

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO**



**“ Análisis y Determinación Experimental  
de los Requerimientos de Potencia en  
Operaciones de Achique, y su Aplicación  
en el Mejoramiento de la Confiabilidad”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE PETROLEO**

**WILMER AREVALO NIMA**

*Promoción 1985 - 1*

**Lima - Perú - 1990**

**PARA MIS QUERIDOS PADRES :**

**CARLOS GUSTAVO Y HERMELINDA**

**A MIS HERMANOS :**

**ALBERTO, GUSTAVO, Y MARIA ELENA**

## S U M A R I O

	<u>PAG. #</u>
1. PROLOGO.	6
2. INTRODUCCION.	7
3. DESARROLLO DE LA ECUACION DE POTENCIA.	10
4. LEY EXPONENCIAL DE FALLAS DE POISSON.	13
5. TECNICA EXPERIMENTAL EMPLEADA.	15
6. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE EMPIRICO DE FRICCION. ( F.R ).	16
7. PREPARACION DE GRAFICOS DE CONTROL DE POTENCIA.	18
8. APLICACION DEL METODO DE CONTROL DE POTENCIA, ( MCP ).	23
9. ECUACIONES DE FALLA DE POISSON ANTES Y DESPUES DE APLICAR EL MCP.	24
10. EVALUACION ECONOMICA, DERIVADA DE APLICAR EL MCP.	25
11. CONCLUSIONES.	29
12. RECOMENDACIONES.	34
13. ANEXOS.	36
13.1 FIGURAS.	37
13.2 TABLAS.	40
13.3 GRAFICOS.	69
13.4 BIBLIOGRAFIA.	80

## 1. PROLOGO

El presente trabajo que se expone a consideración de los señores miembros del jurado, que lleva por título : " ANALISIS Y DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LOS REQUERIMIENTOS DE POTENCIA EN OPERACIONES DE ACHIQUE, Y SU APLICACION EN EL MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD ", representa una pequeña contribución al estudio de las operaciones de achique de pozos petrolíferos, desde el punto de vista de la potencia requerida.

Estoy seguro, que la presentación de la tesis contribuirá a incrementar aún más los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de Ingeniería de Petróleo, y a los lectores interesados en el tema.

Por otro lado, deseo agradecer al Sr. Decano de la Facultad de Petróleo, Ing. Wilfredo Salinas Ruiz-Conejo, a su cuerpo de Catedráticos, y a las autoridades universitarias, por todos los servicios y atenciones recibidos durante mi formación profesional.

Asimismo, hago extensivo mi agradecimiento al Ing. Mario Contreras Ibarcena, Jefe Dpto. de Producción, Petroperú S.A, por haberme proporcionado las pautas y lineamientos a seguir, para el desarrollo del trabajo.

Para terminar, mi agradecimiento a los Ingenieros, Luis del Castillo Rodriguez, Alberto Erazo Verano, y Victor Cataño Cauti, por tener la gentileza de revisar y corregir la presente tesis.

## 2. INTRODUCCION

Una de las mayores preocupaciones de la industria petrolera, es disponer de equipos cada vez más confiables, que puedan realizar la función para la cual fueron diseñados, en el momento que se les necesita.

Este mayor o menor grado de confiabilidad, no solo está determinado por la calidad del equipo que originalmente se adquiere. Depende también en gran medida, de la existencia de un adecuado programa de mantenimiento preventivo y correctivo, y fundamentalmente del uso apropiado del equipo, dentro de su capacidad de diseño.

Las unidades de achique, como cualquier equipo petrolero, requieren también un alto grado de eficiencia y confiabilidad. Su operación sin embargo, precisa de un estricto control de sus principales variables, tales como profundidad de achique ( $H_t$ ), columna de fluido ( $H_f$ ), velocidad de ascenso ( $V$ ), etc, con el fin de asegurar una operación dentro de la capacidad de diseño del equipo.

En N.O sin embargo, hasta hace poco, se desconocía de una ecuación empírica, que permitiera calcular la potencia realmente consumida en este tipo de operaciones. Ello dió lugar a que en muchos casos, se haya operado por encima de la potencia de diseño de cada motor, afectando la vida útil del equipo.

El presente trabajo, propone una ecuación empírica para el cálculo de dicha potencia, incorporando en la ecuación teórica, un factor que hemos denominado "Coeficiente Empírico de Fricción, F.R", que tiene estrecha relación con la fuerza de rozamiento existente entre la copa de achique y la pared interior de la tubería de producción, y que ha sido determinado mediante pruebas experimentales de campo.

En base a esta ecuación empírica, fueron desarrolladas curvas de control de potencia para diferentes valores de Ht, Hf, y V, parámetros que se utilizaron para llevar a cabo un estricto control de operación, durante el período 1988 - 1990.

El resultado de este procedimiento, que hemos denominado: " Método de Control de Potencia ", MCP, fué un notorio incremento de confiabilidad de los motores de las unidades de achique, que se manifestó en lo siguiente: incremento del tiempo medio entre fallas ( MTBF ), de 5000 horas a 9000 horas, y descenso correspondiente de la tasa de falla, de 0.0002 fallas/hora, a 0.0001 fallas/hora, apróximadamente.

Esta mejora en confiabilidad, representa un incremento en el ingreso, del orden de 325,000 Dólares/año, como consecuencia del mayor tiempo operativo del sistema de unidades de achique.

Creemos finalmente, que este tipo de trabajo debe ir acompañado de un intenso plan de capacitación del personal de operadores, a fin de que tomen conciencia de la importancia de operar las unidades, dentro de los límites permisibles de diseño, requisito fundamental para alargar la vida útil del equipo.

### 3. DESARROLLO DE LA ECUACION DE POTENCIA

La potencia teórica consumida en una operación de achique ( fig.# 1 ), se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$P.T = \frac{W.T \times V}{33000 \times E} \quad ( 1 )$$

Donde :

P.T = Potencia teórica, HP.

V = Velocidad de ascenso del cable de acero, pies/min.

W.T = Peso a levantar en Lbs.

E = Eficiencia mecánica del sistema.( pérdidas, principalmente en los sistemas de transmisión).

Por otro lado, la carga a levantar " W.T ", es igual al peso del cable en el líquido más el peso de la columna de líquido:

$$W.T = \text{Peso cable en líquido} + \text{Peso del líquido} \quad ( 2 )$$

Además, si tenemos en cuenta que :

$$\text{Peso cable en líquido} = \text{Peso cable en aire} - \text{Empuje} \quad ( 3 )$$

Y,

$$\text{Peso cable en aire} = \beta \times Ht \quad ( 4 )$$

Donde :

$\beta$  = Densidad lineal del cable de acero.(0.529 Lbs/pie, para cable de  $\phi = 9/16"$ , 6 x 19 ).

Ht = Profundidad de achique, pies.



Tendremos que :

$$W.T = \rho \times Ht - \text{Empuje} + \text{Peso del líquido} \quad ( 5 )$$

En esta ecuación, tanto el empuje hidrostático como el peso del líquido, pueden calcularse a partir de datos conocidos:

$$\text{Empuje} = \frac{\pi \times \phi^2}{4 \times 144} \times Hf \times d_w \times f \quad ( 6 )$$

$$\text{Peso del líquido} = \frac{\pi \times ( Di^2 - \phi^2 )}{4 \times 144} \times Hf \times d_w \times f \quad ( 7 )$$

Donde :

- Hf = Altura de columna de líquido a levantar, pies.
- $d_w$  = Densidad del agua , 62.4 Lbs/Pie<sup>3</sup>.
- f = Gravedad específica del crudo, 0.86 para 32°API.
- $\phi$  = Diámetro del cable de acero , 9/16".
- Di = Diámetro interno de la tubería de producción.  
( 1.995" para tubing de 2 3/8" ).

El cálculo mediante las ecuaciones precedentes, resulta sin embargo incompleto. La razón es que existe una fuerza de fricción entre la copa de achique y la pared interior de la tubería de producción, que origina una carga extra, y que no ha sido tomada en cuenta.

En consecuencia, podemos escribir nuevamente la ecuación ( 1 ) en la siguiente forma :

$$P.R = \frac{W.R \times V}{33000 \times E} \quad ( 8 )$$

Donde :

P.R = Potencia realmente consumida, HP.

W.R = Carga a levantar, incluyendo la fuerza de fricción entre la copa de achique-tubería.

Combinando ( 8 ) y ( 1 ) encontramos que :

$$\frac{P.R}{P.T} = \frac{W.R}{W.T} \quad ( 9 )$$

Si denominamos " Coeficiente Empírico de Fricción, F.R " a la relación W.R / W.T tendremos finalmente que :

$$P.R = P.T \times F.R \quad ( 10 )$$

#### 4. LEY EXPONENCIAL DE FALLAS DE POISSON

Esta ley se usa para predecir la probabilidad de supervivencia de uno o más equipos, en función del tiempo.

En su forma más simple, se expresa según la siguiente ecuación :

$$P_s = e^{-rT} = e^{-d} \quad ( 11 )$$

Donde :

$P_s$  = Probabilidad de supervivencia. ( equivalente a confiabilidad ).

$T$  = Tiempo total en horas.

$r$  = Tasa de falla, en fallas/hora.

$d$  = Número de fallas esperadas en el tiempo  $T$ .

$e$  = Base de logaritmos neperianos.

Pruebas de campo, sobre una gran variedad de equipos, han demostrado que la tasa de falla " $r$ " es esencialmente constante durante la vida útil del equipo.

Esto sin embargo, no ocurre en la primera etapa de vida (mortalidad infantil) y durante el período de desgaste (vejez), en las cuales la tasa de falla, se incrementa sustancialmente.

Durante el período de operación del equipo (vida útil), el tiempo medio entre fallas " $m$ ", al igual que la tasa de falla " $r$ ", es también constante y se define como :

$$m = \frac{1}{r} = \frac{T}{f} \quad ( 12 )$$

Donde :

m = Tiempo medio entre fallas.

( MTBF : Mean Time Before Failures ).

r = Tasa de falla. ( fallas / hora ).

T = Período total de tiempo, horas.

f = Número total de fallas en el tiempo T.

Combinando las ecuaciones ( 11 ) y ( 12 ) podemos escribir finalmente :

$$P_s = e^{-T/m} \quad ( 13 )$$

## 5. TECNICA EXPERIMENTAL EMPLEADA

La potencia en operaciones de achique se calcula a partir de la ecuación ( 10 ). El coeficiente empirico de fricción se obtiene mediante pruebas de campo, evaluando la relación  $W.R / W.T.$

El procedimiento utilizado es el siguiente :

- a) Calibrar a cero un indicador de peso y colocarlo en la base de la pluma de la unidad de achique. ( Ver Figura # 2 ).
- b) Ajustar fuertemente el Pin regulador de la base de la pluma, a fin de recibir en el plato indicador todo el peso de la misma. Colocar un retén (varilla) a fin de evitar desenrosque durante la operación. ( posible pérdida de carga en el indicador ).
- c) Registrar el peso de la pluma, leído en el indicador de peso.
- d) Verificar que el indicador de profundidad (Dipmeter) se encuentre marcando "cero" antes de proceder a iniciar la operación de achique.
- e) Bajar el cable a la prof. de achique, anotar  $H_t$  y  $H_f$ .
- f) Iniciar la operación de achique.
- g) Registrar inmediatamente la carga levantada, leída en el indicador de peso, (  $W.R$  ).
- h) Concluída la operación de achique, registrar el tiempo total y calcular la velocidad de ascenso, (  $V$  ).

6. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE  
EMPIRICO DE FRICCIÓN, ( F.R )

En la tabla N° 3 se muestran los resultados de F.R, obtenidos de 50 pruebas de campo.

La evaluación estadística de los distintos valores de F.R encontrados, indica que los mismos se distribuyen aproximadamente según la ecuación de Gauss, con un valor promedio de F.R de 1.40, y una desviación standar (  $\sigma$  ) de  $\pm 0.125$  ( Tabla N° 1 y Gráfico # 1 ).

Desde el punto de vista práctico, no es conveniente usar el valor promedio del Coeficiente Empírico de Fricción (F.R) para calcular la potencia realmente consumida. Esto se debe a que existe cierta probabilidad de que en una determinada prueba, los valores de F.R superarán al valor promedio F.R, originando una potencia adicional que no podría ser prevista por la ecuación ( 10 ).

Para solucionar este problema, hemos considerado un valor de F.R mayor al promedio, asumiendo una probabilidad de 80% de que dicho valor no será superado.

Este nuevo valor de F.R se calcula considerando la siguiente ecuación :

$$Z = \frac{F.R - \bar{F.R}}{\sigma} \quad ( 14 )$$

Donde :

Z = Valor que define una determinada área bajo la curva de Gauss.

F.R = Valor promedio de F.R.

F.R = Cualquier valor de F.R mayor ó menor al promedio.

$\sigma$  = Desviación Standar.

Considerando la tabla N° 2 que da la distribución de probabilidad normal para diferentes valores de Z, vemos que para una probabilidad de 80% corresponde un valor de " Z " de 0.85. Por lo que :

$$0.85 = \frac{F.R - 1.40}{0.125}$$

De donde :  $F.R = 1.506$

En consecuencia, podemos escribir nuevamente la ecuación ( 10 ) de la siguiente manera :

$$P.R = \frac{W.T \times V}{33000 \times E} \times 1.506 \quad ( 15 )$$

## 7. PREPARACION DE GRAFICOS DE CONTROL DE POTENCIA

En base a la ecuación ( 15 ) se han preparado tablas y gráficos de potencia para diferentes valores de sus principales variables : velocidad de ascenso del cable de acero,  $V$  , columna de fluido a ser levantado,  $H_f$ , y profundidad de achique,  $H_t$ .( Tablas N°s 7 al 14, y Gráficos #s 3 al 10 ).

Estos gráficos son de aplicación práctica en las operaciones de achique, pues el operador puede seleccionar fácilmente para un pozo dado, los máximos valores para  $V$ ,  $H_f$ ,  $H_t$ , que permitan operar dentro de los rangos permisibles de potencia del equipo.

Por ejemplo, observemos la tabla N° 7 que dice :

" CALCULO DE POTENCIAS REALES PARA  $H_f = 400$  PIES "

**COLUMNA 1 :**

Representa la profundidad de achique o la profundidad hasta donde se baja el varillón. Ejemplo :  $H_t = 5000$  piés

**COLUMNA 2 :**

Representa la altura de líquido a ser levantado, desde una de las diferentes profundidades de achique.

Ejemplo :  $H_f = 400$  piés.

**COLUMNA 3 :**

Representa la velocidad de ascenso del cable de acero, desde una de las diferentes profundidades de achique.

Ejemplo :  $V = 800$  Piés/Min.



**COLUMNA 4 :**

Representa el peso del cable en el aire, desde cero piés hasta la profundidad de achique, y se calcula usando la ecuación ( 4 ) :

$$\text{Peso cable en aire} = \rho \times Ht$$

$$\text{Peso cable en aire} = 0.529 \text{ Lbs/pie} \times 5000 \text{ piés}$$

$$\text{Peso cable en aire} = 2645 \text{ Lbs.}$$

**COLUMNA 5 :**

Representa el Empuje hidrostático ejercido sobre el cable de acero, equivalente al volumen de líquido desalojado, y se calcula usando la ecuación ( 6 ) :

$$\text{Empuje} = \frac{\pi \times \phi^2}{4 \times 144} \times Hf \times d_w \times f$$

$$\text{Empuje} = \frac{3.1416 \times (9/16")^2}{4 \times 144} \times 400 \times 62.4 \times 0.86$$

$$\text{Empuje} = 37 \text{ Lbs.}$$

**COLUMNA 6 :**

Representa el peso del líquido que va a ser levantado, y se calcula usando la ecuación ( 7 ) :

$$\text{Peso del líquido} = \frac{\pi \times ( D_i^2 - \phi^2 )}{4 \times 144} \times Hf \times d_w \times f$$

$$\begin{aligned} \text{Pero : } D_i^2 - \phi^2 &= (1.995")^2 - (9/16")^2 \\ D_i^2 - \phi^2 &= 3.652 \end{aligned}$$

Reemplazando :

$$\text{Peso del líquido} = \frac{3.1416 \times 3.652}{4 \times 144} \times 400 \times 62.4 \times 0.86$$

$$\text{Peso del líquido} = 429 \text{ Lbs.}$$

#### COLUMNA 7 :

Representa el peso total que va a ser levantado, y se calcula usando la ecuación ( 5 ) :

$$W.T = \rho \times H_t - \text{Empuje} + \text{Peso del líquido}$$

$$W.T = 2645 - 37 + 429$$

$$W.T = 3037 \text{ Lbs.}$$

#### COLUMNA 8 :

Representa la potencia real consumida durante la operación de achique (P.R), y se calcula usando la ecuación ( 15 ) :

$$P.R = \frac{W.T \times V}{33000 \times E} \times 1.506$$

$$P.R = \frac{3037 \times 400}{33000 \times 0.80} \times 1.506$$

$$P.R = 139 \text{ HP.}$$

Analisemos ahora la tabla N° 3, que dice :

**" DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION ( F.R )  
MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO "**

Y particularmente la prueba N° 1.

**UNIDAD DE ACHIQUE N.L 2618.**

Representa una de las cinco unidades de achique que tiene el Dpto. Servicio de Pozos y se encuentran enumerados con un determinado número local (N.L). ( Ver tabla N° 15 ).

**POZO N° 2117.**

Representa el número del pozo, en el cuál se va a realizar la operación de achique.

**RESERVORIO : MILLON.**

Representa el nombre del lugar físico en donde se encuentra el pozo.

**Ni = 3640 PIES.**

Representa el nivel inicial de líquido encontrado, durante la operación de achique. ( Ver figura # 1 ).

**Ht = 4000 PIES.**

Representa la profundidad de achique, o la profundidad hasta donde se baja el varillón. ( Ver figura # 1 ).

**Hf = 360 PIES.**

Representa la columna de líquido que va a ser levantado. ( Ver figura # 1 ).

**T = 8 MIN.**

Representa el tiempo que demora en salir el cable de acero, desde una profundidad cualquiera hasta la superficie.

**V = 500 PIES / MIN.**

Representa la velocidad de ascenso del cable de acero, desde una profundidad cualquiera hasta la superficie. y se calcula mediante la siguiente relación :  $V = Ht / T$ .

**PESO DE LA PLUMA = 1500 LBS.**

Representa el peso de la pluma sobre el plato sensor, y es leído en el indicador de peso. (Ver figura # 2).

**PESO DEL LIQUIDO = 386 LBS.**

Se obtiene usando la ecuación ( 7 ).

**PESO DE CABLE EN AIRE = 2116 LBS.**

Se obtiene usando la ecuación ( 4 ).

**EMPUJE, E = 33 LBS.**

Se obtiene usando la ecuación ( 6 ).

**PESO CABLE EN LIQUIDO = 2083 LBS.**

Se obtiene usando la ecuación ( 3 ).

**W.T = 2469 LBS.**

Se obtiene usando la ecuación ( 5 ).

**W.R = 3500 LBS.**

Representa el peso real levantado, el cuál incluye la fuerza de fricción que existe entre la copa de achique y el interior de la tubería de producción, y es leído en el indicador de peso. Se obtiene de la siguiente manera :

**W.R = LECTURA EN INDICADOR DE PESO - PESO DE LA PLUMA**

**F.R = 1.42**

Representa el Coeficiente Empírico de Fricción, y se calcula mediante la siguiente relación :  $F.R = W.R / W.T$

## 8. APLICACION DEL METODO DE CONTROL DE POTENCIA, (MCP)

En setiembre de 1987 se concluyó la determinación del coeficiente empírico de fricción, F.R a partir de 50 evaluaciones de campo, preparándose en base a la ecuación ( 15 ), las respectivas curvas de control de potencia.

Se inició luego, una etapa de capacitación del personal de operadores, explicándoles la importancia de mantener los parámetros de velocidad de ascenso V, y columna de fluido Ht principalmente, dentro de los rangos permisibles indicados en las curvas de control, con el fin de no superar los límites de potencia de diseño de cada motor.

Se les habló de la ex-Unidad de achique N.L 3296 en cuyas pruebas de campo se había detectado temperaturas excesivas en el motor, por estar operando a mas de 1000 pies/min de velocidad de ascenso, ( a una profundidad de 4500 pies y una columna de fluido de 800 pies ) siendo la velocidad máxima para este caso de solo 800 pies/min.

A partir de enero de 1988, los Ingenieros encargados de las operaciones de achique, iniciaron un programa de "Task Force", con el fin de lograr un efectivo control de las principales variables de achique ( Método de Control de Potencia,MCP ), asegurando una operación dentro de los límites permisibles de potencia del motor.

Adicionalmente, se instalaron topes a los aceleradores del winche de las unidades de achique, para impedir que los operadores trabajen a velocidades excesivas, por ser este un factor de difícil supervisión en el campo.

**9. ECUACIONES DE FALLA DE POISSON ANTES Y DESPUES**  
**DE APLICAR EL MCP**

Una forma de determinar el beneficio del MCP sobre la vida útil del equipo, es analizar la supervivencia ( $P_s$ ), de un determinado número de motores de unidades de achique, antes y después de aplicar el respectivo procedimiento de control.

Con esta finalidad, se preparó un registro de fallas mayores de motores de unidades de achique, es decir, de aquellas que implican el reemplazo del motor por otro nuevo o reparado. Este registro lo podemos observar en la tabla N° 4, y en base a dicha información se prepararon Tablas de Supervivencia para cada período. ( Tabla N° 5 y Tabla N° 6 ).

Graficando los valores de probabilidad de supervivencia  $P_s$  v/s tiempo, es posible aproximar en cada caso las respectivas ecuaciones de falla ( Gráfico # 2 ). Estas son las siguientes :

Antes de aplicar el MCP.( Tabla N° 5 )

ECUACION	TASA DE FALLA ( $r$ )	M.T.B.F. ( $m$ )
$P_s = e^{-T/5000}$	$2 \times 10^{-4}$ fallas/hora	5000 horas

Después de aplicar el MCP.( Tabla N° 6 )

ECUACION	TASA DE FALLA ( $r$ )	M.T.B.F. ( $m$ )
$P_s = e^{-T/9000}$	$1 \times 10^{-4}$ fallas/hora	9000 horas

## 10. EVALUACION ECONOMICA, DERIVADA DE APLICAR EL MCP

Las operaciones de achique se realizan en ONO utilizando un sistema de unidades de achique, que desde el punto de vista de confiabilidad, funcionan con estructura en paralelo de tipo " redundante ", teniendo un esquema de trabajo de cuatro unidades de achique en operación y una de respaldo.

La confiabilidad de un sistema en paralelo está dada por la fórmula de expansión binomial de Newton, cuya ecuación general es :

$$C = (q + p)^n = \sum_x^n p^x q^{n-x} \quad ( 16 )$$

$$x = 0, 1, 2, 3, \dots, n$$

Para el caso especial del sistema en estudio, (sistema de cuatro unidades operando y una de respaldo o "Stand By"), la confiabilidad del sistema esta dada por :

$$C = q^5 + 5q^4p \quad ( 17 )$$

Donde :

C = Probabilidad que exista hasta una falla como máximo.

q = UTR = Up Time Ratio.

p = DTR = Down Time Ratio.

Por otro lado:

$$q = \frac{m}{m + \Phi} \quad ( 18 )$$



$$p = \frac{\bar{\Phi}}{m + \bar{\Phi}} \quad (19)$$

Donde :

$m$  = MTBF. ( tiempo medio entre fallas ).

$\bar{\Phi}$  = MDT. ( tiempo medio de parada por reparación ).

Reemplazando las ecuaciones (18) y (19) en la ecuación de confiabilidad (17), tendremos que :

$$C = \left( \frac{m}{m + \bar{\Phi}} \right)^5 + 5 \left( \frac{m}{m + \bar{\Phi}} \right)^4 \left( \frac{\bar{\Phi}}{m + \bar{\Phi}} \right) \quad (20)$$

Hemos demostrado por otro lado, que debido al Método de Control de Potencia ( MCP ), el tiempo medio entre fallas "m", es factible de incrementarse a un valor por ejemplo de "  $m_1$  ".

Para esta nueva condición (y asumiendo un tiempo de reparación  $\bar{\Phi}$  constante), se tendrá una nueva condición de confiabilidad tal como "  $C_1$  ":

$$C_1 = \left( \frac{m_1}{m_1 + \bar{\Phi}} \right)^5 + 5 \left( \frac{m_1}{m_1 + \bar{\Phi}} \right)^4 \left( \frac{\bar{\Phi}}{m_1 + \bar{\Phi}} \right) \quad (21)$$

La diferencia,  $C_1 - C = \Delta C$  representará el incremento de confiabilidad debido a la mejora introducida. (Método de Control de Potencia) : ( 22 )



$$C = \left( \frac{m_1}{m_1 + \Phi} \right)^5 + 5 \left( \frac{m_1}{m_1 + \Phi} \right)^4 \left( \frac{\Phi}{m_1 + \Phi} \right)$$

$$\left( \frac{m}{m + \Phi} \right)^5 + 5 \left( \frac{m}{m + \Phi} \right)^4 \left( \frac{\Phi}{m + \Phi} \right)$$

Este incremento de confiabilidad se traducirá en un mayor ingreso, que puede calcularse según la siguiente ecuación:

$$I = 365 \times B \times N \times d \times (C_1 - C) \quad (23)$$

Donde :

- I = Incremento del ingreso debido a un aumento en la confiabilidad, originado por introducir el Método de Control de Potencia, Dólares/Año.
- B = Barriles de petróleo recuperado/Día/Unidad.
- N = Número de unidades de achique operando.
- d = Precio del barril de petróleo, en dólares (\$).

Considerando que :

- m = 5000 Hrs.(antes de aplicar el MCP. Gráfico # 2 ).
- m1 = 9000 Hrs.(después de aplicar el MCP. Gráfico # 2 )
- $\Phi$  = 720 Hrs. ( 1 mes ) MDT, estimado.
- N = 4 Unidades de achique.
- B = 150 Barriles/Día/ Unidad.
- d = 19.8 \$.

Reemplazando valores en la ecuación ( 23 ) tendremos  
que :

$$I = 325,190 \text{ \$/año}$$

## 11. CONCLUSIONES

1. La potencia consumida en operaciones de achique, no puede calcularse usando exclusivamente las ecuaciones teóricas de potencia conocidas. La razón es que durante el achique del pozo, se produce una fuerza de fricción entre la copa de achique y la pared interior de la tubería de producción, que origina un consumo extra de potencia. En consecuencia, la ecuación teórica, debe incorporar también un factor experimental, que en este caso hemos denominado "Coeficiente Empírico de Fricción", ( F.R ).
2. La evaluación estadística de valores del Coeficiente Empírico de Fricción, encontrados experimentalmente a través de 50 pruebas de campo, muestran que los mismos se distribuyen aproximadamente de acuerdo a la ecuación de Gauss, con un valor promedio de 1.40 y una desviación standar (  $\sigma$  ) de  $\pm 0.125$  (Tabla N° 1 y Gráfico # 1).
3. Desde el punto de vista práctico, no es conveniente usar el valor promedio de F.R para el cálculo de potencia, ya que de acuerdo a la ecuación de Gauss, existirá siempre cierta probabilidad de que en una determinada prueba, los valores de F.R superarán el valor promedio, lo que originaría un consumo adicional de potencia, que no podría ser previsto por la ecuación ( 10 ).

Este problema se resuelve, seleccionando un F.R mayor al promedio, con una determinada probabilidad de que dicho valor de F.R no será superado.

En el presente trabajo, hemos asumido para dicha probabilidad, un valor de 0.8, que determina de acuerdo a la ecuación de Gauss, un valor de 1.506 para F.R.

Considerando este valor, la ecuación empírica de potencia, resulta la siguiente :

$$P.R = 1.506 \times P.T$$

Donde :

P.R = Potencia realmente consumida.

P.T = Potencia calculada teóricamente en base a la ecuación ( 1 ).

4. La potencia consumida durante el achique del pozo depende fundamentalmente de 3 variables : profundidad de achique (Ht), altura de fluido a levantar (Hf), y velocidad de ascenso del cable (V).

Los gráficos #s 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, y 10 se pueden usar para determinar la potencia consumida para distintos valores de Ht, Hf , y V. Estos gráficos se han preparado en base a las ecuaciones desarrolladas en el punto N° 3. con una constante empírica de fricción de 1.506.

5. De las cinco unidades de achique actuales, solo la N.L 3235 y N.L 3342 (230 HP c/u), tienen potencia suficiente para operar en pozos profundos, segun las condiciones operativas siguientes :

8500 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 800$  pies

8000 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 1200$  pies

7200 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 1600$  pies

6500 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 2000$  pies

Las restantes unidades de achique, tienen menor potencia, y su operación debe limitarse como máximo a las siguientes condiciones operativas :

N.L's 2589, 2617, y 2618 (Motor Dodge DP-500, 120 HP)

3500 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 800$  pies

2800 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 1200$  pies

2000 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 1600$  pies

La ex-Unidad de achique N.L.3296 (Motor Isuzu,146 HP) que dejó de operar en octubre de 1989 tenia la siguiente capacidad :

4500 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 800$  pies

3800 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 1200$  pies

3050 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 1600$  pies

2400 pies, con  $V = 800$  pies/min y  $H_f = 2000$  pies

Debemos indicar que las condiciones operativas precedentes, están referidas a 800 pies/min, velocidad que en la práctica, es suficiente para evitar el escurrimiento (Slippage) entre la copa de achique y la tubería. Por consiguiente, cuando por circunstancias especiales se requiera mayor velocidad, las profundidades máximas deberán reducirse.

Siendo la velocidad de ascenso un factor determinante en el requerimiento de potencia de una operación de achique, se debe poner especial cuidado en su control. Por ejemplo, si estuviéramos en un pozo de 3500 pies de profundidad con la unidad de achique N.L 2589 a 800 pies/min y un nivel de columna de 800 pies, el motor debería de entregar 120 HP, En estas condiciones el motor trabaja satisfactoriamente, pues su potencia se encuentra en ese orden.

Supongamos ahora por un momento que el operador de la unidad, (en el mismo pozo) acelera la máquina para conseguir una velocidad de ascenso de 1000 pies/min. En estas condiciones, la potencia requerida sería de 160 HP, por lo que el motor podría fallar en forma instantánea, o en todo caso, de ser frecuente esta situación, su vida operativa se vería acortada ostensiblemente.

Esta situación pudo ser comprobada en las pruebas de campo con la ex-Unidad N.L 3296. Así, se pudo observar que operando a velocidades de ascenso mayores a 1000 pies/min, el motor recalienta peligrosamente, llegando la temperatura del agua de enfriamiento a casi 100 °C y del aceite a 110-115 °C ( cerca al límite marcado con rojo en el panel de instrumentos ).

7. El control de las operaciones de achique en el período de 1988 - 1990, aplicando el "Método de Control de Potencia, (MCP)" hizo posible un incremento notorio de la confiabilidad de los motores de las unidades de achique, que se manifestó por un aumento del tiempo medio entre fallas (MTBF), de 5000 horas a 9000 horas, y una correspondiente disminución de la tasa de falla, de 0.0002 fallas/hora, a 0.0001 fallas/hora, aproximadamente.
8. La mejora en confiabilidad, como consecuencia de la aplicación del " Método de Control de Potencia ", representa un mayor ingreso en la economía, en el orden de 325,000 Dólares/año, resultado del mayor tiempo operativo del sistema de unidades de achique.

## 12. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda operar las unidades de achique a las máximas condiciones operativas que se indican en el punto # 5 de Conclusiones, con el fin de no exceder la potencia disponible de sus motores y alargar la vida del equipo.
2. Adquirir un chasis volvo de 250 HP., para reemplazar al actual camión Dodge de 120 HP. de la unidad de achique N.L 2589. El winche de esta unidad se encuentra actualmente sub-utilizado, debido a que tiene una capacidad para envolver cable hasta 10,000 piés, que no corresponde a la potencia del motor que como máximo permite bajadas hasta  $\pm$  4500 piés.
3. En el Presupuesto de Inversiones de 1990 se ha previsto el reemplazo de una unidad de achique. Al respecto, recomendamos que la misma tenga una potencia mínima de 250 HP, con el fin de tener un equipo versátil, sin limitaciones para operar en cualquier pozo en Operaciones Noroeste.
4. Continuar capacitando al personal de las unidades de achique, principalmente el personal nuevo, a fin de que tomen conciencia de la importancia de operar dentro de los límites permisibles de capacidad del equipo con el fin de alargar su vida útil.

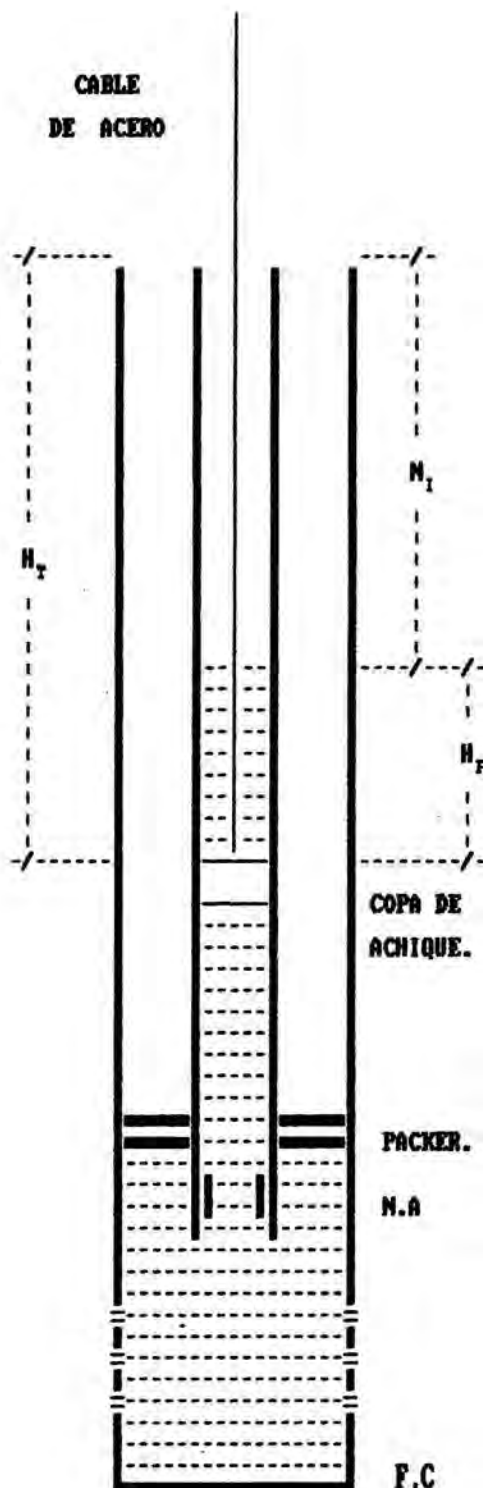


5. Recomendar al Departamento de Servicio de Pozos, la implantación de un Reporte Mecanizado de Fallas y Mantenimiento, con el fin de permitir lo siguiente :

- a) Determinar causas de falla repetitiva que puedan originar excesivos tiempos de parada de equipo.
- b) Determinar tiempos óptimos para inspecciones y reparaciones mayores.
- c) Dimensionar el número de repuestos en almacenes (stocks de seguridad), para atender en forma conveniente los requerimientos de reparación y mantenimiento.

**13. A N E X O S**

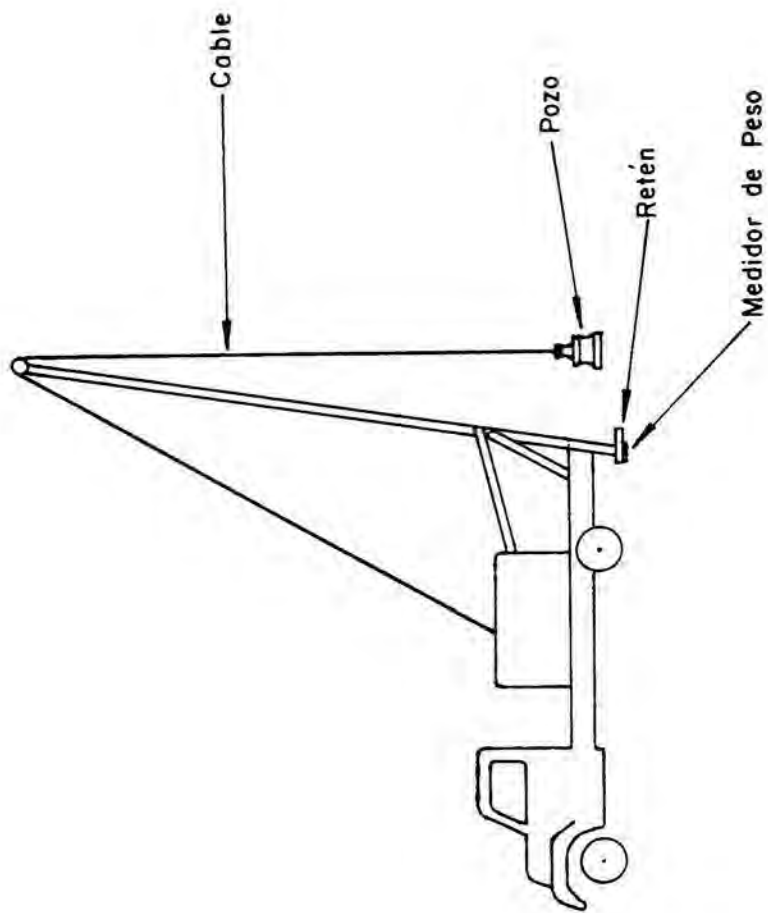
**13.1 FIGURAS**



### VARIABLES QUE INTERVIENEN

- $N_1$  = NIVEL DEL LIQUIDO , PIES.
- $H_T$  = PROFUNDIDAD DE ACHIQUE, PIES.
- $H_F$  =  $( H_T - N_1 )$  ALTURA DE COLUMNA DE LIQUIDO A LEVANTAR.
- $\phi$  = DIAMETRO DEL CABLE DE ACERO.  
( 9/16" USADO PARA ACHICAR )
- $D_I$  = DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA DE PRODUCCION.  
( 1.995" PARA TUBERIA DE 2 3/8" )
- $\beta$  = DENSIDAD LINEAL DEL CABLE DE ACERO.  
( 0.529 LB/PIE PARA CABLE DE 9/16" )
- $v$  = VELOCIDAD DE ASCENSO DEL CABLE DE ACERO. ( PIES/MIN )
- $d_w$  = DENSIDAD DEL AGUA. ( 62.4 LB/PIE<sup>3</sup> )
- $P_F$  = GRAVEDAD ESPECIFICA DEL CRUDO.  
( 0.86 PARA CRUDO DE 32<sup>o</sup> API )
- F.R = COEFICIENTE EMPIRICO DE FRICCION.  
( COPA DE ACHIQUE / TUBERIA )

FIG # 1 . VARIABLES QUE INTERVIENEN EN UNA OPERACION DE ACHIQUE



**FIG. N° 2. -** DIAGRAMA ESQUEMATICO MOSTRANDO LA INSTALACION USADA PARA DETERMINAR  
LOS COEFICIENTES DE FRICCION DURANTE LAS OPERACIONES DE SUABEO.

**13.2 T A B L A S**

T A B L A N° 1

CALCULO DEL VALOR PROMEDIO Y VARIANZA DEL COEFICIENTE

EMPIRICO DE FRICCIÓN, F.R

DATOS EXPERIMENTALES

<u>CELDA</u>	<u>PUNTO MEDIO DE LA CELDA</u>	<u>FRECUEN CIA ( f )</u>	<u>INTERVALO DESDE EL ORIGEN ASU MIDO, ( )</u>	<u>( f )</u>	<u>( f <sup>2</sup> )</u>
0.875 - 0.925	0.90	1	-7	-7	49
0.925 - 0.975	0.95	0	-6	0	0
0.975 - 1.025	1.00	0	-5	0	0
1.025 - 1.075	1.05	0	-4	0	0
1.075 - 1.125	1.10	0	-3	0	0
1.125 - 1.175	1.15	2	-2	-4	8
1.175 - 1.225	1.20	1	-1	-1	1
1.225 - 1.275	1.25	2	0	0	0
1.275 - 1.325	1.30	1	1	1	1
1.325 - 1.375	1.35	12	2	24	48
1.375 - 1.425	1.40	9	3	27	81
1.425 - 1.475	1.45	8	4	32	128
1.475 - 1.525	1.50	7	5	35	175
1.525 - 1.575	1.55	5	6	30	180
1.575 - 1.625	1.60	2	7	14	98
		n = 50		151	769

$$Fr = \text{Origen asumido} + \frac{\sum f}{n} \times$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (f^2)}{n} - \left(\frac{\sum f}{n}\right)^2}$$

Donde :

= Intervalo de la celda.

f = Frecuencia.

= Intervalos desde el origen asumido.

n = Población.

Reemplazando valores obtendremos :

$$Fr = 1.25 + \frac{151}{50} \times 0.05 = 1.40$$

$$\sigma = \pm 0.05 \sqrt{\frac{769}{50} - \left(\frac{151}{50}\right)^2}$$

$$\sigma = \pm 0.125$$



T A B L A N ° 2

AREA BAJO LA CURVA NORMAL PARA DIFERENTES VALORES DE "Z".

( DE - ∞ A CUALQUIER VALOR DE Z )

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
+0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
+0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
+0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
+0.3	0.6179	0.6217	0.6256	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
+0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
+0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
+0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
+0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
+0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8079	0.8106	0.8133
+0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
+1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
+1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
+1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
+1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
+1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
+1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
+1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
+1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
+1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
+1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
+2.0	0.9773	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
+2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
+2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9879	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
+2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
+2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
+2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
+2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
+2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
+2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
+2.9	0.9981	0.9982	0.9983	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
+3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
+3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99915	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
+3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
+3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99966
+3.4	0.99966	0.99967	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
+3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983

T A B L A N° 3

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION ( F.R ) MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

PRUEBA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
UNIDAD DE ACHIQUE N.L	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618
POZO N°	2117	2117	2117	2117	2117	2117	2117	2117	2117	2117
RESERVORIO	MILLON	MILLON	MILLON	MILLON	MILLON	MILLON	MILLON	MILLON	MILLON	LEONES
Ni , PIES	3640	3733	3820	3760	3700	3809	3780	3800	3800	1520
Ht , PIES	4000	4000	4000	4300	4300	4504	4504	4504	4504	1972
Hf , PIES	360	267	180	540	600	695	724	704	704	452
T , MIN	8.0	8.5	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	4.5
V , PIES/MIN	500	471	571	614	614	563	563	563	563	438
PESO DE LA PLUMA , LBS	1500	2000	2000	1500	1500	2000	1500	1500	1500	500
PESO DEL LIQUIDO , LBS	386	286	193	579	643	745	776	755	755	485
PESO CABLE EN AIRE , LBS	2116	2116	2116	2275	2275	2383	2383	2383	2383	1043
EMPUJE (E) , LBS	33	25	17	50	56	64	67	65	65	42
PESO CABLE EN LIQUIDO, LB	2083	2091	2099	2225	2219	2318	2316	2317	2317	1001
W.T , LBS	2469	2378	2292	2804	2863	3064	3092	3072	3072	1486
W.R , LBS	3500	3200	3000	3800	4100	4300	4500	4500	4500	2100
F.R = W.R/W.T	1.42	1.35	1.31	1.36	1.43	1.40	1.46	1.46	1.37	1.41

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION ( F.R ) MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

PRUEBA N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
UNIDAD DE ACHIQUE N.L	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618	2618
POZO N°	6015	6015	6015	6015	6015	6015	6015	6015	6015	6015
RESERVORIO	LEONES	LEONES	LEONES	LEONES	LEONES	LEONES	LEONES	LEONES	BREA	LLANO
Ni , PIES	1494	1272	1280	1300	1500	1540	1520	1500	650	1800
Ht , PIES	1927	1700	1700	1700	1750	1750	1750	1780	980	2300
Hf , PIES	433	428	420	400	250	210	230	280	330	500
T , MIN	4.0	5.0	4.5	5.0	4.0	5.0	4.5	4.0	2.0	3.0
V , PIES/MIN	482	340	378	340	438	350	389	445	490	767
PESO DE LA PLUMA , LBS	500	2000	2000	2000	1500	2000	1500	1500	1500	5000
PESO DEL LIQUIDO , LBS	464	459	450	429	268	225	247	300	354	536
PESO CABLE EN AIRE , LBS	1019	899	899	899	926	926	926	942	518	1217
EMPUJE (E) , LBS	40	40	39	37	23	19	21	26	31	46
PESO CABLE EN LIQUIDO, LB	979	860	860	862	903	906	904	916	488	1170
W.T , LBS	1444	1319	1311	1291	1171	1131	1151	1216	842	1707
W.R , LBS	2200	2000	1500	1500	1850	1800	1800	1850	1050	1500
F.R = W.R/W.T	1.52	1.52	1.14	1.16	1.58	1.59	1.56	1.52	1.25	0.88

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION ( F.R ) MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

PRUEBA N°	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
UNIDAD DE ACHIQUE N.L	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617
POZO N°	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2043	2043
RESERVORIO	PROV.	PROV.	PROV.	PROV.	PROV.	PROV.	PROV.	PROV.	LA BRE	LA BRE
Ni , PIES	2050	2150	2220	2300	2400	2450	2520	2550	1561	1965
Ht , PIES	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2800	2800	2349	2349
Hf , PIES	650	550	480	400	300	250	280	250	788	384
T , MIN	3.0	3.0	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.3
V , PIES/MIN	900	900	1102	1149	1149	1200	1217	1250	1093	1044
PESO DE LA PLUMA , LBS	3000	2500	2500	2500	2500	3000	3000	3000	3000	3000
PESO DEL LIQUIDO , LBS	697	590	515	429	322	268	300	268	845	412
PESO CABLE EN AIRE , LBS	1428	1428	1428	1428	1428	1428	1481	1481	1243	1243
EMPUJE (E) , LBS	60	51	44	37	28	23	26	23	73	36
PESO CABLE EN LIQUIDO, LB	1368	1377	1384	1391	1401	1405	1455	1458	1170	1207
W.T , LBS	2065	1967	1899	1820	1722	1673	1756	1726	2015	1619
W.R , LBS	3000	2900	2700	2500	2300	2400	2400	2300	2500	2200
F.R = W.R/W.T	1.45	1.47	1.42	1.37	1.34	1.43	1.37	1.33	1.24	1.36

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ( F.R ) MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

PRUEBA N°	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
UNIDAD DE ACHIQUE N.L	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617	2617
POZO N°	1590	4877	4877	4877	5497	5497	3516	3516	3516	3516
RESERVORIO	LOMITO	LEONES	LEONES	LEONES	NEGRIT	NEGRIT	LLAND	LLAND	LLAND	LLAND
Ni , PIES	1700	1000	1400	2000	2400	2900	2000	2500	3100	4000
Ht , PIES	2100	1800	2300	3050	3400	3700	2900	3500	4200	5200
Hf , PIES	400	800	900	1050	1000	800	900	1000	1100	1200
T , MIN	4.5	3.5	4.5	5.5	7.5	6.5	5.5	7.5	9.5	11.5
V , PIES/MIN	467	514	511	555	453	569	527	467	442	452
PESO DE LA PLUMA , LBS	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
PESO DEL LIQUIDO , LBS	429	858	965	1126	1072	858	965	1072	1180	1287
PESO CABLE EN AIRE , LBS	1111	952	1217	1613	1799	1957	1534	1852	2222	2751
EMPUJE (E) , LBS	37	74	83	97	93	74	83	93	102	111
PESO CABLE EN LIQUIDO, LB	1074	878	1133	1516	1706	1883	1451	1759	2120	2640
W.T , LBS	1503	1736	2098	2642	2778	2741	2416	2831	3299	3926
W.R , LBS	2200	2100	2800	3900	4200	4300	3800	4200	5100	6100
F.R = W.R/W.T	1.46	1.21	1.33	1.48	1.51	1.57	1.57	1.48	1.55	1.55



DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION ( F.R ) MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

PRUEBA N°	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
UNIDAD DE ACHIQUE N.L	3342	3342	3342	3342	3342	3342	3342	3342	3342	3342
POZO N°	2117	2117	2117	470	470	470	4514	4514	4514	4514
RESERVORIO	MILLON	MILLON	MILLON	FOLCHE	FOLCHE	FOLCHE	SILLA	SILLA	SILLA	SILLA
Ni , PIES	6453	5670	6000	3700	3850	4000	500	1000	1600	2050
Ht , PIES	6723	6700	6700	4100	4125	4125	1200	1800	2220	2220
Hf , PIES	270	1030	700	400	275	125	700	800	620	170
T , MIN	7.0	8.0	7.5	4.0	5.0	4.5	2.0	3.0	3.5	3.0
V , PIES/MIN	960	838	893	1025	825	917	600	600	634	740
PESO DE LA PLUMA , LBS	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1500	1500	1500	1500
PESO DEL LIQUIDO , LBS	290	1104	751	429	295	134	751	858	665	182
PESO CABLE EN AIRE , LBS	3556	3544	3544	2169	2182	2182	635	952	1174	1174
EMPUJE (E) , LBS	25	95	65	37	25	12	65	74	57	16
PESO CABLE EN LIQUIDO, LB	3531	3449	3479	2132	2157	2171	570	878	1117	1159
W.T , LBS	3821	4553	4230	2561	2452	2305	1321	1736	1782	1341
W.R , LBS	5300	6400	5800	3600	3300	3200	1800	2400	2600	2000
F.R = W.R/W.T	1.39	1.41	1.37	1.41	1.35	1.39	1.36	1.38	1.46	1.49

T A B L A N° 4HISTORIA DE FALLAS MAYORES EN MOTORES DE UNIDADES DE ACHIQUE

## A) FALLAS REGISTRADAS HASTA JULIO DE 1987 (SIN CONTROL DE POTENCIA)

N.L	M O T O R		PERIODO DE OPERACION ( DE / A )	TIEMPO DE OPERACION ( HORAS )
	TIPO	SERIE		
3296	ISUZU	FSR-112	ENE-87 / DIC-87	5024
3296	ISUZU	FSR-112	DIC-87 / JUN-88	3048
3296	ISUZU	FSR-112	AGO-88 / NOV-88	3315
2589	PERKINS C6-354-2	TKGT003x20656	OCT-85 / OCT-86	5980
2589	PERKINS C6-354-2	K67003x20416	OCT-86 / MAR-87	3600
2618	PERKINS C6-354-2	Tx67501x5082K	AGO-85 / MAR-86	440
2618	PERKINS C6-354-2	N.R	MAR-86 / JUN-87	6978

## B) FALLAS REGISTRADAS DESPUES DE JULIO DE 1987 (CON CONTROL DE POTENCIA)

N.L	M O T O R		PERIODO DE OPERACION ( DE / A )	TIEMPO DE OPERACION ( HORAS )
	TIPO	SERIE		
3296	ISUZU	FSR-112	NOV-88 / OCT-89	8300
2618	PERKINS C6-354-2	67003x20296	AGO-87 / ENE-90	8821
2589	PERKINS C6-354-2	Tx67501-69708	JUN-87 / FEB-89	10787
2589	PERKINS C6-354-2	90364	MAY-89 / NOV-89	3486

NOTA : Solo incluye unidades con motor de potencia equivalente

( Isuzu y Dodge )

T A B L A N ° 5ANALISIS DE SUPERVIVENCIA DE MOTORES DE  
UNIDADES DE ACHIQUE

( ANTES DE APLICAR EL METODO DE CONTROL DE POTENCIA )

( MCP )

<u>HORAS, (t<sub>1</sub> - t<sub>2</sub>)</u>	<u>NUMERO DE FALLAS</u>	<u>SUPERVIVIENTES A t<sub>1</sub></u>	<u>PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA, P<sub>s</sub>, %</u>
0 - 500	1	7	100.0
500 - 1000	0	6	85.7
1000 - 1500	0	6	85.7
1500 - 2000	0	6	85.7
2000 - 2500	0	6	85.7
2500 - 3000	0	6	85.7
3000 - 3500	2	6	85.7
3500 - 4000	1	4	57.1
4000 - 4500	0	3	42.9
4500 - 5000	0	3	42.9
5000 - 5500	1	3	42.9
5500 - 6000	1	2	28.6
6000 - 6500	0	1	14.3
6500 - 7000	1	1	14.3
7000 - 7500	0	0	0.0
TOTAL :	<u>7</u>		



T A B L A N° 6ANALISIS DE SUPERVIVENCIA DE MOTORES DE  
UNIDADES DE ACHIQUE

( DESPUES DE APLICAR EL METODO DE CONTROL DE POTENCIA )

( MCP )

<u>INTERVALO</u> <u>HORAS, ( t<sub>1</sub> - t<sub>2</sub> )</u>	<u>NUMERO DE SUPERVIVIENTES</u> <u>FALLAS</u>	<u>PROBABILIDAD DE</u> <u>A t<sub>1</sub></u>	<u>PROBABILIDAD DE</u> <u>SUPERVIVENCIA, P<sub>s</sub>, %</u>
0 - 500	0	4	100.0
500 - 1000	0	4	100.0
1000 - 1500	0	4	100.0
1500 - 2000	0	4	100.0
2000 - 2500	0	4	100.0
2500 - 3000	0	4	100.0
3000 - 3500	0	4	100.0
3500 - 4000	1	4	100.0
4000 - 4500	0	3	75.0
4500 - 5000	0	3	75.0
5000 - 5500	0	3	75.0
5500 - 6000	0	3	75.0
6000 - 6500	0	3	75.0
6500 - 7000	0	3	75.0
7000 - 7500	0	3	75.0
7500 - 8000	0	3	75.0
8000 - 8500	1	3	75.0
8500 - 9000	1	2	50.0
9000 - 9500	0	1	25.0
9500 - 10000	0	1	25.0
10000 - 10500	0	1	25.0
10500 - 11000	1	1	25.0
11000 - 11500	0	0	00.0

---

 TOTAL = 4

T A B L A N ° 7

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A H f = 400 P i e s

POTENCIA REAL : P.R = W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	400	600	1058	37	429	1450	50
3000	400	600	1587	37	429	1979	68
4000	400	600	2116	37	429	2508	86
5000	400	600	2645	37	429	3037	104
6000	400	600	3174	37	429	3566	122
7000	400	600	3703	37	429	4095	140
8000	400	600	4232	37	429	4624	158
2000	400	800	1058	37	429	1450	66
3000	400	800	1587	37	429	1979	90
4000	400	800	2116	37	429	2508	114
5000	400	800	2645	37	429	3037	139
6000	400	800	3174	37	429	3566	163
7000	400	800	3703	37	429	4095	187
8000	400	800	4232	37	429	4624	211
2000	400	1000	1058	37	429	1450	83
3000	400	1000	1587	37	429	1979	113
4000	400	1000	2116	37	429	2508	143
5000	400	1000	2645	37	429	3037	173
6000	400	1000	3174	37	429	3566	203
7000	400	1000	3703	37	429	4095	234
8000	400	1000	4232	37	429	4624	264

POTENCIA REAL : W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E  
 P.R =

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	400	1200	1058	37	429	1450	99
3000	400	1200	1587	37	429	1979	135
4000	400	1200	2116	37	429	2508	172
5000	400	1200	2645	37	429	3037	208
6000	400	1200	3174	37	429	3566	244
7000	400	1200	3703	37	429	4095	280
8000	400	1200	4232	37	429	4624	317
2000	400	1400	1058	37	429	1450	116
3000	400	1400	1587	37	429	1979	158
4000	400	1400	2116	37	429	2508	200
5000	400	1400	2645	37	429	3037	243
6000	400	1400	3174	37	429	3566	285
7000	400	1400	3703	37	429	4095	327
8000	400	1400	4232	37	429	4624	369
2000	400	1600	1058	37	429	1450	132
3000	400	1600	1587	37	429	1979	181
4000	400	1600	2116	37	429	2508	229
5000	400	1600	2645	37	429	3037	277
6000	400	1600	3174	37	429	3566	325
7000	400	1600	3703	37	429	4095	374
8000	400	1600	4232	37	429	4624	422

T A B L A N ° B

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A H f = 600 P i e s

POTENCIA REAL :   
 =====  
 W.T \* V ----- \* 1.506  
 P.R = -----  
 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	600	600	1058	56	643	1646	56
3000	600	600	1587	56	643	2175	74
4000	600	600	2116	56	643	2704	93
5000	600	600	2645	56	643	3233	111
6000	600	600	3174	56	643	3762	129
7000	600	600	3703	56	643	4291	147
8000	600	600	4232	56	643	4820	165
2000	600	800	1058	56	643	1646	75
3000	600	800	1587	56	643	2175	99
4000	600	800	2116	56	643	2704	123
5000	600	800	2645	56	643	3233	148
6000	600	800	3174	56	643	3762	172
7000	600	800	3703	56	643	4291	196
8000	600	800	4232	56	643	4820	220
2000	600	1000	1058	56	643	1646	94
3000	600	1000	1587	56	643	2175	124
4000	600	1000	2116	56	643	2704	154
5000	600	1000	2645	56	643	3233	184
6000	600	1000	3174	56	643	3762	215
7000	600	1000	3703	56	643	4291	245
8000	600	1000	4232	56	643	4820	275

POTENCIA REAL : W.T \* V \* 1.506  
 ===== P.R = -----  
 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	600	1200	1058	56	643	1646	113
3000	600	1200	1587	56	643	2175	149
4000	600	1200	2116	56	643	2704	185
5000	600	1200	2645	56	643	3233	221
6000	600	1200	3174	56	643	3762	258
7000	600	1200	3703	56	643	4291	294
8000	600	1200	4232	56	643	4820	330
2000	600	1400	1058	56	643	1646	131
3000	600	1400	1587	56	643	2175	174
4000	600	1400	2116	56	643	2704	216
5000	600	1400	2645	56	643	3233	258
6000	600	1400	3174	56	643	3762	300
7000	600	1400	3703	56	643	4291	343
8000	600	1400	4232	56	643	4820	385
2000	600	1600	1058	56	643	1646	150
3000	600	1600	1587	56	643	2175	199
4000	600	1600	2116	56	643	2704	247
5000	600	1600	2645	56	643	3233	295
6000	600	1600	3174	56	643	3762	343
7000	600	1600	3703	56	643	4291	392
8000	600	1600	4232	56	643	4820	440

T A B L A N° 9

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A H f = 800 P i e s

POTENCIA REAL : P.R =  $\frac{W.T * V}{33000 * E}$  \* 1.506

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	800	600	1058	74	858	1842	63
3000	800	600	1587	74	858	2371	81
4000	800	600	2116	74	858	2900	99
5000	800	600	2645	74	858	3429	117
6000	800	600	3174	74	858	3958	135
7000	800	600	3703	74	858	4487	154
8000	800	600	4232	74	858	5016	172
2000	800	800	1058	74	858	1842	84
3000	800	800	1587	74	858	2371	108
4000	800	800	2116	74	858	2900	132
5000	800	800	2645	74	858	3429	156
6000	800	800	3174	74	858	3958	181
7000	800	800	3703	74	858	4487	205
8000	800	800	4232	74	858	5016	229
2000	800	1000	1058	74	858	1842	105
3000	800	1000	1587	74	858	2371	135
4000	800	1000	2116	74	858	2900	165
5000	800	1000	2645	74	858	3429	196
6000	800	1000	3174	74	858	3958	226
7000	800	1000	3703	74	858	4487	256
8000	800	1000	4232	74	858	5016	286



POTENCIA REAL : W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E  
 P.R =

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	800	1200	1058	74	858	1842	126
3000	800	1200	1587	74	858	2371	162
4000	800	1200	2116	74	858	2900	199
5000	800	1200	2645	74	858	3429	235
6000	800	1200	3174	74	858	3958	271
7000	800	1200	3703	74	858	4487	307
8000	800	1200	4232	74	858	5016	343
2000	800	1400	1058	74	858	1842	147
3000	800	1400	1587	74	858	2371	189
4000	800	1400	2116	74	858	2900	232
5000	800	1400	2645	74	858	3429	274
6000	800	1400	3174	74	858	3958	316
7000	800	1400	3703	74	858	4487	358
8000	800	1400	4232	74	858	5016	401
2000	800	1600	1058	74	858	1842	168
3000	800	1600	1587	74	858	2371	216
4000	800	1600	2116	74	858	2900	265
5000	800	1600	2645	74	858	3429	313
6000	800	1600	3174	74	858	3958	361
7000	800	1600	3703	74	858	4487	410
8000	800	1600	4232	74	858	5016	458

T A B L A N° 10

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A H f = 1000 P i e s

POTENCIA REAL : W.T \* V P.R = ----- \* 1.506  
 =====  
 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1000	600	1058	93	1072	2038	70
3000	1000	600	1587	93	1072	2567	88
4000	1000	600	2116	93	1072	3096	106
5000	1000	600	2645	93	1072	3625	124
6000	1000	600	3174	93	1072	4154	142
7000	1000	600	3703	93	1072	4683	160
8000	1000	600	4232	93	1072	5212	178
2000	1000	800	1058	93	1072	2038	93
3000	1000	800	1587	93	1072	2567	117
4000	1000	800	2116	93	1072	3096	141
5000	1000	800	2645	93	1072	3625	165
6000	1000	800	3174	93	1072	4154	190
7000	1000	800	3703	93	1072	4683	214
8000	1000	800	4232	93	1072	5212	238
2000	1000	1000	1058	93	1072	2038	116
3000	1000	1000	1587	93	1072	2567	146
4000	1000	1000	2116	93	1072	3096	177
5000	1000	1000	2645	93	1072	3625	207
6000	1000	1000	3174	93	1072	4154	237
7000	1000	1000	3703	93	1072	4683	267
8000	1000	1000	4232	93	1072	5212	297



POTENCIA REAL : W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1000	1200	1058	93	1072	2038	139
3000	1000	1200	1587	93	1072	2567	176
4000	1000	1200	2116	93	1072	3096	212
5000	1000	1200	2645	93	1072	3625	248
6000	1000	1200	3174	93	1072	4154	284
7000	1000	1200	3703	93	1072	4683	321
8000	1000	1200	4232	93	1072	5212	357
2000	1000	1400	1058	93	1072	2038	163
3000	1000	1400	1587	93	1072	2567	205
4000	1000	1400	2116	93	1072	3096	247
5000	1000	1400	2645	93	1072	3625	289
6000	1000	1400	3174	93	1072	4154	332
7000	1000	1400	3703	93	1072	4683	374
8000	1000	1400	4232	93	1072	5212	416
2000	1000	1600	1058	93	1072	2038	186
3000	1000	1600	1587	93	1072	2567	234
4000	1000	1600	2116	93	1072	3096	283
5000	1000	1600	2645	93	1072	3625	331
6000	1000	1600	3174	93	1072	4154	379
7000	1000	1600	3703	93	1072	4683	427
8000	1000	1600	4232	93	1072	5212	476

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A H F = 1200 P I E S

POTENCIA REAL : P.R = W.T \* V ----- \* 1.506  
 -----  
 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRES) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1200	600	1058	111	1287	2234	76
3000	1200	600	1587	111	1287	2763	95
4000	1200	600	2116	111	1287	3292	113
5000	1200	600	2645	111	1287	3821	131
6000	1200	600	3174	111	1287	4350	149
7000	1200	600	3703	111	1287	4879	167
8000	1200	600	4232	111	1287	5408	185
2000	1200	800	1058	111	1287	2234	102
3000	1200	800	1587	111	1287	2763	126
4000	1200	800	2116	111	1287	3292	150
5000	1200	800	2645	111	1287	3821	174
6000	1200	800	3174	111	1287	4350	199
7000	1200	800	3703	111	1287	4879	223
8000	1200	800	4232	111	1287	5408	247
2000	1200	1000	1058	111	1287	2234	127
3000	1200	1000	1587	111	1287	2763	158
4000	1200	1000	2116	111	1287	3292	188
5000	1200	1000	2645	111	1287	3821	218
6000	1200	1000	3174	111	1287	4350	248
7000	1200	1000	3703	111	1287	4879	278
8000	1200	1000	4232	111	1287	5408	308

POTENCIA REAL : W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1200	1200	1058	111	1287	2234	153
3000	1200	1200	1587	111	1287	2763	189
4000	1200	1200	2116	111	1287	3292	225
5000	1200	1200	2645	111	1287	3821	262
6000	1200	1200	3174	111	1287	4350	298
7000	1200	1200	3703	111	1287	4879	334
8000	1200	1200	4232	111	1287	5408	370
2000	1200	1400	1058	111	1287	2234	178
3000	1200	1400	1587	111	1287	2763	221
4000	1200	1400	2116	111	1287	3292	263
5000	1200	1400	2645	111	1287	3821	305
6000	1200	1400	3174	111	1287	4350	347
7000	1200	1400	3703	111	1287	4879	390
8000	1200	1400	4232	111	1287	5408	432
2000	1200	1600	1058	111	1287	2234	204
3000	1200	1600	1587	111	1287	2763	252
4000	1200	1600	2116	111	1287	3292	300
5000	1200	1600	2645	111	1287	3821	349
6000	1200	1600	3174	111	1287	4350	397
7000	1200	1600	3703	111	1287	4879	445
8000	1200	1600	4232	111	1287	5408	494

T A B L A N° 12

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A Hf = 1400 Pies

POTENCIA REAL : P.R = W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1400	600	1058	130	1501	2430	83
3000	1400	600	1587	130	1501	2959	101
4000	1400	600	2116	130	1501	3488	119
5000	1400	600	2645	130	1501	4017	137
6000	1400	600	3174	130	1501	4546	156
7000	1400	600	3703	130	1501	5075	174
8000	1400	600	4232	130	1501	5604	192
2000	1400	800	1058	130	1501	2430	111
3000	1400	800	1587	130	1501	2959	135
4000	1400	800	2116	130	1501	3488	159
5000	1400	800	2645	130	1501	4017	183
6000	1400	800	3174	130	1501	4546	207
7000	1400	800	3703	130	1501	5075	232
8000	1400	800	4232	130	1501	5604	256
2000	1400	1000	1058	130	1501	2430	139
3000	1400	1000	1587	130	1501	2959	169
4000	1400	1000	2116	130	1501	3488	199
5000	1400	1000	2645	130	1501	4017	229
6000	1400	1000	3174	130	1501	4546	259
7000	1400	1000	3703	130	1501	5075	289
8000	1400	1000	4232	130	1501	5604	320

POTENCIA REAL : W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

P.R =

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1400	1200	1058	130	1501	2430	166
3000	1400	1200	1587	130	1501	2959	203
4000	1400	1200	2116	130	1501	3488	239
5000	1400	1200	2645	130	1501	4017	275
6000	1400	1200	3174	130	1501	4546	311
7000	1400	1200	3703	130	1501	5075	347
8000	1400	1200	4232	130	1501	5604	384
2000	1400	1400	1058	130	1501	2430	194
3000	1400	1400	1587	130	1501	2959	236
4000	1400	1400	2116	130	1501	3488	279
5000	1400	1400	2645	130	1501	4017	321
6000	1400	1400	3174	130	1501	4546	363
7000	1400	1400	3703	130	1501	5075	405
8000	1400	1400	4232	130	1501	5604	448
2000	1400	1600	1058	130	1501	2430	222
3000	1400	1600	1587	130	1501	2959	270
4000	1400	1600	2116	130	1501	3488	318
5000	1400	1600	2645	130	1501	4017	367
6000	1400	1600	3174	130	1501	4546	415
7000	1400	1600	3703	130	1501	5075	463
8000	1400	1600	4232	130	1501	5604	511

T A B L A N° 13

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A H f = 1600 Pies

POTENCIA REAL : P.R =  $\frac{W.T * V}{33000 * E}$  \* 1.506  
 =====

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1600	600	1058	148	1716	2626	90
3000	1600	600	1587	148	1716	3155	108
4000	1600	600	2116	148	1716	3684	126
5000	1600	600	2645	148	1716	4213	144
6000	1600	600	3174	148	1716	4742	162
7000	1600	600	3703	148	1716	5271	180
8000	1600	600	4232	148	1716	5800	199
2000	1600	800	1058	148	1716	2626	120
3000	1600	800	1587	148	1716	3155	144
4000	1600	800	2116	148	1716	3684	168
5000	1600	800	2645	148	1716	4213	192
6000	1600	800	3174	148	1716	4742	216
7000	1600	800	3703	148	1716	5271	241
8000	1600	800	4232	148	1716	5800	265
2000	1600	1000	1058	148	1716	2626	150
3000	1600	1000	1587	148	1716	3155	180
4000	1600	1000	2116	148	1716	3684	210
5000	1600	1000	2645	148	1716	4213	240
6000	1600	1000	3174	148	1716	4742	270
7000	1600	1000	3703	148	1716	5271	301
8000	1600	1000	4232	148	1716	5800	331



POTENCIA REAL : W.T \* V ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	1600	1200	1058	148	1716	2626	180
3000	1600	1200	1587	148	1716	3155	216
4000	1600	1200	2116	148	1716	3684	252
5000	1600	1200	2645	148	1716	4213	288
6000	1600	1200	3174	148	1716	4742	325
7000	1600	1200	3703	148	1716	5271	361
8000	1600	1200	4232	148	1716	5800	397
2000	1600	1400	1058	148	1716	2626	210
3000	1600	1400	1587	148	1716	3155	252
4000	1600	1400	2116	148	1716	3684	294
5000	1600	1400	2645	148	1716	4213	336
6000	1600	1400	3174	148	1716	4742	379
7000	1600	1400	3703	148	1716	5271	421
8000	1600	1400	4232	148	1716	5800	463
2000	1600	1600	1058	148	1716	2626	240
3000	1600	1600	1587	148	1716	3155	288
4000	1600	1600	2116	148	1716	3684	336
5000	1600	1600	2645	148	1716	4213	384
6000	1600	1600	3174	148	1716	4742	433
7000	1600	1600	3703	148	1716	5271	481
8000	1600	1600	4232	148	1716	5800	529

T A B L A N° 14

C A L C U L O D E P O T E N C I A S R E A L E S P A R A Hf = 2000 Pies

POTENCIA REAL : W.T \* V P.R = ----- \* 1.506  
 ===== 33000 \* E

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	2000	600	1058	185	2145	3017	103
3000	2000	600	1587	185	2145	3546	121
4000	2000	600	2116	185	2145	4075	139
5000	2000	600	2645	185	2145	4604	158
6000	2000	600	3174	185	2145	5133	176
7000	2000	600	3703	185	2145	5662	194
8000	2000	600	4232	185	2145	6191	212
2000	2000	800	1058	185	2145	3017	138
3000	2000	800	1587	185	2145	3546	162
4000	2000	800	2116	185	2145	4075	186
5000	2000	800	2645	185	2145	4604	210
6000	2000	800	3174	185	2145	5133	234
7000	2000	800	3703	185	2145	5662	258
8000	2000	800	4232	185	2145	6191	283
2000	2000	1000	1058	185	2145	3017	172
3000	2000	1000	1587	185	2145	3546	202
4000	2000	1000	2116	185	2145	4075	232
5000	2000	1000	2645	185	2145	4604	263
6000	2000	1000	3174	185	2145	5133	293
7000	2000	1000	3703	185	2145	5662	323
8000	2000	1000	4232	185	2145	6191	353



POTENCIA REAL :  
 =====

W.T \* V  
 ----- \* 1.506  
 33000 \* E

P.R =

Ht (PIES)	Hf (PIES)	V (PIES/MIN)	PESO CABLE (AIRE) (LBS)	EMPUJE (LBS)	PESO LIQUIDO (LBS)	W.T (LBS)	POTENCIA REAL (HP)
2000	2000	1200	1058	185	2145	3017	207
3000	2000	1200	1587	185	2145	3546	243
4000	2000	1200	2116	185	2145	4075	279
5000	2000	1200	2645	185	2145	4604	315
6000	2000	1200	3174	185	2145	5133	351
7000	2000	1200	3703	185	2145	5662	388
8000	2000	1200	4232	185	2145	6191	424
2000	2000	1400	1058	185	2145	3017	241
3000	2000	1400	1587	185	2145	3546	283
4000	2000	1400	2116	185	2145	4075	325
5000	2000	1400	2645	185	2145	4604	368
6000	2000	1400	3174	185	2145	5133	410
7000	2000	1400	3703	185	2145	5662	452
8000	2000	1400	4232	185	2145	6191	494
2000	2000	1600	1058	185	2145	3017	275
3000	2000	1600	1587	185	2145	3546	324
4000	2000	1600	2116	185	2145	4075	372
5000	2000	1600	2645	185	2145	4604	420
6000	2000	1600	3174	185	2145	5133	469
7000	2000	1600	3703	185	2145	5662	517
8000	2000	1600	4232	185	2145	6191	565

T A B L A N° 15

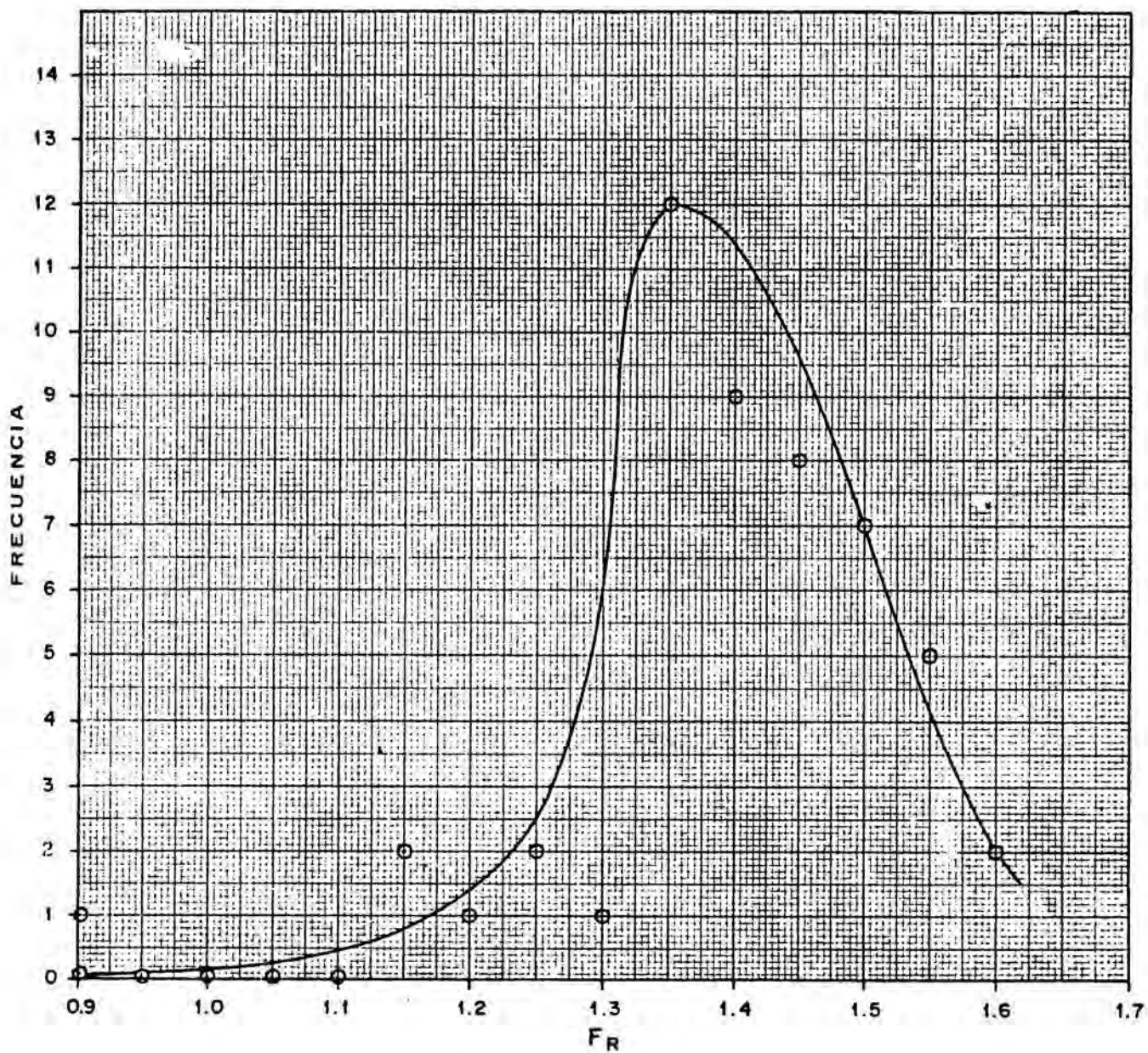
DEPARTAMENTO SERVICIO DE POZOS

U N I D A D E S D E A C H I Q U E

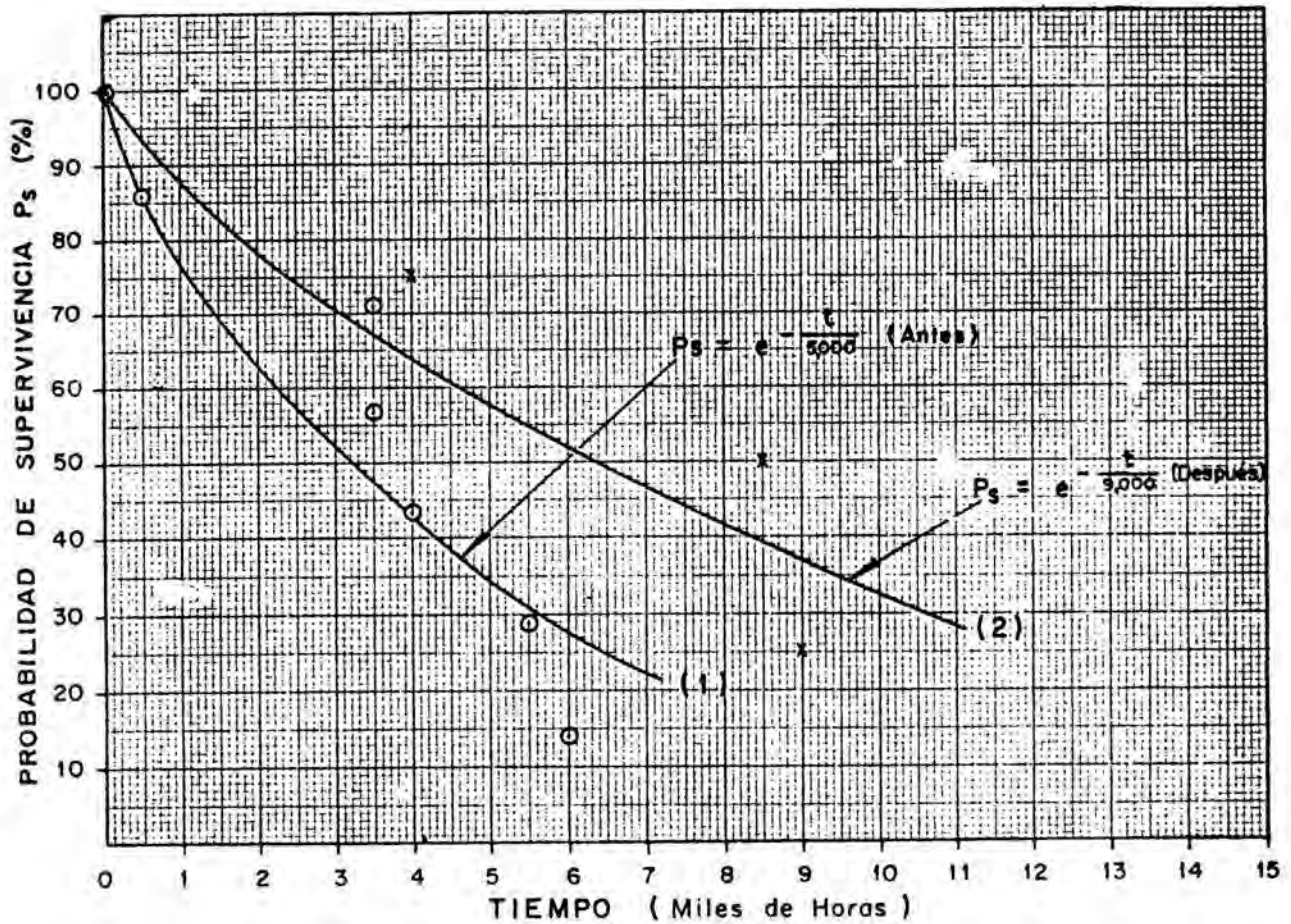
<u>N.L</u>	<u>CAMION</u>	<u>MOTOR</u>	<u>POTENCIA</u>	<u>HUINCHE</u>	<u>PLUMA</u>	<u>DRUM PARA CABLE</u>
3235	VOLVO N-10-20	VOLVO TD-100A	230 HP	IDEAL NATIONAL 1960	8 5/8" x 10 3/4" x 65'	10,000 PIES
2589	DODGE DP-500	PERKINS C6-354-2	120 HP	CARD WELL-H 1954	7" x 8 5/8" x 50'	10,000 PIES
2617	DODGE DP-500	PERKINS C6-354-2	120 HP	FRANKS SENIOR 1937	7" x 8 5/8" x 50'	4,500 PIES
2618	DODGE DP-500	PERKINS C6-354-2	120 HP	FRANKS SENIOR 1937	7" x 8 5/8" x 50'	4,500 PIES
3342	VOLVO N-10-20	VOLVO TD-101A	230 HP	CARD WELL-H	7" x 8 5/8" x 50'	10,000 PIES
3296	ISUZU FSR	ISUZU FSR112	146 HP	CARD WELL-H	7" x 8 5/8" x 50'	10,000 PIES

NOTA: La unidad de achique N.L 3296, dejó de operar en octubre de 1989, y su winche pasó a instalarse en el camión volvo N.L 3342.

### 13.3 GRAFICOS



GRAF. N° 1.- DISTRIBUCION GAUSSIANA DE VALORES DE COEFICIENTE  
EMPIRICO DE FRICCION  $F_R$



**GRAF. N° 2.** - ECUACIONES DE FALLA DE POISSON ANTES Y DESPUES DE APLICAR EL METODO DE CONTROL DE POTENCIA;  
 (1) ANTES :  $MTBF_1$  (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS) = 5,000 HORAS  
 (2) DESPUES:  $MTBF_2$  (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS) = 9,000 HORAS.

GRAFICO # 3  
 Hf = 400 PIES

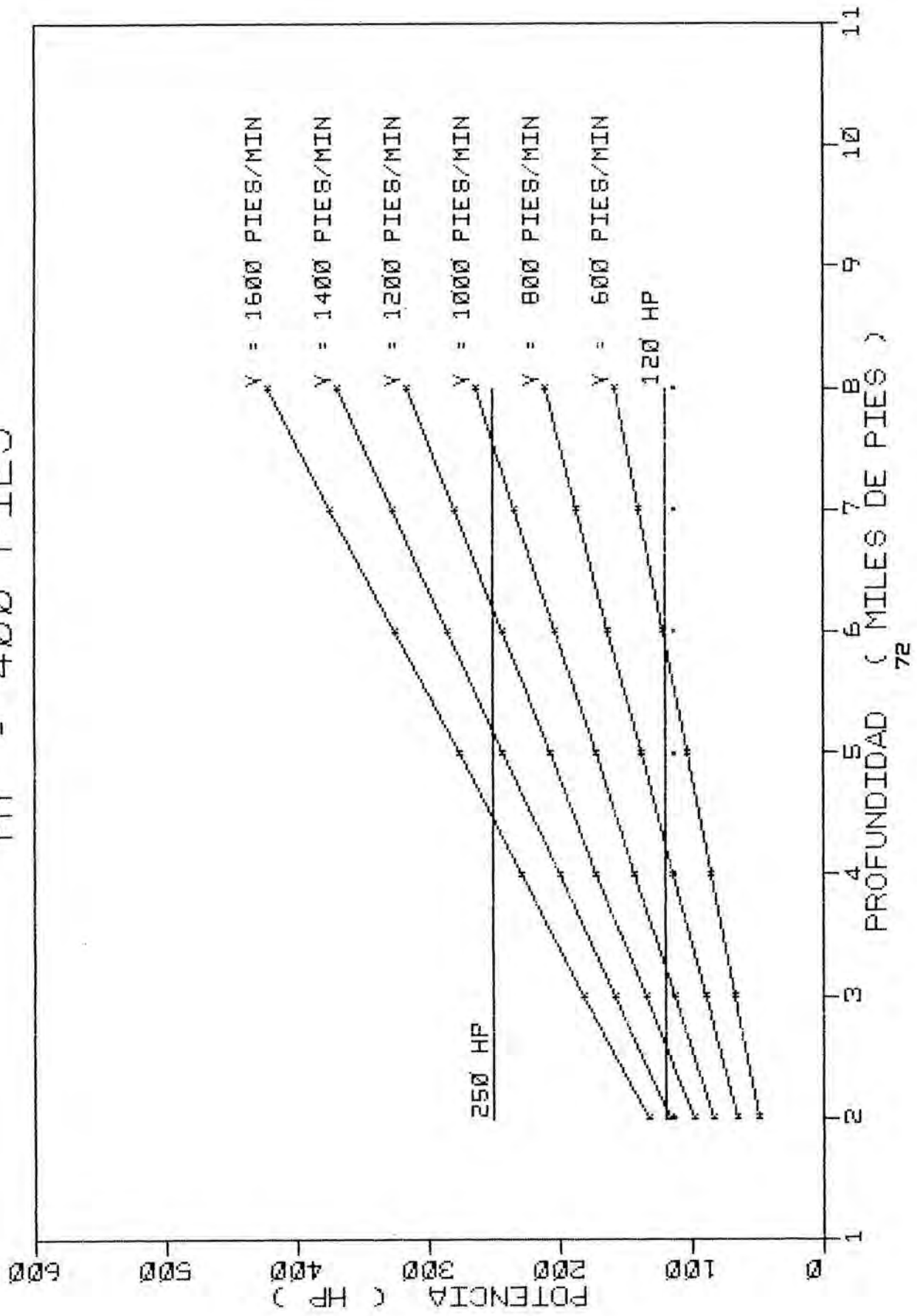




GRAFICO # 4  
 Hf = 600 PIES

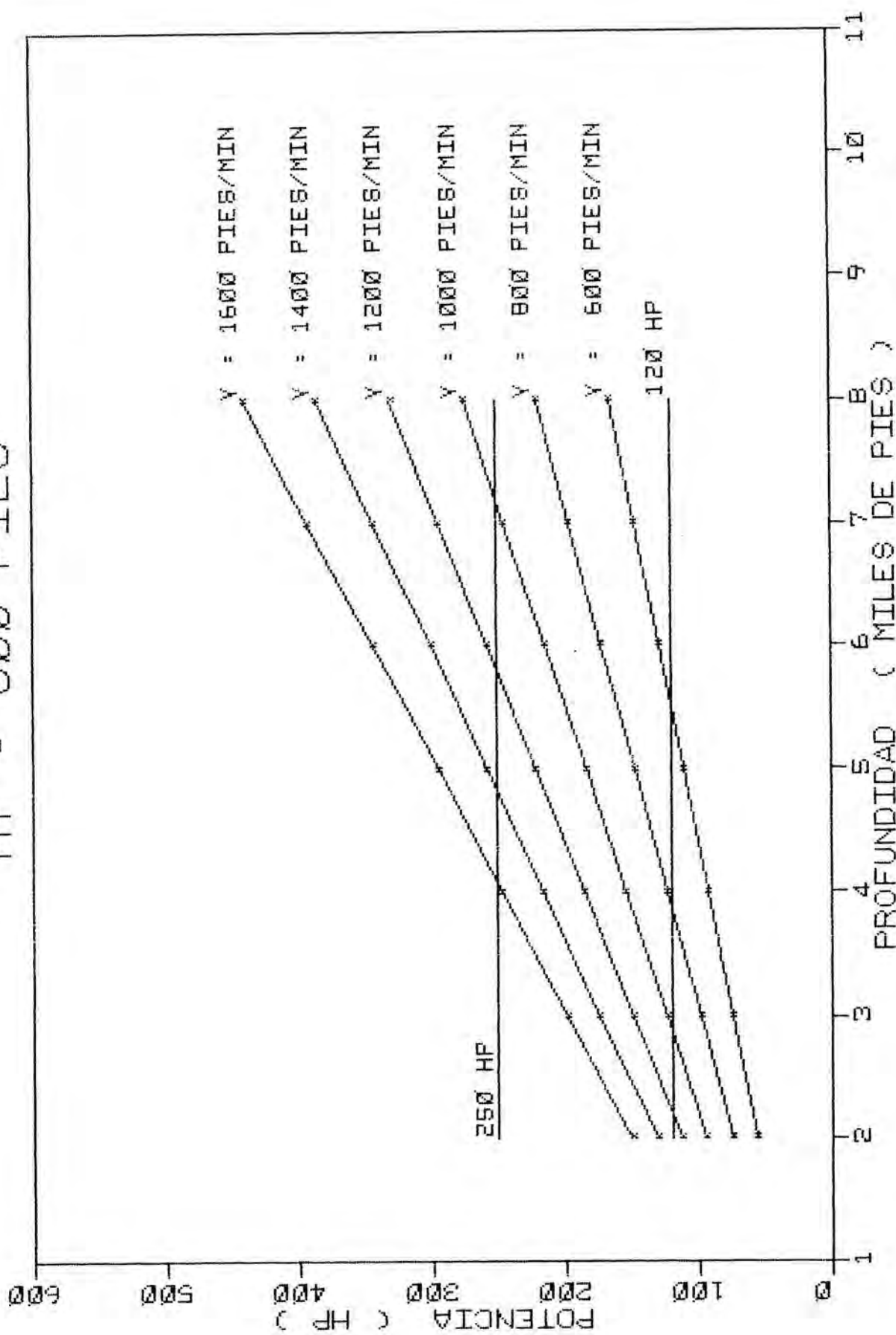


GRAFICO # 5  
 Hf = 800 PIES

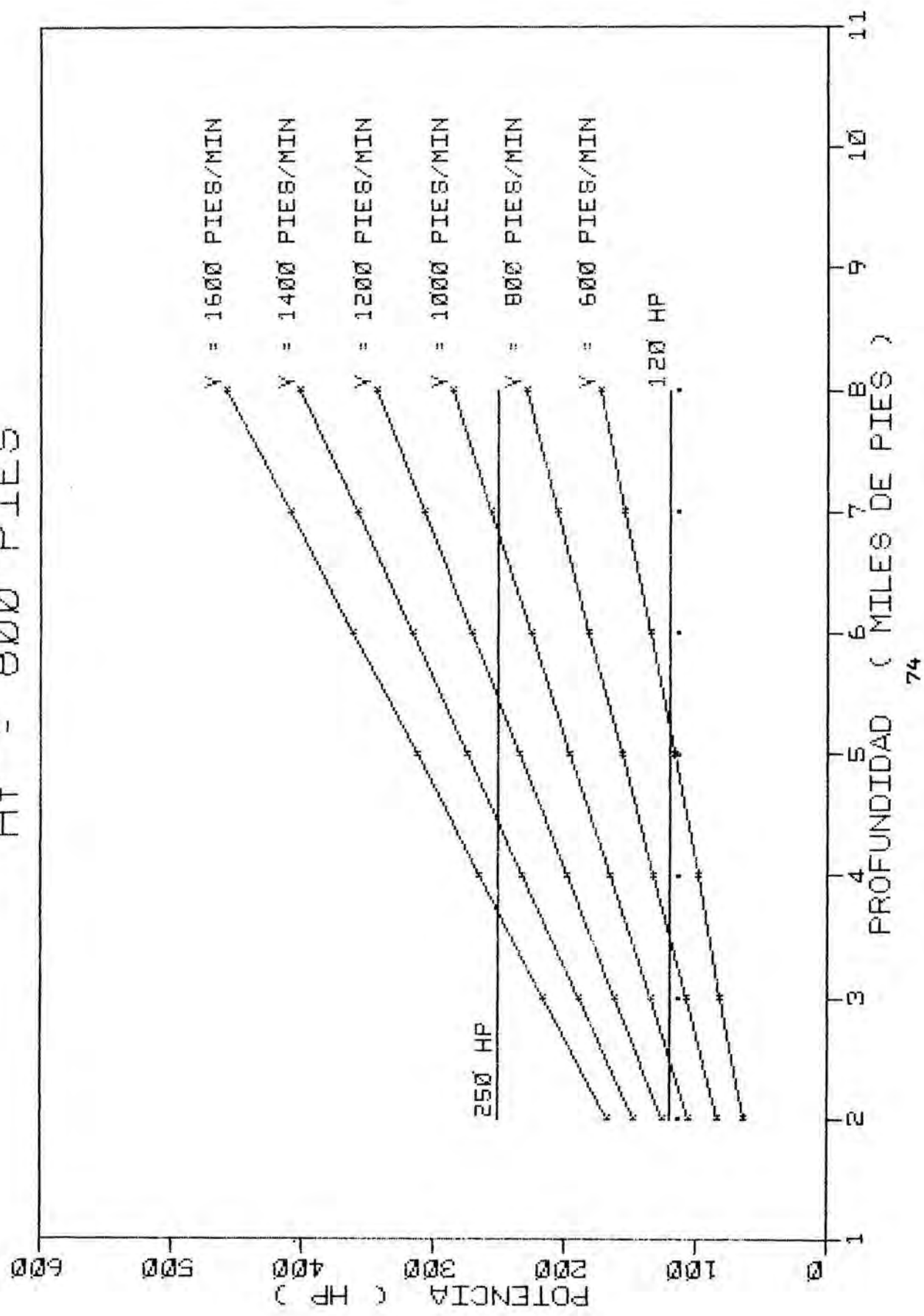




GRAFICO # 6  
 $H_f = 1000$  PIES

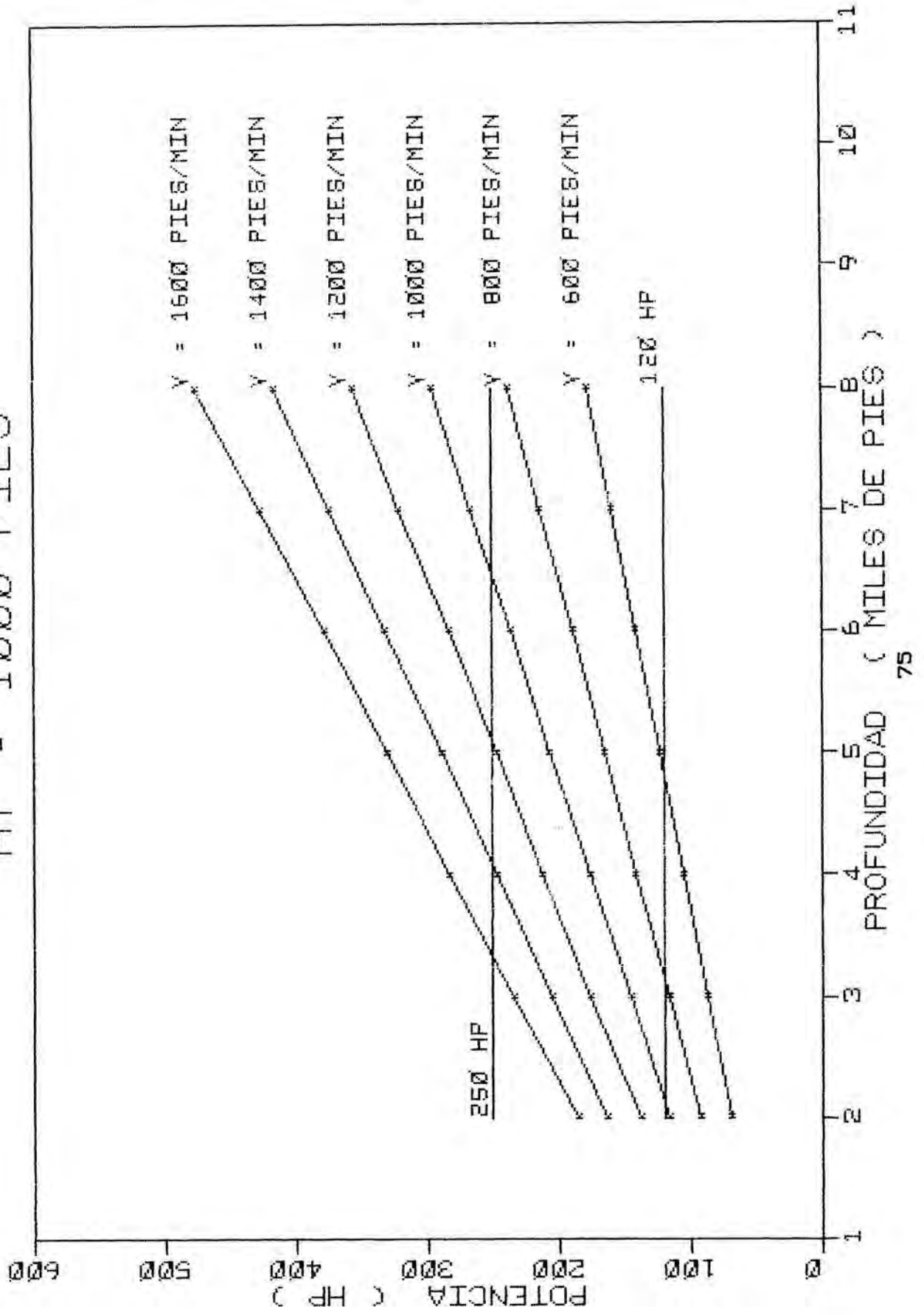




GRAFICO # B  
 Hf = 1400 PIES

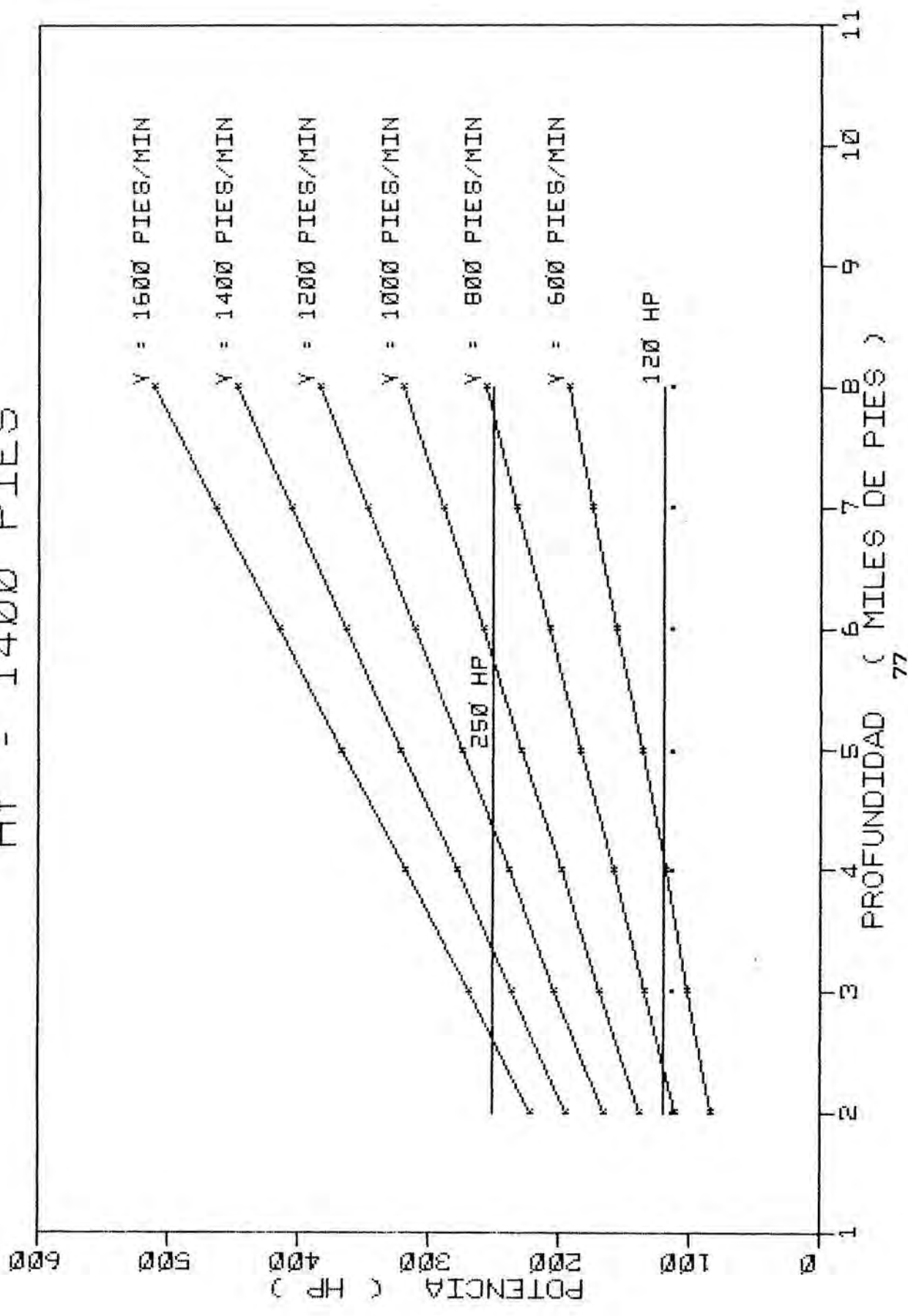


GRAFICO # 9  
 Hf = 1600 PIES

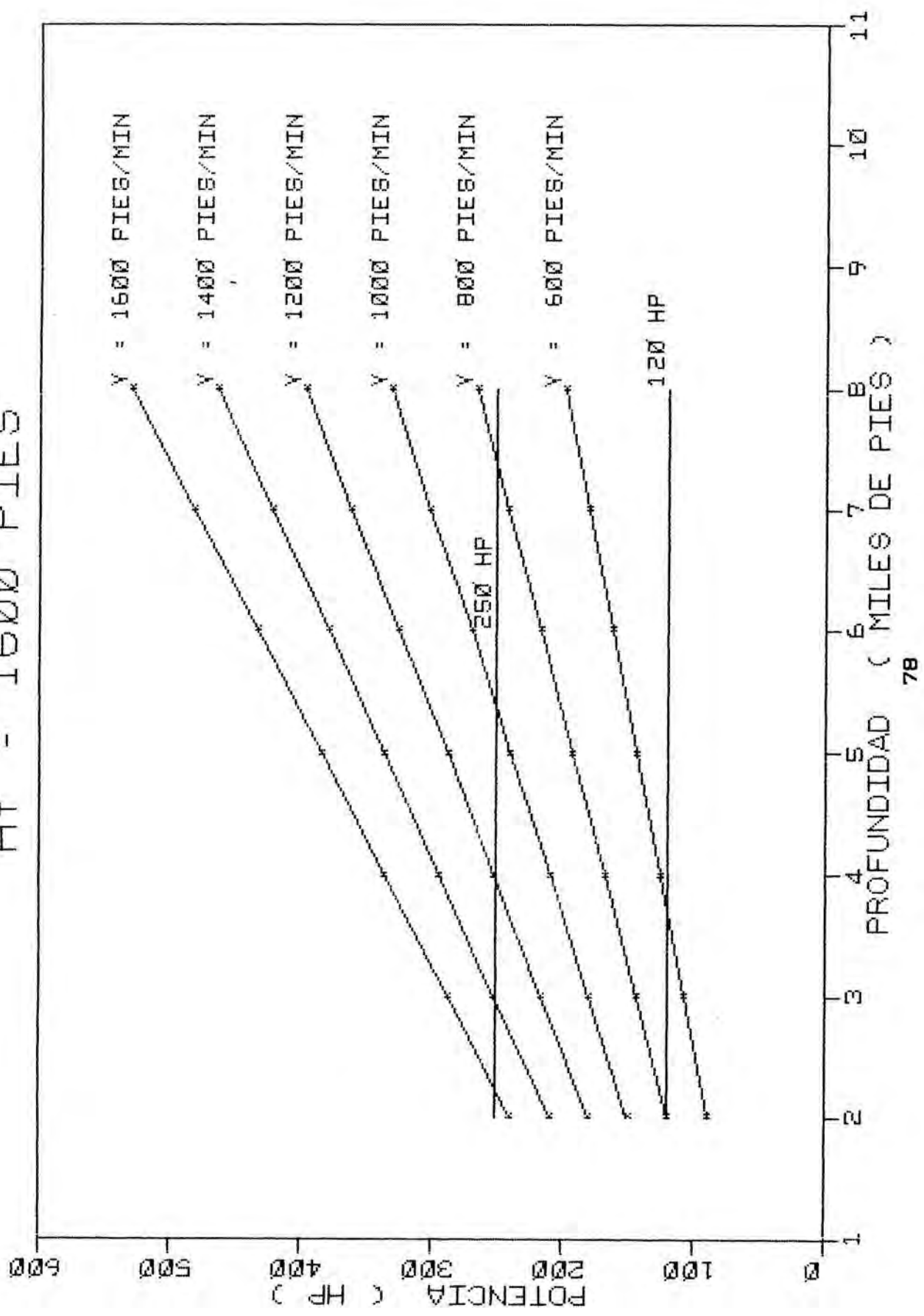
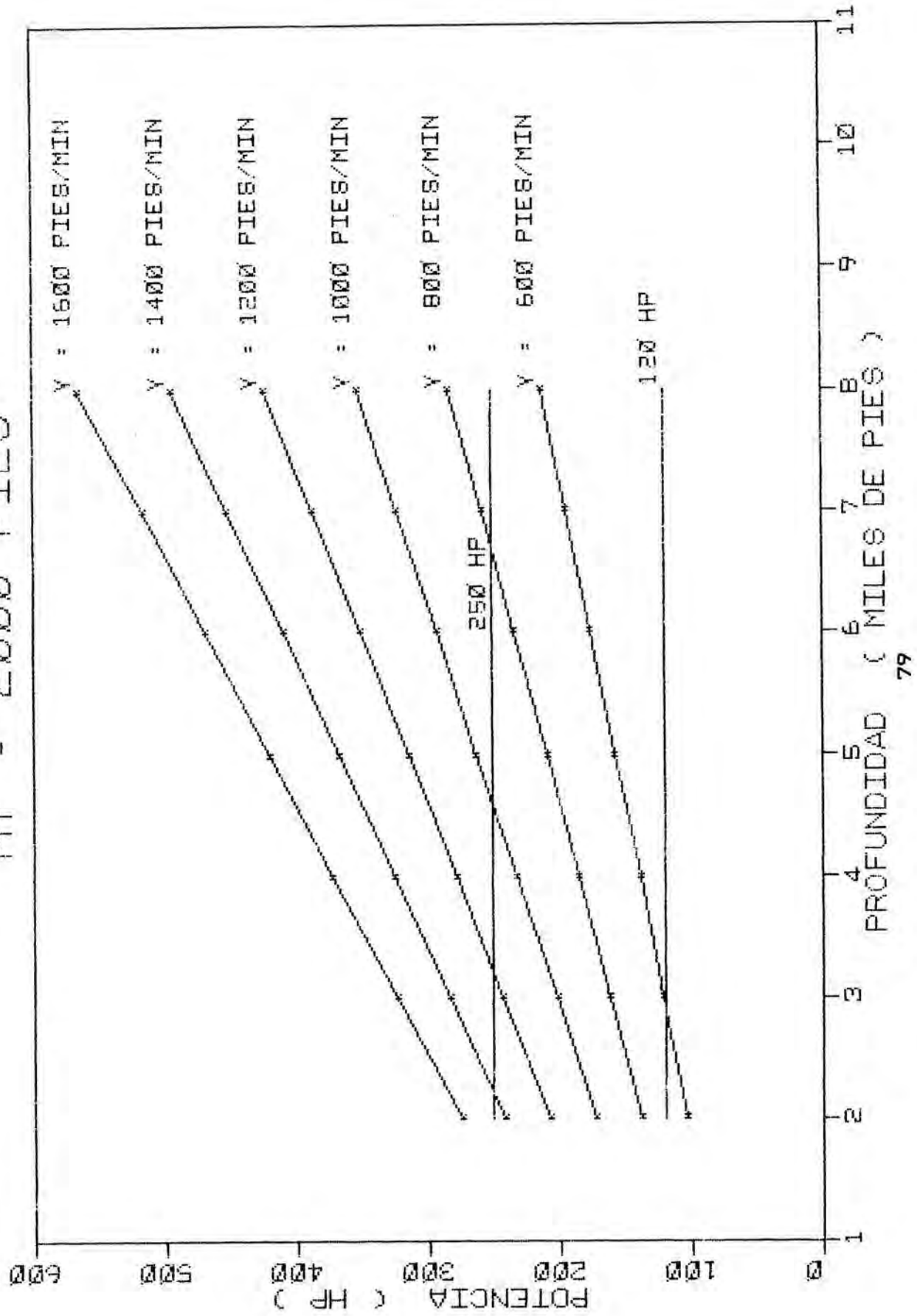


GRAFICO # 10  
 Hf = 2000 PIES



### 13.4 BIBLIOGRAFIA

1.- Automated Technology Corporation.

Salvatore Calabro.

" Maintenance Management And Cost Reduction "

New Jersey 1985.

2.- B. Sotskov.

" Fundamentos de la teoría y del cálculo de  
fiabilidad de elementos y dispositivos de  
automatización y técnica del cálculo. "

Editorial MIR.

Moscú 1972.

3.- Manual del Ingeniero Mecánico.

Theodore Baumeister.

Engene A. Avallone.

Mc Graw-Hill.

1984.