiento Esperado del Sifón.....23

2.4. Rendimiento Esperado de la Bomba 24

2.5. Presupuesto de Instalación.....28

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....30

3.1. Control de Operación.....30

3.2. Evaluación Financiera.....31

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....35

4.1 Conclusiones.....35

4.2 Recomendaciones.....37

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Atm.	Atmósfera
d	Diámetro
D_{Cri}	Diámetro Crítico
f	Coeficiente de fricción
g	Aceleración de la gravedad
H	Altura de impulsión
Hd	Columna de descarga
Hf	Columna de fricción
Hs	Columna de succión
Hv	Columna de velocidad
Hp.	Caballo de fuerza
Kwh.	Kilowatio- hora
L	Longitud
Le	Longitud Equivalente
lps	Litros por segundo
m	metros
m/s	metros / segundo
m^3	Metro cúbico
m.c.a	metros de columna de agua
mm	milímetros
$NPSH_r$	Cabezal neto de succión positiva requerido
$NPSH_d$	Cabezal neto de succión positiva disponible
P	Presión
Pa	Presión atmosférica
Pv	Presión de vapor
psi	Libra por pulgada cuadrada
Q	Caudal
r	Radio
Re	Número de Reynolds
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
V	Velocidad
Z	Altura

SIMBOLOGIA

^{o}C	Grados Centígrados
δ	Densidad
ε	Coeficiente de rugosidad
N	Velocidad angular
η	Eficiencia
π	Pi: 3.14159

INDICE DE FIGURAS

Pag.
Figura 1: Punto de Operación de la bomba.....5
Figura 2: Curvas de sistema original.....9
Figura 3: Relación de área y diámetro mínimo para sifones..... .16
Figura 4: Diagrama de Instalación de Sifón..... .18
Figura 5: Punto de Operación después de sifón..... 27

INDICE DE TABLAS

Pag.
Tabla 1: Coeficiente de fricción para tuberías de acero.....10
Tabla 2: Profundidad crítica en tuberías circulares.....15
Tabla 3 : Calculo de VAN y TIR.....34

BIBLIOGRAFIA

1.- WESTAWAY, C.R. y LOOMIS, A.W. , " Cameron Hydraulic Data", Ingersol – Rand, 16th edition, 2nd Printing, Sections 1 y 3

2.- HICKS, TYLER, G., " Bombas: Su Selección y Aplicación" . C.E.C.S.A., Decimoséptima impresión, México 1982.

3.- KARASSIK, KRUTZSCH, FRASER Y MESSINA, " Manual de bombas", Mac. Graw Hill, 1ra. Edición, México, 1983

4.- BOMBAS IDEAL S.A. , " Datos Técnicos de Hidráulica: BOMBAS", Signo Gráfico S.A. , Valencia , España , 1985

5.- BAUMESTEIR, AVALLONE Y BAUMESTEIR, " Marks: Manual del Ingeniero Mecánico", Mc. Graw Hill , Octava Edición , México , 1984 , Volumen 3, Capítulo 14.

6.- VAN HECK B.V. , " Curve Pump HK500 " , Noorwolde Holland , 1984

RESUMEN

La instalación de un sifón de 600 mm puesto en la descarga de una bomba centrífuga ubicada en una camaronera de la Provincia del Guayas, fue realizada en 1992, demuestra que existen alternativas para mejorar la eficiencia de actividades agropecuarias fundamentales para la economía del país.

Se determinaron las condiciones de operación de una bomba marca Niágara HKP 500, acoplada a un motor Deutz de 124 hp con los principales parámetros de operación de la misma.

Se realizaron los cálculos de Ingeniería, se determinó que es factible modificar las condiciones de operación de la bomba mediante la instalación de un sifón en la tubería de descarga.

El sifón de 600 mm de diámetro fue instalado y su rendimiento se evaluó por un periodo de 30 días. Los resultados obtenidos fueron totalmente satisfactorios tanto técnicamente como económicamente.

os principales efectos de la instalación del sifón fueron:

Aumento del caudal entregado por la bomba. (80 lps)

Disminución de las horas de operación de la bomba.(1.1 horas/día)

Disminución del consumo de combustible (0.4 gal/ hora)

Los resultados económicos de este proyecto fueron:

Retorno de la inversión:	39 días
VAN (Calculado para 2 años)	US $ 10.234.83
TIR (Trimestral)	159 %.

Se demuestra de esta manera los beneficios de este tipo de instalación. Son enormes con relación a la inversión realizada de 982.00 USD.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador los dos principales productos de exportación no petroleros, son el banano y el camarón.

Estos productos tienen entre si una actividad en común dentro de sus procesos productivos, a saber, el manejo de considerables cantidades de agua tomada desde esteros, ríos y mar por medio de grandes equipos de bombeo. Para este efecto se han usado preferentemente bombas centrífugas y en menor escala las bombas axiales, la mayoría de ellas de fabricación nacional.

En muchos de los casos, vemos que estos sistemas adolecen de graves fallas de diseño en sus instalaciones, lo que lamentablemente tiene gran incidencia negativa en los costos de operación para estas actividades. A pesar de lo indicado, aún no existe una verdadera concientización de lo que representa la operación ineficiente de los equipos de bombeo. El elevado costo de los combustibles, y la necesidad de tomar medidas ambientales para proteger nuestro ecosistema de su continuo deterioro, son razones

suficientes para ejecutar acciones a fin de lograr una disminución del consumo de combustible en los sistemas de bombeo mediante la instalación eficiente de estos equipos y sus accesorios.

Técnicamente existen muchas posibilidades para elevar la eficiencia en los equipos de bombeo instalados tanto en camaroneras como en bananeras: sin embargo, algunas de ellas no son factibles desde el punto de vista económico así como por las condiciones en las que tienen que funcionar dichos equipos en el campo.

En este informe, se documenta el trabajo realizado en una bomba de la camaronera ERMA, ubicada en la parroquia Data de Posorja, Cantón Playas en la Provincia del Guayas. Dicho trabajo se ejecutó en el año de 1993, en una bomba Niágara HKP 500 trabajando con una altura de succión de 4.3 m y un cabezal total de 7.3 mca. El trabajo consistió en adaptarle un sifón en la tubería de descarga con el objeto de disminuir el cabezal total en 2 mca aproximadamente.

CAPITULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1 Instalaciones Originales

Las instalaciones de la bomba objeto de este trabajo, pueden apreciarse en las fotografías N$^{o.}$ 1 a N$^{o.}$ 4 del apéndice N^{o} 1, y tienen las siguientes características en su forma original:

Marca:	Niágara
Modelo :	HKP 500
Velocidad de operación:	530 r.p.m.
Motor:	Deutz 124 hp
Transmisión:	Bandas en V
Tubería de succión:	Acero 800 mm de diámetro.
Longitud de tubería:	24 m.
Tubería de descarga:	Acero, 600 mm de diámetro
Longitud de tubería:	14 m.
Accesorios de succión:	Canastilla
	Válvula de pie

	Codo $90^{0.}$
	Reductor excéntrico de 800 a 500 mm
Accesorios de descarga:	Codo de $90^{0.}$
	Reductor concéntrico de 600 a 500 mm
Altura estática de succión:	4.3 metros promedio
Altura estática descarga:	3 metros

1.2 Condiciones de operación del sistema.

La bomba se encuentra acoplada por medio de bandas en V a un motor DEUTZ de 124 HP a diesel y aspiración natural, enfriado por aire, trabajando a 1800 RPM. La reducción de velocidad en la trasmisión permite obtener una velocidad en la bomba de 530 RPM. Los elementos de la trasmisión son los siguientes:

Diámetro de polea motriz:	217 mm
Diámetro de polea de bomba:	736 mm
Relación de reducción:	3.396 : 1

De acuerdo a manual y tablas de selección de bandas de GOOD YEAR, para estas condiciones de trabajo, cada banda 5V tiene capacidad para trasmitir 20 Kw, por lo que al existir instaladas 6 bandas 5V, tenemos capacidad suficiente para trasmitir la potencia del motor.

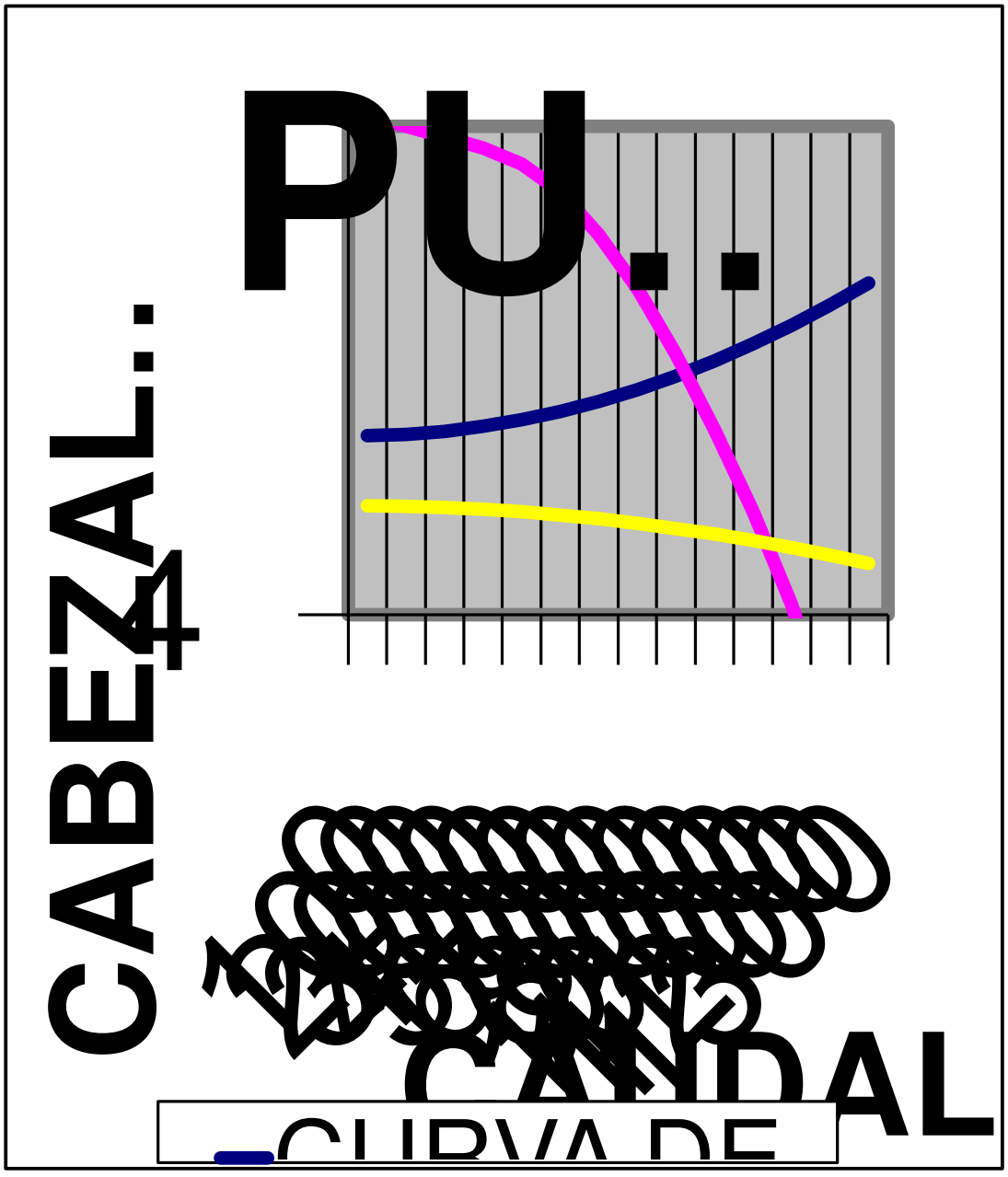

FIGURA 1: PUNTO DE OPERACIÒN DE LA BOMBA

El motor indicado tiene un consumo nominal de 0.18 Kg. de combustible por Kw-hr, lo que representa un consumo de 16.7 kg/hr de combustible. Este dato se confirmó con las mediciones de consumo realizadas durante la operación del motor.

Se calcula la Longitud equivalente de la tubería y accesorios con tablas y nomograma obtenidas en Cameron Hydraulic Data (1)

1.3 Cálculos de Ingeniería del Sistema existente:

Longitud equivalente de la succión:

Reductor:

$D_1 = 500$ mm

$D_2 = 800$ mm

Angulo de reducción: $ß = 14^o$

$K = 0.8 * Sen (ß / 2) * (1 – D_1 / D_2)$

$K = 0.0365608$

Para f = 0.041493 (Tabla 1a), tenemos:

$L = \frac{K * D}{f}$ $L = \frac{0.0365608 * 0.6}{0.041493}$ **L = 0.704 m**

En tablas de longitud equivalente , tenemos:

Accesorio (Succión)	**Longitud Equivalente (metros)**
1 Canastilla	No considerada*
1 Válvula de pié	28.57 m
1 Codo de 90^{o}	11.42 m
24 m de tubería 800 mm	24.00
Longitud Equivalente succión:	**64.69 m**

No se considera pérdidas en canastilla debido a que esta tiene un área de flujo mucho mayor al área del tubo.

Longitud equivalente para descarga:

Accesorio (Succión)	Longitud Equivalente (metros)
1 Codo de 90^{o}	11.42 m
1 Ampliación 500 – 600 mm	0.73 m
14 m de tubería 600 mm	14.00
Longitud Equivalente descarga:	**26.15 m**

Curva del Sistema:

Para este cálculo, usamos la fórmula de Darcy – Weisbach:

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

Donde:

f: Coeficiente de fricción calculado en tabla 1

D: Diámetro de tubería

V: Velocidad promedio

g: Aceleración de la gravedad

De esta forma, la curva obtenida para el sistema, calculada a partir de la Energía, se indica en el Figura No. 2

$$\mathbf{H_t = H_S + H_f + \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g}}$$

H_S : 7.3 metros de columna de agua

Para calcular el NPSHD disponible en el sistema, asumimos lo siguiente:

1.- Cabezal estático en la succión: 4.3 m

2.- Presión de vapor (agua a 24 ^{o}C) : 0.316 m.c.a.

3.- Presión atmosférica: 10.33 m.c.a.

4.- Longitud equivalente en succión: 64.59 m.

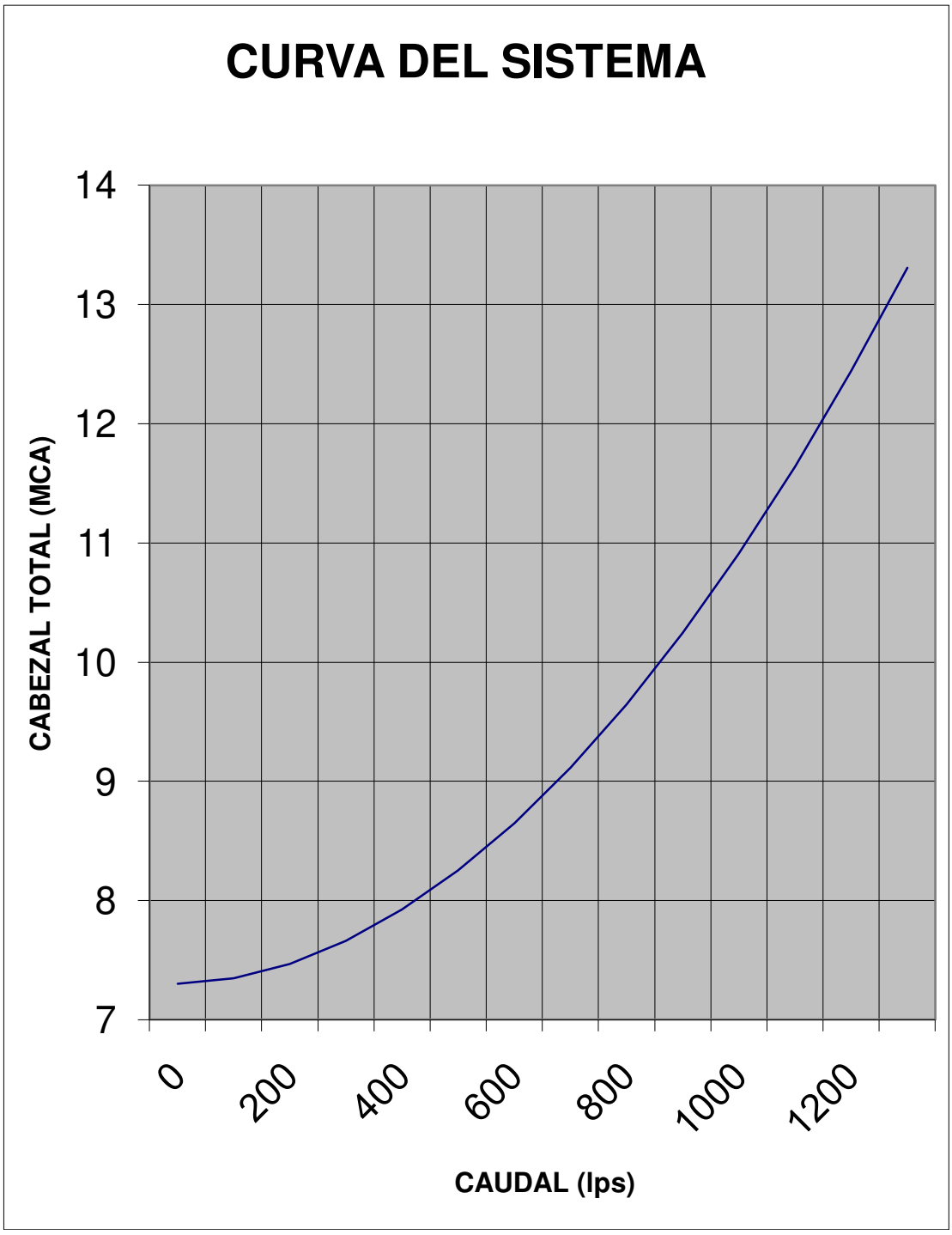

FIGURA 2: CURVA DEL SISTEMA ORIGINAL

TABLA 1.- COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA TUBERÍA DE ACERO (600 MM)

CAUDAL (lps)	VELOCIDAD (m / s)	REYNOLDS	COEFICIENTE F
0	0.00	0.00	0.000000
100	0.34	181.621	0.052884
200	0.68	363.242	0.045509
300	1.27	544.863	0.045078
400	1.37	726.484	0.043640
500	1.71	908.106	0.042677
600	2.06	1’089.727	0.041983
700	2.40	1’271.348	0.041456
800	2.74	1’452.969	0.041042
900	3.08	1’634.590	0.040707
1000	3.42	1’816.211	0.040431
1100	3.77	1’997.832	0.040199
1200	4.11	2’179.453	0.040001

TABLA 1A.- COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA TUBERÍA DE ACERO (800 MM)

CAUDAL (lps)	VELOCIDAD (m / s)	REYNOLDS	COEFICIENTE F
0	0.00	0.00	0.000000
100	0.199	138.395	0.055
200	0.398	276.791	0.0488
300	0.0597	415.186	0.0459
400	0.796	553.581	0.0442
500	0.995	691.976	0.043
600	1.194	830.372	0.0421
700	1.393	968.767	0.0414
800	1.592	1.107.162	0.0409
900	1.790	1.245.558	0.0404
1000	1.989	1.383.953	0.0400
1100	2.188	1.522.348	0.0398
1200	2.387	1.660.743	0.0394

Con los valores de f y velocidad con varios caudales, calculados y expresados en la tabla 1, construimos la curva del NPSHD (Figura No. 2) en el sistema con la siguiente fórmula:

$NPSHD = P_O - H_S - P_V - H_f$

$NPSHD = 10.33 - 4.3 - 0.316 - H_f$

$NPSHD = 10.33 - 4.3 - 0.316 - 0.46$

NPSHD = 5.25 mca

1.4 Deficiencias del sistema.- En la forma como el sistema se ha instalado, se puede apreciar fácilmente como el agua se eleva 2 metros aproximadamente por arriba del nivel de agua en el canal reservorio.

Esta altura que es el 28 % de la altura total, representa el potencial de ahorro (teórico), si se optimiza la operación del sistema.

Por este motivo, se plantea la instalación de un sifón en el extremo de la tubería de descarga a fin de disminuir el cabezal total contra el que trabaja la bomba.

CAPITULO 2

2. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

2.1 Cálculos de Ingeniería Del Sistema.-

En un sistema de bombeo se puede aprovechar el efecto sifón para disminuir la carga total de la bomba, aumentando el caudal entregado por la bomba sin afectar la potencia requerida. La energía a recuperarse, al disminuir el cabezal con la instalación del sifón se verá limitada por la temperatura del líquido, la presión barométrica en el sitio de la instalación y la resistencia al flujo que presenta la tubería. Bajo condiciones ideales y como se puede comprobar mediante la ecuación de Bernoulli, a nivel del mar la columna posible de ser recuperada es igual a la presión atmosférica estandar (10.35 m de agua), menos las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería y la presión de vapor para el líquido manejado en el sifón. En los casos de aplicaciones del sifón para camaroneras y bananeras, podemos

considerar como presión atmosférica los 10.35 metros de agua y un temperatura promedio de 25^{o}C. Lo que da una presión de vapor de 0.357 mca de acuerdo a las tablas de vapor para el agua. Bajo estas circunstancias, la presión posible a ser recuperada mediante un sifón es de 10mca, menos las pérdidas por fricción en el sifón. Sin embargo, debido a que en este tipo de instalaciones la altura entre la descarga de la tubería y el nivel del reservorio rara vez excede los 3 m, se puede considerar esta altura como el posible cabezal a ser recuperado por el sifón. El funcionamiento de un sifón, exige que en cualquier punto del mismo, la presión del líquido sea inferior a la presión existente en la fuente. Para los casos en que la tubería siempre va a existir vacío durante el funcionamiento del sifón.

La única manera de lograrlo es manteniendo la tubería totalmente llena con el líquido, libre de vapor y burbujas de aire, siendo este requisito lo que determina el límite de altura del sifón para obtener la máxima recuperación posible de presión. Esta tubería puede llenarse por medios externos tales como hacer vacío en la tubería o cebado con otra bomba. De no ser posible esto, la bomba debe ser capaz en el momento del arranque del sistema de proveer tanto el caudal necesario como el cabezal hasta el punto más alto de la tubería a fin de ser llenada para que opere el sifón.

Llenado Inicial de Un Sifón.- Debido a que, mientras arranca la bomba y se llena la tubería por la ‘’pierna’’ del sifón va a fluir parcialmente el líquido sin llenarla totalmente, es necesario considerar en la bomba una capacidad adicional a la de régimen normal a fin de lograr un llenado mínimo en la tubería para iniciar la operación del sifón.

Con la ayuda de la tabla II y la Figura N. 5 podemos establecer la relación de área de llenado mínima del tubo y con esta relación determinar tanto la profundidad de llenado de la tubería como el caudal mínimo a ser entregado por la bomba para la formación del sifón. Los valores de la tabla II se expresan en unidades de caudal (pie^3 / seg.) dividido para el diámetro elevado a la 5 / 2 ($d^{5/2}$) y este valor se indica en el eje vertical de la figura N. 3

2.2. Instalación de sifón en tubería de descarga

Como se puede apreciar en las fotografías del apéndice 1, en esta bomba existía una caída de agua de 2 m en la descarga de la tubería. Esta caída, en relación al cabezal total de la bomba (8 m), representa una posibilidad de disminuir este hasta en un 25% con la instalación del sifón.

TABLA 2: PROFUNDIDAD CRÍTICA EN TUBERÍAS CIRCULARES

D_{Cri} / D	**0.00**	**0.01**	**0.02**	**0.03**	**00.4**	**00.5**	**0.06**	**0.07**	**0.08**	**0.09**
0.0	-----	0.0006	0.0025	0.0055	0.0098	0.0153	0.0220	0.0298	0.0389	0.0491
0.1	0.0605	0.0731	0.0868	0.1016	0.1176	0.1347	1.1530	0.1724	0.1920	0.2144
0.2	0.2371	0.2809	0.2857	0.3118	0.3386	0.3666	0.3957	0.4259	0.4571	0.4893
0.3	0.5230	0.5570	0.5920	0.6280	0.6660	0.7040	0.7430	0.7840	0.8250	0.8670
0.4	0.9100	0.9550	1.0000	1.0460	1.0930	1.1410	1.1900	1.2400	1.2910	1.3430
0.5	1.3960	1.4490	1.5040	1.5600	1.6160	1.6740	1.7330	1.7920	1.8530	1.9150
0.6	1.9770	2.0410	2.1080	2.1720	2.2390	2.3070	2.3760	2.4460	2.5180	2.5910
0.7	2.6660	2.7410	2.8190	2.8980	2.9780	3.0610	3.1450	3.2310	3.3200	3.4110
0.8	3.5050	3.6020	3.7020	3.8080	3.9140	4.0230	4.1470	4.2720	4.4060	4.5490
0.9	4.7000	4.8700	5.0800	5.2700	5.5200	5.8100	6.1800	6.6700	7.4100	8.8390

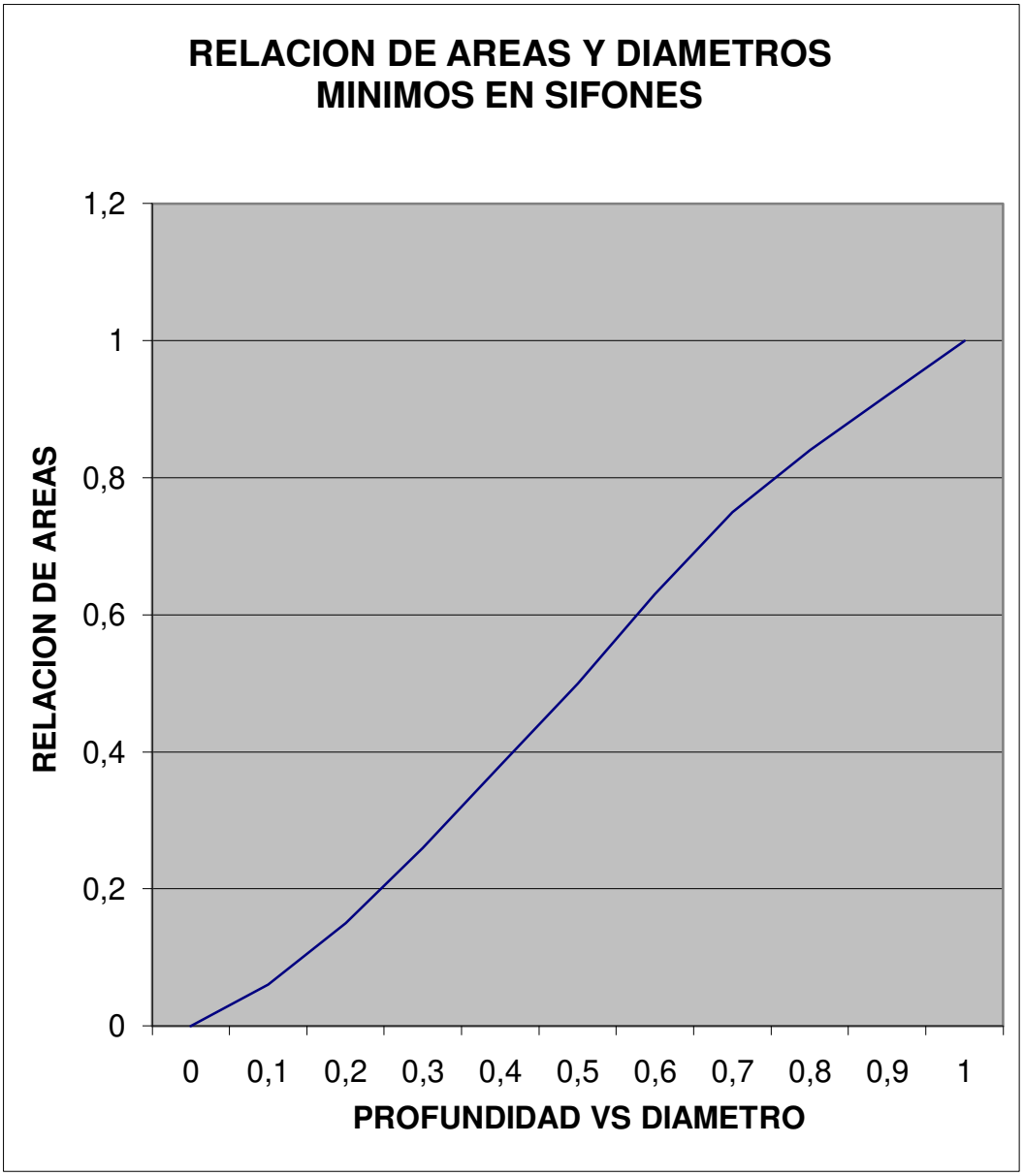

FIGURA 3: RELACIÓN DE ÁREAS Y DIÁMETROS MÍNIMOS EN TUBERÍAS

Bajo las siguientes consideraciones, se calcularán las condiciones de operación del sifón en esta bomba.

Densidad relativa de agua salada:	1.02
Presión Barométrica:	10.35 m.c.a.
Altura de succión:	4.30 m.c.a.
Altura de descarga:	3.00 m.c.a.
Pérdidas en succión:	0.704 m.c.a.
Pérdidas en descarga:	0.35 m.c.a.
Diámetro de tubo:	600 mm
Presión de vapor de agua a 25^0C:	0.316 m.c.a.
Caudal:	860 l.p.s

Calculo de velocidad de agua: V_S

$$V_S = \frac{4 * Q}{\Pi * D^2} \qquad V_S = \frac{860 \text{ lps} * 4}{1000 * 3.14 * 0.6^2} \qquad V_S = 3.04 \text{ m/s}$$

Pérdida de presión en sifón:

El sifón está formado por un codo de 90° y 3 m de tubería de 600 mm. De tabla 4 obtenemos la longitud equivalente para el sifón.

Longitud equivalente: 3 + 11.42 = 14.42

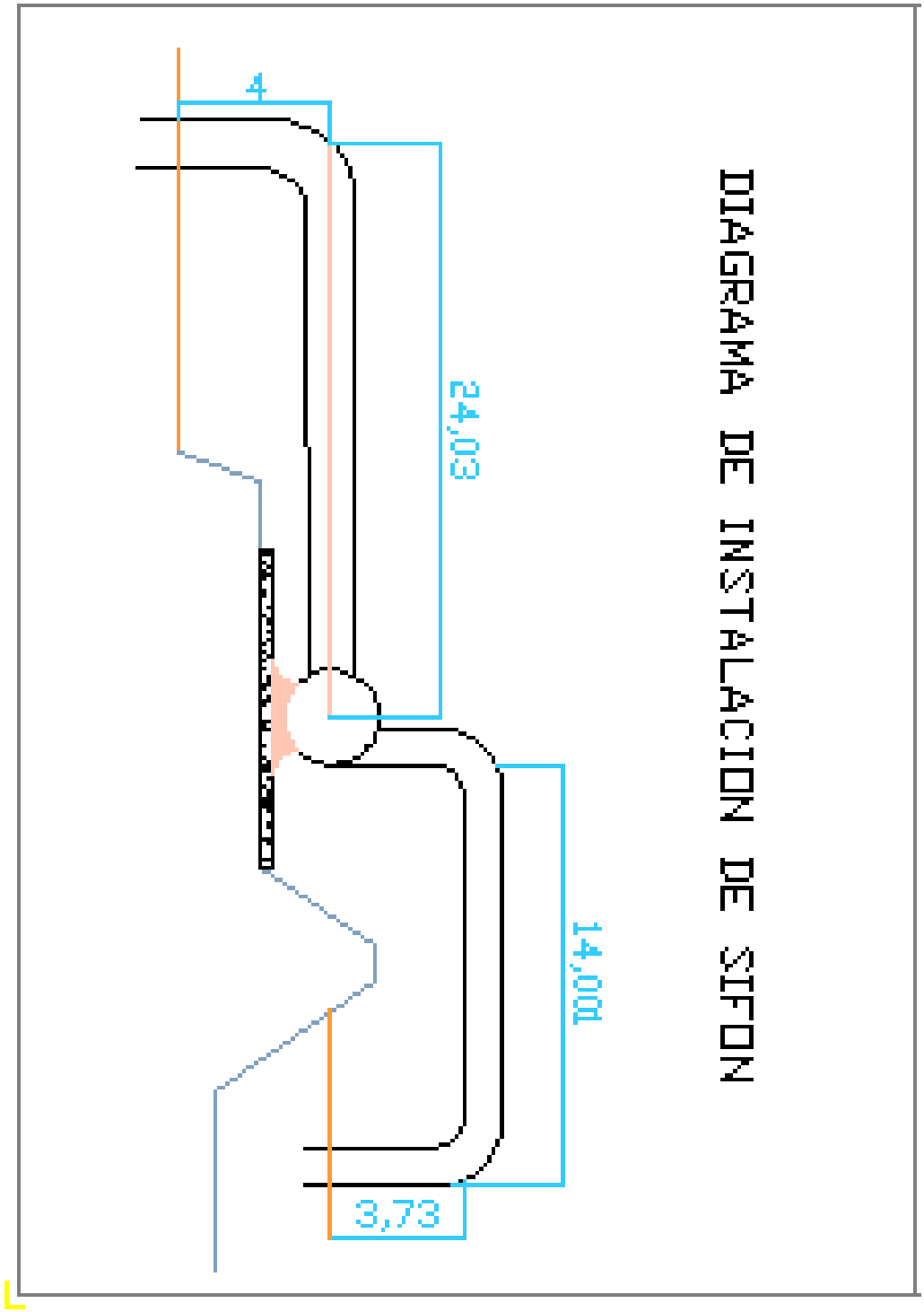

FIGURA 4: DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DE SIFÓN

Mediante la fórmula de Darcy – Weisbach, calculamos las pérdidas por fricción en el sifón:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \qquad h_f = 0.138$$

Donde

f = 0.0124 (Tabla 3)

L = Longitud equivalente

V = Velocidad

D = Diámetro de la tubería

g= Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

Altura máxima del sifón.-Se calcula la altura máxima del sifón para estas condiciones:

En la ecuación de Bernolli, se despeja el valor de Z_a considerando que la presión en el punto más alto del sifón no puede ser menor a la presión de vapor para el agua a 25^O C (0.316 m.c.a.)

$$H_a = H_2 + (Z_2 - Z_a) + h_f * (a - 2) + \frac{V_2^2 - V^2a}{2\,g}$$

Si $Z_2 = 0$, $H_a = P_v = 0.316$ m.c.a., $H_2 = P_{at}$ y $V_a = V_2$, se tiene:

$$Z_a = P_0 \text{ -- } H_a + h_f * (a - 2)$$

$$Z_a = 10.3 - 0.316 + 0.138$$

$$Z_a = 10.122 \text{ m.c.a.}$$

El valor obtenido, indica el cabezal máximo posible de ser recuperado con el sifón. De acuerdo a las dimensiones de la instalación, solo se busca recuperar 1.8 m.c.a. valor muy inferior al máximo calculado, por lo tanto el sifón puede instalarse sin ningún problema.

Diámetro crítico de Llenado.- El siguiente paso, es calcular el diámetro crítico de llenado de la tubería y con este valor, calcular el caudal mínimo requerido en la bomba para que en el momento del arranque de la misma, permitir la formación del sifón.

Para trabajar con la tabla 2, es necesario calcular el caudal en ft^3 /s.

Q = 860 l.p.s. * 0.02832 = 24.355 ft^3 /s

Con un diámetro de 600 mm (1.97 ft),el factor (ft^3 /s) / $d^{(5/2)}$ es :

$23.789 / 1.97^{2.5} = 4.48$

Con este valor, en la tabla 2, obtenemos la relación :

$D_{critico} / d = 0.885$

Por lo tanto, tenemos que la profundidad mínima en la cresta del sifón para el llenado de la tubería es de :

$D_{critico} = 0.885 * 0.6$ $D_{critico} = 0.525$ m

Caudal mínimo necesario y Carga de la Bomba.-En la figura 3, obtenemos que la relación de área a ser llenada es de 0.95 para que se pueda formar el sifón. Con este dato, calculamos la velocidad del agua en la tubería y de esta manera la carga inicial de la bomba previo a la formación del sifón.

$V = Q / A$ $V = (860 * 4) / (1000 * 3.1416 * (0.95 * 0.6)^2)$ **V= 3.37 m/s.**

El cabezal estático contra el que trabaja la bomba en el arranque es : $H_S = H - D + D_{critico} / 2$

Donde :

H : Altura máxima del sifón medida desde el nivel del reservorio

D : Diámetro de la tubería

$D_{critico}$: Diámetro crítico de llenado de la tubería

$H_s = 7.3 - 0.6 + 0.525 / 2$ $H_s = 6.9625$ m.c.a.

Por lo tanto el cabezal total al momento de iniciar el sifón será :

$$H_t = H_s + h_f + V^2 / 2g$$

$$H_t = 6.96 + f * L * V^2 + V_2^2$$
$$D \quad 2g \quad 2g$$

$$H_t = 6.96 + \frac{0.01244 * (90.87 + 14.42) * 3.37^2}{0.6 * 2 * 9.8} + \frac{3.37^2}{2*9.8}$$

$H_t = 9.76$ m.c.a.

Según la curva de la bomba, con este cabezal tenemos un caudal de 840 l.p.s. por lo que es necesario un incremento en la velocidad de arranque de la bomba a fin de obtener el llenado de la tubería

mínimo necesario para la formación del sifón. De acuerdo a las leyes de afinidad para bombas, esta nueva velocidad N_2 es:

$$N_2 = N_1 * Q_2 / Q_1$$

$$N_2 = 530 * 860 / 840$$

$$N_2 = 543 \text{ r.p.m.}$$

Este incremento en la velocidad produce un incremento en la potencia requerida por la bomba que se calcula según las leyes de afinidad

$$HP_2 = HP_1 * N_2^3 / N_1^3$$

$$HP_2 = 113 * (543 / 530)^3$$

$$HP_2 = 121.5$$

Esta potencia es ligeramente inferior a la del motor (124 hp), por lo tanto no existe problema con el motor

2.3 Rendimiento esperado del sifón.

Una vez instalado el sifón su rendimiento depende tanto de las condiciones en las cuales está instalado así como la curva de

operación de la bomba. El primer factor ya fue considerado dentro de los cálculos del sifón pero es en este momento y con los datos ya obtenidos cuando se debe evaluar las nuevas condiciones de funcionamiento de la bomba. Como se indicó anteriormente. Se espera instalar un sifón para recuperar una presión equivalente a una columna de 1.8 m. de agua. Por lo tanto una vez formado el sifón, la carga de la bomba se modifica de la siguiente manera:

$Ht = Hti + Hfs – 1.8$

$Ht = 8.3 + 0.138 – 1.8$ $Ht = 6.638$ m.c.a.

2.4 Rendimiento esperado en la bomba

Se calcula la nueva curva (gráfico n° 4) para el sistema luego de instalar el sifón con los mismos datos con que fue calculada la curva del sistema original en base a la siguiente ecuación:

$Ht = Hs + hf$

$Ht = Hs + f * L / D * V^2 / 2g + V2^2 / 2g$

Donde:

f : Factor de fricción calculado .

Hs: Columna estática total del sistema.

V: Velocidad del líquido en la tubería.

D: Diámetro de la tubería.

g: Aceleración de la gravedad 9.8 m / s^2.

L: Longitud equivalente del sistema (90.87 + 14.42 m)

Las nuevas condiciones de operación de la bomba son:

Caudal: 930 l. p. s.

Carga: 7.3 m. c. a

NPSH r: 5.3 m. c. a.

NPSH d: 5.4 m. c. a.

Eficiencia: 78%

Potencia: 85 Kw (114 hp)

Si se considera que el NPSH disponible en el sistema es prácticamente igual al requerido por la bomba en las nuevas condiciones de trabajo, es posible que pequeñas variaciones en las condiciones externas, en ocasiones causen problemas de cavitación en la bomba. Para solucionar este inconveniente se recomendó bajar la ubicación de la bomba 0.5 m. Para que para el nuevo caudal el NPSH (d) del sistema sea superior al requerido por la bomba.

Se aprecia que el caudal de la bomba se incrementa en 80 l.p.s. (9.4%) sin cambio alguno en el requerimiento de potencia por parte de la bomba. Podemos concluir que este 9.4% es el potencial ahorro económico en la operación de la bomba. En este caso especifico, no se obtiene una reducción en la cantidad de combustible consumido por hora en el motor pero el aumento de caudal entregado por la bomba permite disminuir el tiempo diario de bombeo y evidentemente con esta disminución se presenta el ahorro de combustible consumido en cada jornada además de otros gastos ligados al funcionamiento de estos equipos.

Si se conoce que este motor consume 4.2 gal/ hr. de diesel y con un promedio diario de 10 hrs. de trabajo, se puede disponer de un mayor caudal que permite disminuir el equivalente de 1.1 hrs. de trabajo diario, es decir para la camaronera se produce una disminución de 4.8 galones de diesel por día, que a un costo de $ 1.1 / gal, implica un ahorro de US $ 5.2 diarios solamente en combustible.

De acuerdo a estos cálculos, se realizó la instalación del sifón con resultados congruentes a los esperados

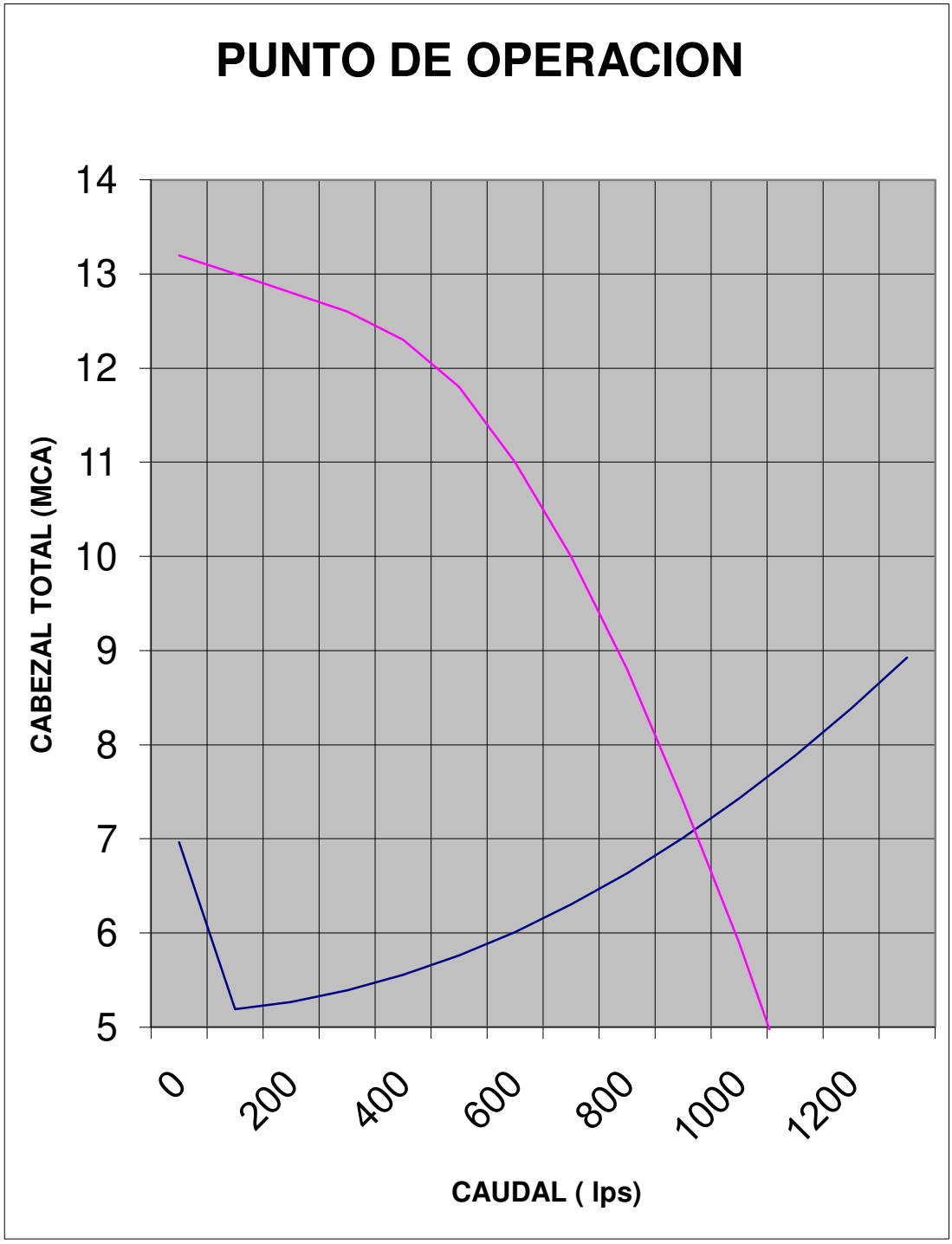

FIGURA 5. PUNTO DE OPERACIÓN DE BOMBA DESPUÉS DE INSTALAR SIFÓN

2.5 Presupuesto de instalación

Aunque este trabajo, fue realizado en 1993, en el presente informe todas las cifras han sido actualizadas a Noviembre del 2004 a fin de obtener una evaluación actualizada de los costos y beneficios del proyecto. Bajo estas consideraciones, se realiza un presupuesto para su ejecución.

Materiales necesarios:

4 Planchas de acero ASTM A36 de 6 mm	$ 448.00
20 kg. de electrodos 6011 de 3 mm	$ 30.00
3 galones pintura anticorrosiva	$ 54.00

Total materiales	**$ 532.00**
Mano de Obra y talleres	$ 250.00
Transporte y varios	$ 200.00

VALOR TOTAL	**$ 982.00**

Este presupuesto, se fundamenta en el precio de los materiales y mano de obra a Noviembre de 2004. Se incluyen los gastos de movilización de materiales y personal dentro de la ciudad así como hasta una camaronera ubicada a 150 km de Guayaquil por transporte terrestre. Este rubro, puede variar significativamente dependiendo de la ubicación final de la bomba donde se instale el sifón.

CAPITULO 3

3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En las fotografías del apéndice 1, podemos apreciar la instalación del sifón en la tubería de descarga de la bomba. Los resultados obtenidos después de este trabajo fueron los esperados según los cálculos preliminares.

3.1 Control de Operación

Una vez instalado el sifón, se estableció por parte de la Administración de la camaronera dos tipos de controles en el funcionamiento de esta bomba.

El primer control realiza un seguimiento del consumo de combustible en el motor. Inicialmente, se realizaron medidas cada hora y luego al final de cada jornada de bombeo. El segundo control fue en los

niveles del canal reservorio y en las entradas de agua en cada piscina para determinar el tiempo requerido de bombeo con el nuevo sistema. Este análisis determinó que esta bomba trabaje 10 horas diarias o sea el mismo tiempo de trabajo fijado antes de la instalación del sifón, pero en la segunda bomba de esta estación de bombeo, se redujo el tiempo de trabajo a 7 horas diarias.

El consumo de combustible fue promediado luego de 4 semanas de trabajo en 3.8 galones / hora. Con la bomba trabajando a 530 rpm .

Luego de instalado el sifón surgió la duda sobre su posible efecto negativo en la oxigenación del agua por la eliminación de la caída original de 2 metros. Se midió los niveles de oxígeno en el canal luego de instalado el sifón y no se encontró diferencia con los registros existentes antes de este trabajo.

3.2 Evaluación Financiera

Entre las ventajas obtenidas con este trabajo, el consumo de combustible y la reducción de las horas de trabajo son muy fáciles de evaluar. La disminución de las horas de trabajo se realizó en la segunda bomba porque el costo de cada metro cúbico de agua

bombeado por esta es superior al del agua bombeada a través del sifón por su menor eficiencia.

Una ventaja digna de mencionarse es el hecho que con menos horas de bombeo necesarias, este se realiza en los momento que se dispone de mejor calidad de agua en el estero a causa de las mareas.

La reducción de 3 horas de bombeo en la segunda bomba, tiene el siguiente beneficio económico :

Reducción de horas de trabajo diarias:	3 horas
Costo de 1 hora de trabajo	$ 7.40
Reducción de costo diario	$ 22.20

Adicionalmente, tenemos la disminución en el consumo de combustible en la bomba con el sifón de 0.4 gal / hora, que representa el siguiente valor:

(0.4 gal / hr) * (10 hr. / día) * $ 1.10 / gal = $ 4.4 / día

Vemos que el ahorro diario es de $ 26.60 / día

La inversión de $ 982.00 en este trabajo se recupera luego de 37 días de trabajo.

Si se asume una vida útil de 2 años para el sifón, se calcula el valor actual neto (VAN) del proyecto. Para este cálculo, se considera periodos trimestrales con una tasa de interés del 2% por periodo.

TABLA 3 .- VALOR ACTUAL Y TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO

Periodos Trimestrales / **Concepto**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Inversión Inicial	982								
Depreciación		122.75	122.75	122.75	122.75	122.75	122.75	122.75	122.75
Ahorro trimestral		2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0
Costo operación		0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad antes de impuestos		2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0	2394.0
Imp y part. Trabajadores		957.6	957.6	957.6	957.6	957.6	957.6	957.6	957.6
Utilidad		1436.4	1436.4	1436.4	1436.4	1436.4	1436.4	1436.4	1436.4
Flujo Neto	(982)	1559.15	1559.15	1559.15	1559.15	1559.15	1559.15	1559.15	1559.15
V.A.N		**10.234.83**							
T.I.R.		**159%**							

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La evaluación del rendimiento de la bomba con la instalación del sifón, nos confirma el gran potencial de ahorro de energía existente en estas instalaciones, puesto que al ser bombas de poco cabezal, la incidencia de disminuirlo en 1 ó 2 metros al cabezal total del sistema, es muy significativa en los costos de operación de las mismas .

El desarrollo de este trabajo, nos confirma la importancia de realizar las instalaciones de bombas tomando en cuenta sus características y las condiciones del medio a fin de optimizar su funcionamiento.

Si tomamos en cuenta que en el Ecuador este tipo de instalación puede aplicarse en camaroneras y bananeras, que son actividades

que demandan grandes cantidades de agua, se tiene una alternativa económica para mejorar la eficiencia de estas actividades, disminuyendo el costo de bombeo y además se contribuye a la conservación ambiental debido a la disminución del uso de combustible que se logra.

Una aceptable estimación del potencial de ahorro de energía en el sector camaronero ecuatoriano podemos tener asumiendo las siguientes condiciones:

- Este tipo de trabajo solo se puede realizar en el 50% de las instalaciones.
- El costo de bombeo se reduce en 39%
- El cabezal total promedio de bombeo puede disminuirse en un 25 %
- El retorno de la inversión es de solamente 39 días.
- La Tasa Interna de Retorno (TIR) de 159% para un periodo de 3 meses, indica que la inversión en el sifón tiene una rentabilidad muy superior al valor del dinero en el mercado financiero ecuatoriano.

4.2 Recomendaciones

Recomendamos tanto al sector de la acuacultura, como al sector agrícola en general, instalar en sus sistemas de bombeo sifones en la descarga de la bomba, mecanismo con el cuál se puede obtener los siguientes beneficios:

- Disminución del costo del agua captada en un 35%
- Disponer de mayor cantidad de agua con el mismo equipo
- Condiciones de trabajo para la bomba y el motor menos forzadas
- Aumento de la vida útil de los equipos
- Menor Gasto de mantenimiento
- Disminución de la contaminación ambiental