

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**AHORRO DE ENERGIA ELECRTICA EN EQUIPOS DE BOMBEO MEDIANTE
AJUSTE ELECTROMECHANICO**

Por

RENE REYES GARCIA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREON, COAHUILA, MÉXICO

AGOSTO 2005

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS

AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN EQUIPOS DE BOMBEO MEDIANTE
AJUSTE ELECTROMECHANICO

TESIS

Que presenta

RENE REYES GARCIA

Como requisito parcial para obtener el titulo de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREON, COAHUILA, MÉXICO

AGOSTO 2005

TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DE
LOS ASESORES COMO REQUISITO PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

ING. AGRÓNOMO
ESPECIALIDAD EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

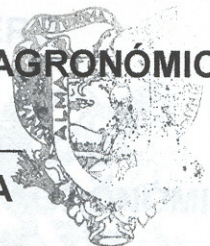
[Signature]
M.C. CARLOS EFREN RAMIREZ CONTRERAS
ASESOR PRINCIPAL

[Signature]
M.C. JOSE GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO
ASESOR

[Signature]
PhD. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA
ASESOR

[Signature]
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

[Signature]
M.C. JOSE JAIME LOZANO GARCIA



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAH.

JUNIO 2005

TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN
DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:
ING. AGRÓNOMO
ESPECIALIDAD EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:


PRESIDENTE:

M.C CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS


VOCAL :

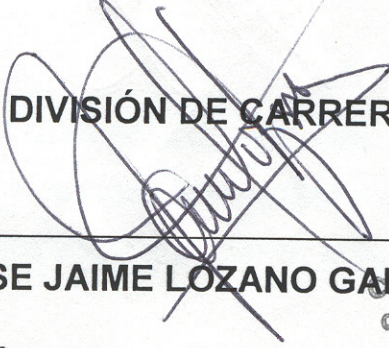
M.C. JOSE GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO


VOCAL:

Ph.D VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA


VOCAL SUPLENTE:

M.C. JORGE L. VILLALOBOS ROMERO


COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

M.C JOSE JAIME LOZANO GARCIA



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAH.

AGOSTO 2005

DEDICATORIA

A mi Dios:

Por haberme permitido experimentar y lograr una meta más, por tantas cosas buenas y maravillosas de la vida que me brindó, por la vida misma que el me dio. Porque gracias a él estoy por concluir una etapa de mi vida y dándole me lleve siempre a prestar ayuda a mis semejantes y principalmente dar amor y seguir superándome.

A Padres:

A ellos por ser el más grande apoyo que he conocido en mi vida, por las alegrías que siempre me brindaron y por darme la herencia que jamás hubiese podido imaginar a mi vida.

AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN EQUIPOS DE BOMBEO MEDIANTE AJUSTE ELECTROMECANICO.

A mis Hermanos:

Salvador, Nancy, Rubén, Omar y Gabriel.

Con profundo cariño y respeto, por su gran apoyo en todos los momentos de mi vida. **GRACIAS.**

A mi Esposa y mis hijos:

Por su gran paciencia y apoyo durante este tiempo que me brindaron para realizar este trabajo.

A todos mis compañeros:

De la XXIX generación de Ingenieros agrónomos especialistas en irrigación, Osorio, Gerardo, Moisés, Jesús y Ximena por darme el apoyo necesario para culminar mis estudios.

DEDICATORIA

A mi Dios:

Por concederme la oportunidad de lograr una meta más, por tantas cosas buenas y maravillosas de la vida que me brinda, por la vida misma que el me dio. Porque gracias a él estoy por concluir una etapa de mi vida y pidiéndole me lleve siempre a prestar ayuda a mis semejantes y principalmente dar amor y seguir superándome.

A Padres:

A ellos por ser el más grande apoyo que he conocido en mi vida, por las alegrías que siempre me brindaron y por darme la herencia que jamás hubiese logrado sin su apoyo: el amor a la vida, amor al trabajo y sobre todo el amor a mi Dios.

A mis Hermanos:

Salvador, Nancy, Rubén, Omar y Gabriel.
Con profundo cariño y respeto, por su gran apoyo en todos los momentos de mi vida, GRACIAS.

A mi Esposa y mis hijos:

Por la gran paciencia y apoyo durante este tiempo que me brindaron para realizar este trabajo.

A todos mis compañeros:

De la XXIX generación de Ingenieros agrónomos especialistas en irrigación, Gabino, Gerardo, Moisés, Jesús y Mario por darme el apoyo necesario para culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A dios primero por darme la oportunidad de vivir, por enseñarme el camino correcto para ser un hombre de bien.

A mi "ALMA MATER" por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Al M.C Carlos E. Ramírez Contreras por su dedicación en la colaboración, asesoramiento y revisión del presente trabajo.

A mis compañeros de trabajo Ing. Escobar, Bogart, Edgar, Osvaldo, Amador, David y francisco por su gran ayuda a la realización de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

Al Ing. José G. González Quirino por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

A todos mis maestros del departamento de riego que contribuyeron en toda mi formación académica.

A Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para que yo lograra uno de mis más grandes sueños.

CONTENIDO

	Página
Dedicatorias.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice de cuadros.....	iii
Índice de figuras.....	iv
Resumen.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. HIPÓTESIS.....	2
IV. METAS.....	2
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
5.1. Métodos de aforo.....	3
5.1.1. Aforo volumétrico.....	3
5.1.2. Aforo con molinete.....	4
5.1.2.1. Aforo con tubos totalmente llenos.....	4
5.1.2.2. Aforo con tubos parcialmente llenos.....	5
5.1.3. Método de la escuadra.....	7
5.1.3.1. Metodología para tubos totalmente llenos.....	7
5.1.3.2. Metodología para tubos parcialmente llenos.....	9
5.2. Eficiencia electromecánica.....	11
5.2.1 La potencia mecánica.....	12
5.2.1.1 Carga total dinámica.....	12
5.2.1.2. Nivel dinámico (ND).....	12
5.2.1.3. Sondeo.....	13
5.2.1.4. Perdidas de carga en la succión.....	13
5.2.1.5. Perdidas de carga en la descarga.....	15
5.2.1.5.1. Perdidas de carga localizada.....	15
5.2.1.5.2. Perdidas de carga por superficie.....	16
5.2.1.5.3. Proyección vertical.....	16
5.2.2. Potencia eléctrica.....	17
5.2.2.1. Corriente eléctrica.....	17
5.2.2.2. Factor de potencia (Fp).....	17

5.3. Energía consumida.....	19
5.4. Ajuste del impulsor para motores.....	20
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
6.1. Localización geográfica.....	22
6.2. Clima.....	22
6.3. Temperatura.....	22
6.4. Infraestructura.....	22
6.5. Ajustes a los equipos de bombeo.....	23
6.5.1. equipo de bombeo uno.....	23
6.5.2. equipo de bombeo dos.....	24
6.5.3. equipo de bombeo tres.....	24
6.5.4. equipo de bombeo cuatro.....	24
6.5.5. equipo de bombeo cinco.....	25
VII. RESULTADOS	26
7.1. Equipo de bombeo uno.....	26
7.2. Equipo de bombeo dos.....	26
7.3. Equipo de bombeo tres	27
7.4. Equipo de bombeo cuatro.....	27
7.5. Equipo de bombeo cinco.....	28
7.6. Ahorro en tiempo de extracción de la concesión.....	29
7.7. Problemática encontrada.....	29
VIII. CONCLUSIONES.....	30
IX. RECOMENDACIONES.....	31
X. BIBLIOGRAFÍA.....	32
XI. ANEXOS.....	34

Figura 2. Descarga en tubo parcialmente lleno.....	6
Figura 3. Medición del flujo en tubo totalmente lleno.....	7
Figura 4. Medición del flujo en tubo parcialmente lleno.....	10
Figura 5. Triángulo de potencia.....	18
Figura 6. Brazo traba evita que el motor gire.....	20
Figura 7. Ajuste del impulsor para motor de eje hueco.....	21

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Lecturas del molinete tubo lleno.....	4
Cuadro 2. Valores de C para la relación tirante diámetro (h/d).....	6
Cuadro 3. Lecturas del molinete tubo parcialmente lleno.....	6
Cuadro 4. Aforo de tubos horizontales descargando totalmente llenos.....	8
Cuadro 5. Aforo de tubos horizontales descargando parcialmente llenos...	11
Cuadro 6. Pérdidas de carga en succión en metros.....	14
Cuadro 7. Factor (K) de algunos accesorios.....	15
Cuadro 8. Coeficiente de rugosidad (n) de algunos materiales.....	16
Cuadro 9. Rangos de eficiencias electromecánicas aceptables.....	19
Cuadro 10. Características del equipo de bombeo uno.....	26
Cuadro 11. Características del equipo de bombeo dos.....	27
Cuadro 12. Características del equipo de bombeo tres.....	27
Cuadro 13. Características del equipo de bombeo cuatro.....	28
Cuadro 14. Características del equipo de bombeo cinco.....	28
Cuadro 15. Ahorro en tiempo de extracción de la concesión.....	28
Cuadro 16. Anexos.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Aforo Volumétrico.....	3
Figura 2. Descarga en tubo parcialmente lleno.....	5
Figura 3. Medición del flujo en tubo totalmente lleno.....	7
Figura 4. Medición del flujo en tubo parcialmente lleno.....	10
Figura 5. Triangulo de potencia.....	18
Figura 6. Brazo traba evita que el motor gire.....	20
Figura 7. Ajuste del impulsor para motor de eje hueco.....	21

RESUMEN

En La Laguna existe una precipitación promedio anual de 250 mm; fluctuando entre 160 mm en años secos y 430 mm en años lluviosos (escasos). Con esta precipitación no es posible el aprovechamiento de cultivos, el agua de riego existente es proveniente del agua almacenada en las presas, la cual se encuentra restringida debido a que la dotación de superficie de riego depende de la cantidad de agua captada en los vasos, esto trae como alternativa aprovechar el agua del subsuelo.

La agricultura con agua del subsuelo (bombeada), ha tenido una disminución en superficie, debido a que los niveles freáticos son cada día más profundos (de 30 a 185 m) y a los altos costos de energía eléctrica, que traen como consecuencia altos costos de producción y baja rentabilidad.

Una de las alternativas a los altos costos de energía eléctrica es, cambiar los equipos de bombeo por equipos más eficientes (que cumplan la norma de eficiencia). Sin embargo esto implica altos costos de inversión que al agricultor no le es posible solventar a corto plazo. Sin embargo, una mejor alternativa es realizar ajustes a los equipos de bombeo, debido a que los talleres que se dedican a dar mantenimiento realizan dichos ajustes tomando en cuenta que la corriente eléctrica (amperaje) no sobrepase la capacidad del motor, sin verificar la variación de gasto y de eficiencia electromecánica (no se sabe si la eficiencia se encuentra dentro de la norma). Aunado a esto, el ajuste no implica una inversión de gran cuantía.

Mediante ajustes a los equipos de bombeo en la Comarca Lagunera de Coahuila fué posible obtener un ahorro del 18 por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído $(\text{kw-h})/\text{m}^3$ y en relación Potencia - gasto (kw/lt) respectivamente. Además de incrementar la eficiencia electromecánica en un 11 por ciento.

I. INTRODUCCIÓN

En La Laguna existe una precipitación promedio anual de 250 mm; fluctuando entre 160 mm en años secos y 430 mm en años lluviosos (escasos). Con esta precipitación no es posible el aprovechamiento de cultivos, el agua de riego existente es proveniente del agua almacenada en las presas, la cual se encuentra restringida debido a que la dotación de superficie de riego depende de la cantidad de agua captada en los vasos, esto trae como alternativa aprovechar el agua del subsuelo.

La agricultura con agua del subsuelo (bombeada), ha tenido una disminución en superficie, debido a que los niveles freáticos son cada día más profundos (de 30 a 185 m) y a los altos costos de energía eléctrica, que traen como consecuencia altos costos de producción y baja rentabilidad.

Una de las alternativas a los altos costos de energía eléctrica es, cambiar los equipos de bombeo por equipos más eficientes (que cumplan la norma de eficiencia). Sin embargo esto implica altos costos de inversión que al agricultor no le es posible solventar a corto plazo, otra de las alternativas es evaluar los equipos de bombeo para determinar cuales requieren reparación (cambio de tazones debido al desgaste) y cuales requieren ajustes.

La mejor alternativa para aumentar la eficiencia electromecánica es realizar ajustes a los equipos de bombeo. Sin embargo, debido a que los talleres que se dedican a dar mantenimiento realizan dichos ajustes tomando solo en cuenta que la corriente eléctrica (amperaje) no sobrepase la capacidad del motor, sin verificar la variación de gasto y de eficiencia electromecánica (no se sabe si la eficiencia se encuentra dentro de la norma), es decir, el ajuste no se hace completo. Aunado a esto, el ajuste no implica una inversión de gran cuantía y si conduce a un ahorro de energía, esto último es el fundamento de la hipótesis del presente trabajo.

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

II. OBJETIVOS.

- Ahorro de energía eléctrica en los equipos de bombeo de la Comarca Lagunera de Coahuila

III. HIPÓTESIS.

- Es posible reducir el consumo de energía eléctrica mediante ajustes completos a los equipos de bombeo.

IV. METAS.

- En dos meses diagnosticar el comportamiento electromecánico de los equipos de bombeo de la comarca Lagunera.
- En tres meses jerarquizar la problemática encontrada en orden de importancia

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

Con la finalidad analizar la energía en la extracción del agua en cada predio y realizar un diagnostico detallado, de acuerdo al proceso extracción se describe lo siguiente.

5.1.- Métodos de Aforo.

Hoy en la actualidad existen varios métodos de aforo del agua de riego, debido a esto se mencionan los más usuales.

5.1.1.- Aforo Volumétrico.

Este método consiste en cuantificar el tiempo necesario (mediante un reloj o cronometro) para llenar un recipiente de volumen conocido (balde, tambo, cubo, etc.) hasta que derrame.

El caudal se calcula dividiendo el volumen de agua en el tiempo promedio transcurrido.

El cálculo a realizar es:

$$Q = \frac{V}{tm} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

V = Volumen (l)

tm = Tiempo promedio (s)

Ejemplo:

para un volumen de 225 litros, con un tiempo promedio de 3.33 segundos, el gasto Q es igual a 67.56

lps.



Figura 1. Aforo volumétrico

5.1.2.- Aforo con Molinete.

El molinete digital es un aparato formado por una hélice o una rueda de aspas o de copas, que accionadas por la corriente de agua, giran alrededor de un eje. El eje está montado en un dispositivo de suspensión transmitiendo su movimiento a un sistema registrador que permite conocer el número de vueltas que da la hélice en un tiempo dado, mediante este número de vueltas el molinete determina una velocidad lineal.

5.1.2.1- Aforo en Tubos Totalmente Llenos.

Para determinar el caudal en una tubería totalmente llena en litros por segundo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = 0.0239389(d)^2(v) \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

V = Velocidad del agua dentro del tubo (ft/s).

d = Diámetro interior del tubo (cm).

0.0239389 = Factor de conversión del área y gasto.

Ejemplo:

Cuadro 1. Lecturas del molinete.

Lectura	Velocidad Media (ft/s)
1	5.85
2	5.85
3	5.87
4	5.89
5	5.96
6	5.96
7	5.93
8	5.88
Promedio:	5.89

d = 25.2 cm

Entonces como el tubo es lleno se utiliza la ecuación (2),

$$Q = 0.0239389 (25.2)^2 (5.89) = 89.7 \text{ lps}$$

5.1.2.2- Aforo en Tubos Parcialmente Llenos.

Si el agua en el tubo sale *parcialmente lleno*, se utiliza la siguiente ecuación para determinar el gasto.

$$Q = 0.03048(C)(d)^2 (V) \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

0.03048 = Factor de conversión del área y gasto.

C = Es un coeficiente de ajuste de área que depende de la relación tirante (h) y diámetro del tubo (d) (Figura 2 y Cuadro 2).

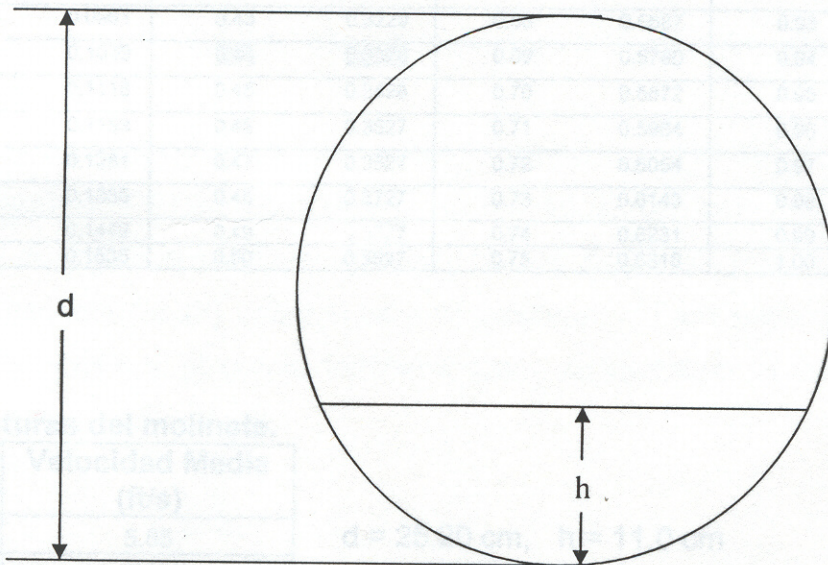


Figura 2. Descarga en tubo parcialmente lleno.

Cuadro 2.- Valores de C para la relación tirante-diámetro (h/d).

Relación (h/d)	C	Relación (h/d)	C	Relación (h/d)	C	Relación (h/d)	C
0.01	0.0130	0.26	0.1623	0.51	0.4027	0.76	0.6404
0.02	0.0037	0.27	0.1711	0.52	0.4127	0.77	0.6489
0.03	0.0067	0.28	0.1800	0.53	0.4227	0.78	0.6573
0.04	0.0105	0.29	0.1890	0.54	0.4327	0.79	0.6655
0.05	0.0147	0.30	0.1982	0.55	0.4427	0.80	0.6736
0.06	0.0192	0.31	0.2074	0.56	0.4526	0.81	0.6815
0.07	0.0242	0.32	0.2167	0.57	0.4625	0.82	0.6893
0.08	0.0294	0.33	0.2266	0.58	0.4723	0.83	0.6969
0.09	0.0350	0.34	0.2355	0.59	0.4822	0.84	0.7043
0.10	0.0409	0.35	0.2450	0.60	0.4920	0.85	0.7115
0.11	0.0470	0.36	0.2546	0.61	0.5018	0.86	0.7186
0.12	0.0534	0.37	0.2644	0.62	0.5115	0.87	0.7254
0.13	0.0600	0.38	0.2743	0.63	0.5212	0.88	0.7320
0.14	0.0668	0.39	0.2836	0.64	0.5308	0.89	0.7384
0.15	0.0739	0.40	0.2934	0.65	0.5404	0.90	0.7445
0.16	0.0811	0.41	0.3032	0.66	0.5499	0.91	0.7504
0.17	0.0885	0.42	0.3130	0.67	0.5594	0.92	0.7560
0.18	0.0961	0.43	0.3229	0.68	0.5687	0.93	0.7612
0.19	0.1039	0.44	0.3328	0.69	0.5780	0.94	0.7662
0.20	0.1118	0.45	0.3428	0.70	0.5872	0.95	0.7707
0.21	0.1199	0.46	0.3527	0.71	0.5964	0.96	0.7749
0.22	0.1281	0.47	0.3627	0.72	0.6054	0.97	0.7785
0.23	0.1365	0.48	0.3727	0.73	0.6143	0.98	0.7816
0.24	0.1449	0.49	0.3827	0.74	0.6231	0.99	0.7841
0.25	0.1535	0.50	0.3927	0.75	0.6318	1.00	0.7854

Ejemplo:

Cuadro 3. Lecturas del molinete.

Lectura	Velocidad Media (ft/s)
1	5.85
2	5.85
3	5.87
4	5.89
5	5.96
6	5.96
7	5.93
8	5.88
Promedio:	5.89

$$d = 25.20 \text{ cm}, \quad h = 11.0 \text{ cm}$$

$h/d = 0.44$ para este valor le corresponde un valor $C = 0.3328$ (Cuadro 2).

Entonces como el tubo es parcialmente lleno, utilizando la ecuación (3),

$$Q = 0.03048(0.3328)(25.20)^2(5.89) = 38.00 \text{ lps.}$$

5.1.3. - Método de la escuadra.

Este método posee un porcentaje de error del 3 por ciento con respecto al de un orificio calibrado, el cual se considera aceptable. Para realizar esta actividad se requiere que la tubería de descarga de la fuente de agua o bomba se encuentre totalmente horizontal con una longitud no menor a 1.5 m; esto es para generar un flujo laminar.

Este método presenta dos variantes: la primera cuando la descarga del tubo es "completa", esta recibe el nombre de *tubo totalmente lleno* y la segunda, cuando el caudal no llena el tubo y por lo tanto recibe el nombre de tubo parcialmente lleno.

5.1.3.1.- Metodología para tubos totalmente llenos.

Para realizar esta actividad es necesario contar con una escuadra con un brazo de longitud de 305 mm (equivalente a 12 pulgadas), con este brazo se hace contacto con el chorro a nivel vertical, con el otro brazo se mide la longitud horizontal en centímetros (X) sobre el tubo de descarga. Para conocer el gasto se busca en la tabla 4 la distancia horizontal, luego se intercepta el diámetro del tubo a nivel horizontal (Figura 3).

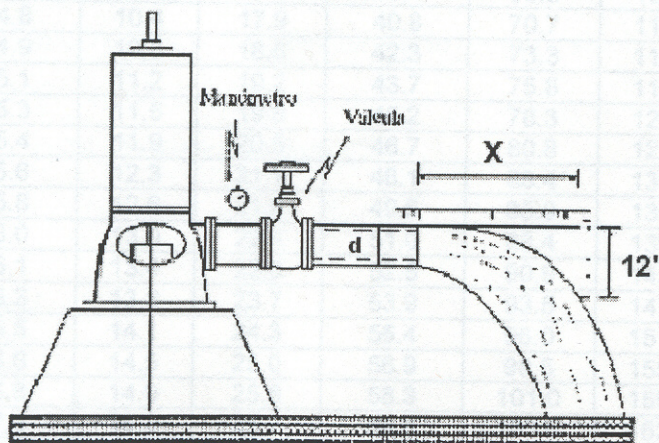


Figura 3.- Medición del flujo el tubo totalmente lleno.

Ejemplo:

Diámetro del tubo (pulgadas) "d" = 6

Longitud horizontal (cm) "X" = 48

En el Cuadro 4, se busca la longitud horizontal de 48 cm en la primera columna, luego se intercepta con la columna de los diámetros la tubería de 6 pulgadas, el cual corresponde un gasto de 35 lps.

Cuadro 4.- Aforo de tubos horizontales descargando totalmente llenos.

Distancia Horizontal D (cm)	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"
20	1.7	3.7	6.4	14.6	25.3	39.7	56.9
22	1.9	4.1	7.0	16.0	27.8	43.7	62.6
24	2.0	4.5	7.7	17.5	30.3	47.7	68.3
26	2.2	4.8	8.3	19.0	32.8	51.7	73.9
28	2.4	5.2	9.0	20.4	35.4	55.6	79.6
30	2.6	5.6	9.6	21.9	37.9	59.6	85.3
32	2.7	6.0	10.2	23.3	40.4	63.6	91.0
34	2.9	6.3	10.9	24.8	42.9	67.6	96.7
36	3.1	6.7	11.5	26.2	45.5	71.5	102.4
38	3.2	5.0	12.2	27.7	48.0	75.5	108.1
40	3.4	7.4	12.8	29.2	50.5	79.5	113.8
42	3.6	7.8	13.4	30.6	53.0	83.5	119.4
44	3.7	8.2	14.1	32.1	55.6	87.4	125.1
46	3.9	8.6	14.7	33.5	58.1	91.4	130.8
48	4.1	8.9	15.4	35.0	60.6	95.4	136.5
50	4.3	9.3	16.0	36.5	63.2	99.4	142.2
52	4.4	9.7	16.6	37.9	65.7	103.3	147.9
54	4.6	10.0	17.3	39.4	68.2	107.3	153.6
56	4.8	10.4	17.9	40.8	70.7	111.3	159.3
58	4.9	10.8	18.6	42.3	73.3	115.2	165.0
60	5.1	11.2	19.2	43.7	75.8	119.2	170.6
62	5.3	11.5	19.8	45.2	78.3	123.2	176.3
64	5.4	11.9	20.5	46.7	80.8	127.2	182.0
66	5.6	12.3	21.1	48.1	83.4	131.1	187.7
68	5.8	12.6	21.8	49.6	85.9	135.1	193.4
70	6.0	13.0	22.4	51.0	88.4	139.1	199.1
72	6.1	13.4	23.0	52.5	90.9	143.1	204.8
74	6.3	13.8	23.7	53.9	93.5	147.0	210.5
76	6.5	14.1	24.3	55.4	96.0	151.0	216.1
78	6.6	14.5	25.0	56.9	98.5	155.0	221.8
80	6.8	14.9	25.6	58.3	101.0	159.0	227.5
82	7.0	15.3	26.2	59.8	103.6	162.9	233.2

Continuación.....

84	7.1	15.6	26.9	61.2	106.1	166.9	238.9
86	7.3	16.0	27.5	62.7	108.6	170.9	244.6
88	7.5	16.4	28.2	64.2	111.1	174.9	250.3
90	7.7	16.7	28.8	65.6	113.7	178.8	256.0
92	7.8	17.1	29.4	67.1	116.2	182.2	261.6
94	8.0	17.5	30.0	68.5	118.7	186.8	267.3
96	8.2	17.9	30.7	70.0	121.2	190.8	273.0
98	8.3	18.2	31.4	71.4	123.8	194.7	278.7
100	8.5	18.6	42.0	72.9	126.3	198.7	284.4

5.1.3.2.- Metodología para tubos parcialmente llenos.

Con el brazo horizontal se hace contacto con el chorro a nivel vertical, con el otro brazo se mide la longitud horizontal en centímetros (X) sobre el tubo de descarga, luego se mide el tirante de agua dentro del tubo (h), para luego determinar una relación de tirante diámetro del tubo (h/d) (Figura 5), con esta relación área tirante se busca el factor de área (fa) a que pertenece el tubo de descarga. Entonces el gasto se determina con la siguiente ecuación.

$$Q_r = Q (f_a) \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

Q_r = Gasto real del tubo parcialmente lleno (lps).

Q = Gasto a tubo lleno (lps).

F_a = Factor de área (ver tabla 5)

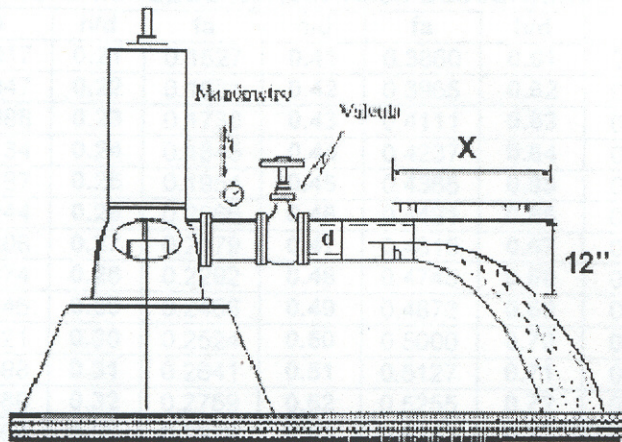


Figura 4.- Medición del flujo en tubo parcialmente lleno.

Ejemplo:

Diámetro del tubo (pulgadas) = 8

Longitud horizontal (cm) "X" = 52

Tirante del tubo (cm) = 15

Un diámetro de 8" es equivalente a 20.3 cm, entonces:

$$\frac{h}{d} = \frac{15}{20.3} = 0.74$$

En el Cuadro 4, se busca la longitud horizontal de 52 cm en la primera columna, luego se intercepta con la columna de los diámetros la tubería de 8 pulgadas, el cual corresponde un gasto de 65.7 lps, luego se busca en el Cuadro 5, el factor de área correspondiente a una relación tirante – diámetro (0.74) corresponde a un factor de área de 0.7934, luego para determinar el gasto se utiliza la ecuación (4) de la siguiente manera:

$$Q_r = (65.7)(0.7934) = 52.13 \text{ lps}$$

Cuadro 5.- Aforo de tubos horizontales descargando parcialmente llenos.

h/d	fa	h/d	fa	h/d	fa	h/d	fa	h/d	Fa
0.01	0.0017	0.21	0.1527	0.41	0.3860	0.61	0.6389	0.81	0.8677
0.02	0.0047	0.22	0.1631	0.42	0.3965	0.62	0.6513	0.82	0.8776
0.03	0.0088	0.23	0.1738	0.43	0.4111	0.63	0.6636	0.83	0.8853
0.04	0.0134	0.24	0.1845	0.44	0.4237	0.64	0.6758	0.84	0.8967
0.05	0.0187	0.25	0.1954	0.45	0.4365	0.65	0.6881	0.85	0.9059
0.06	0.0244	0.26	0.2066	0.46	0.4491	0.66	0.7002	0.86	0.9149
0.07	0.0308	0.27	0.2179	0.47	0.4618	0.67	0.7122	0.87	0.9236
0.08	0.0374	0.28	0.2292	0.48	0.4745	0.68	0.7241	0.88	0.9320
0.09	0.0446	0.29	0.2406	0.49	0.4873	0.69	0.7359	0.89	0.9402
0.10	0.0521	0.30	0.2524	0.50	0.5000	0.70	0.7476	0.90	0.9479
0.11	0.0598	0.31	0.2641	0.51	0.5127	0.71	0.7594	0.91	0.9554
0.12	0.0680	0.32	0.2759	0.52	0.5255	0.72	0.7708	0.92	0.9626
0.13	0.0764	0.33	0.2878	0.53	0.5382	0.73	0.7821	0.93	0.9730
0.14	0.0851	0.34	0.2998	0.54	0.5509	0.74	0.7934	0.94	0.9756
0.15	0.0941	0.35	0.3119	0.55	0.5635	0.75	0.8044	0.95	0.9813
0.16	0.1033	0.36	0.3242	0.56	0.5763	0.76	0.8154	0.96	0.9866
0.17	0.1127	0.37	0.3364	0.57	0.5889	0.77	0.8262	0.97	0.9912
0.18	0.1224	0.38	0.3487	0.58	0.6013	0.78	0.8369	0.98	0.9972
0.19	0.1323	0.39	0.3611	0.59	0.6140	0.79	0.8473	0.99	0.9986
0.20	0.1423	0.40	0.3736	0.60	0.6274	0.80	0.8577	1.00	1.0000

5.2.- Eficiencia Electromecánica.

La energía requerida para la extracción del agua, es una de principales preocupaciones de los productores, por su alto costo, debido a ello en este trabajo es de gran importancia eficientizar este recurso.

La eficiencia electromecánica de un equipo de bombeo es la relación de la potencia mecánica y la potencia eléctrica, dicha eficiencia nos muestra la energía que es aprovechada por el sistema electromecánico con relación a la consumida.

$$Ee = \left(\frac{Pr}{Pa} \right) 100 \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

Ee = Eficiencia electromecánica (%).

Pr = Potencia mecánica (kw).

Pa = Potencia eléctrica (kw)

5.2.1.- La Potencia Mecánica.

Potencia mecánica es la potencia transferida por la bomba al fluido, medida en la descarga del equipo.

$$Pr = \frac{Ctd * Q}{102} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

Ctd = Carga dinámica total (m).

Q = Gasto (lps).

102 = Constante de conversión a kilowat

5.2.1.1.- Carga total dinámica.

Es la cantidad de presión o energía en metros columna de agua (mca) que demanda el equipo de bombeo, se determina con la siguiente ecuación.

$$Ctd = N.d. + Hf_s + Hf_d + Hf_l \pm Pv \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

N.d = Nivel dinámico (m).

Hf_s = Perdidas de carga en la succión (m).

Hf_d = Perdidas de carga en la descarga (m).

Hf_l = Perdidas de carga localizadas (m).

Pv = Proyección vertical (m)

5.2.1.2.- Nivel Dinámico (ND)

Es la distancia vertical que existe entre el nivel de referencia (base del motor) hasta la superficie del agua cuando el equipo se encuentra en operación;

sus unidades son en metros, esta distancia se determina a través de una sonda eléctrica.

5.2.1.3.- Sondeo

Sonda eléctrica. Este dispositivo consiste de conductores eléctricos con forro de plástico; una fuente de energía eléctrica (baterías); un amperímetro. Mientras bajan los alambres al pozo se observa el amperímetro y al momento en que dicho amperímetro marque corriente, es cuando las 2 puntas desnudas inferiores tocan la superficie del agua cerrándose el circuito. El largo del alambre desde su extremo inferior hasta el nivel de referencia indica el nivel estático o dinámico del pozo.

5.2.1.4.- Perdidas de carga en la succión.

Para determinar la pérdida de carga en la succión, se debe de contar con tablas proporcionadas por los fabricantes de bombas, en dicha tabla se determina la pérdida de carga en función del gasto, diámetro de columna, cubierta (funda) y flecha, estas pérdidas se determinan en pruebas en laboratorio hidráulico (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pérdidas de carga en succión en metros o pies por cada 100 pies o metros.

Columna	2 ^{1/2}	3"	4"		6"			8"			10"			12"							
Cubierta		1 1/4	1 1/4	1 1/2		1 1/4	1 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	2"	2 1/2	3"	2"	2 1/2	3 1/2	2"	2 1/2	3"	3 1/2	
Flecha	3/4	3/4	3/4	1	1 3/16																
Gasto lps																					
1.57	3.5	1.4																			
1.90	4.2	1.9																			
2.52	5.4	3.1		0.6	1.2																
3.15	6.6	4.5	0.7	0.9	1.7																

Continuación.....

	2 1/2"	3"	4"	4 1/2"	5"	6"	6 1/2"	6 3/4"	7"	8"	8 1/2"	8 3/4"	9"	10"	10 1/2"	10 3/4"	11"	12"	12 1/2"	12 3/4"	13"	
3.78	9.0	6.1	0.9	1.2	2.3																	
4.40		8.5	1.2	1.6	2.9																	
5.05		9.9	1.5	1.9	3.7																	
5.68		12.0	1.8	2.4	4.4																	
6.3		14.0	2.2	2.8	5.3																	
7.9			3.2	4.2	7.8																	
9.4			4.4	5.8																		
11.0			5.8	7.5																		
12.6							0.7	1.0	1.4													
14.1						0.7	0.9	1.2	1.7													
15.7						0.8	1.1	1.4	2.0													
17.3						1.0	1.3	1.7	2.4													
18.9						1.2	1.5	2.0	2.8													
20.4						1.4	1.7	2.3	3.2													
22.0						1.6	2.0	2.6	3.6													
23.6						1.8	2.2	2.9	4.1													
25.2						2.0	2.5	3.3	4.6	0.6	0.7	1.0										
28.3						2.5	3.1	4.1	5.7	0.8	0.9	1.3										
31.5						3.0	3.7	5.0	6.9	0.9	1.1	1.5										
34.6						3.6	4.4	5.8		0.6	1.1	1.3	1.8									
37.8						4.2	5.2	6.8		0.8	1.3	1.5	2.1									
40.9						4.8	6.0			0.9	1.5	1.8	2.5									
44.1						5.5				1.0	1.7	2.0	2.8									
47.2						6.2				1.1	1.9	2.3	3.2									
50.4										1.3	2.2	2.6	3.6	0.6	0.7	0.8	1.0					
53.5										1.4	2.4	2.9	4.0	0.6	0.7	0.9	1.1					
56.7										1.6	2.7	3.2	4.5	0.7	0.8	1.0	1.2					
59.9										1.8	2.9	3.5	4.9	0.3	0.9	1.1	1.3					.50
63.0										1.9	3.2	3.9	5.4	0.9	1.0	1.2	1.4	.34	.38	.44		
75.6										2.6	4.5	5.4	7.6	1.2	1.4	1.6	2.0	.47	.54	.62	.71	
88.2										3.5	6.0	7.2	10.0	1.6	1.8	2.2	2.7	.62	.74	.82	.94	
100.8										4.5	7.6	9.1		2.0	2.3	2.8	3.4	.80	.90	1.1	1.2	
113.4										5.5	9.4	11.	0	2.5	2.8	3.4	4.3	.99	1.1	1.3	1.5	
126.0									6.7					3.0	3.5	4.2	5.2	1.2	1.4	1.6	1.8	
138.6									7.9					3.6	4.1	5.0	6.1	1.4	1.6	1.9	2.1	
151.2														4.2	4.9	5.8	7.2	1.7	1.9	2.2	2.5	
163.8														4.9	5.6	6.8	8.2	1.9	2.2	2.5	2.9	
176.4														5.6	6.4	7.8	9.6	2.2	2.5	2.8	3.3	
189.0														6.4	7.4	8.8	10.	2.5	2.9	3.3	3.8	
201.6																	0	2.8	3.2	3.7	4.3	
214.2																		3.2	3.6	4.2	4.8	
226.8																		3.5	4.0	4.7	5.3	
239.4																		3.9	4.5	5.1	5.9	
252.0																		4.3	4.9	5.6	6.4	
264.6																		4.7	5.3	6.2	7.1	
277.2																		5.1	5.8	6.7	7.7	
289.8																		5.6	6.3	7.4	8.4	
302.4																		6.0	6.8	7.9	9.0	

5.2.1.5.- Pérdidas de carga en la descarga.

Estas pérdidas presentan las pérdidas de presión de superficie (tuberías) y de forma o localizadas (accesorios), los cuales se describen a continuación.

5.2.1.5.1.- Pérdidas de carga localizada.

A estas pérdidas también se les conoce como pérdidas de forma y son las pérdidas de presión en accesorios tales como codos, reducción campana, válvulas, nipples, cople, etc. Dichas pérdida de carga se determina con la siguiente ecuación.

$$H_{fl} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

V = Velocidad del fluido en el accesorio (m/s).

K= Coeficiente del accesorio.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Cuadro 7.- Factor (K) de algunos accesorios.

Accesorio	K
Codo 90°	0.6
Codo 45°	0.4
Codo de Retorno 180°	2.2
Válvula de ángulo	5.0
Válvula de globo	10
Válvula de Compuerta	0.2
Te	0.6
Te flujo desviado	1.8

5.2.1.5.2.- Pérdidas de carga por superficie.

Es la pérdida que se genera por el rozamiento de los fluidos en la pared rugosa de las tuberías, para ello se utiliza la ecuación de Manning.

$$H_{fd} = \frac{10.29 * n^2 * L * Q^2}{D^{\frac{16}{3}}} \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

n = Coeficiente de Rugosidad de Manning (adimensional).

L = Longitud de Tubería (m)

Q = Gasto (m³/s).

D = Diámetro (m).

Cuadro 8.- Coeficiente de rugosidad (n) de algunos materiales.

Material	n
Tuberías de PVC	0.0079
Hormigon	0.012
Asbesto-cemento	0.015
Fefo galvanizada	0.017

5.2.1.5.3- Proyección Vertical.

Es la altura de la base del equipo de bombeo al punto de descarga de la bomba, es (+) si es elevación o (-) si es depresión.

5.2.2.- La potencia Eléctrica

La potencia eléctrica es la energía que demanda el motor eléctrico que acciona la bomba, dicha energía se mide y se expresa en kw (Plauchú, et al, 1999).

$$Pa = \frac{I * Ve * \sqrt{3} * Fp.}{1000} \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

Pa = Potencia activa (kw).

I = Intensidad de corriente eléctrica (amperes).

Ve = Tensión eléctrica en la línea (volts).

Fp = Factor de potencia en sistema eléctrico (adimensional).

1000 = Factor de conversión a kilowatt.

5.2.2.1.- Corriente Eléctrica.

Es la tensión que experimentan las cargas eléctricas, y por ende los cuerpos cargados eléctricamente, la unidad de medida de la tensión eléctrica es el voltio (V).

5.2.2.2.- Factor de Potencia (Fp).

El factor de potencia se define como el desfaseamiento o no de la corriente con relación al voltaje y es utilizado como indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1.0 siendo la unidad (1.0) el valor máximo de Fp y por tanto el mejor aprovechamiento de la energía.

También se le conoce como coseno de ϕ "cos ϕ ", y es la relación entre la potencia activa o útil (en kilowatts, KW), y la potencia total o aparente (en kilovolts-amperes, KVA), este factor se define con la siguiente ecuación:

$$\cos\theta = \frac{KW}{KVA} \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

Kw = Potencia activa, se define como la potencia capaz de producir trabajo útil, sus unidades son el watt.

KVAR= Potencia reactiva, se define como la potencia capaz de generar un campo magnético para el funcionamiento de los motores, transformadores etc., esta potencia no produce por si misma ningún trabajo; sus unidades son el volts-ampers.

Las potencias antes mencionadas generan una tercer potencia llamada potencia total o aparente (KVA), esta potencia es la suma geométrica de la potencia util y la potencia reactiva, o bien, el producto de la corriente y el voltaje; sus unidades se expresan en volts-ampers (VA). Esta potencia se define con la siguiente ecuación:

$$KVA = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2} \dots\dots\dots(12)$$

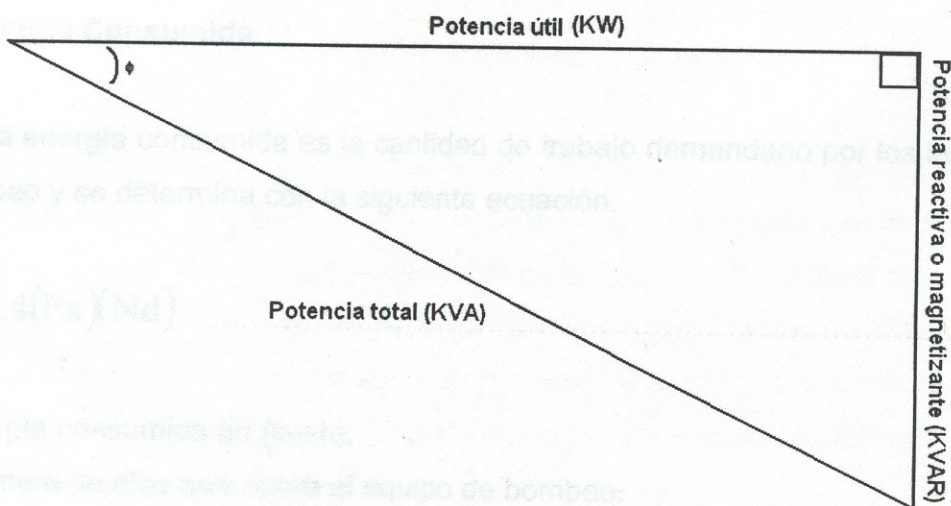


Figura 5. Triangulo de potencia.

De acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, y publicado en el diario oficial el día 9 de Noviembre de 1995, menciona que cualquier sistema de bombeo para pozo profundo que utilice la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que, derivado del diagnóstico de eficiencia electromecánica ésta resulte menor o igual al 40 por ciento en forma combinada, esto es, del conjunto bombamotor, deben efectuarse acciones de rehabilitación o sustitución de los equipos electromecánicos, con el propósito de elevarlos a los niveles establecidos en el cuadro 9 como mínimo.

Cuadro 9. Rangos de eficiencias electromecánicas aceptables.

Intervalo de potencia		Eficiencia Electromecánica (%)
Kw	hp	
5.6 – 14.9	7.5 – 20	52
15.7 – 37.3	21 – 50	56
38.0 – 93.3	51 – 125	60
94.0 – 261	126 - 350	64

5.3.- Energía Consumida.

La energía consumida es la cantidad de trabajo demandado por los equipos de bombeo y se determina con la siguiente ecuación.

$$E_c = 24(P_a)(N_d) \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

E_c = Energía consumida en (kw-h).

N_d = Numero de días que opera el equipo de bombeo.

24 = Factor de conversión a horas.

P_a = Potencia activa (kw)

5.4.- Ajuste del Impulsor para motores.

1. Con los ejes de transmisión todos bajos y los impulsores descansando en sus asientos, gire la tuerca de ajuste en sentido contrario de las manecillas del reloj, levantando así el eje hasta que los impulsores se (cierren o abran) apenas pasen sus asientos y el eje gire a mano libremente. Para facilitar el ajuste se proporciona una traba para evitar que el eje del motor gire. El tipo de traba varia de acuerdo al tamaño del motor, existen dos tipos:

- a).- Brazo-traba (Figura 6) - El brazo-traba está atornillado a la parte estacionaria y con un perno se fija a la parte giratoria (para mejores resultados use el brazo-traba a tensión). Cuando el brazo-traba no esté en uso, deberá girarse y sujetarse para que no esté en la trayectoria de las partes giratorias.

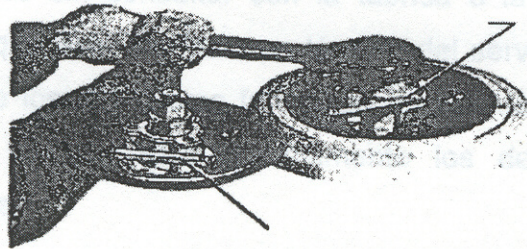
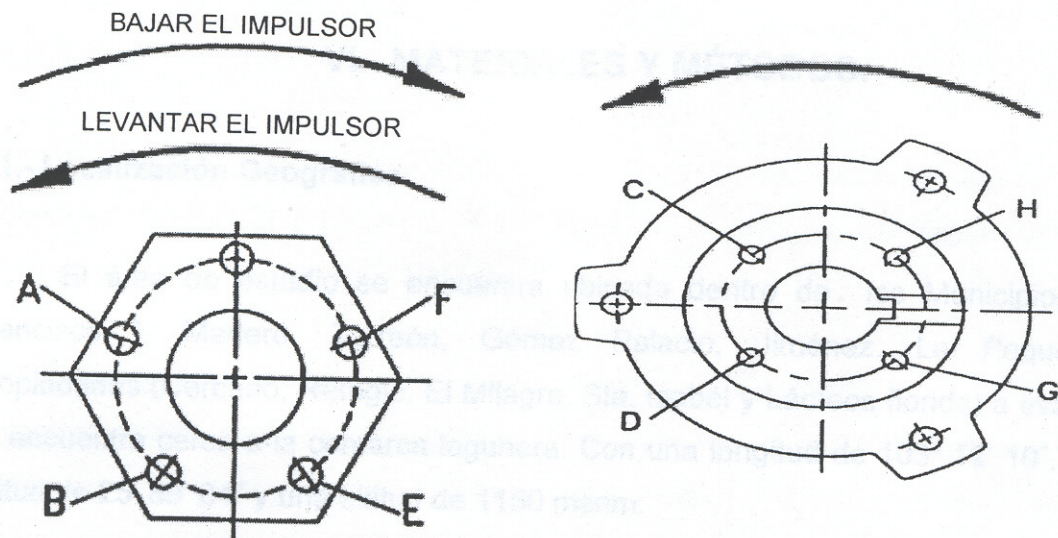


Figura 6.- El brazo traba evita que el motor gire.

- b).- Alinee el agujero "A" en la tuerca de ajuste del agujero "C" en el acoplamiento del motor (Figura 7), o agujeros cualesquiera similares que estén en la misma Posición. Inserte los tornillos de casquete en el agujero "B" siempre que estos sean los agujeros de coincidencia mas cercanos para la rotación (en sentido contrario de las manecillas del reloj) de la tuerca de ajuste y que la tuerca gire en sentido contrario de las manecillas del reloj) hasta que los agujeros "B" y "D" se alineen.



Acoplamiento del motor rotación

Figura 7.- Ajuste del impulsor para motor de eje hueco.

Esto se puede reducir en algunas instancias donde sea necesario, pero no se debe intentar eso sin consultar con la fábrica o la oficina del distrito más cercana, a menos que esté presente un técnico del servicio de la fábrica. Nunca debe permitirse que los impulsores funcionen en sus asientos cuando la bomba esté funcionando, ya que esto gradualmente los desgastará y reducirá la capacidad de bombeo.

NOTA: Los ajustes arriba y abajo del eje se realizan girando la tuerca de ajuste, Figura (6 y 7).

NOTA: Hay 5 agujeros en la tuerca de ajuste y sólo 4 en el acoplamiento del motor.

IMPULSORES ABIERTOS

NOTA: Aunque los sellos mecánicos casi nunca se proveen con motores de eje hueco, se deben desenganchar antes de ajustar los impulsores cuando éstos están enganchados.

El ajuste a la tuerca nos permite obtener un ajuste exacto del impulsor, llevando al máximo rendimiento la eficiencia sostenida para simplificar el mantenimiento del equipo de bombeo.

VI.- MATERIALES Y MÉTODOS.

6.1.- Localización Geográfica.

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de los Municipios de Francisco I. Madero, Torreón, Gómez Palacio, Jiménez. La Pequeñas Propiedades (Cercado, Refugio, El Milagro, Sta. Isabel y Lácteos florida) a evaluar se encuentra cerca a la comarca lagunera. Con una longitud de $103^{\circ} 12' 10''$, una latitud de $25^{\circ} 59' 04''$ y una altitud de 1150 msnm.

6.2.- Clima.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Copen modificado por (García, 1973), correspondiente a un BWhw (e) que indica un clima muy seco con lluvias en verano y de 5 a 10.2 mm de precipitación pluvial en invierno.

6.3.- Temperatura.

La temperatura promedio en los últimos 20 años es de 20.3°C , con un máximo de 36.6°C y un mínimo de 5.7°C , cada año se presenta un período con posibilidades de heladas que va desde el mes de Noviembre hasta al mes de Marzo (SARH, 1994).

6.4.- Infraestructura.

El área de estudio es de diferentes (Pequeñas Propiedad), que se dedican a la explotación agrícola con equipos de bombeo donde se realizaron los ajustes.

6.5.2.- Equipo de Bombeo dos.

6.5.-Ajustes a los equipos de bombeo.

El conocer la eficiencia electromecánica de un equipo de bombeo es importante debido a que nos muestra la cantidad de energía que se aprovecha para la extracción del agua del acuífero.

Para ajustar un equipo de bombeo, primero se determina la eficiencia electromecánica, para luego después abrir o cerrar los tazonos (maniobras de la tuerca de ajuste "abrir media vuelta"), para después volver a determinar la eficiencia electromecánica, el ajuste de la bomba estará listo cuando el valor de eficiencia electromecánica sea el máximo.

Dichos ajustes a los equipos de bombeo se describen a continuación:

6.5.1.- Equipo de Bombeo uno.

Antes de realizar el ajuste se procedió a realizar la eficiencia electromecánica en la cual consistió en el aforo del equipó de bombeo, la medición del nivel dinámico y los parámetros eléctricos. Se procedió a darle un primer movimiento a la tuerca de ajuste de la bomba (media vuelta) en donde se obtuvo un incremento en el gasto y la eficiencia electromecánica. Se procedió a darle un segundo, tercero y cuarto movimiento a la tuerca de ajuste donde obtuvo un incremento en el gasto, al igual que la eficiencia electromecánica, en tanto el nivel dinámico presento un ligero abatimiento. De este buen ajuste se le dieron dos vueltas completas a la tuerca de ajuste.

6.5.2.- Equipo de Bombeo dos.

Antes de realizar el ajuste se procedió a realizar la eficiencia electromecánica en la cual consiste en el aforo del equipó de bombeo, la medición del nivel dinámico y los parámetros eléctricos. Se procedió a darle un primer movimiento a la tuerca de ajuste de la bomba (media vuelta) en donde se obtuvo un incremento en el gasto, al igual que la eficiencia electromecánica y manteniéndose el nivel dinámico. De este buen ajuste se le dio media vuelta a la tuerca de ajuste.

6.5.3.- Equipo de Bombeo tres.

Antes de realizar el ajuste, se procedió a realizar la eficiencia electromecánica en la cual consiste en el aforo del equipó de bombeo, la medición del nivel dinámico y los parámetros eléctricos. Se procedió a darle un primer movimiento a la tuerca (media vuelta) en donde se obtuvo una disminución en el gasto y la eficiencia electromecánica debido a que se cerraron los tazones. Se procedió a darle otro movimiento para regresar la tuerca como estaba y abrir los tazones, se le dio otro movimiento pero en sentido contrario a la tuerca de ajuste obteniendo un incremento en el gasto y la eficiencia electromecánica. De este buen ajuste se le dio media vuelta a la tuerca de ajuste.

6.5.4.- Equipo de Bombeo cuatro.

Antes de realizar el ajuste se procedió a realizar la eficiencia electromecánica en la cual consiste en el aforo del equipó de bombeo, la medición del nivel dinámico y los parámetros eléctricos. Se procedió a darle un primer movimiento a la tuerca (vuelta completa) donde se obtuvo un incremento en el gasto y la eficiencia, se procedió a darle una segunda vuelta completa a la tuerca de ajuste en donde se obtuvo un incremento ligero en el gasto y la eficiencia en tanto el nivel dinámico presento un ligero abatimiento, se procedió a darle una tercera vuelta completa a la tuerca de ajuste en donde se obtuvo otro incremento

ligero en el gasto y la eficiencia en tanto el nivel dinámico presento otro ligero abatimiento, y en la ultima y cuarta vuelta completa al ajuste a la tuerca se obtuvo una vez mas un incremento ligero en el gasto y la eficiencia en tanto el nivel dinámico presento otro ligero abatimiento. De este buen ajuste se le dieron cuatro vueltas completas a la tuerca de ajuste.

6.5.5.- Equipo de Bombeo cinco.

Antes de realizar el ajuste se procedió a realizar la eficiencia electromecánica en la cual consiste en el aforo del equipó de bombeo, la medición del nivel dinámico y los parámetros eléctricos. Se procedió a darle un primer movimiento a la tuerca de ajuste de la bomba (media vuelta) en donde se obtuvo un incremento en el gasto, al igual que la eficiencia electromecánica y manteniéndose el nivel dinámico. De este buen ajuste se le dio media vuelta a la tuerca de ajuste.

	Antes	Después	Impacto (%)
Consumo de Energía (kw-h/m ³)	1.20	0.87	37 g
Gasto (ps)	22.00	34.00	54 g
Potencia-gasto (kw/ps)	4.32	3.15	37 g
Eficiencia Electromecánica (%)	39.00	55.00	16 g

6.5.6.- Equipo de bombeo dos.

Al ajustar el equipo de bombeo dos fue posible obtener un ahorro del ocho por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído (kw-h/m³) y en relación potencia-gasto (kw/ps) respectivamente; así mismo fue posible incrementar la eficiencia electromecánica en un cinco por ciento y en gasto en un 14 por ciento (Cuadro 11). Sin embargo, este equipo de bombeo aun se encuentra por debajo del límite aceptable de acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, esto es debido a que posee un motor de 150 hp y su eficiencia electromecánica debe de ser del 64 por ciento.

VII RESULTADOS

7.1.- Equipo de bombeo uno.

Con el ajuste al equipo de bombeo uno fue posible obtener un ahorro del 37 por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído (kw-h)/m³ y en relación potencia-gasto (kw/lps) respectivamente; así mismo fue posible incrementar la eficiencia electromecánica en un 16 por ciento y en gasto en un 54 por ciento (Cuadro 10). Sin embargo, este equipo de bombeo aun se encuentra por debajo del límite aceptable de acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, esto es debido a que posee un motor de 150 hp y su eficiencia electromecánica tope debe de ser del 64 por ciento.

Cuadro 10.- Características del equipo de bombeo uno.

Variable	Antes	Después	Impacto (%)
Consumo de Energía (kw-h)/m ³	1.20	0.87	37 (a)
Gasto (lps)	22.00	34.00	54 (i)
Potencia-gasto (kw/lps)	4.32	3.15	37 (a)
Eficiencia Electromecánica (%)	39.00	55.00	16 (i)

a= Ahorro, i = Incremento.

7.2.- Equipo de bombeo dos.

Al ajustar al equipo de bombeo dos fue posible obtener un ahorro del ocho por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído (kw-h)/m³ y en relación potencia-gasto (kw/lps) respectivamente; así mismo fue posible incrementar la eficiencia electromecánica en un cinco por ciento y en gasto en un 14 por ciento (Cuadro 11). Sin embargo, este equipo de bombeo aun se encuentra por debajo del límite aceptable de acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, esto es debido a que posee un motor de 150 hp y su eficiencia electromecánica tope debe de ser del 64 por ciento.

Cuadro 11.- Características del equipo de bombeo dos.

Variable	Antes	Después	Ahorro (%)
Consumo de Energía (kw-h)/m ³	0.58	0.53	8 (a)
Gasto (lps)	28.00	32.00	14 (i)
Potencia-gasto (kw/lps)	2.07	1.91	8 (a)
Eficiencia Electromecánica (%)	41.00	46.00	5 (i)

a= Ahorro, i = Incremento.

7.3.- Equipo de bombeo tres.

Al aplicar el ajuste al equipo de bombeo tres fue posible obtener un ahorro del 20 por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído (kw-h)/m³ y en relación potencia-gasto (kw/lps) respectivamente; así mismo fue posible incrementar la eficiencia electromecánica en un 16 por ciento y en gasto en un 47 por ciento (Cuadro 12). Sin embargo, este equipo de bombeo aun se encuentra por debajo del límite aceptable de acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, esto es debido a que posee un motor de 150 hp y su eficiencia electromecánica tope debe de ser del 64 por ciento.

Cuadro 12. Características del equipo de bombeo tres.

Variable	Antes	Después	Ahorro (%)
Consumo de Energía (kw-h)/m ³	0.95	0.79	20 (a)
Gasto (lps)	23.00	34.00	47 (i)
Potencia-gasto (kw/lps)	3.43	2.85	20 (a)
Eficiencia Electromecánica (%)	39.00	55.00	16 (i)

a= Ahorro, i = Incremento.

7.4.- Equipo de bombeo cuatro.

Al aplicar el ajuste al equipo de bombeo cuatro fue posible obtener un ahorro del 24 por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído (kw-h)/m³ y en relación potencia-gasto (kw/lps) respectivamente; así mismo fue

posible incrementar la eficiencia electromecánica en un 10 por ciento y en gasto en un 27 por ciento (Cuadro 13). Sin embargo, este equipo de bombeo aun se encuentra por debajo del límite aceptable de acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, esto es debido a que posee un motor de 100 hp y su eficiencia electromecánica tope debe de ser del 60 por ciento.

Cuadro 13. Características del equipo de bombeo cuatro.

Variable	Antes	Después	Ahorro (%)
Consumo de Energía (kw-h)/m ³	0.66	0.53	24 (a)
Gasto (lps)	18.00	23.00	27 (i)
Potencia-gasto (kw/lps)	2.39	1.91	24 (a)
Eficiencia Electromecánica (%)	35.00	45.00	10 (i)

a= Ahorro, i = Incremento.

7.5.- Equipo de bombeo cinco.

Con el ajuste al equipo de bombeo cuatro fue posible obtener un ahorro del 12 por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído (kw-h)/m³ y en relación a la potencia-gasto (kw/lps) respectivamente; así mismo fue posible incrementar la eficiencia electromecánica en un ocho por ciento y en gasto en un 21 por ciento (Cuadro 14). Sin embargo, este equipo de bombeo aun se encuentra por debajo del límite aceptable de acuerdo a la norma NOM-06-ENER-1995, esto es debido a que posee un motor de 200 hp y su eficiencia electromecánica tope debe de ser del 64 por ciento.

Cuadro 14. Características del equipo de bombeo cinco.

Variable	Antes	Después	Ahorro (%)
Consumo de Energía (kw-h)/m ³	0.91	0.81	12 (a)
Gasto (lps)	33.00	40.00	21 (i)
Potencia-gasto (kw/lps)	3.27	2.90	12 (a)
Eficiencia Electromecánica (%)	46.00	54.00	8 (i)

a= Ahorro, i = Incremento.

7.6.- Ahorro en tiempo de Extracción de la concesión.

Después de realizar los ajustes a los equipos de bombeo el gasto se incremento de 25 a 33 lps, con estos gastos para extraer un volumen concesionado de 250,000 m³, los equipos de bombeo antes tardaban 117 días y después de los ajustes en 88 días (Cuadro 15), lo cual representa un ahorro en tiempo de extracción de 29 días, esto representa un ahorro en tiempo de trabajo de los equipos de bombeo del 25 por ciento.

Cuadro 15. Ahorro en tiempo de extracción de la concesión.

Situación	Gasto (lps)	Tiempo (días)	Ahorro (%)
Antes	25	117	25
Después	33	88	

7.7.- Problemática encontrada.

- El Ajuste que realizan los talleres a los equipos de bombeo lo hacen de manera incorrecta (en base a corriente eléctrica y no en base a eficiencia Electromecánica.)
- Eficiencia electromecánica se encuentra en 24 por ciento debajo de la norma.
- El Factor de potencia de los motores (0.83) se encuentra por debajo de la norma (0.90).
- La potencia nominal de los equipos de bombeo sobrepasa a la potencia Desarrollada en un 32 por ciento.

VIII CONCLUSIONES

- Con el ajuste a los equipos de bombeo fue posible obtener un ahorro del 18 Por ciento en consumo de energía por metro cúbico extraído $(\text{kw-h})/\text{m}^3$. Y fue posible disminuir en un 18 por ciento la relación potencia – gasto (kw/lt) y aumentar el factor de potencia de los motores en un 2.5 por ciento.
- Con el ajuste a los equipos de bombeo fue posible incrementar la eficiencia Electromecánica en un 11 por ciento, lo cual indica que los equipos de bombeo por lo general después de ser instalados por el taller no son ajustados correctamente, razón por la cual no trabajan en forma eficiente (no están dentro de la norma) y generan altos costos por consumo de energía eléctrica.
- El ajuste a los equipos de bombeo permitió aumentar el gasto de extracción en un 32 por ciento, esto indica que la falta de ajuste a los equipos de Bombeo, ocasiona que los tazonos no trabajen a su capacidad de diseño.

IX. RECOMENDACIONES

- En la comarca Lagunera por lo general no existe una selección adecuada del impulsor en los equipos de bombeo (uso de impulsores de baja eficiencia), razón por la cual se generan altos consumos de energía eléctrica.
- Se recomienda realizar este trabajo tomando en cuenta las fechas de ajuste por equipo de bombeo.
- Se recomienda adiestrar a los productores en la toma de datos de los equipos de bombeo y sistematizar los algoritmos de eficiencia electromecánica, de tal manera que ellos vigilen el mantenimiento de los equipos de bombeo que realizan los talleres.

X. LITERATURA REVISADA

Ajuste de tuerca. Pagina de Internet <http://www.crown-pump.com>

Bombas Verticales tipo Turbina para Pozo Profundo. Página de Internet
<http://www.goulds.com>

CNA. 1990. Uso Eficiente del Agua y la Energía Hidroeléctrica. Página de Internet
<http://www.cna.gob.mx/portal/switch.asp?param=3071170>.

Eficiencias en Sistemas de Bombeo. Pagina de Internet
<http://www.cna.gob.mx>

Manual de Instalación Operación y Mantenimiento de Bombas Verticales tipo
Turbina. Pagina de Internet <http://www.hidrostral.com.pe>

Medición de Factor de Potencia. Pagina de Internet
<http://www.cfe.gob.mx>

Motores Verticales, ajuste a la tuerca. Pagina de Internet
<http://www.usmotors.com/manual>

Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética 2002. Pagina de Internet
<http://www.conae.gob.mx>

Optimización de Eficiencia Electromecánica de los Sistemas de Bombeo. Pagina
de Internet
<http://www.conservaenergia.com>

XI. ANEXOS

Secretaria de Energía. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-1995, Eficiencia Electromecánica en Sistemas de Bombeo para Pozo Profundo en Operación.- Límites y Métodos de Prueba. Diario Oficial del día Jueves 9 de Noviembre de 1995.

	Antes	Después	Impacto (%)
Energía (kw-h)	0.86	0.72	15.0
	4.88	3.80	22.0
	40.00	31.80	11.0
	0.82	0.65	25

Serie Autodidáctica de Medición del agua (Método de aforos). Pagina de Internet <http://www.imta.com.mx>

XI. ANEXOS

Cuadro 15. Comportamiento de los pozos de extracción de la Comarca Lagunera.

Variable	Antes	Después	Impacto (%)
Consumo de Energía (kw-h)/m ³	0.86	0.72	18.0
Gasto (lps)	25.00	33.00	32.0
Potencia-gasto (kw/lps)	3.09	2.60	18.0
Eficiencia Electromecánica (%)	40.00	51.00	11.0
Factor de potencia (adim)	0.83	0.85	2.5