

## NOTA TÉCNICA

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DETERMINACIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE ELECTRO-BOMBAS DE USO AGRÍCOLA

José A. Gil\* y Luis Khan P.\*

## RESUMEN

Se diseñó y construyó un banco de pruebas para bombas en el Laboratorio de Hidráulica de la Sección de Riego y Drenaje de la Universidad de Oriente. El equipo constó de un tanque de abastecimiento de agua, una electro-bomba intercambiable, un tanque volumétrico para medir caudal (Q), un juego de manómetro (en la descarga) y vacuómetro (en la succión) para medir la carga dinámica total (Hm), y una válvula calibradora para variar los parámetros hidráulicos del sistema (Q y Hm). La medición del caudal y la presión permitieron obtener la potencia hidráulica (Ph) desarrollada por el sistema. La potencia eléctrica consumida fue medida mediante un medidor convencional de corriente eléctrica. Los datos provenientes de la operación del sistema permitieron obtener las curvas Hm vs. Q, Ph vs. Q y las curvas de eficiencia de bombeo.

**Palabras claves adicionales:** Riego, potencia hidráulica, carga hidráulica

## ABSTRACT

### **Design of a test bank to obtain the characteristic performance curves of electric water pumps**

A test bank for pumps was designed and built in the laboratory of Hydraulics of the Irrigation Section of the Universidad de Oriente in Venezuela. The equipment was composed of the a tank to measure flow rate (Q), a set of manometer (in the discharge) and vacuum gauges (in the suction) to measure total head ( Hm ), and gauge valve to vary the hydraulic parameters of the system ( Q and Hm). The flow and pressure measurements allowed to obtain the hydraulic power ( Ph ) developed by the system. The consumed electric power was measured using a conventional meter for electric current. The data coming from the operation of the system allowed to get the curves Hm vs. Q, Ph vs. Q and the curves of pumping efficiency.

**Additional key words:** Irrigation, hydraulic power, pressure head

## INTRODUCCIÓN

En el diseño de obras de riego que contemplen el transporte de agua por tuberías, usualmente se requiere de personal especializado en lo referente a la teoría de las bombas y los sistemas de bombeo. De aquí la utilidad de disponer en los laboratorios de riego de las instituciones especializadas de un equipo que permita el adiestramiento de personal en cuanto a los principios básicos del bombeo, el funcionamiento de las bombas, la forma en que se distribuye la energía mecánica que se suministra a una bomba centrífuga y la magnitud de cada componente de la energía resultante, así como los valores

variables de la eficiencia (Torres, 1996). La importación de un equipo de esta naturaleza en Venezuela resulta demasiado oneroso debido a su elevado costo actual como consecuencia de la devaluación de la moneda. Es por esto que la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente acometió la construcción de un sistema que pudiese cumplir con dicha función.

El objetivo primordial de este trabajo consistió en el diseño y la construcción de un banco de pruebas para bombas, suficientemente sencillo, pero que permitiera visualizar y estudiar los principios teóricos fundamentales que rigen un sistema de bombeo.

---

Recibido: Abril 7, 1998

\* Profesor. Departamento de Ingeniería Agrícola. Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad de Oriente. Núcleo Monagas. Maturín. Venezuela

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la sección de Riego y Drenaje del Departamento de Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, en Maturín, estado Monagas.

El procedimiento seguido en este trabajo constó de las etapas de diseño, construcción y evaluación.

### 1. Diseño.

Se diseñó un equipo para medir con precisión los diferentes componentes de las curvas características de un sistema de bombeo. Se estableció un sistema cíclico que permitió la rotación de un volumen constante de agua a fin de evitar el mal uso y desperdicio del líquido. Para obtener dichas curvas, fue necesario determinar los siguientes parámetros:

a. Altura total manométrica, individualizada en sus dos componentes principales, aspiración e impulsión. Para medir la carga de aspiración se utilizó un vacuómetro o medidor de vacío y para medir la carga de impulsión se utilizó un manómetro de Bourdon. Ambos aparatos fueron colocados lo más cerca de la entrada (vacuómetro) y de la salida (manómetro) de la bomba.

b. El caudal desarrollado por la bomba para cada altura. El método utilizado fue el volumétrico y se necesitó para ello un tanque para medir la variación de altura de agua dentro del mismo durante un determinado intervalo de tiempo.

c. La potencia consumida por el sistema motor-bomba. Se utilizó en este caso un medidor convencional de corriente eléctrica del tipo doméstico, proporcionado por la empresa oficial de servicio eléctrico CADAPE.

### 2. Construcción.

En la construcción del sistema (Figura 1) se utilizaron los siguientes componentes:

a. Tanque de abastecimiento.

Las dimensiones del tanque metálico de abastecimiento fueron establecidas considerando el volumen total de agua capaz de llenar todo el sistema de bombeo, incluyendo los dispositivos para la medida del caudal. Se incluyó un volumen remanente como medio de seguridad para

impedir que a la bomba entrara aire como consecuencia de un régimen vorticial en la entrada de la succión. Este fenómeno causa la formación de remolinos y la entrada de aire debido a la baja presión que se genera en la succión de la bomba (Viejo, 1989). El tanque tiene 1,21 m de largo x 0,59 m de ancho x 0,59 m de altura, dimensiones que garantizan un llenado completo del tanque volumétrico sin que se vea afectada la altura o carga de succión. Para garantizar un vaciado rápido, el mismo posee un desagüe constituido por un tapón de 1". Tiene además soportes que sirven de base a la bomba y de sostén al tanque volumétrico.

b. Tanque volumétrico.

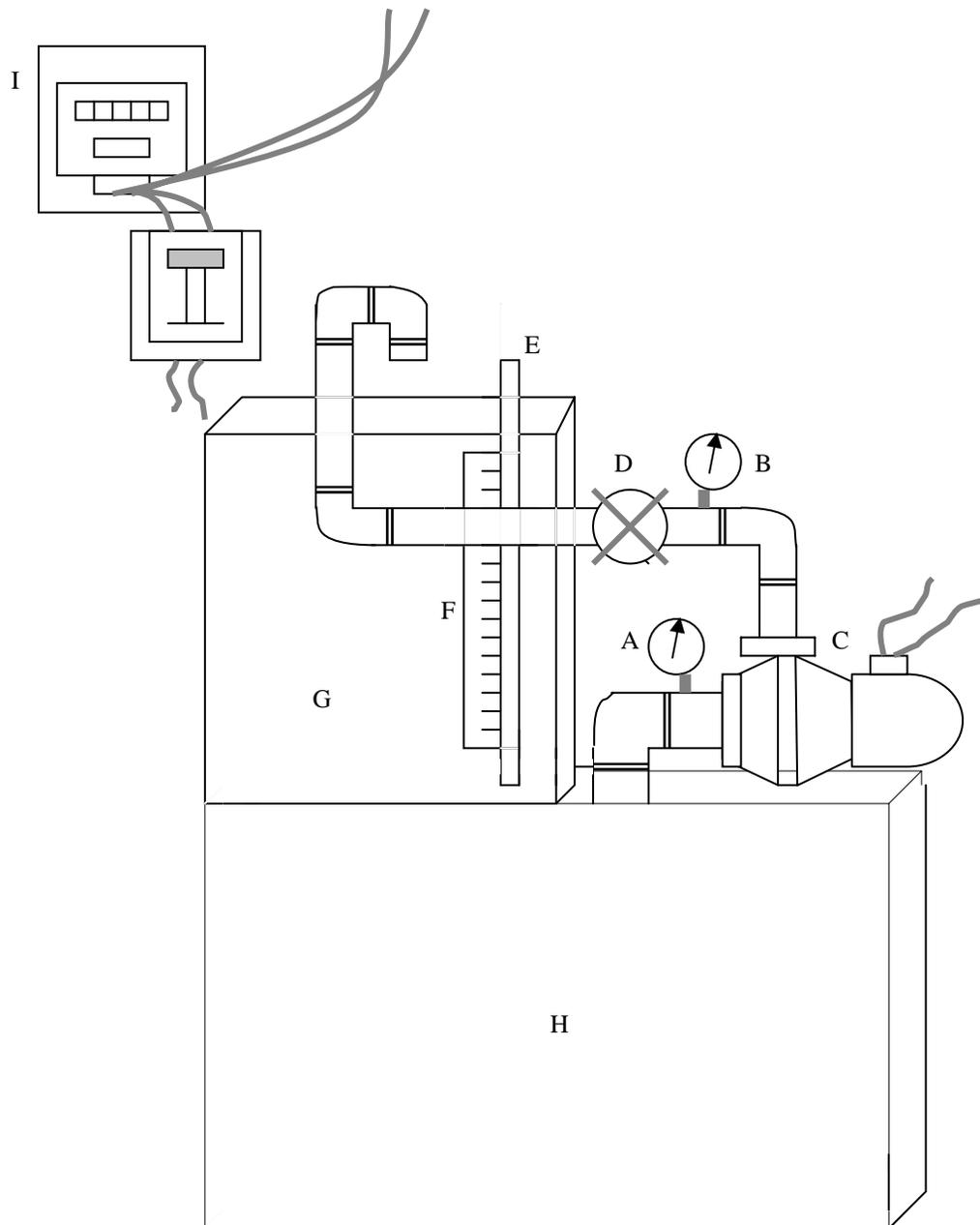
Las dimensiones del tanque metálico volumétrico son de 80 cm de largo, 40 cm de ancho y 60 cm de alto. Con estas dimensiones se logró un volumen suficientemente grande que permitió calcular en forma más confiable los respectivos caudales. Posee un piezómetro constituido por una manguera transparente de 5/16" de diámetro y una regla graduada para medir la altura de agua dentro del recipiente con la cual se podía, conocida el área de la base del tanque, determinar la variación del volumen. Para garantizar un vaciado rápido, el mismo posee un desagüe constituido por un tapón de goma de 2 1/2" de diámetro. Tiene además dos tubos de 2" de diámetro. Uno de ellos es agujereado y está soldado en la base del tanque, con la finalidad de disminuir la turbulencia producida por la caída del agua, facilitando de esta forma las medidas de altura. El otro tubo atraviesa la base y sirvió para reciclar el agua de un tanque a otro.

c. Tubería de succión.

La tubería de succión es de 1 1/4" de diámetro y va conectada desde la bomba hasta la fuente de agua o tanque de abastecimiento. Tiene una válvula de bola para regular el caudal de entrada y un vacuómetro para registrar la succión en la entrada del sistema.

d. Tubería de descarga.

La tubería de descarga es de 1" de diámetro y va conectada desde la bomba hasta el tanque volumétrico. Tiene una válvula de compuerta para regular el caudal de salida del sistema y un manómetro para registrar la presión en la tubería de salida.



**Figura 1.** Componentes principales del banco de pruebas: A) Vacuómetro. B) Manómetro. C) Bomba. D) Válvula de compuerta. E) Manguera transparente. F) Regla graduada. G) Tanque volumétrico. H) Tanque de abastecimiento. I) Medidor de corriente eléctrica.

e. Fuente de energía.

El sistema fue probado alternadamente con dos bombas, cuyas especificaciones son las siguientes:

- Bomba N° 1.

Marca FANAB, modelo 56 B, con diámetro de succión 1 1/4" y descarga 1". Posee un impulsor de 3" y un motor eléctrico de 110 v, con potencia de 3/4 hp y rotación de 3.534 rpm.

- Bomba N° 2.

Marca FANAB, modelo 56 C, con diámetro de succión 1 1/4" y descarga 1". Posee un impulsor de 2,5" y un motor eléctrico de 110 v, con potencia de 1/2 hp y rotación de 3.450 rpm.

### 3. Evaluación o prueba de bombeo.

Para realizar esta evaluaciones se puso en funcionamiento el sistema de bombeo en diferentes oportunidades utilizando en cada caso una apertura diferente de la válvula de descarga tratando que la presión variara en un rango más o menos constante. En cada oportunidad se tomaba la siguiente información:

- Altura de carga (Hd) marcada por el manómetro.
- Altura de carga (Hs) marcada por el vacuómetro.
- Variación de altura en el tanque volumétrico en un tiempo determinado.
- Tiempo que tardaba el disco del medidor eléctrico en dar el número de vueltas fijado de antemano.

Con la información obtenida se procedió a calcular para cada condición, la potencia consumida por el sistema en kW, el caudal de la bomba en litros por segundo, la carga total de bombeo en metros, la potencia desarrollada por la bomba en kW y la eficiencia de operación del sistema en porcentaje, utilizando las siguientes fórmulas:

$$P_c = \frac{n}{K \cdot t \text{ (horas)}} \text{ (kW)} \quad (1)$$

$$P_h = \frac{y \cdot Q \cdot H_m}{102} \text{ (kW)} \quad (2)$$

$$H_m = H_s + H_d \quad (3)$$

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (L/s)} \quad (4)$$

$$V = b \cdot Z \quad (5)$$

$$\eta = \frac{P_h}{P_c} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (6)$$

donde:

Pc - potencia consumida

Ph - potencia hidráulica

n - número de vueltas del disco del medidor eléctrico

K - constante del medidor eléctrico

t - tiempo

γ - peso específico del agua

Q - caudal en litros por segundo

Hm - carga total de bombeo en metros

Hs - carga de succión

Hd - carga de salida

V - volumen

b - superficie de la base del tanque volumétrico

Z - variación de altura en el tanque volumétrico

η - eficiencia

Con estos resultados se trazaron las curvas características de la bomba, colocando el caudal en el eje de las abscisas y la carga total, potencia hidráulica y eficiencia en el eje de las ordenadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bomba N° 1.

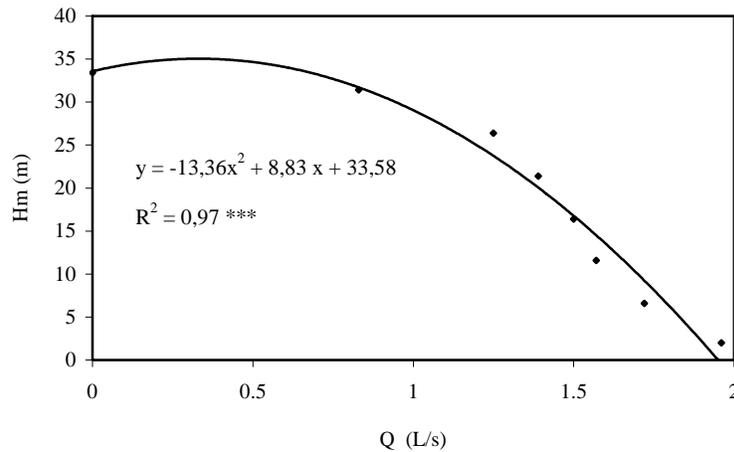
#### Relación Hm vs. Q.

En el Cuadro 1 se observa que el máximo caudal desarrollado por esta bomba fue de 1,96 L/s, valor que se alcanzó cuando la presión de descarga fue igual a cero; en cambio, el máximo valor de carga dinámica total alcanzado fue de 33,4 m, cuando el caudal fue igual a cero. La ecuación de regresión de más ajuste a la relación Hm vs Q, es la ecuación cuadrática siguiente:  $H_m = -13,36 Q^2 + 8,83 Q + 33,58$ , la cual presentó un coeficiente de determinación de 97 %, y un nivel de significación de 0,1 % (Figura 2).

**Relación Ph vs Q.**

Se observa que la potencia hidráulica aumentó proporcionalmente hasta llegar a un nivel máximo de 0,32 kW, y a partir de este valor empezó a disminuir (Cuadro 1). La

ecuación de regresión de más ajuste a la relación Ph vs Q es la ecuación cuadrática  $Ph = -0,307 Q^2 + 0,616 Q - 0,005$  con un coeficiente de determinación de 94%, y un nivel de significación de 0,1% (Figura 3).



**Figura 2.** Carga dinámica total (Hm) en relación al caudal (Q) en la Bomba N° 1.

**Relación  $\eta$  vs Q.**

Se observa que la máxima eficiencia alcanzada por el sistema con la bomba N° 1 fue de 21,48 %, valor que está muy por debajo del rango esperado (Cuadro 1). Este valor, sin embargo, coincide con el valor máximo de

potencia hidráulica desarrollada. La ecuación de regresión de más ajuste a la relación  $\eta$  vs Q, es la ecuación  $\eta = 21,19 Q^2 + 42,25 Q - 0,087$ , con un coeficiente de determinación de 96%, y un nivel de significancia del 0,1% (Figura 3).

**Cuadro N° 1.** Valores de carga dinámica total, caudal, potencia hidráulica desarrollada, potencia consumida y eficiencia, obtenidos con la Bomba N° 1.

Lectura N°	Presión de descarga Pd (m)	Presión de succión Ps (m)	Carga dinámica Total (m) Hm=Hd+Hs	Caudal Q(L/s)	Potencia Hidráulica Ph(kW)	Potencia Consumida Pc(kW)	Eficiencia $\eta$ (%)
1	0	2	2	1,96	0,038	1,44	2,64
2	5	1,6	6,6	1,72	0,11	1,44	7,73
3	10	1,6	11,6	1,57	0,18	1,48	12,16
4	15	1,4	16,4	1,50	0,24	1,51	15,89
5	20	1,4	21,4	1,39	0,29	1,51	19,20
6	25	1,4	26,4	1,25	0,32	1,49	21,48
7	30	1,4	31,4	0,83	0,26	1,35	19,26
8	32	1,4	33,4	0	0	1,00	0

**Bomba N° 2.****Relación Hm vs Q.**

En el Cuadro 2 se observa que el máximo caudal desarrollado por esta bomba fue de 1,55 L/s, valor que se obtuvo cuando la presión de descarga fue igual a cero, mientras que el máximo valor de carga dinámica total

alcanzada fue de 24 m cuando el caudal fue igual a cero. La ecuación de regresión de más ajuste a la curva Hm vs Q, es la ecuación cuadrática  $Hm = 10,75 Q^2 + 2,46 Q + 23,79$ , con un coeficiente de determinación de 99 % y una significancia a un nivel del 0,1 % (Figura 4).

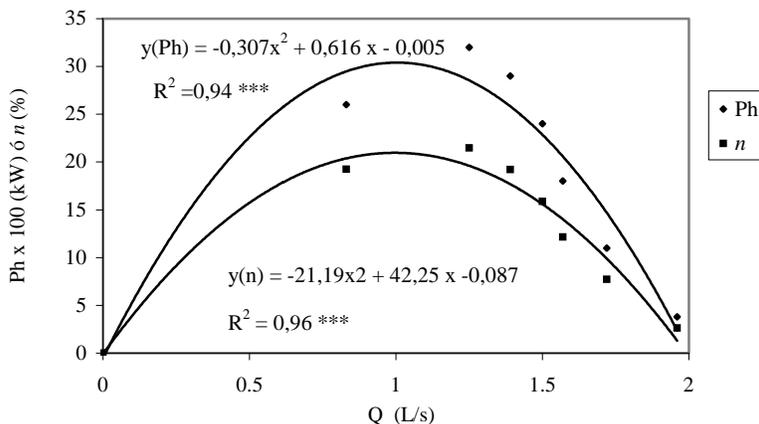


Figura 3. Potencia hidráulica (Ph) y eficiencia ( $\eta$ ) en relación al caudal en la Bomba N° 1.

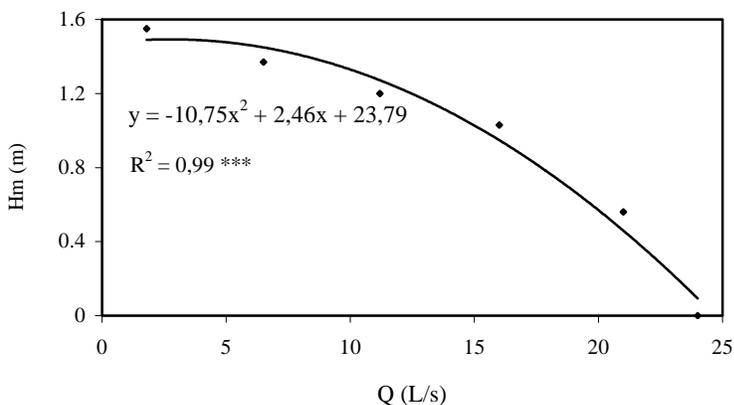


Figura 4. Carga dinámica total (Hm) en relación al caudal (Q) en la Bomba N° 2.

**Relación Ph vs Q.**

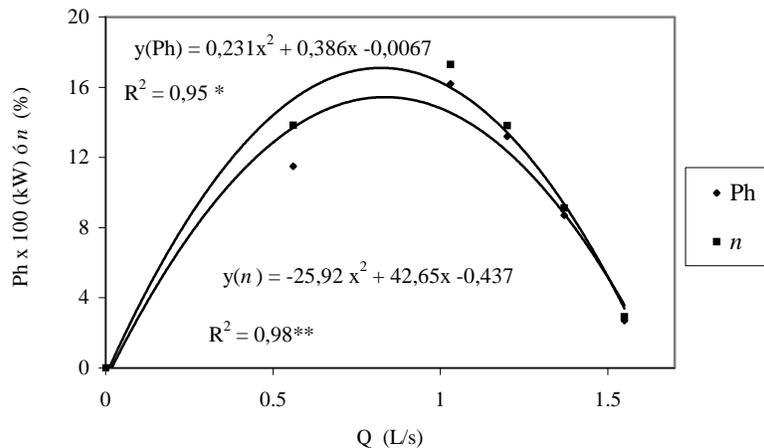
Se observa que la potencia hidráulica desarrollada aumentó proporcionalmente hasta llegar a un máximo de 0,162 Kw, y a partir de allí empieza a disminuir hasta llegar a cero (Cuadro 2). La ecuación de regresión de más ajuste a la curva Ph vs Q, es la ecuación cuadrática  $Ph = 0,231 Q^2 + 0,386 Q - 0,0067$ , con un coeficiente de determinación de 95 % y significancia a un nivel del 5% (Figura 4).

**Relación  $\eta$  vs Q.**

Se observa que la máxima eficiencia alcanzada por el sistema cuando se uso esta bomba también fue muy bajo (17,29 %), valor este que coincide con el de máxima potencia hidráulica desarrollada (Cuadro 2). La expresión matemática que más se ajusta a la curva  $\eta$  vs Q, es la ecuación  $\eta = - 25,92 Q^2 + 42,65 Q - 0,437$  que presenta un coeficiente de determinación de 98 % y significancia a un nivel del 1 % (Figura 5).

**Cuadro N° 2.** Valores de carga dinámica total caudal, potencia hidráulica desarrollada, potencia consumida y eficiencia, obtenidos con la Bomba N° 2.

Lectura	Presión de descarga Pd(m)	Presión de succión Ps(m)	Carga dinámica total Hm=Hd+Hs	Caudal Q(L/s)	Potencia Hidráulica Ph (Kw)	Potencia consumida Pc (Kw)	Eficiencia $\eta$ (%)
1	0	1,8	1,8	1,55	0,027	0,925	2,92
2	5	1,5	6,5	1,37	0,087	0,954	9,12
3	10	1,2	11,2	1,20	0,132	0,955	13,82
4	15	1,0	16,0	1,03	0,162	0,937	17,29
5	20	1,0	21,0	0,56	0,115	0,833	13,84
6	23	1,0	24,0	0	0	0,677	0



**Figura 5.** Potencia hidráulica (Ph) y eficiencia ( $\eta$ ) en relación al caudal en la Bomba N° 2.

### Operatividad del banco de pruebas.

De todos los resultados obtenidos se observa que los datos que están por debajo del nivel esperado son los de eficiencia de bombeo. La eficiencia de bombeo es igual al producto de la eficiencia de la bomba por la eficiencia del motor eléctrico, y usualmente está dentro de un rango de 40 – 70 % (Torres, 1996), dependiendo de los tipos de motor y bomba. Durante las pruebas, la máxima eficiencia obtenida fue de sólo 21,48 %, lo que podría atribuirse a una imprecisión del medidor eléctrico utilizado o a fallas en el proceso de medición.

### CONCLUSIONES

Las curvas características del sistema de bombeo probado, las cuales incluyen el caudal, presión, potencia hidráulica y eficiencia, tuvieron

la misma forma y tendencia que las curvas características normales, para bombas de este tipo.

La función matemática que dominó los modelos de las curvas Hm vs. Q y Ph vs. Q, fue la función cuadrática (polinomial de segundo grado) presentándose coeficientes de determinación comprendidos entre 94 y 99 %, los cuales siempre fueron significativos estadísticamente.

Se observó una notoria diferencia entre los valores de energía eléctrica medida con relación a los valores de energía hidráulica desarrollada. Esta incongruencia se tradujo en valores de eficiencia muy bajos.

El funcionamiento del banco de pruebas demostró que es posible diseñar y construir en forma económica y sencilla instrumentos para evaluación de equipos en los laboratorios de riego.

**LITERATURA CITADA**

1. Torres S., J. 1996. Fundamentos Hidráulicos de los Riegos a Presión. Edit. Inst. Canario de Inv. Agrarias. La Laguna, Tenerife.
2. Viejo, M. 1989. Bombas. Teorías. Diseño y Aplicaciones. 2º edición (6º reimpresión). Limusa. México.