

DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN
ARIETE HIDRAULICO

RICARDO F. RODRIGUEZ FLORES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
ABRIL DE 1996

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular
de asesoría y aprobada como requisito parcial, para
optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

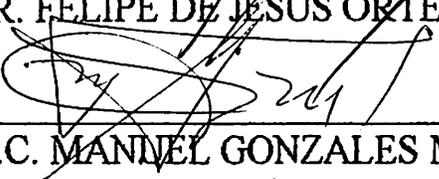
C O M I T E P A R T I C U L A R

Asesor Principal:



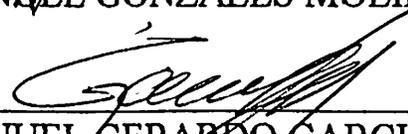
DR. FELIPE DE JESUS ORTEGA RIVERA

Asesor :



M.C. MANUEL GONZALES MOLINA

Asesor:



M.C. MANUEL GERARDO GARCIA CARDONA



DR. JESUS MANUEL FUENTES RODRIGUEZ
SUBDIRECTOR DE POSGRADO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Abril 1996.

AGRADECIMIENTOS

AL DR. FELIPE DE JESUS ORTEGA RIVERA:

- *POR HABER ENCONTRADO CON EL LA OPORTUNIDAD DE CONCLUIR SATISFACTORIAMENTE MIS ESTUDIOS DE POSTGRADO.*
- *POR SU ACERTADA ASESORIA EN LA CONDUCCION DE ESTE TRABAJO.*

AL M.C. MANUEL GONZALEZ MOLINA:

- *POR SU COOPERACION Y BUENA DISPOSICION QUE SIEMPRE A MOSTRADO HACIA MI PERSONA.*

AL M.C. MANUEL GERARDO GARCIA CARDONA:

- *POR QUE SIEMPRE A SIDO UN BUEN COMPAÑERO Y AMIGO, Y POR SU ASESORIA EN EL ASPECTO ESTADISTICO.*

A LA COMUNIDAD DE MAESTROS DEL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE:

- *POR LOS CONOCIMIENTOS QUE DE ELLOS ADQUIRI.*

A LA COMPAÑERA SECRETARIA TOÑA MARGARITA MORENO GARCIA:

- *DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS DE ESTA UNIVERSIDAD AL CUAL PERTENEZCO, POR SU GRAN LABOR Y PACIENCIA EN LA ELABORACION DEL TEXTO DE ESTA TESIS.*

DEDICATORIA

A MI PAIS, MEXICO, POR MI DEBER DE CIUDADANO.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO".

— POR TODO LO QUE DE ELLA HE RECIBIDO.

PARA LA SEÑORA ORALIA FLORES DE RODRIGUEZ, MI MADRE
CON TODO CARIÑO.

Y A TODO AQUEL SER HUMANO A QUIEN PUEDA SER DE
UTILIDAD ESTE MI HUMILDE TRABAJO.

COMPENDIO

Diseño, Construcción y Evaluación de un Ariete Hidráulico

POR

RICARDO FRANCISCO RODRIGUEZ FLORES

MAESTRIA EN

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ABRIL DE 1996

DR. FELIPE DE JESUS ORTEGA RIVERA - ASESOR -

Palabras Clave: Ariete, Carga, Gasto, Eficiencia.

El estudio se basó en la construcción y evaluación de un ariete hidráulico. El objetivo principal fue el de construir un ariete de bajo costo, con el fin de generar tecnología

propia, que se adapte a las condiciones económicas de las comunidades rurales de México. En los ensayos se condujo el agua a diferentes elevaciones y se concluyó que el ariete es eficiente bajo las condiciones en que se condujo el experimento.

Los parámetros que definen el funcionamiento hidráulico del ariete y que presentaron correlación estadística, fueron ajustados a modelos de regresión lineal algunos y potencial otros, con lo que se obtuvieron curvas características del comportamiento hidráulico de cada uno de los arietes ensayados.

Los gastos obtenidos son comparados con los que proporciona una fórmula encontrada en la literatura, obteniéndose valores muy similares en todas las pruebas, las eficiencias de bombeo fueron determinadas por dos ecuaciones que cita la literatura, en las dos se obtienen valores bastante aceptables para la mayoría de los ensayos.

ABSTRACT

Design, Construction and Evaluation of a Hydraulic Ram.

BY

RICARDO FRANCISCO RODRIGUEZ FLORES

MASTER IN SCIENCIE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, APRIL - 1996

DR. FELIPE DE JESUS ORTEGA RIVERA - ADVISOR -

Key Words: Hydraulic Ram, Delivery Head, Delivery

Discharge Efficiency

Study was based on construction and to evaluate a hydraulic ram. The main objective was to construct a low cost hydraulic ram, to create national tecnology that fit the

economic conditions of Mexican Rural communities. In tests, water was conducted at different heights and; was concluded that the hydraulic ram is efficient under the conditions the experiment was done.

The parameters which define the hydraulic function from the hydraulic ram, and presented statistics correlation were adjusted to linear regression some and power regression others and because of this, characteristic curves were obtained from hydraulic behavior of each one proved hydraulic ram.

The obtained discharges were compared with discharge proportioned by a formula found in the literatura, having very similar values in all tests.

The hydraulic ram efficiencies were determined by two equations named in the literature in these two equations there were very acceptable values for the most of tests.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCION.....	1
JUSTIFICACION SOCIOECONOMICA	1
JUSTIFICACION CIENTIFICA.....	3
HIPOTESIS	4
OBJETIVOS	4
REVISION DE LITERATURA	6
UTILIZACION DEL ARIETE HIDRAULICO EN EL SUMINISTRO DE AGUA.....	6
PRINCIPIO EN EL QUE SE BASA LA OPERA- CION DE UN ARIETE HIDRAULICO.....	8
CONSTRUCCION DE UN ARIETE HIDRAULICO	10
FUNCIONAMIENTO DE UN ARIETE HIDRAULICO	14
EFICIENCIA DEL ARIETE HIDRAULICO.....	20
MATERIALES Y METODOS.....	22
LOCALIZACION DEL AREA DE TRABAJO	22
SELECCION DEL LUGAR PARA LA INSTALACION.....	22
MATERIALES	23
METODOS.....	35
RESULTADOS	43
DISCUSION.....	48
DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS	48
EFICIENCIAS DE BOMBEO	70

CONCLUSIONES.....	91
RESUMEN.....	95
LITERATURA CITADA	98
APENDICES	100
APENDICE A	101
APENDICE B	103
APENDICE C	105
APENDICE D	107
APENDICE E	109

INDICE DE CUADROS

CUADRO	Página
3.1	IDENTIFICACION DE LAS PRUEBAS ENSAYADAS (1a. POSICION)..... 35
3.2	IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS COTAS PARA LAS PRUEBAS 1 Y 2..... 38
3.3	IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS COTAS PARA LAS PRUEBAS 3,4,5,6..... 38
3.4	IDENTIFICACION DE LAS PRUEBAS ENSAYADAS (2a. POSICION)..... 40
3.5	IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS COTAS PARA LAS PRUEBAS 7, 8..... 41
4.1	CARGA MAXIMA EN LA CAMARA DE PRESION CON LA LINEA DE DESCARGA CERRADA A LA SALIDA DEL ARIETE, PARA LAS PRIMERAS SEIS PRUEBAS 43
4.2	CARGA MAXIMA EN LA CAMARA DE PRESION, CON LA LINEA DE DESCARGA CERRADA EN LA SALIDA DEL ARIETE PARA LAS PRUEBAS SIETE Y OCHO 43
4.3	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 1 ARIETE 1a..... 44
4.4	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 2 ARIETE 1b..... 45
4.5	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 3 ARIETE 2a..... 45
4.6	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 4 ARIETE 2b..... 45

CUADRO	Página	
4.7	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 5 ARIETE	
	3a.....	46
4.8	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 6 ARIETE	
	3b.....	46
4.9	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 7 ARIETE	
	J3a	46
4.10	RESULTADOS DE CAMPO PRUEBA 8 ARIETE	
	J3b	46
4.11	CAPACIDADES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DEL ARIETE.....	47
5.1	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 1 ARIETE 1a	73
5.2	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 2 ARIETE 1b	73
5.3	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 3 ARIETE 2a	74
5.4	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 4 ARIETE 2b	74
5.5	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 5 ARIETE 3a	74
5.6	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 6 ARIETE 3b	74
5.7	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 7 ARIETE J3a	75
5.8	COMPARACION GASTO MEDIDO - GASTO CALCULADO PRUEBA 8 ARIETE J3b.....	75
5.9	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 1, ARIETE 1a.....	76

CUADRO		Página
5.10	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 2, ARIETE 1b	76
5.11	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 3, ARIETE 2a.....	76
5.12	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 4, ARIETE 2b	76
5.13	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 5, ARIETE 3a.....	76
5.14	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 6, ARIETE 3b	76
5.15	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 7, ARIETE J3a	76
5.16	EFICIENCIA EN PORCIENTO PRUEBA 8, ARIETE J3b	76
5.17	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 1, ARIETE 1a.....	82
5.18	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 2, ARIETE 1b.....	82
5.19	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 3, ARIETE 2a.....	82
5.20	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 4, ARIETE 2b.....	82
5.21	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 5, ARIETE 3a.....	82
5.22	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 6, ARIETE 3b.....	82
5.23	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 7, ARIETE J3a.....	87
5.24	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA PRUEBA 8, ARIETE J3b	87

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		Página
2.1	INSTALACION TIPICA DE UN ARIETE HIDRAULICO	11
2.2	CARTAS CARACTERISTICAS PARA LA SELECCION DE UN ARIETE HIDRAULICO (KITANI 1984).....	18
2.3	CARTAS CARACTERISTICAS DEL FUNCIO- NAMIENTO HIDRAULICO DE UN ARIETE (KITANI 1984).....	18
3.1	DEPOSITO DE SUMINISTRO.....	25
3.2	CAJA DE VALVULAS, PRUEBAS 1 A LA 6	27
3.3	CAMARA DE PRESION UNO	29
3.4	CAMARA DE PRESION DOS.....	30
3.5	CAMARA DE PRESION TRES	31
3.6	VALVULA DE GASTO a.....	33
3.7	VALVULA DE GASTO b.....	34
3.8	CAJA DE VALVULAS "J" PRUEBAS 7, 8	36
5.1	CURVAS CARCTERISTICAS h-q, ARIETE 1a, 1b.....	49
5.2	CURVAS CARCTERISTICAS h-q, ARIETE 2a, 2b.....	50
5.3	CURVAS CARCTERISTICAS h-q, ARIETE 3a, 3b.....	51
5.4	CURVAS CARCTERISTICAS h-q, ARIETE J3a, J3b	52
5.5	CURVAS CARACTERISTICAS h/H-q/Q ARIETE 1a, 1b.....	55
5.6	CURVAS CARACTERISTICAS h/H-q/Q ARIETE 2a, 2b.....	56
5.7	CURVAS CARACTERISTICAS h/H-q/Q ARIETE 3a, 3b.....	57
5.8	CURVAS CARACTERISTICAS h/H-q/Q ARIETE J3a, J3b.....	58

FIGURA		Página
5.9	CURVAS CARACTERISTICAS $h/H-Ef, q/Q-Ef$ ARIETE 1a, 1b	60
5.10	CURVAS CARACTERISTICAS $h/H-Ef, q/Q-Ef$ ARIETE 2a, 2b	61
5.11	CURVAS CARACTERISTICAS $h/H-Ef, q/Q-Ef$ ARIETE 3a, 3b	62
5.12	CURVAS CARACTERISTICAS $h/H-Ef, q/Q-Ef$ ARIETE J3a, J3b.....	63
5.13	CURVAS CARACTERISTICAS $h/H-Re, q/Q-Re$ PARA LOS CUATRO ARIETES.....	65
5.14	CURVAS CARACTERISTICAS $h/H-Fr, q/Q-Fr$ PARA LOS CUATRO ARIETES.....	66
5.15	CURVAS CARACTERISTICAS $q/Q-h/H, q/Q-Ef$ PARA LOS CUATRO ARIETES.....	68
5.16	CURVAS CARACTERISTICAS $h-q/Q$ PARA LOS CUATRO ARIETES	69
5.17	CURVAS CARACTERISTICAS $Q-Re, q-Re$ PARA LOS CUATRO ARIETES	71
5.18	CURVAS CARACTERISTICAS $q/Q-Re$ PARA LOS CUATRO ARIETES	72
5.19	EFICIENCIA DE BOMBEO, ARIETE 1a, 1b	77
5.20	EFICIENCIA DE BOMBEO, ARIETE 2a, 2b	78
5.21	EFICIENCIA DE BOMBEO, ARIETE 3a, 3b	79
5.22	EFICIENCIA DE BOMBEO, ARIETE J3a, J3b.....	80
5.23	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA EN PORCIENTO ARIETES 1a, 1b.....	83
5.24	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA EN PORCIENTO ARIETES 2a, 2b.....	84
5.25	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA EN PORCIENTO ARIETES 3a, 3b.....	85

FIGURA		Página
5.26	RELACION GASTO DESPERDICIO - GASTO ENTREGA EN PORCIENTO ARIETES J3a, J3b	86
5.27	CURVAS CARACTERISTICAS $Q(\text{lt/seg})-q(\text{lt/hr})$ Y $h/H-q(\text{lt/hr})$ VALVULAS "a".....	88
5.28	CURVAS CARACTERISTICAS $Q(\text{lt/seg})-q(\text{lt/hr})$ Y $h/H-q(\text{lt/hr})$ VALVULAS "b".....	89
5.29	RELACION $Q(\text{lt/seg})-q(\text{lt/hr})$ PARA DIFERENTES PROPORCIONES DE h/H	90

INTRODUCCION

Los trabajos concernientes al abastecimiento de agua son tarea cotidiana del hombre en todos los países. Los arietes hidráulicos han sido usados desde el siglo XVIII para bombear agua sin uso de energía exterior. Estos aparatos bombean agua continuamente produciendo miles de litros, la simplicidad de su operación hace que su construcción sea económica y fácil de hacer.

En México su uso es relativamente desconocido, sin embargo existen muchos sitios donde su aplicación es posible, y donde resolvería un problema tan importante como lo es el abastecimiento para consumo humano.

Justificación Socioeconómica

En el momento actual que vivimos en que nuestro país atraviesa por una aguda crisis económica a nivel nacional, todos los mexicanos y principalmente quienes vivimos y trabajamos en el sector oficial, tenemos el

deber de economizar al máximo los recursos disponibles y encontrar tecnología propia, haciendo uso de tanto material e infraestructura que tenemos la costumbre de considerar como de desecho, obsoleto y sin utilidad.

En la actualidad en el medio rural existen comunidades, donde uno de los problemas cotidianos es el abastecimiento de agua, estas comunidades hacen uso de riachuelos, arroyos o pequeñas fuentes que se encuentran a distancias considerables teniendo que transportar el agua que utilizan en diversas tareas, es aquí donde el uso de un ariete hidráulico ayudaría grandemente a solucionar este problema, dado que en la mayoría de estos lugares el recurso económico es escaso, y todo aquello que ahorre dinero y sea de utilidad es preciso desarrollarlo.

Este trabajo se planeo desde su principio en desarrollar un ariete hidráulico con el menor gasto posible, una gran parte del trabajo se desarrollo en forma empírica la mayoría de los materiales utilizados en su construcción eran ya usados o sobrantes y otros se consideraban sin utilidad. Tanques, tubos, accesorios, resortes, tapones de tanque, vástagos

roscados así como también coples, abrazaderas, etc. fue el material con que se estructuro este trabajo.

Un ariete hidráulico es un dispositivo que se usa para bombear agua, utilizando la energía potencial que esta tiene, no requiere de energía eléctrica ni calorífica. Esto lo hace muy económico, su uso es factible en los lugares donde existen fuentes permanentes de agua y la topografía presente las características necesarias para su operación. En estos casos un ariete instalado y con una línea de conducción de agua permanente será de gran utilidad ya que permitirá tener un flujo constante del preciado líquido, y evitara el tener que desplazarse hasta la fuente de agua ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo.

Justificación Científica

Desde un punto de vista científico un ariete hidráulico se justifica al analizar la mecánica de fluidos, y principalmente el fenómeno del golpe de ariete. Es bien sabido que este fenómeno produce un incremento en la presión en el punto donde este ocurre, lográndose al mismo tiempo una ganancia de energía, con la cual y a través del ariete se logra elevar el agua

a cotas superiores a aquella en que se encuentra la fuente de abastecimiento. El golpe de ariete es en este caso un fenómeno útil que podemos utilizarlo para nuestro provecho haciendo uso del conocimiento que ya tenemos de el.

Hipótesis

- Pueden existir diferencias significativas en el volumen de la cámara de presión, sin afectar significativamente, la presión en esta, así como en el gasto de entrega.
- Mayor área de salida del agua en la válvula de desperdicio, provocara mayor presión en la cámara de aire.
- Reducir el volumen de la caja de válvulas, incrementando la longitud de tubería de impulso y la carga hidráulica de suministro (hs) y obtener resultados satisfactorios.

Objetivos

- Construcción de un ariete de bajo costo con el fin de generar tecnología nacional que se adapte a las condiciones económicas de las comunidades rurales de México.

- Evaluarlo en la practica, demostrando su funcionamiento y capacidad de operación para el bombeo de agua.
- Contar con un ariete hidráulico para dar apoyo de practicas de materias de ingeniería.

REVISION DE LITERATURA

Utilización de un ariete hidráulico en el Suministro de Agua

Salvat et al (1969) menciona que un ariete hidráulico es una máquina para elevar agua utilizando el movimiento oscilatorio producido por una columna del mismo líquido, menciona que el ariete hidráulico fue inventado por Montgolfier en 1796 y consiste en un depósito con un tubo de desagüe, que al interrumpir el flujo de agua, el impulso de la columna líquida se transforma en una elevada presión hidráulica llamada golpe de ariete, el cual eleva por un tubo secundario una pequeña cantidad de agua a una altura superior a la del depósito.

Schafer (1959) recomienda el uso de los arietes en los lugares que presentan las características adecuadas, siendo posibles con el uso de éstos, elevar el agua sin tener gastos de energía de la que se tiene un costo económico por aplicación directa del teorema del impulso.

Krol (1976) recomienda que el uso de los arietes debe ser de forma automática desde su arranque y operación, con el fin de minimizar el trabajo de operación.

De Parres (1977) menciona que los arietes hidráulicos son usados en el suministro de agua en casas habitación, factorías, tanques de almacenamiento, etc. el agua puede ser tomada desde un depósito regulador, o directamente de la tubería de distribución. Como el ariete trabaja en forma continua, es conveniente contar con un depósito almacenador que acumule agua durante los períodos en que la demanda es pequeña, o nula, de esta forma se cuenta con agua en todo momento.

Kitani (1984) menciona que los arietes hidráulicos han sido utilizados desde el siglo XVIII para el suministro de agua, sin el uso de energía exterior. Aun con la simplicidad del dispositivo, y su bajo costo de operación no han sido usados ampliamente en el riego, particularmente su uso en riego por aspersión a sido desatendido.

Kitani (1984) describe el uso de ariete hidráulico en estudios de campo, con un sistema de aspersión SIDE-ROLL en el riego de 24.3 Ha de

pastos. Menciona que cuatro arietes hidráulicos unidos en paralelo han sido usados desde 1976 para obtener presiones y volúmenes de agua lo suficientemente grandes para abastecer un sistema por aspersión. De los resultados de este estudio se concluyó que los arietes hidráulicos pueden ser efectivamente usados para proveer presión y volúmenes de agua adecuados en la operación de un sistema de riego por aspersión.

Gómez (1983) hace mención que en el área de ingeniería del CIAGOC-SARH, se ha fabricado un tipo de ariete hidráulico basado en un modelo extranjero. Estos arietes se han usado en goteo como equipo de bombeo, su funcionamiento es aceptable debido a que en el área de influencia de CIAGOC se presentan las condiciones topográficas necesarias para la operación de los arietes, se menciona también el uso de un ariete hidráulico en una localidad del estado de Veracruz con mas de 20 años en operación.

Principio en que se Basa la Operación de un Ariete Hidráulico

King (1962) denomina golpe de ariete a la presión dinámica que se crea en una tubería al detenerse súbitamente el flujo, y se produce por la

transformación de energía cinética a energía de presión.

Azevedo (1975) denomina golpe de ariete al choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto forzado cuando el movimiento del líquido es modificado bruscamente, consiste en la sobre presión que las tuberías reciben cuando se cierra una válvula. La fuerza con que el agua esta animada se convierte en trabajo, dando en las paredes de la tubería presiones superiores a la carga inicial.

Kitani (1984) describe la operación del ariete hidráulico de la siguiente forma: Cuando las válvulas se encuentran en estado estático, la presión agua arriba de la válvula de distribución es la presión de alimentación, cuando se abre la válvula de gasto ocurre un flujo a través de la tubería de alimentación y toda el agua escapa por la válvula de gasto, hasta que el flujo acelera a cierta velocidad, tiempo en el cual, la fuerza hidráulica del flujo cierra repentinamente la válvula, ésto provoca el golpe de ariete generando una brusca elevación de la presión. La magnitud de la elevación de la presión en la caja de válvulas y en la tubería de entrega, es proporcional al cambio de velocidad en la tubería de alimentación. Durante un ciclo de operación al cerrarse la válvula de gasto y elevarse la presión en

la caja de válvulas, por el efecto del golpe de ariete, se abre la válvula de distribución - válvula de flujo unidireccional - permitiendo el paso de agua a la cámara de aire comprimiendo a este y consiguiendo con ésto obtener presión para elevar el agua por la tubería de distribución. Cuando cesa el efecto del golpe y baja la presión en la cámara, la válvula de distribución se cierra nuevamente, la válvula de gasto se abre por efecto de su mecanismo de apertura, repitiéndose automáticamente el ciclo con una frecuencia que depende del ajuste en el mecanismo de apertura y cierre. La apertura de la válvula de gasto es posible sólo cuando la presión en la caja de válvulas llega a ser menor que el ajuste del cierre de la válvula, esta baja presión en la caja de válvulas es inducida por las ondas de agua que viajan desde el ariete hasta la cámara de oscilación, después de que ocurre el golpe de ariete.

Construcción de un Ariete Hidráulico

Parres (1977), y Kitani (1984) coinciden que el ariete hidráulico consiste como se muestra en la Figura 2.1. de una tubería que conecta al ariete con el depósito de alimentación, una caja de válvulas con dos válvulas de funcionamiento automático de tipo Check, una de gasto o impulso que

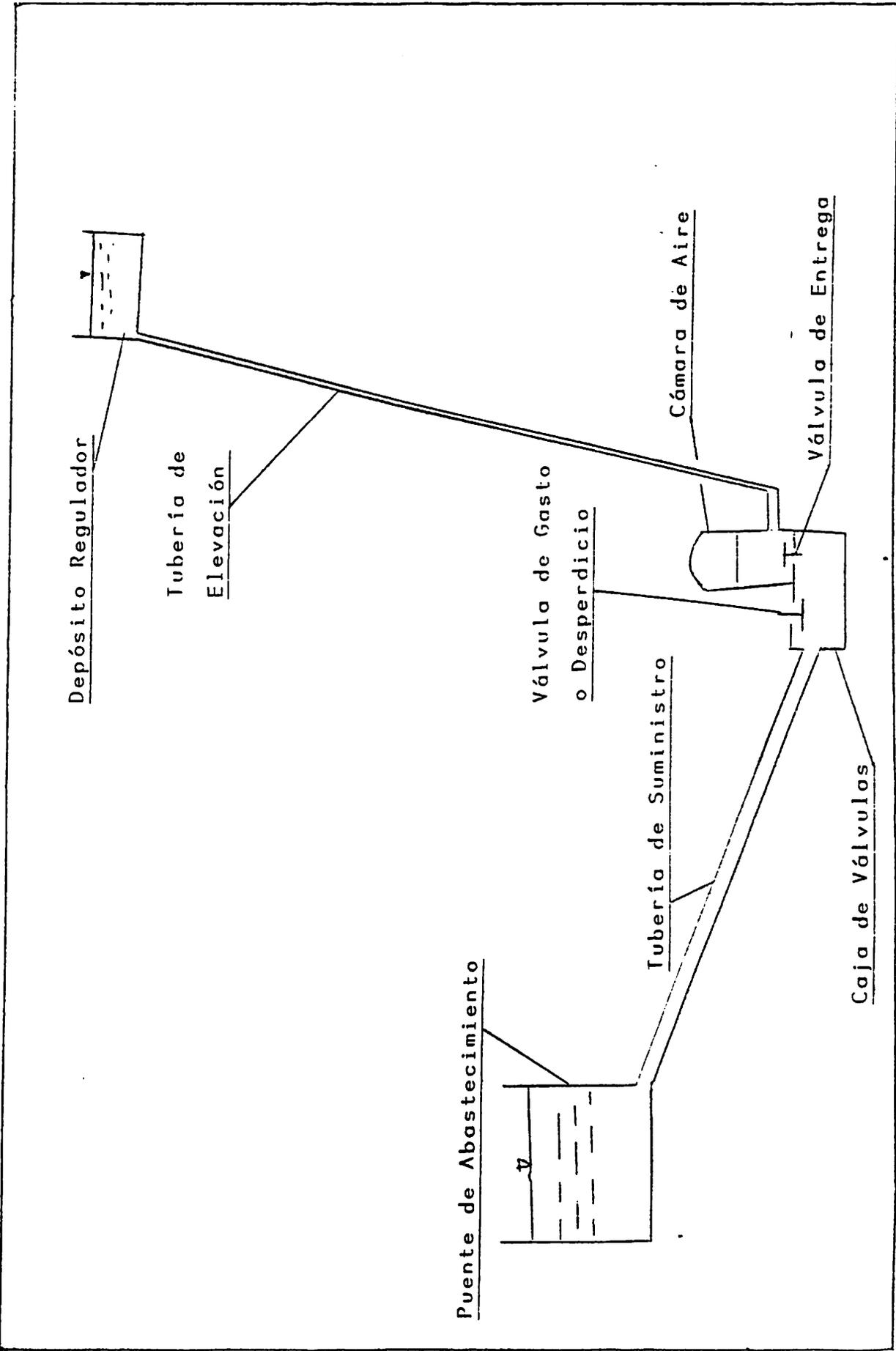


FIGURA 2.1. Instalación típica de un ariete hidráulico

abre hacia abajo y otra de distribución o descarga que abre hacia arriba, y que conecta con una cámara de aire o cámara de presión en la cual está conectada la tubería de elevación o distribución del agua.

Rojas (1991) menciona que el manual de cierta fábrica proporciona información sobre las condiciones generales para la instalación de un ariete siendo necesario tomar en cuenta lo siguiente:

Caudal de Agua Disponible.

Es una medición que sirve para seleccionar el modelo de bomba y para calcular la cantidad de agua que se podrá elevar.

Caída Vertical.

La diferencia de altura entre los niveles de la fuente de agua y el sitio de ubicación del ariete se conoce como caída o carga de alimentación. El ariete eleva una mayor proporción de agua si la caída es una tercera parte de la altura de la descarga. Esta condición es difícil de conseguir, pero siempre se debe procurar que la caída sea lo mayor posible, aunque se tenga

que modificar el cause de la corriente por medio de tubería o canal con pendiente mínima, desde la fuente hasta la entrega a la tubería de impulso, donde se debe construir un depósito de alimentación.

Altura de Descarga (Presión o Carga de Descarga).

Es la altura a la cual se elevara el agua desde la ubicación del ariete.

Longitud de la Tubería de Impulso.

La tubería de impulso es una parte importante en la instalación, ya que además de conducir líquido de la fuente al ariete, soporta la presión original en el golpe de ariete. Debe de ser metálica generalmente de fierro galvanizado, recta sin codos y del mismo diámetro que la admisión del ariete, debe instalarse herméticamente sellada y bien anclada, con un filtro en la entrada para evitar la admisión de desechos. Para iniciar el funcionamiento, o para el equipo se ha de colocar una válvula de compuerta (llave de paso) en la conexión entre la bomba y la tubería de impulso.

La longitud de la tubería de impulso es muy importante en la instalación del ariete, pues es la que permite la transmisión de las presiones ondulatorias del agua provocadas en cada golpe de ariete, y que no se interrumpa el movimiento cíclico de la bomba. Se selecciona aproximadamente usando una longitud igual a 500 veces el diámetro de ella misma, o longitud a 2.5 veces la carga de alimentación, el ariete trabaja perfectamente si la tubería tiene cualquiera de las longitudes anteriores.

Longitud de la Tubería de Distribución.

A diferencia de la tubería de impulso, ésta puede ser de cualquier material siempre que resista la presión del agua. Por último se recomienda la conveniencia de instalar en esta tubería y cerca del ariete una válvula check, y entre esta y la bomba una válvula de compuerta, la primera para evitar el retroceso del agua y la segunda para facilitar el inicio de operación.

Funcionamiento del Ariete Hidráulico

De Parres (1977) cita información técnica de cierto fabricante, basada en tablas que relacionan tamaño, diámetro de alimentación,

diámetro de entrega, gastos de alimentación y entrega. El gasto de entrega puede ser estimado por medio de la fórmula:

$$Q = \frac{1800 \text{ qh}}{hd}$$

DONDE:

Q = Caudal de entrega (lt./Hr).

q = Caudal de alimentación (lt./s).

h = Carga de alimentación (m)

hd = Carga de entrega (m)

Proporciona también información sobre la instalación, la cual se puede resumir en lo siguiente:

- La altura de descarga o entrega debe ser de cinco a doce veces la altura de alimentación.
- La longitud de la tubería alimentadora es conveniente que sea de cinco a diez veces la altura de alimentación.
- La altura de alimentación mínima no debe de ser menor de 60 cm.

Azevedo (1975) menciona que la caída aprovechable no deberá ser menor de un metro, recomienda una altura de elevación de entre seis y doce veces la altura de la caída, desde el manantial hasta el dispositivo. La tubería de suministro debe ser rectilínea con diámetro mayor a la de elevación. La cantidad de agua que puede ser elevada se expresa por la ecuación:

$$q = \frac{Qhn}{H}$$

DONDE:

q = Gasto de entrega (lt/min)

Q = Gasto de suministro (lt/min)

h = Caída o carga de suministro (m)

H = Desnivel -Ah- entre ariete y punto de descarga o entrega (m)

n = Eficiencia del dispositivo

La tubería de suministro debe de satisfacer las siguientes relaciones:

$$L \geq 1.0 H$$

$$L > 5h$$

$$L < 10h$$

$$L > 8 \text{ m}$$

$$L < 75 \text{ m}$$

L = Longitud de Tubería de Suministro

Kitani (1984) menciona la necesidad de obtener información sobre el funcionamiento hidráulico de los arietes, y proporciona información contenida en cartas de diseño, que son similares a las curvas características de las bombas centrifugas una de ellas mostrada en la Figura 2.2, relaciona la altura de suministro (h) en la ordenada interceptándola con la carga de entrega (h_d) deseada, con esta carga de diseño se obtiene de manera aproximada el porcentaje de agua entregada y el tipo de ariete necesario. En la segunda carta de diseño Figura 2.3, se relacionan carga de suministro (h), carga de entrega (h_d), gasto de suministro (q) y gasto de entrega (Q), en esta carga de diseño se puede estimar cualquiera de estos parámetros con el conocimiento previo de tres de ellos mismos. Estas cartas de diseño si son usadas en arietes de un fabricante diferente debe de ser únicamente para inferir. Lo correcto es que cada fabricante genere sus propias cartas de información con el fin de determinar con mayor precisión el tipo y tamaño de ariete a utilizar.

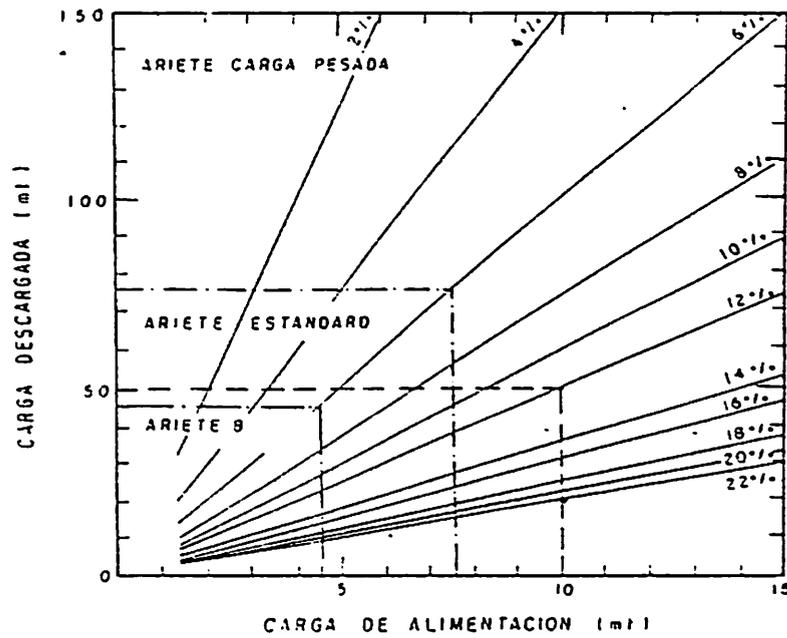


FIGURA 2.2. Cartas Características para la selección de un ariete hidráulico. Kitani (1984)

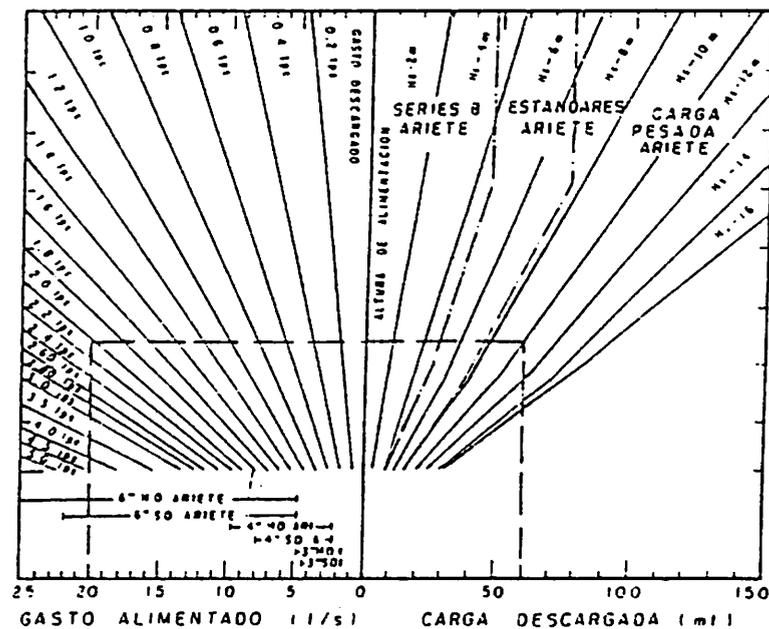


FIGURA 2.3. Cartas Características del funcionamiento hidráulico de un ariete. Kitani (1984)

Kitani (1984) propone que para la instalación del ariete, se cumplan las siguientes normas:

- Para operar en forma continua se recomienda conservar una proporción ≥ 2 en la relación carga de entrega/carga de suministro (hd/h), proporciones mayores a este valor indican que el ariete dará en la entrega un incremento de carga hidráulica con decremento del gasto, en los casos menores de dos en esta relación el ariete no puede ser operado.
- La longitud de la tubería de suministro debe ser: de 150 a 1000 veces el diámetro de la tubería, o seis a doce veces la carga de suministro (h), y el material debe de ser fierro para soportar el golpe de ariete.

Schafer (1959) menciona que para determinar el rendimiento del ariete es importante el tiempo que tarda en llenarse la tubería de suministro hasta que alcanza la velocidad (uv) necesaria para que cierre la válvula de gasto y se provoque el golpe de ariete. Schafer propone la formula siguiente para calcular el tiempo llenado.

La ecuación es:

$$T_a = 5 \sqrt{\frac{L_u D_u}{h_u}}$$

Los parámetros de esta ecuación:

DONDE:

T_a = Tiempo de llenado de la tubería (seg)

L_u = Longitud de la tubería (m)

D_u = Diámetro de la tubería (m)

h_u = Carga de suministro (m)

Eficiencia de el Ariete Hidráulico

De Parres (1977), y Kitani (1984) describen dos fórmulas de origen empírico para estimar de eficiencia de los arietes. Fórmula de D' AUBISSON'S (1) y fórmula de Rankine's (2):

$$ef = \frac{q_d h_d}{(Q_w + q_d) H_s} = \frac{q_d h_d}{Q_s H_s} \text{-----(1)}$$

$$ef = \frac{q_d (h_d - H_s)}{Q_w H_s} \text{-----(2)}$$

DONDE:

E_f = Eficiencia del ariete

q_d = Gasto de entrega (lpm)

h_d = Carga de entrega (m)

Q_w = Gasto de desperdicio (lpm)

H_s = Carga de suministro (m)

Q_s = Gasto de suministro = $(Q_w + q_d)$ (lpm)

La fórmula (2) proporciona eficiencias ligeramente mayores que (1). Kitani hace mención que la máxima eficiencia esperada es de 60 por ciento con la fórmula de D'AUBISSON'S, aunque recientemente durante la década de los 80's esta eficiencia fue mejorada llegando al 80 por ciento.

De Parres (1977) menciona que las causas que limitan la eficiencia de los arietes en menos de 75 por ciento, son pérdidas por fricción y locales en la tubería de suministro.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Área de Trabajo.

El presente trabajo se realizó durante los meses de enero a octubre de 1995 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicadas en Buenavista, Saltillo, Coah. La UAA”AN” se encuentra a siete km al sur de esta ciudad, por la carretera federal 54, la situación geográfica del lugar es 25 22’ latitud norte y 101 00’ longitud oeste, se encuentra a una altitud de 1742 metros sobre el nivel del mar.

Selección del Lugar para la Instalación

Se seleccionó un lugar, que se adecuara a las necesidades de pendiente topográfica, y facilitara el aprovechamiento del caudal que se derrama por la válvula de alivio, y a la vez también, que estuviese cercano a un dispositivo permanente de agua. El lugar seleccionado fue a un costado del camino al “Bajío” en el extremo aguas arriba de un pequeño canal, y paralelo a este, el cual conduce agua a un depósito pila grande, de

almacenamiento, de la que se toma el agua para diferentes trabajos y prácticas dentro de la Universidad. En el apéndice A se muestra un croquis respectivo.

La fuente de abastecimiento fue un depósito permanente el cual se usa como almacenador y derivador de agua a través del mencionado canal, durante la temporada de riegos para el área de cultivos de “El Bajío” de esta Universidad.

Materiales

Instalación Hidráulica.

Los elementos que formaron la instalación hidráulica fueron: depósito metálico, tubería de suministro, ariete hidráulico con sus accesorios - válvulas, manómetros y línea de descarga.

El caudal de abastecimiento al depósito de la instalación, se hizo con poliducto de una pulgada, por medio de sifón y con válvulas de paso en su extremo final para su control. El depósito metálico consta de dos tanques

de 220 litros de capacidad cada uno, un total de 0.44m^3 de volumen. Los dos tanques se soldaron en disposición vertical, Figura 3.1, este depósito sirvió, tanto como cámara de oscilación, como para elevar la carga de suministro. La tubería de suministro o de impulso como también se le conoce, une al depósito con el ariete, su longitud fue de 28.75 m. para la primera posición y de 66.15 para la segunda posición, su diámetro de dos pulgadas y el material fierro galvanizado. El ariete esta constituido por una caja de válvulas que es donde se concentra la tubería de suministro, y una cámara de presión unidas las dos por una válvula de flujo unidireccional-check, la descripción de estas dos partes del ariete se da mas adelante. Como línea de descarga se uso poliducto de una pulgada de diámetro, se hizo necesario en esta línea de entrega el uso de coples, tes y válvulas de tubería hidráulica, éstas ultimas para usarse en el purgado de la manguera conforme aumentaba la distancia y la diferencia de nivel desde el ariete a los puntos seleccionados para la entrega. La longitud del poliducto de entrega vario según la distancia de la cota de descarga. Los manómetros usados fueron tipo de bourdon, uno en pies columna de agua y el otro en kg/cm^2 . En el apéndice B se anexa un cuadro de costos de estos materiales.

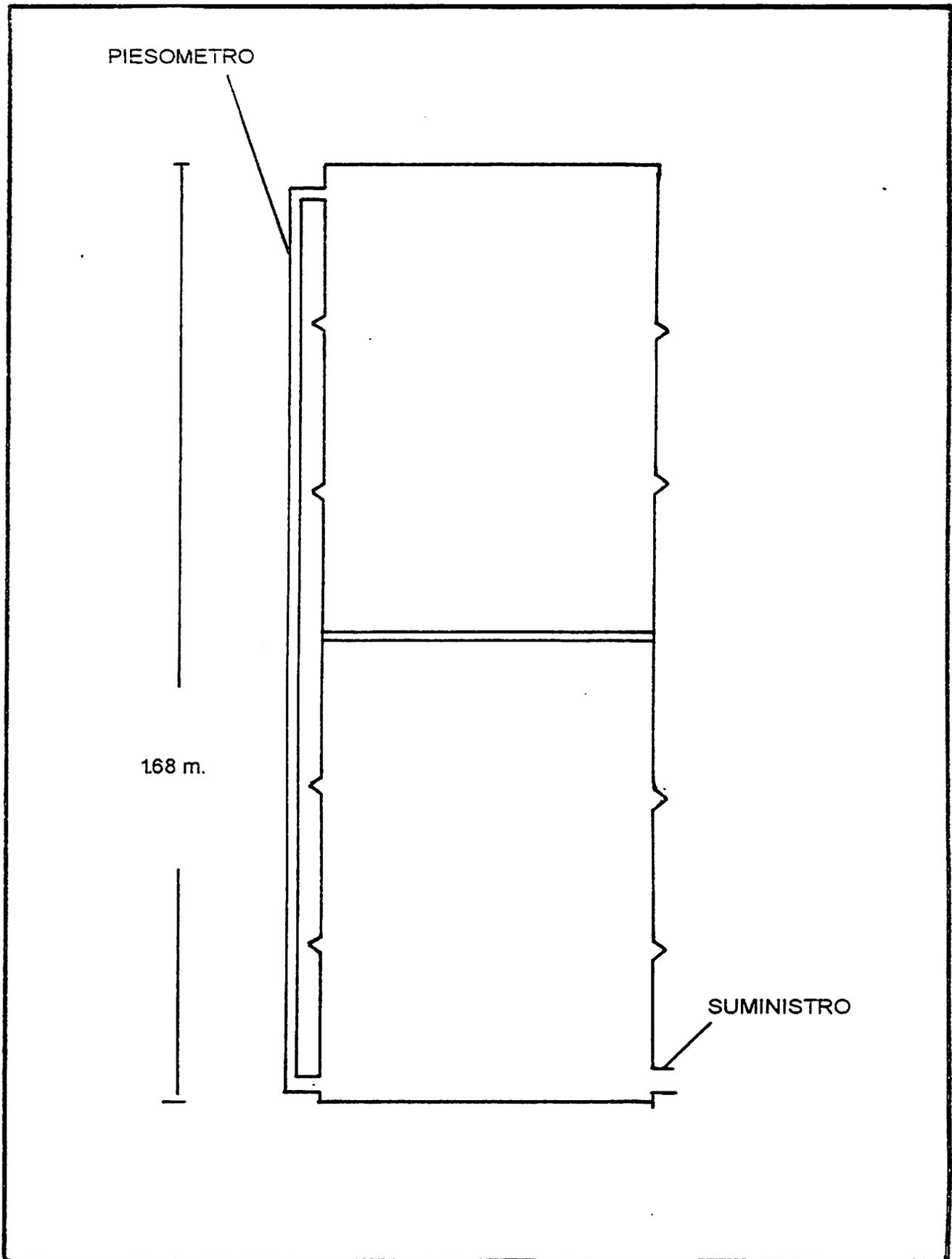


FIGURA 3.1. Depósito de Suministro

Descripción del Ariete Utilizado.

El estudio hidráulico se concentró para las primeras seis pruebas (primera posición del ariete) sobre la cámara de compresión y la válvula de alivio, la caja de válvulas en estas pruebas fue la misma en todas ellas Figura 3.2. su descripción es la siguiente: Tubería de fierro de ocho pulgadas de diámetro con cédula espesor de $7/32$ de pulgada, longitud de un metro cople soldado de dos pulgadas en un extremo para entrada de tubería de suministro, en su parte superior cople y niple de dos pulgadas soldados el primero para entrada de válvula de alivio y el segundo para unir con válvulas de distribución y cámara de compresión.

Cámara de Compresión.

Se evaluaron tres cámaras de presión que se identificaron como uno, dos, tres, y la diferencia principal entre ellas fue referente a su capacidad. La descripción de cada una de ellas se da a continuación.

Cámara Uno. Tubo de fierro de ocho pulgadas de diámetro (29.32 cm) similar al usado en la caja de válvulas, de 70 cm de largo, acoplamiento

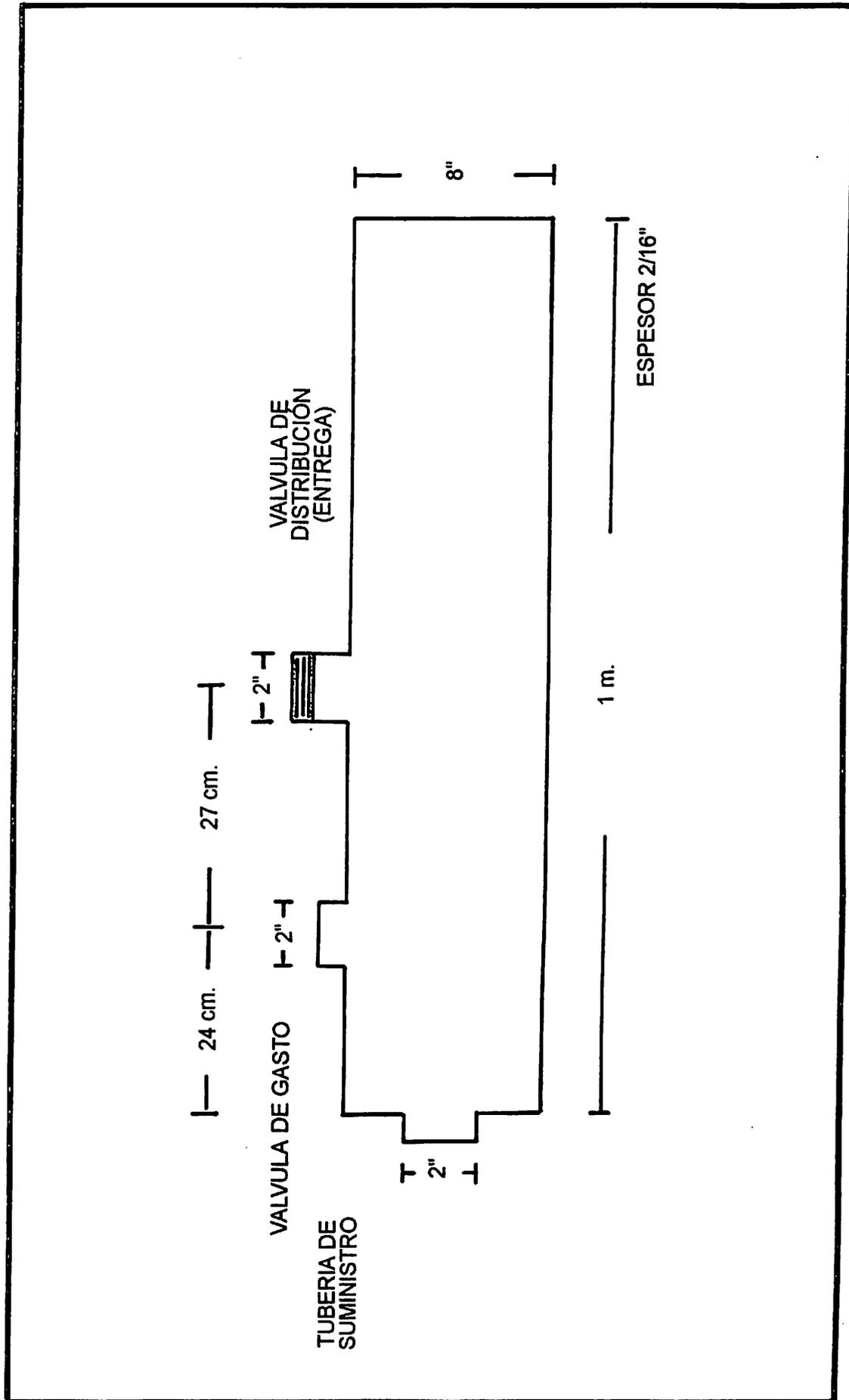


FIGURA 3.2. Caja de válvulas, pruebas uno a la seis

de tres octavos de pulgada para manoteo, niple soldado en un extremo para acoplamiento con válvula de distribución. Volumen de 1385 pulgadas cúbicas, 22.7 litros de capacidad, y con salidas de un cuarto de pulgada en sus extremos para piezómetro, tubo de tres cuartos de pulgada de salida a la entrega (Figura 3.3).

Cámara Dos. Tubo de fierro galvanizado de dos pulgadas de diámetro 5.08 cm, de 5/32 de pulgada de espesor, 80 cm de largo, acoplamiento de 3/4 de pulgada para manoteo, tubo de 3/4 de pulgada de salida a la entrega. Volumen de 98.94 pulgadas cúbicas 1,621 litros, salidas de 1/4 de pulgadas en sus extremos para piezómetro.(Figura 3.4).

Cámara Tres. Tubo galvanizado de dos pulgadas de diámetro (5.08 cm), de 5/32 de pulgadas espesor, 40cm de largo, acoplamiento de 3/8 de pulgada para manómetros, tubo de 3/4 de pulgada de salida a la entrega. Volumen de 49.47 pulgadas cúbicas (0.81 litros de capacidad) sin piezómetro. (Figura 3.5).

Válvulas: Las válvulas de gasto fueron otro de los elementos de estudio, estas fueron dos y son identificadas por las letras a y b, el

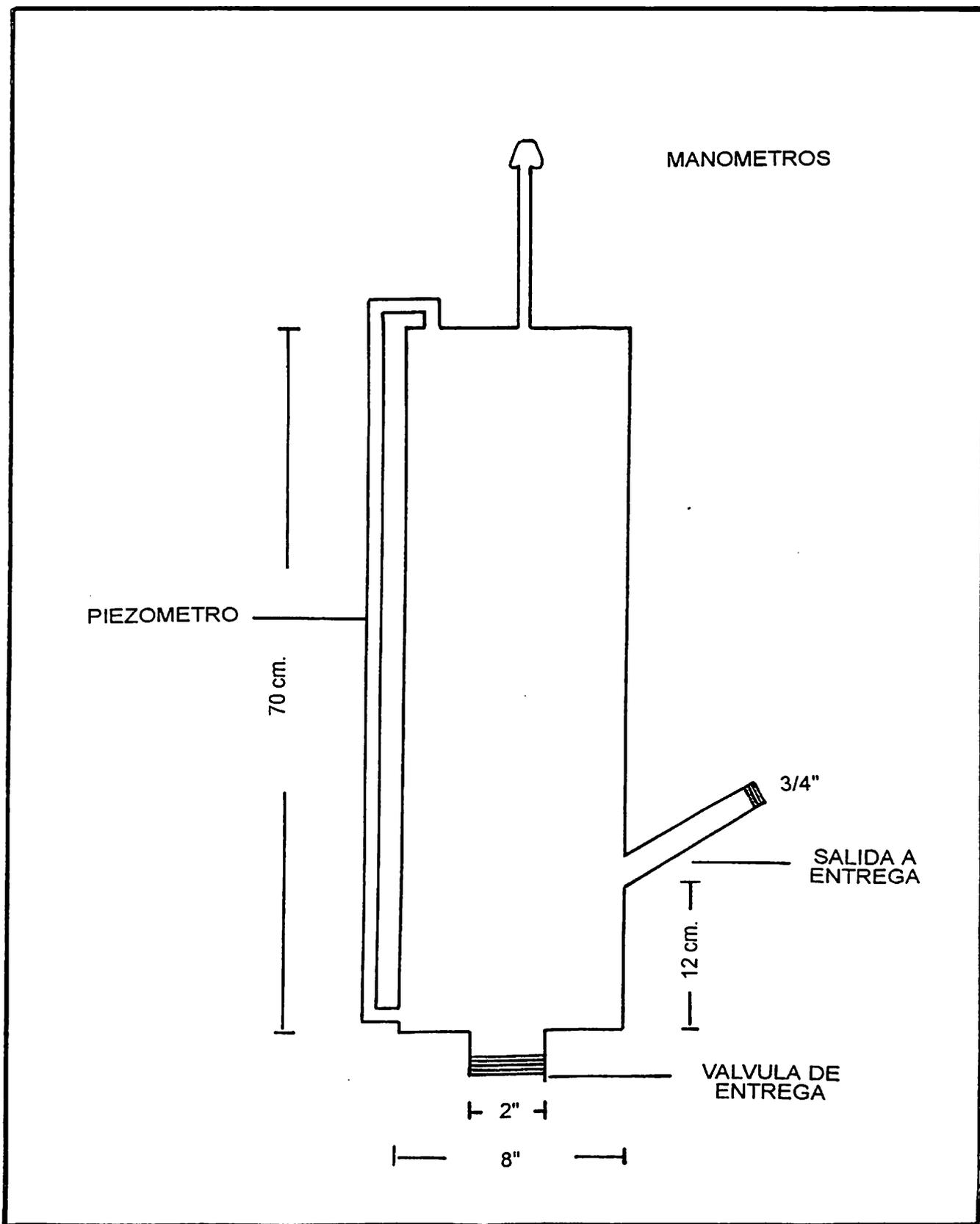


FIGURA 3.3. Cámara de presión uno

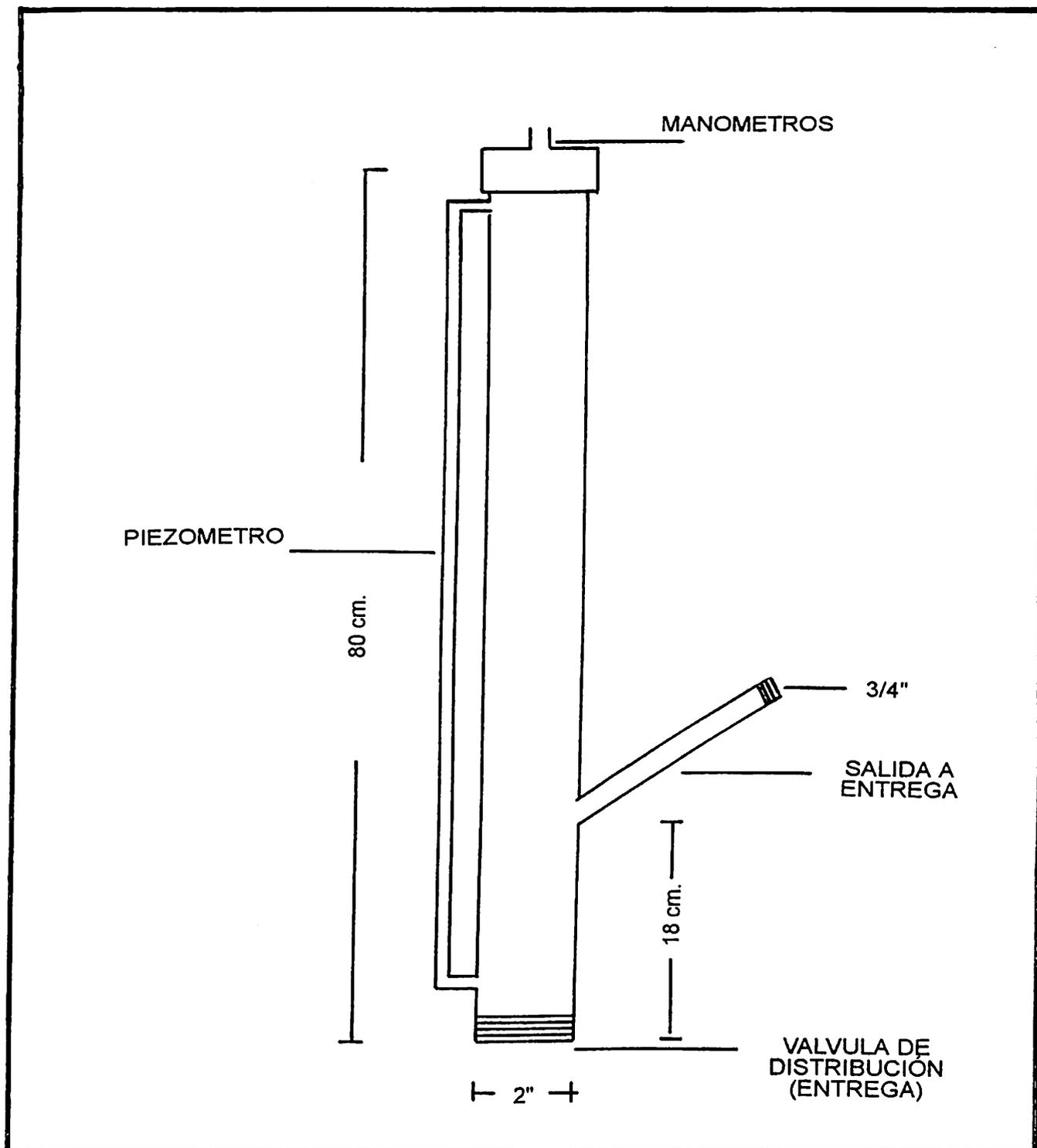


FIGURA 3.4. Cámara de presión dos

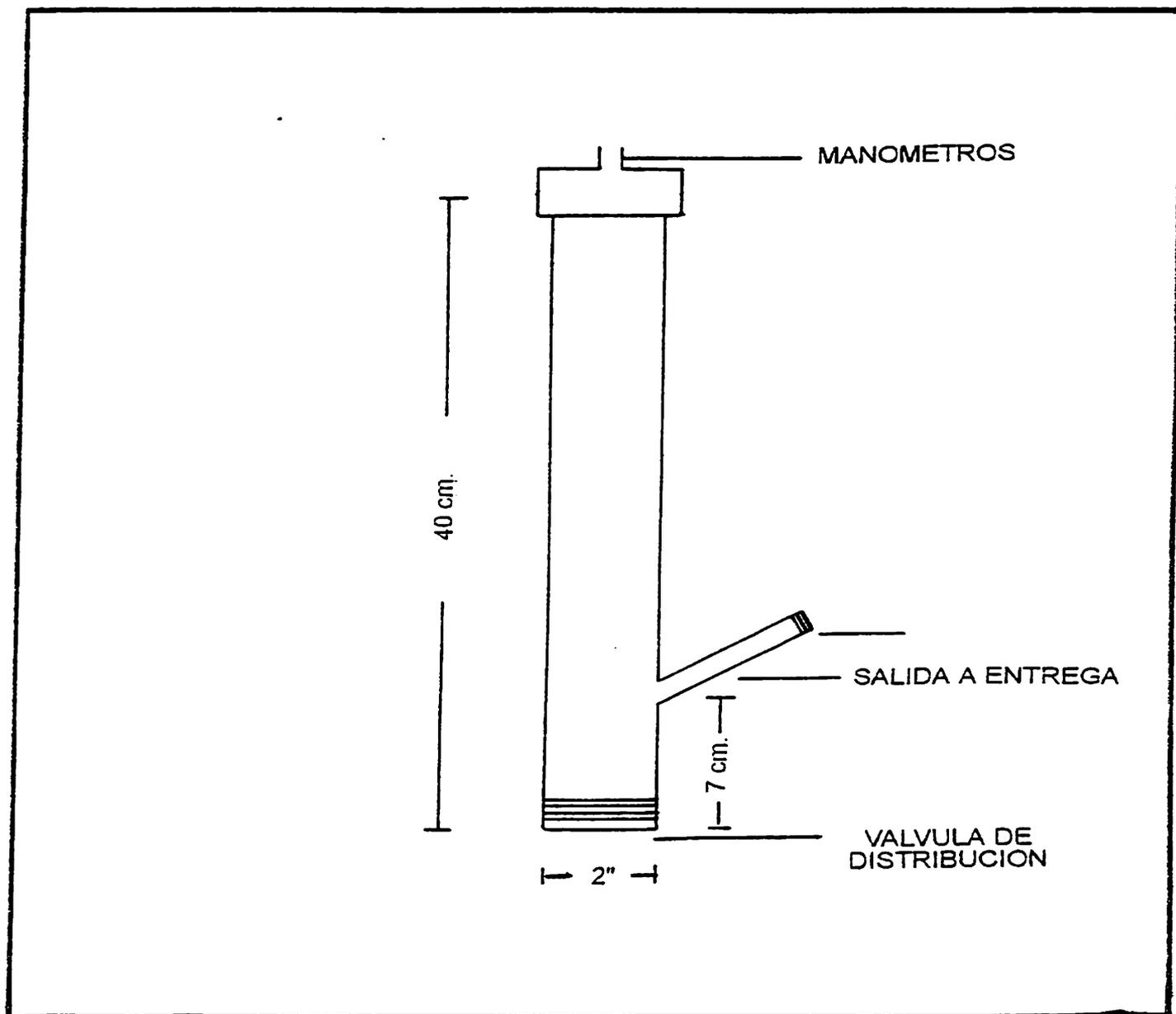


FIGURA 3.5. Cámara de presión tres

parámetro motivo de estudio de las válvulas, fue la diferencia en el área por donde se derrama el agua desperdiciada. Las dos válvulas tienen base roscada de dos pulgadas de diámetro, la acción de apertura es por medio de un muelle helicoidal resorte que inserta sobre el eje vertical de la válvula el cual es un vástago roscado para dar el ajuste a la apertura de la válvula, la pieza que sella la ruta de escape del agua durante la acción de cierre, es una arandela de caucho de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor la cual se inserta a presión en el extremo inferior del eje vertical de sujeta por medio de rondana, tuerca y contratuerca.

Válvula a. Área de derrame o gasto formada por ocho orificios de 6mm de diámetro, dando un total de área de derrame de 2.26 cm^2 (Figura 3.6.).

Válvula b. Área de derrame de un sólo orificio de 4cm. de diámetro, área de derrame de 12.56 cm^2 (Figura 3.7.).

Caja de Válvulas para la Prueba (Siete y Ocho).

En la segunda posición del ariete, se realizaron las dos últimas

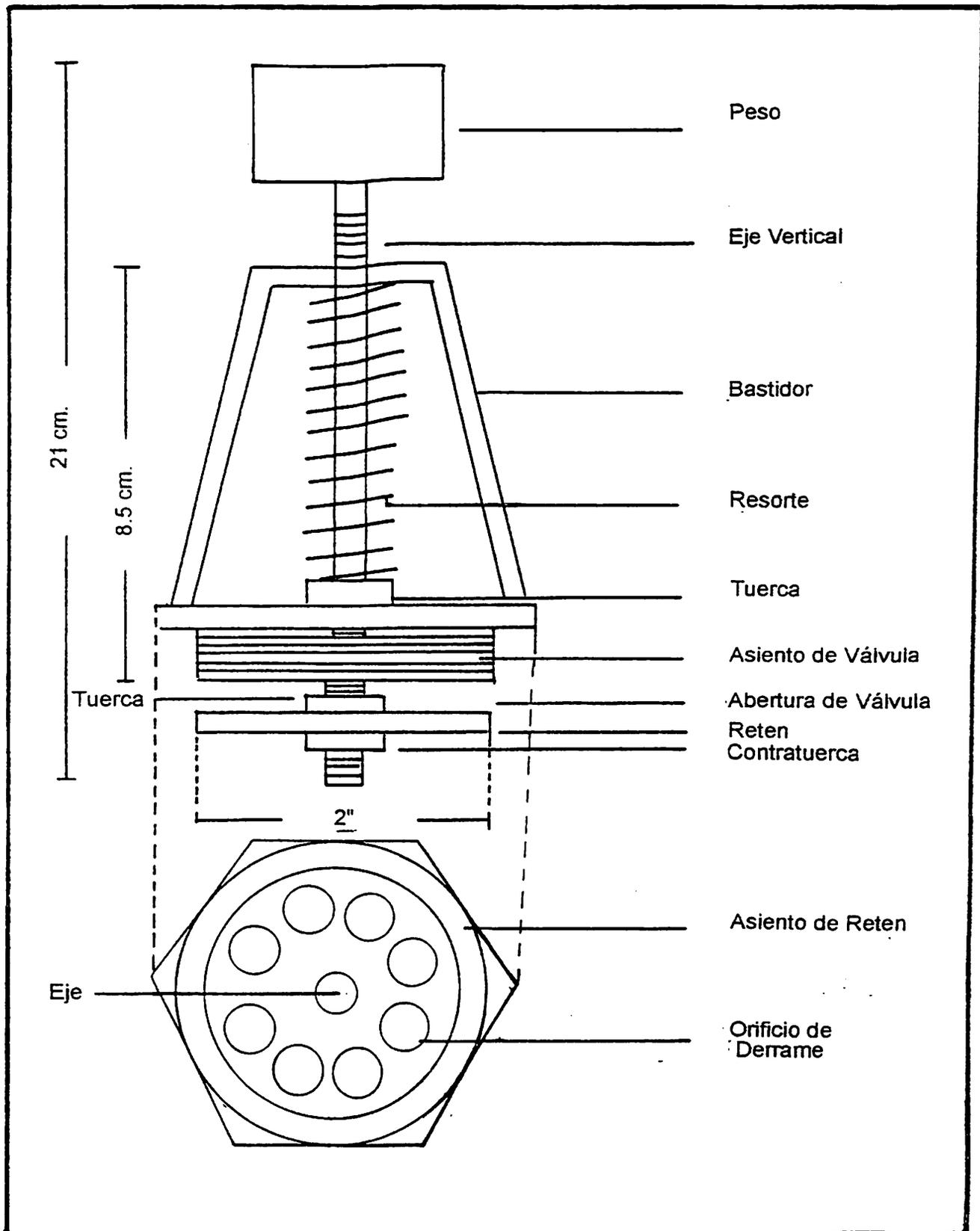


FIGURA 3.6. Válvula de Gasto "a"

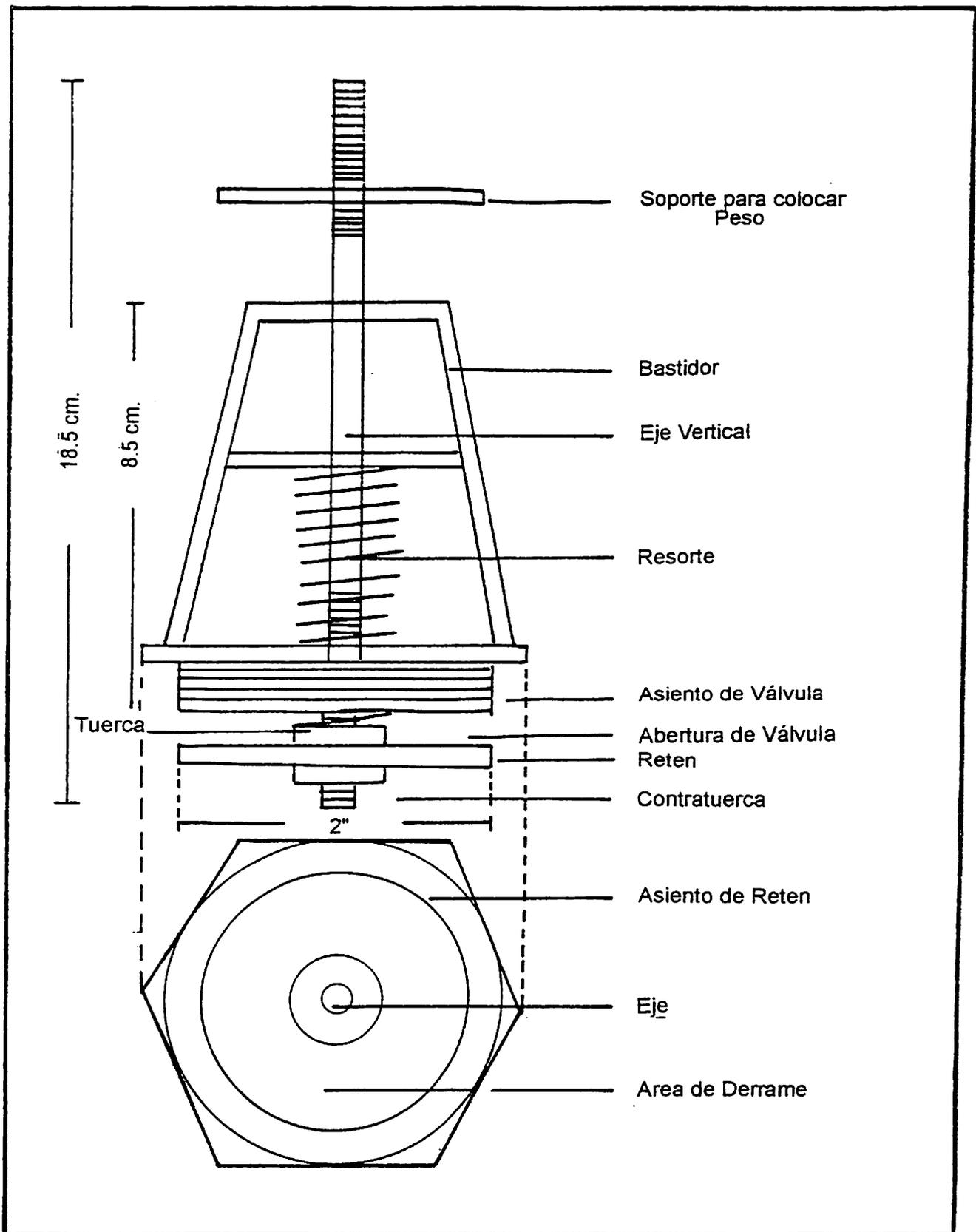


FIGURA 3.7. Válvula de Gasto "b"

pruebas (Siete, Ocho), en estas la caja de válvulas se sustituyó por un tubo de igual diámetro al de la tubería de suministro, la descripción de éste se da a continuación: Tubo de fierro galvanizado de dos pulgadas de diámetro y 80cm de largo, roscado en sus dos extremos acoplándose un “Te” en un extremo y un codo y niple en el otro (Figura 3.8.).

Métodos.

Con las tres cámaras y las dos válvulas se formaron seis combinaciones cámara - válvula realizándose una prueba para cada combinación, en siete cotas diferentes. Para simplificar el análisis y la discusión de los resultados, se seleccionaron cinco cotas las más representativas desde la de menor nivel hasta la de más alto nivel, eliminándose los resultados de dos cotas intermedias. (Cuadro 3.1.).

CUADRO 3.1. Identificación de las Pruebas Ensayadas.

1a, Posición

PRUEBA	CÁMARA	VÁLVULA	COMBINACIÓN
1	1	a	1a.
2	2	b	1b

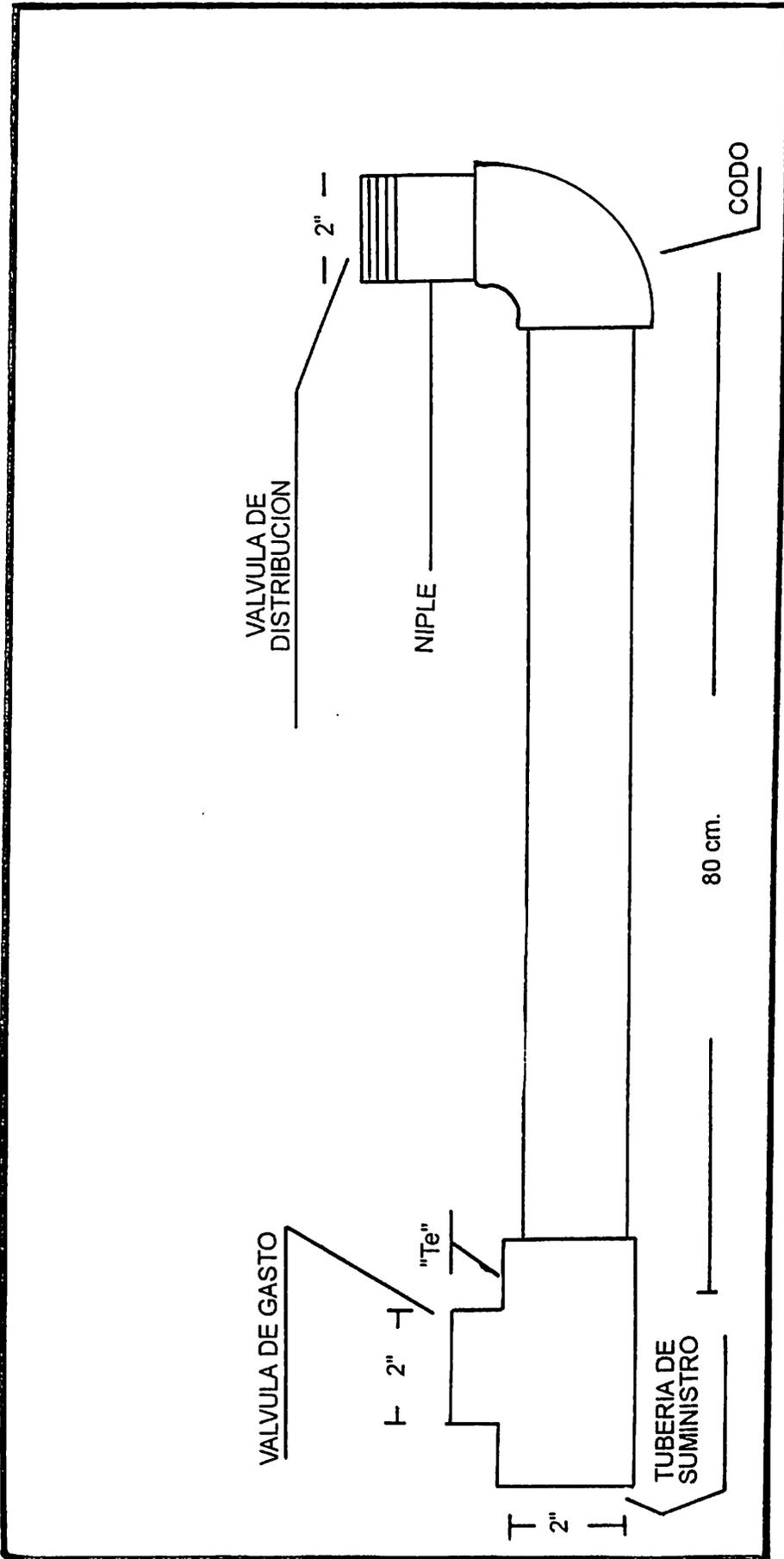


FIGURA 3.8. Caja de válvulas "J", prueba siete, ocho

3	2	a	2a.
4	2	b	2b.
5	3	a	3a.
6	3	b	3b.

En adelante podremos identificar cada prueba por su numero o por su combinación.

Antes de realizar las pruebas con las líneas para la distribución extendidas, se hicieron ensayos con el tubo de descarga cerrado en la salida del ariete por medio de válvula de paso, con el fin de tener información teórica, de hasta que altura se podría elevar el agua, de acuerdo al valor máximo que alcanzará la presión en la cámara de aire, transformándola esta a carga hidráulica en metros de columna de agua. Esto se hizo por cada combinación de cámara de válvula.

Con equipo topográfico nivel,stadal y longiméto se determinó en primer término el desnivel existente entre el depósito de suministro, y el ariete, para obtener la carga hidráulica que se tendría de un extremo a otro en la tubería de impulso, este desnivel se mantuvo constante durante la primera posición. En segundo lugar se obtuvieron los desniveles entre el ariete y los puntos seleccionados para la entrega. Estos puntos se

seleccionaron de acuerdo a los resultados de la prueba mencionada en el párrafo anterior. Los desniveles y distancias de estos puntos presentaron consideración significativa con respecto a la ubicación del ariete. A continuación se muestran cuadros que describen e identifican las cotas, estas no fueron todas iguales para las seis pruebas. En el apéndice C se puede ver un perfil de desniveles de estos puntos.

El desnivel entre el ariete y depósito de suministro fue de 2.2m para la primera posición.

Cuadro3.2. Identificación y Descripción de las Cotas para las pruebas 1 y 2.

COTA	DESCRIPCIÓN	h
1	Estacionamiento Edificio Recursos Naturales	8.46
2	Base del Edificio Alemán	10.76
3	Tinacos Edificio Recursos Naturales	19.7
4	Techo No.3 Edificio Alemán más un metro	24.66
5	Depósito de Agua Edificio Alemán	26.68

Cuadro3.3 Identificación y Descripción de las Cotas para las Pruebas 3, 4, 5, 6.

COTA	DESCRIPCIÓN	h
1	Estacionamiento Edificio Recursos Naturales	8.46

2	Base del Edificio Alemán	10.76
3	Techo No.1 Edificio Alemán	16.26
4	Tinacos - Edificio Recursos Naturales	19.7
5	Techo No.3 Edificio Alemán más de un metro	24.66

Se hicieron pruebas a siete diferentes cotas para cada combinación cámara de válvula, siendo un total de 42 ensayos de los cuales se seleccionaron 30 de las 5 cotas más representativas para su análisis y discusión.

Se utilizó poliducto de una pulgada de diámetro con válvula de paso para pvc, para controlar el flujo de la fuente de abastecimiento al depósito de suministro. Este gasto fue medido en forma volumétrica y también calculada por carga hidráulica obteniéndose un promedio.

La carga para la entrega se midió directamente en dos manómetros comprobándose entre uno y otro, y convirtiéndose luego a metros columna de agua, el gasto de entrega se midió volumétricamente permitiéndose el flujo, tiempos desde media hora, hasta tres horas, ésto con el fin de tener un flujo seguro y representativo del funcionamiento del ariete, midiéndolo en intervalos de 10, 15, 20 y hasta 30 minutos según la intención que

presentará. Por diferencia entre el gasto de suministro y el de entrega se determinó el caudal de desperdicio en la válvula.

Finalmente, en la segunda posición del ariete se realizaron dos pruebas más identificándose como siete y ocho. La metodología seguida en estas pruebas fue la siguiente: El tubo que sustituyo la caja de válvulas descrito anteriormente se identifico con la letra "J". En un extremo de este se enrosco una "Te" para unir con la tubería de suministro e intercalar la válvula de gasto, en otro extremo por medio de codo de 90 grados y niple del mismo diámetro se acopló la cámara de presión. En estas dos ultimas pruebas se uso únicamente la cámara de presión más pequeña, la numero tres, en estas pruebas se formaron dos combinaciones. (Cuadro 3.4.).

CUADRO 3.4. Identificación de las Pruebas Ensayadas (2a. Posición)

PRUEBA	CAJA DE VÁLVULAS	CÁMARA	VÁLVULA	COMBINACIÓN
7	J	3	a	J3a
8	J	3	b	J3b

En adelante identificaremos cada prueba por su número o su combinación.

Otra variante que tuvieron estas dos pruebas fue que el ariete se alejó 37.4m. más del depósito de suministro, lo cual aumentó la longitud de la tubería de impulso así como la carga hidráulica de suministro. En esta segunda posición la longitud de la tubería fue 66.15m. y el desnivel entre el dispositivo de suministro y el ariete fue de 4.57m.

CUADRO 3.5. Identificación y Descripción de las Cotas para Pruebas 7,8.

COTA	DESCRIPCIÓN	h
1	Estacionamiento Edificio Recursos Naturales	10.83
2	Base Edificio Alemán	13.13
3	Tinacos Edificio Recursos Naturales	22.07
4	Deposito de Agua Edificio Alemán	28.85

En las cotas superiores a los 13 metros de desnivel, fue necesario usar válvulas de purga de dos puntos al menos, intercalados sobre la manguera de entrega, con el fin de obtener resultados mas rápidos y precisos, ésto se debió a que la manguera sufría movimientos bruscos y golpes durante el tiempo de operación, así como pisadas de vehículos automotores por negligencia, que provocaron interferencias en diferentes puntos de la línea, en ocasiones fue necesario cortar la manguera y unir con coples debido al daño causado.

En campo se tomaron también otras mediciones tales como, carga en depósito de presión, carga en manguera controladora del flujo de fuente de abastecimiento al depósito de suministro, golpes de ariete por minuto y porcentajes de los tres gastos. Ver en el apéndice D ejemplo del cuadro de datos tomados en campo.

Debido a que no se encontró suficiente información técnica sobre el funcionamiento de los arietes en sus diferentes variables de operación, algunos parámetros como, volumen del depósito de suministro, y desnivel entre este y el ariete, fueron seleccionados con sentido común procurando que tuvieran las características deseadas para realizar satisfactoriamente el experimento de acuerdo con los objetivos planteados.

RESULTADOS

La prueba realizada al inicio del experimento con la línea de distribución cerrada en la salida del ariete, para estimar la carga máxima que daría cada combinación cámara - válvula, y en base a esto seleccionar las cotas, produjo los resultados que contienen los cuadros 4.1 y 4.2.

CUADRO 4.1. Carga Máxima en la Cámara de Presión con la Línea de Descarga Cerrada a la Salida del Ariete, para las Primeras Seis Pruebas.

CAMARA	VALVULA	hE(m)	OBSERVACIONES
1	a	26.88	El golpe se seguía provocando pero se dejo de abrir la válvula "CHECK".
1	b	28.34	Con un peso de 4.3kg el golpe de ariete no se produjo, la válvula quedo abierta.
2	a	25.60	No se aporto mas presión, la válvula quedo abierta.
2	b	27.43	Con un peso de 4.3kg la válvula ya no cerro. Aguja vibrando.
3	a	25.60	No dio mas presión, la válvula quedo abierta.
3	b	27.43	Pequeñas vibraciones en el agua

CUADRO 4.2. Carga máxima en la Cámara de Presión, con la Línea de Descarga Cerrada en la Salida del Ariete para las Pruebas Siete y Ocho.

Cuadro 4.2.

CAJA DE VALVULAS	CAMARA	VALVULAS	hE(m)	OBSERVACIONES
Tubo de 2 "J"	3	a	30.6	Esta válvula tuvo un funcionamiento errático para cotas arriba de 20mts.
"J"	3	b	33.2	Funcionando con un peso de 4.3kg.

Los parámetros que definen el funcionamiento hidráulico de un ariete se enlistan a continuación:

$H =$ Carga de Suministro(m)

$Q_s =$ Caudal de Suministro(lt/min)

$Q_D =$ Caudal de Desperdicio(lt/min)

$h_e =$ Carga de Entrega(m)

$q =$ Caudal de Entrega(lt/min)

Los siguientes cuadros 4.3 a 4.10 muestran los resultados medidos en campo con las líneas de entrega abiertas.

CUADRO 4.3. Prueba 1. Combinación 1a.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	3.5	15.23	11.2	9.12	4.0
2	3.5	13.2	10.6	10.9	4.6

3	3.6	12.3	10.9	20.6	1.5
4	3.6	14.3	13.3	24.92	1.1
5	3.7	25.0	14.1	26.49	0.9

CUADRO 4.4. Prueba 2. Combinación 1b.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	3.4	16.53	11.33	9.42	5.2
2	3.4	24.0	29.0	11.24	5.0
3	3.5	17.7	15.8	21.88	1.9
4	3.65	18.0	16.7	24.6	1.3
5	3.8	30.0	29.0	26.5	1.0

CUADRO 4.5. Prueba 3. Combinaciones 2a.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	3.6	15.81	10.41	9.42	5.4
2	3.64	14.32	11.67	13.76	2.62
3	3.72	16.59	15.0	26.41	1.6
4	3.75	14.04	12.9	19.76	1.1
5	3.75	26.0	25.1	24.92	0.9

CUADRO 4.6. Prueba 4. Combinación 2b.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	3.58	21.2	15.56	9.72	5.64
2	3.62	24.0	29.38	12.2	4.62
3	3.2	19.1	17.34	20.67	1.8
4	3.61	14.1	12.7	20.67	1.4
5	3.61	13.18	11.98	24.71	1.2

CUADRO 4.7. Prueba 5. Combinación 3a.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	3.63	17.32	12.22	9.72	5.1
2	3.6	16.63	14.03	11.52	2.6
3	3.74	17.65	16.25	16.41	1.4
4	3.62	17.57	26.57	19.86	1.0
5	3.75	20.41	19.46	29.92	0.95

CUADRO 4.8. Prueba 6. Combinación 3b.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	3.62	17.9	12.4	10.64	5.5
2	3.62	19.26	14.7	11.52	4.5
3	3.72	18.31	16.41	17.63	1.9
4	3.72	18.5	17.2	20.36	1.3
5	3.73	18.61	17.51	24.77	1.3

CUADRO 4.9. Prueba 7. Combinación J3a.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	6.1	14.3	8.4	11.0	5.9
2	6.2	24.3	20.9	13.8	3.4
3	6.3	15.0	13.7	22.1	1.3
4	6.4	17.8	17.8	0.0	0.0

CUADRO 4.10. Prueba 8. Combinación J3b.

COTA	hs	Qs	QD	hE	q
1	6.3	12.7	6.6	11.4	6.1
2	6.3	12.8	8.8	14.2	4.0
3	6.3	12.4	10.9	22.15	1.5
4	6.3	15.8	14.6	28.9	1.2

Los volúmenes de las cajas de válvulas y cámaras de compresión fueron medidos al inicio del trabajo. Estos volúmenes se sintetizan a continuación en el cuadro 4.11.

CUADRO 4.11. Capacidades de los Componentes Principales del Ariete.

SIGNO	DESCRIPCION	VOL.(lt)
Wv	Caja de Válvulas Grande	32.4
Wvj	Caja de Válvulas "J"	1.62
Wp1	Cámara de Presión Uno	22.7
Wp2	Cámara de Presión Dos	1.62
Wp3	Cámara de Presión Tres	0.81

DISCUSION

En el apéndice E se tabulan los valores de los parámetros que definen el funcionamiento hidráulico del Ariete, para cada una de las pruebas realizadas. Con estos valores se obtuvieron las curvas características correspondientes a los cuatro arietes evaluados.

Determinación de las Curvas Características.

Las curvas características principales en el funcionamiento de los arietes están determinados por carga de entrega (h) y caudal de entrega (q), estos parámetros presentan una curva de tipo potencial al relacionarse gráficamente. Se hizo una regresión para cada prueba teniendo un total de ocho, las cuales se muestran en las figuras 5.1 a 5.4.

En estas curvas se presenta el comportamiento que obtuvieron cada uno de los arietes ensayados con ambas válvulas de desperdicio. Las curvas muestran como el mayor gasto de entrega se obtiene con la menor carga de entrega.

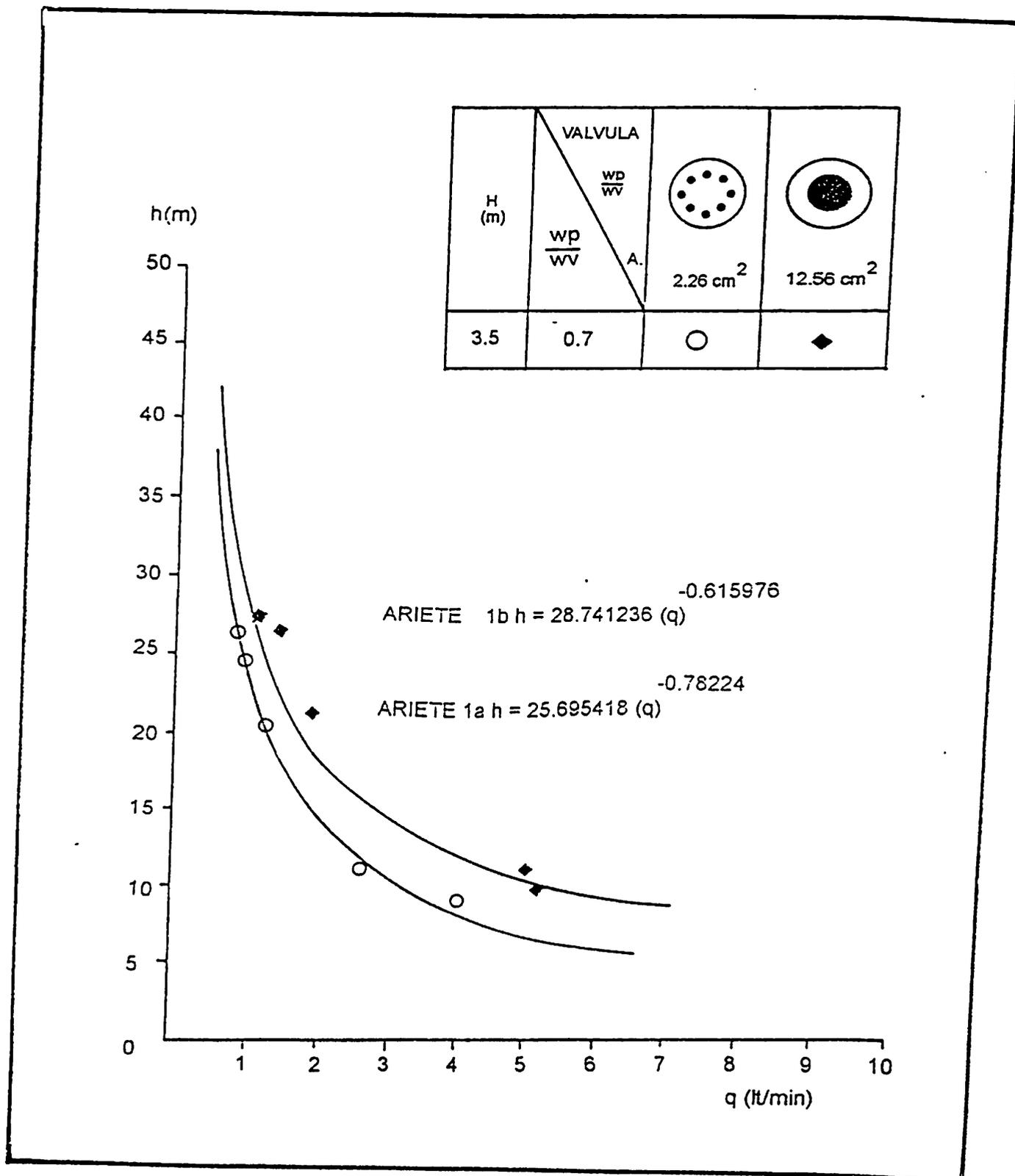


FIGURA 5.1. Curvas Características h - q Arietes 1a, 1b

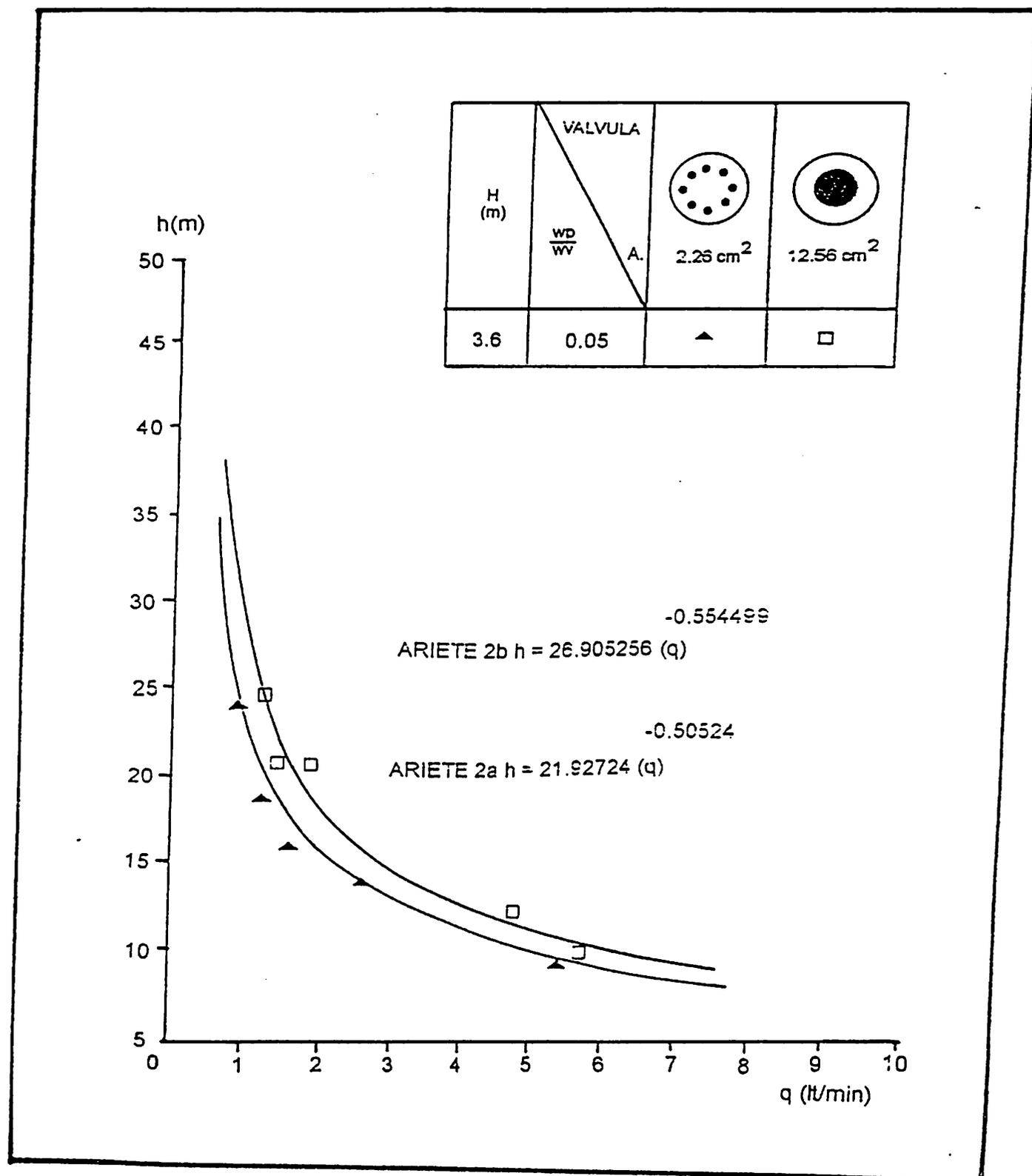


FIGURA 5.2. Curvas Características h - q Arietes 2a, 2b

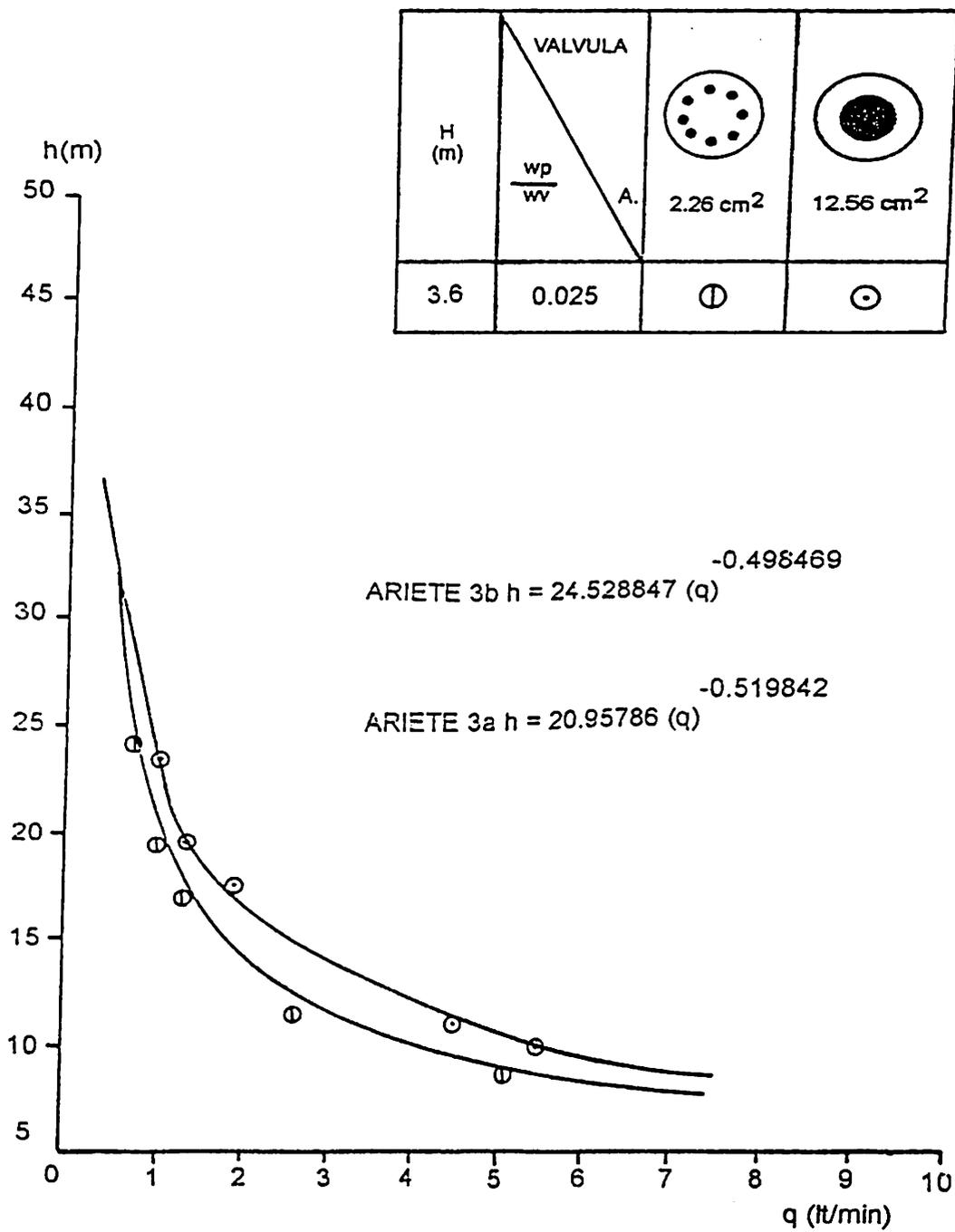


FIGURA 5.3. Curvas Características h - q Arietes 3a, 3b

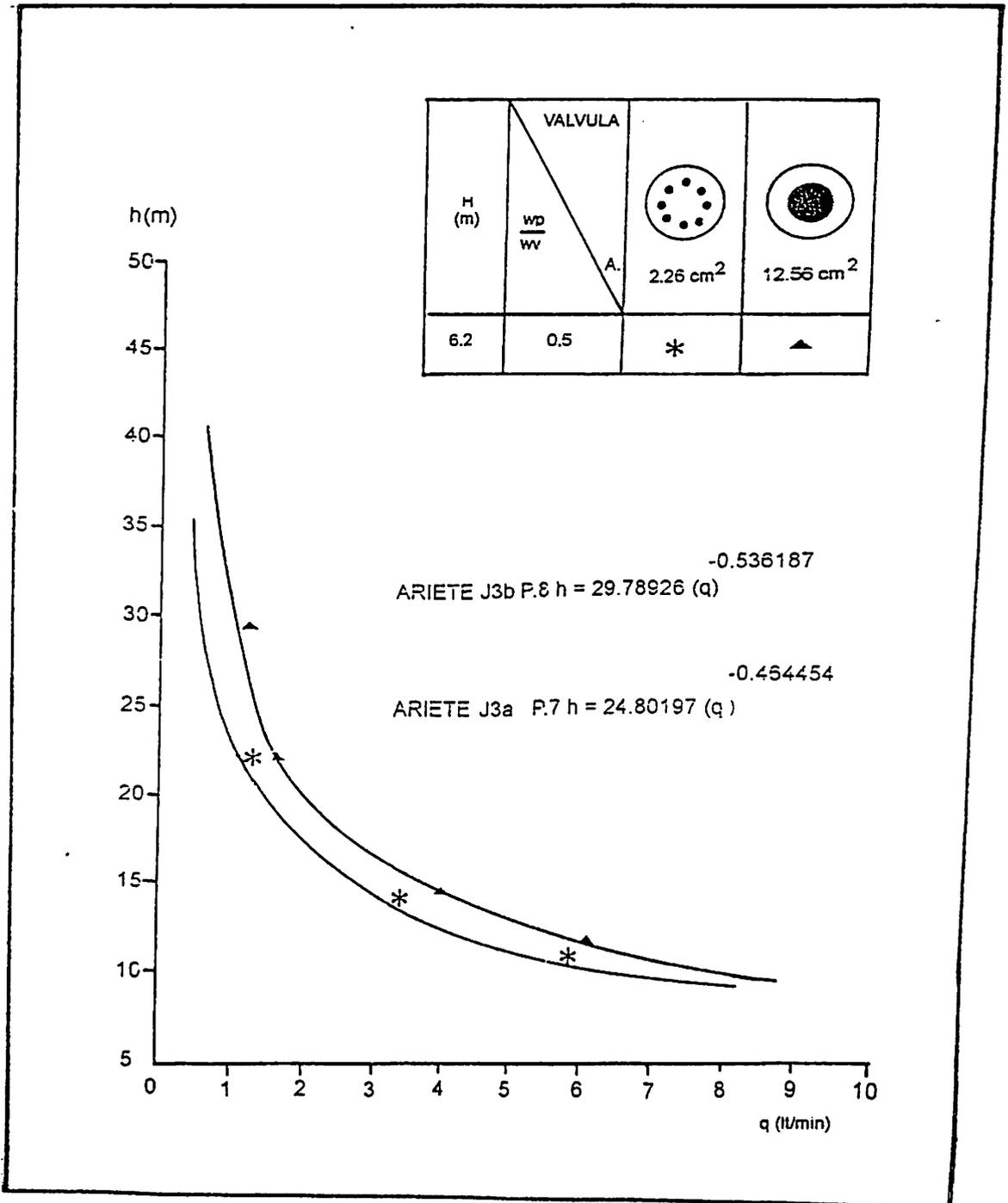


FIGURA 5.4. Curvas Características $h - q$ Arietes J3a, J3b

La siguiente discusión se hace en base a los resultados tomados en campo

La prueba cuatro correspondiente a la combinación 2b, trabajó con una mayor carga en la cámara de aire (e) aportando mayor caudal de entrega hasta desniveles (Δh) de 24.4 m; para alturas mayores la combinación 1b presenta un funcionamiento superior. La combinación 1b elevó el agua a la cota mas alta 24.48m. aunque fue también la que tuvo mayor gasto de desperdicio. La combinación 1a. también alcanzo la cota más elevada 24.48m. pero dio menor gasto que la 1b. En general se puede observar que la válvula “b” logro mayores presiones (2.5 kg/cm^2) en la cámara de aire y con esto mayores caudales de entrega. Se puede decir que la válvula “a” trabaja con menor presión en la cámara de aire por lo tanto da menores gastos de entrega, la proporción carga de entrega entre carga de suministro h/H se mantuvo mayor o igual a dos en todas las pruebas, como lo recomienda la literatura para la operación continua del ariete.

Respecto a la primer hipótesis planteada, para la válvula “a” y para desniveles (Δh) hasta 10.7m. las cámaras dos y tres tuvieron valores ligeramente superiores a la uno en cuanto a carga de descarga, aunque en

cuanto a gasto de entrega no hay diferencias significativas. En desniveles hasta 26.5m. la cámara uno alcanzo valores más elevados en gasto (q), aproximadamente un 15 por ciento más que las cámaras dos y tres. Esta misma hipótesis en cuanto a la válvula “b”, para desniveles hasta de 10.7m. los valores de q y h son muy similares, para cotas hasta 24.6m. existe un promedio de un 11 por ciento más de gasto de entrega para la cámara uno con respecto a la dos y tres.

Respecto a la segunda hipótesis se puede determinar que esta se cumple para este experimento, en la mayoría de las pruebas.

En cuanto a la tercera hipótesis, se determina que esta se cumple bajo las condiciones de la segunda posición en que se colocó el ariete.

Las figuras 5.5 a 5.8 expresan la relación $q/Q-h/H$ para cada uno de los arietes con ambas válvulas de gasto, en estas figuras se observa que la relación h/H se mantuvo mayor o igual a dos como lo recomienda la literatura para operar en forma continua el ariete, también se observa que la relación q/Q disminuye conforme aumenta la relación entre la carga de entrega (h) y la de suministro (H). La ecuación que aparece en cada una de

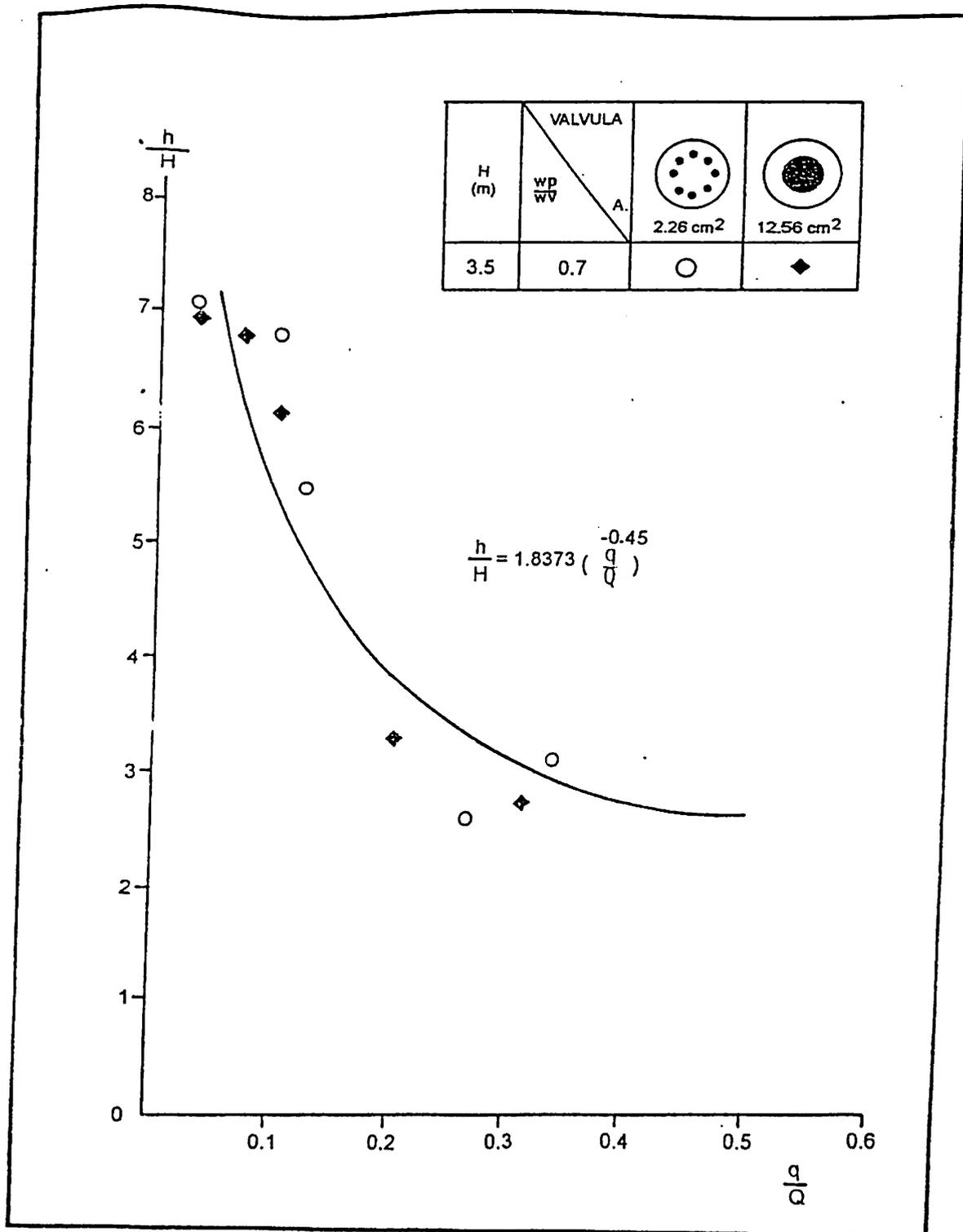


FIGURA 5.5. Curva Característica $\frac{h}{H} - \frac{q}{Q}$ Arietes 1a. 1b

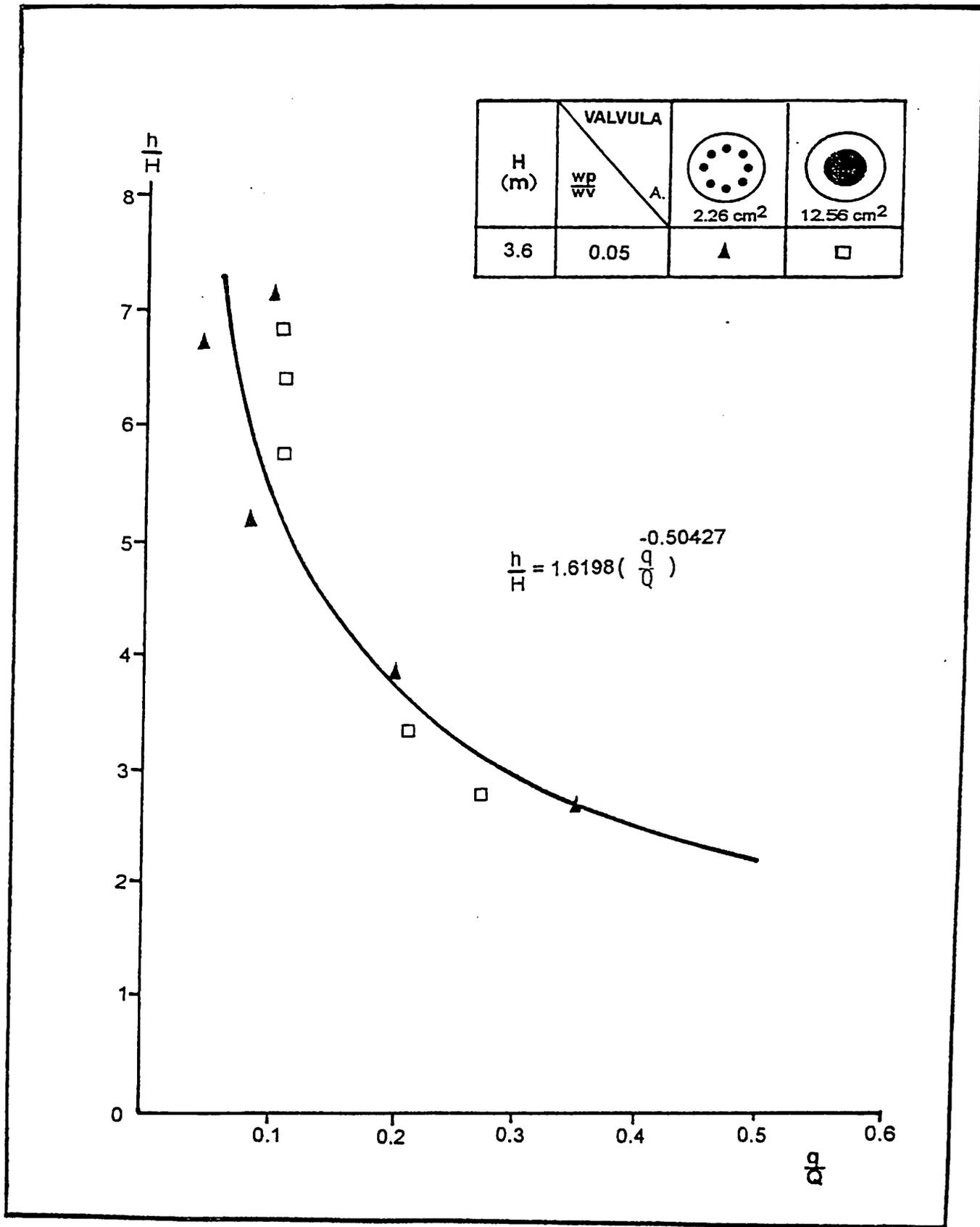


FIGURA 5.6. Curva Característica $\frac{h}{H} - \frac{q}{Q}$ Arietes 2a, 2b

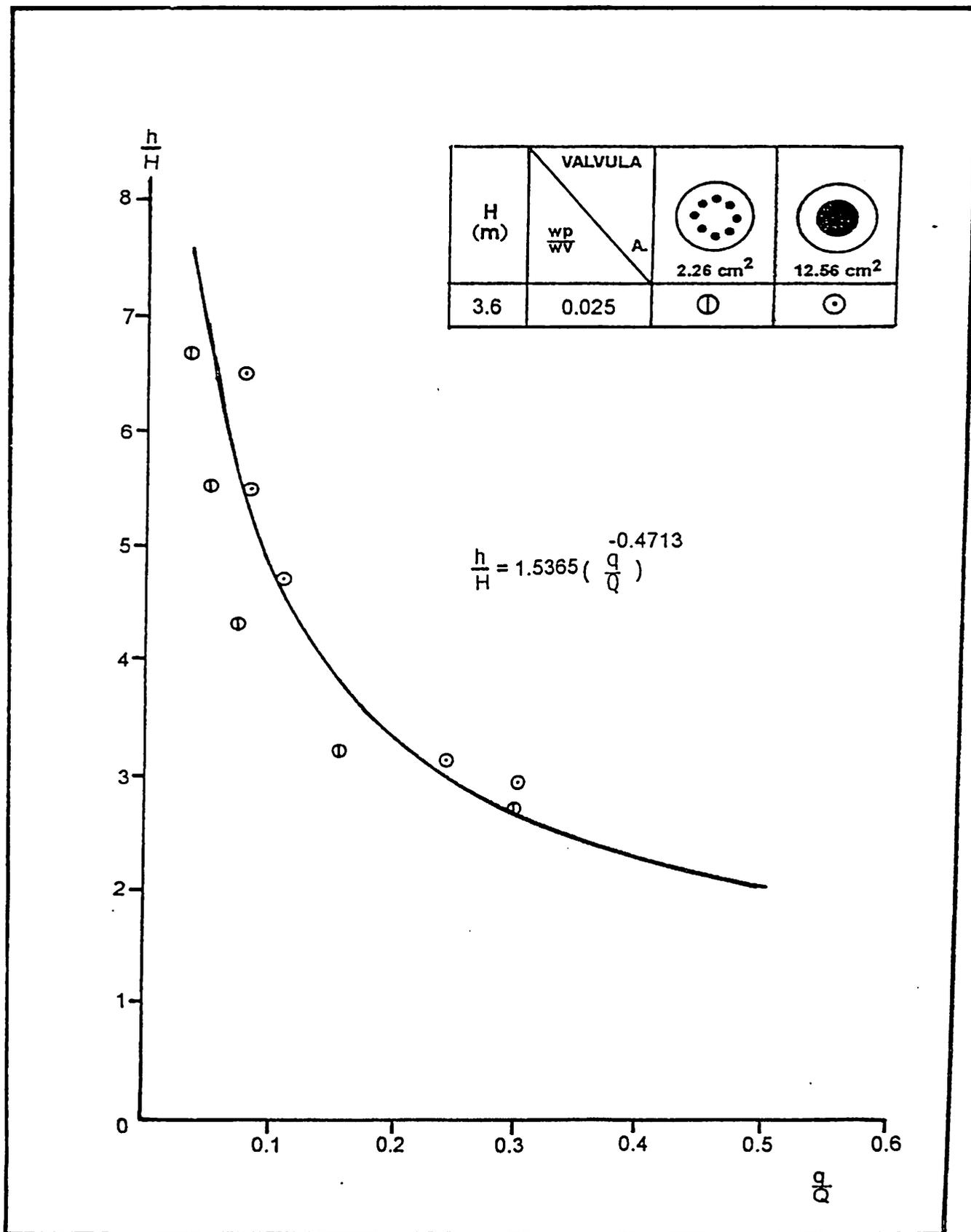


FIGURA 5.7. Curva Característica $\frac{h}{H} - \frac{Q}{Q}$ Arietes 3a, 3b

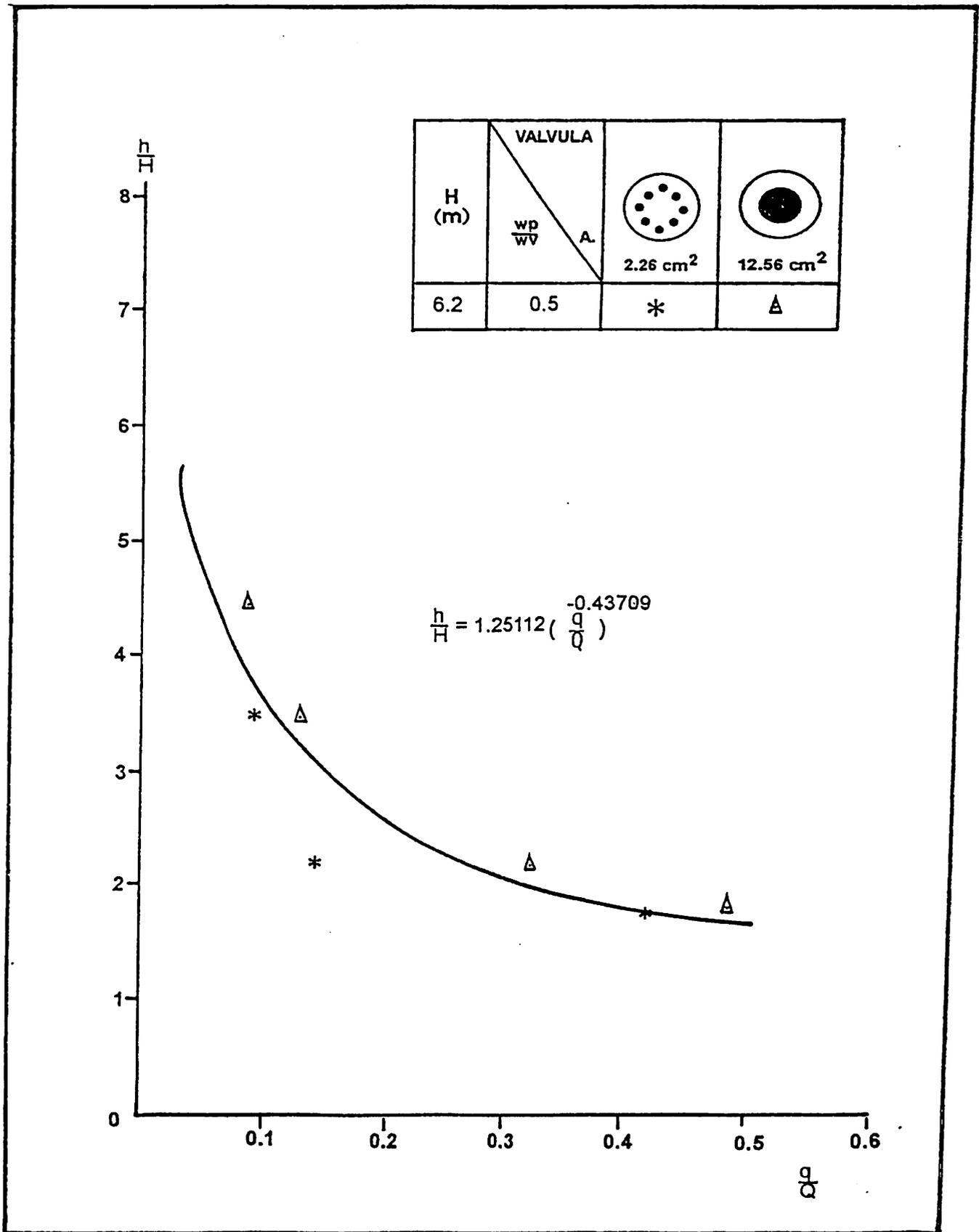


FIGURA 5.8. Curva Característica $\frac{h}{H} - \frac{q}{Q}$ Arietes J3a, J3b

estas gráficas, es del ariete correspondiente con las dos válvulas de gasto de desperdicio.

Es del ariete correspondiente con las dos válvulas de gasto de desperdicio.

Las figuras 5.9 a 5.12 muestran las relaciones de eficiencia en por ciento con h/H y con la q/Q . En la primera de ellas, la relación $ef-h/H$ se puede observar cómo la mejor eficiencia se tiene cuando la relación h/H se aproxima a un valor de dos, coincidiendo con la literatura, donde se cita la mejor operación del ariete es cuando el agua se eleva a una altura de doble valor de la carga de suministro. La eficiencia va disminuyendo conforme aumenta el valor de h/H .

En la segunda relación de estas gráficas $ef-q/Q$ se observa que la eficiencia aumenta al aumentar mayores gastos de entrega, ocurriendo esto en las cotas inferiores, comprobándose también aquí lo citado anteriormente, que el mejor funcionamiento del ariete es cuando la relación h/H se aproxima a un valor de dos. Las ecuaciones que se observan en estas gráficas evalúan a cada ariete con las dos válvulas de gasto utilizadas.

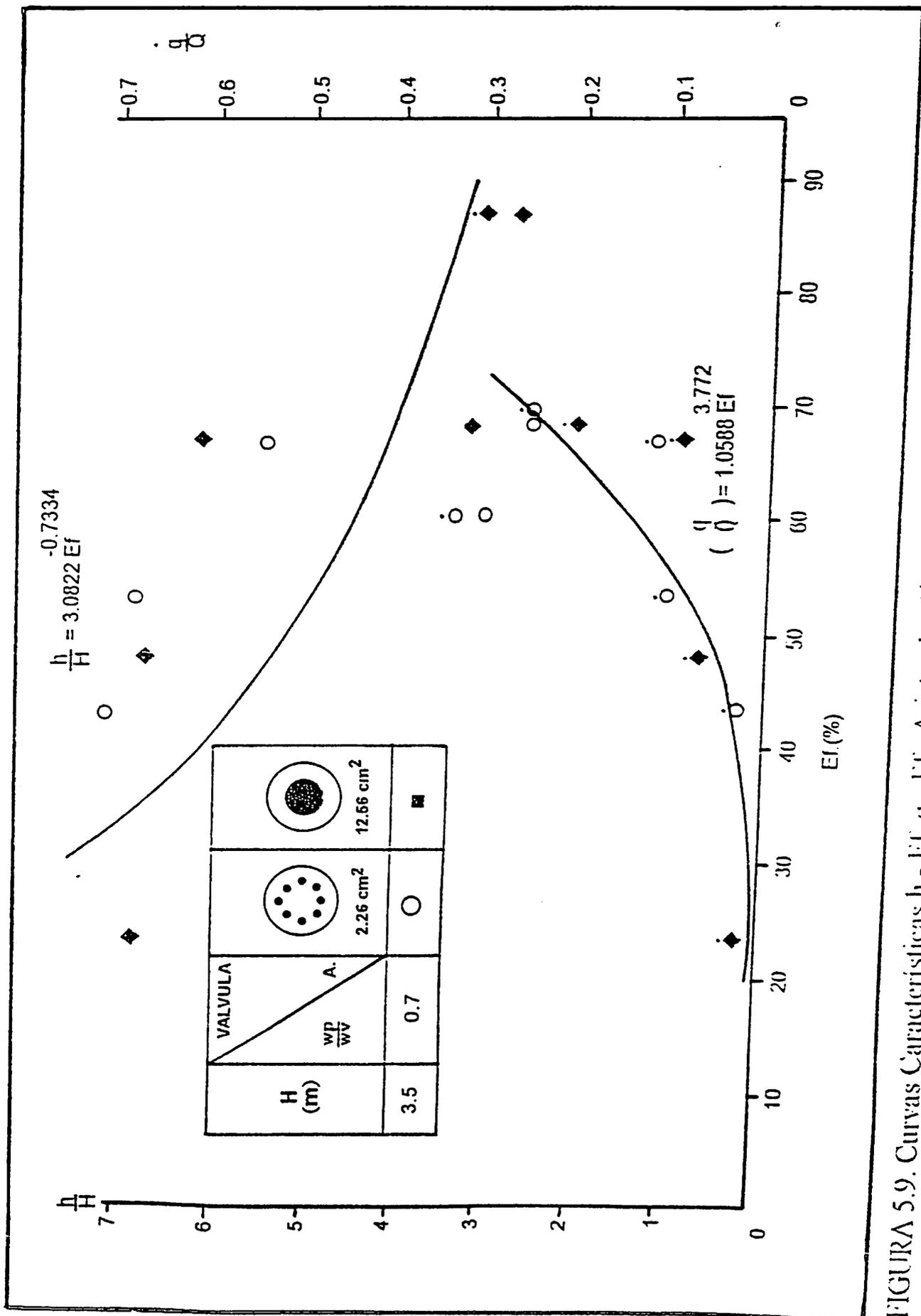


FIGURA 5.9. Curvas Características $\frac{h}{H}$ - Ef . g - H.I. Aricles Ia, Ib
 II - Q

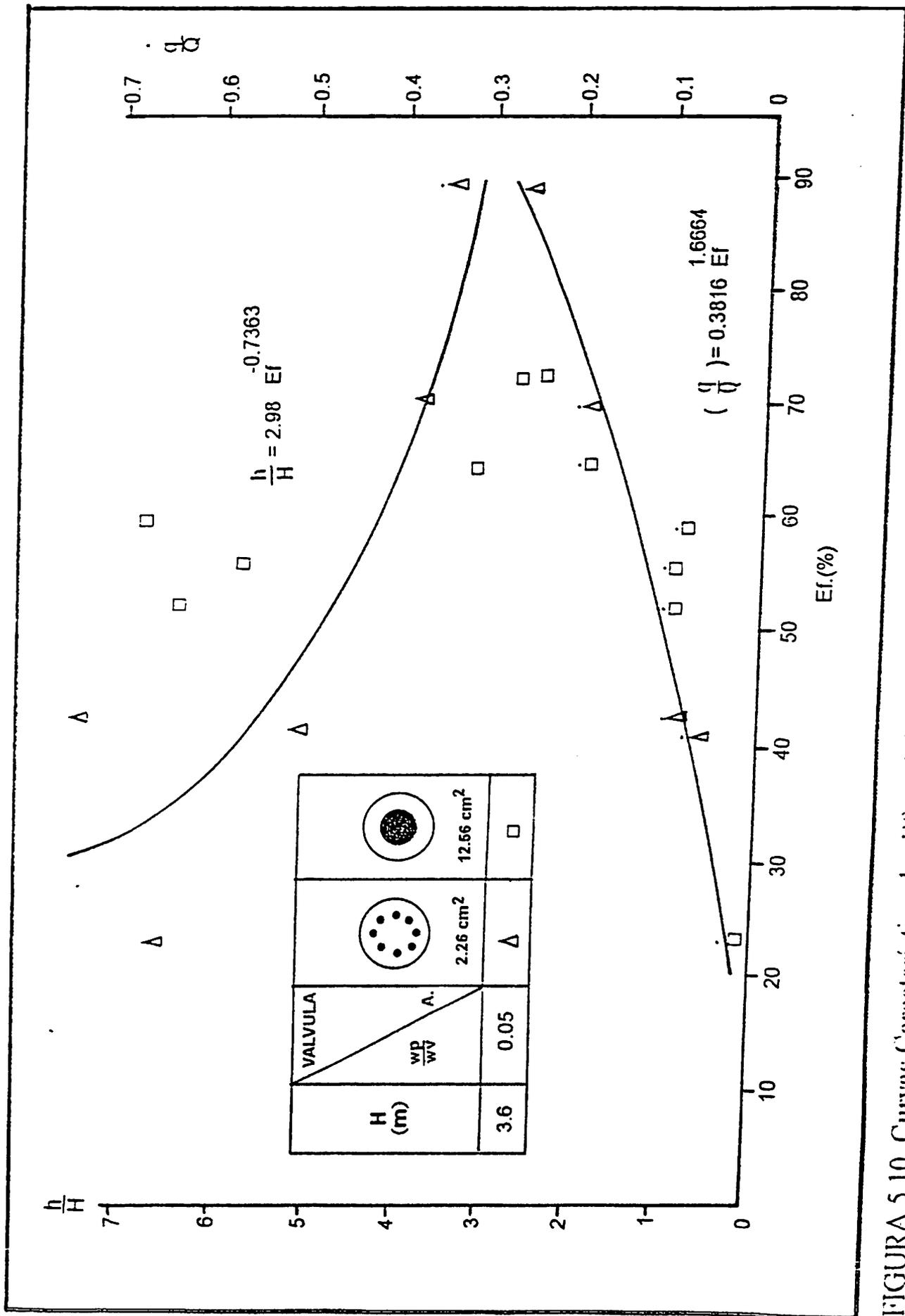


FIGURA 5.10. Curvas Características $\frac{h}{H} - Ef.$, $\frac{q}{Q} - Ef.$, $\frac{Q}{Q} - Ef.$ Aríetes 2a, 2b

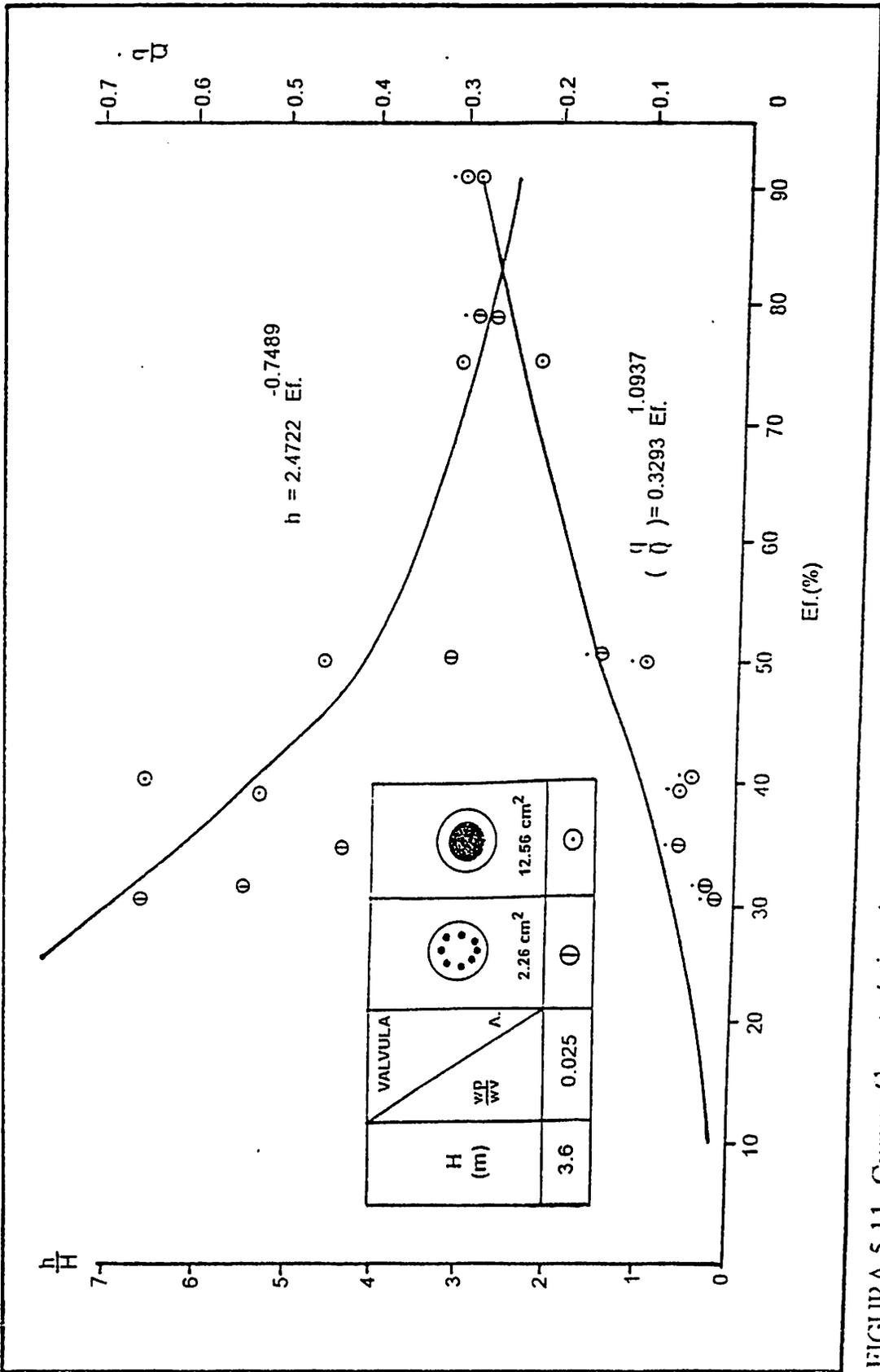


FIGURA 5.11. Curvas Características $\frac{h}{H}$ - $Ef.$, $\frac{q}{Q}$ - $Ef.$. Aríetes 3a, 3b

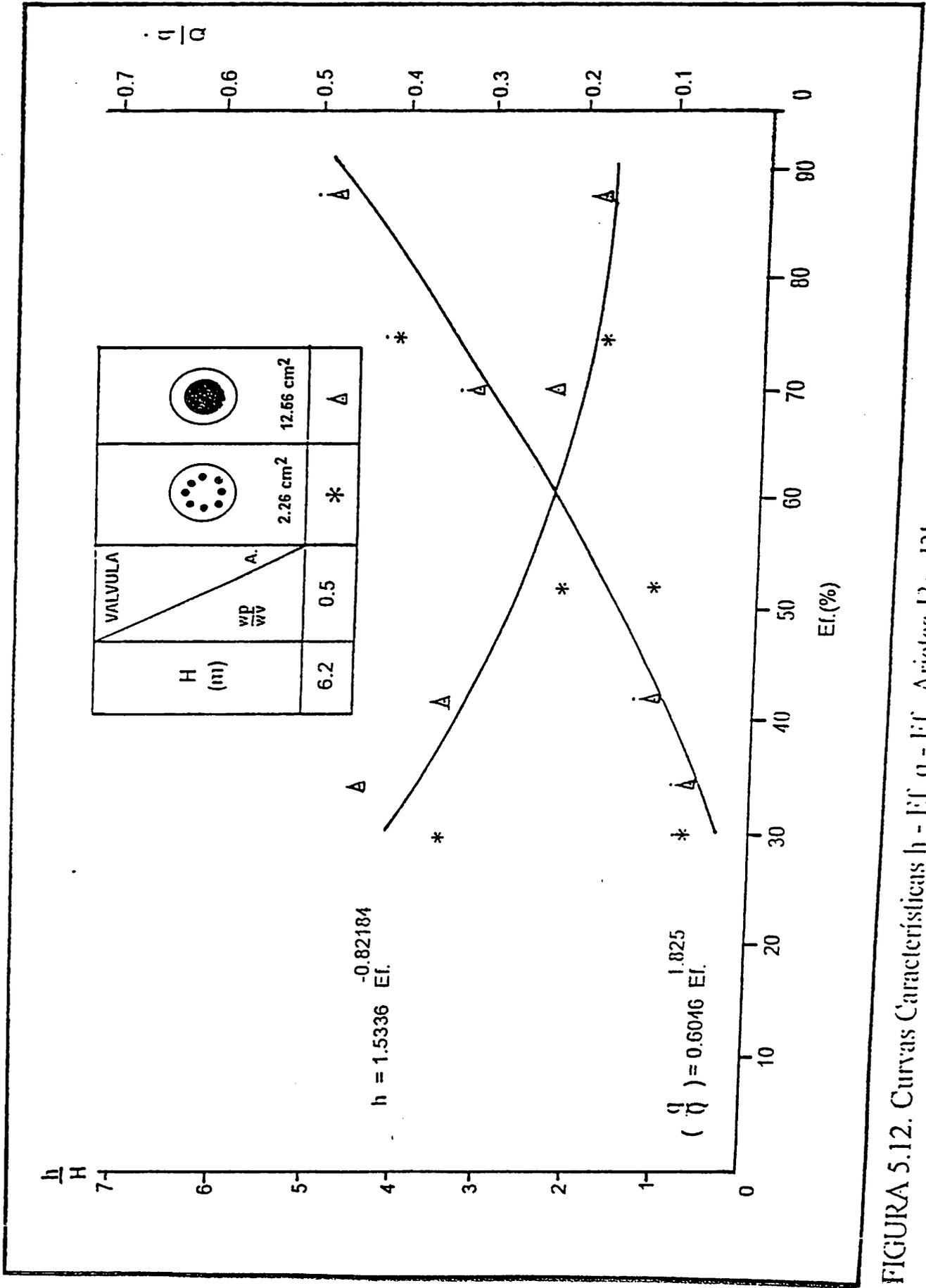


FIGURA 5.12. Curvas Características $\frac{h}{H}$ - Ef , $\frac{q}{Q}$ - Ef . Arietes J3a, J3b

La Figura 5.13 en su parte superior, relaciona al número de Reynolds en la línea de entrega con la relación h/H . Esta sección de la gráfica muestra una curva potencial donde se incluyen las ocho pruebas realizadas. Se observa que en la tubería de entrega el flujo quedó en la zona de transición para las cotas mas bajas ($Re > 4000$). Conforme la relación h/H aumenta su valor, el régimen de flujo pasa a la zona crítica ($2000 < Re < 8000$) y en las cotas más elevadas se encuentra en flujo laminar ($R \leq 2000$).

La parte inferior de la gráfica muestra una relación lineal entre $Re(q)$ y q/Q aquí se observa flujo en la zona de transición donde se tiene mayor volumen de entrega, y conforme este volumen va disminuyendo al aumentar la altura de entrega, el flujo pasa a la zona crítica y termina en régimen laminar.

La figura 5.14 es una relación de h/H en la parte superior, y de q/Q en la inferior con el número de Froude. En la parte superior se observa que el número Froude disminuye al aumentar los valores de h/H . La parte inferior de esta gráfica muestra una relación lineal donde el número de Froude disminuye al disminuir el valor de q/Q .

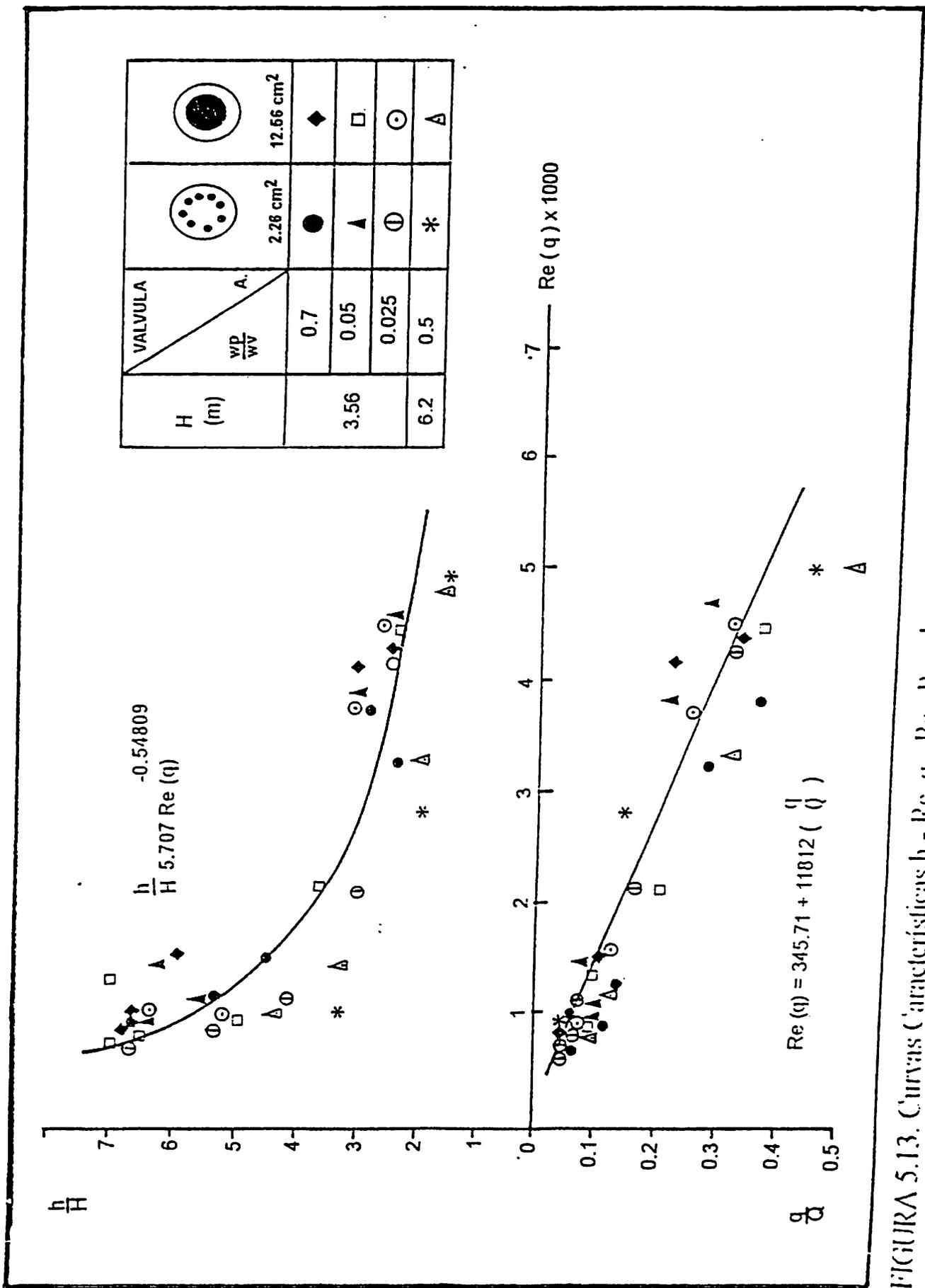


FIGURA 5.13. Curvas Características h - Re, q - Re. Para los cuatro Aríetes

La disminución del número de Froude en estas dos relaciones se puede explicar por el efecto de la fuerza gravitacional, al incrementarse el ángulo de inclinación entre el ariete y el punto de entrega, la atracción gravitacional tiene un efecto mayor sobre la masa de agua que esta en movimiento ascendente en la línea de entrega.

La Figura 5.15 en su parte izquierda, muestra en forma simultánea la relación $q/Q-h/H$ para los cuatro arietes, se observa la misma tendencia que en las gráficas individuales de cada ariete, la relación q/Q disminuye conforme aumenta el valor de h/H . Se presenta una ecuación para las ocho pruebas.

En su parte derecha la figura 5.15 muestra la relación $ef-q/Q$, para los cuatro arietes, teniendo la curva una tendencia similar que en las gráficas que corresponden a cada uno de los arietes. La ecuación de la gráfica obtenida es para las ocho pruebas simultáneamente.

En la figura 5.16 se observa la relación $q/Q-h$, la cuál proporciona una curva de tipo potencial muy semejante a las de la relación $q-h$. En esta gráfica se observa a medida que aumenta la altura en la entrega, el

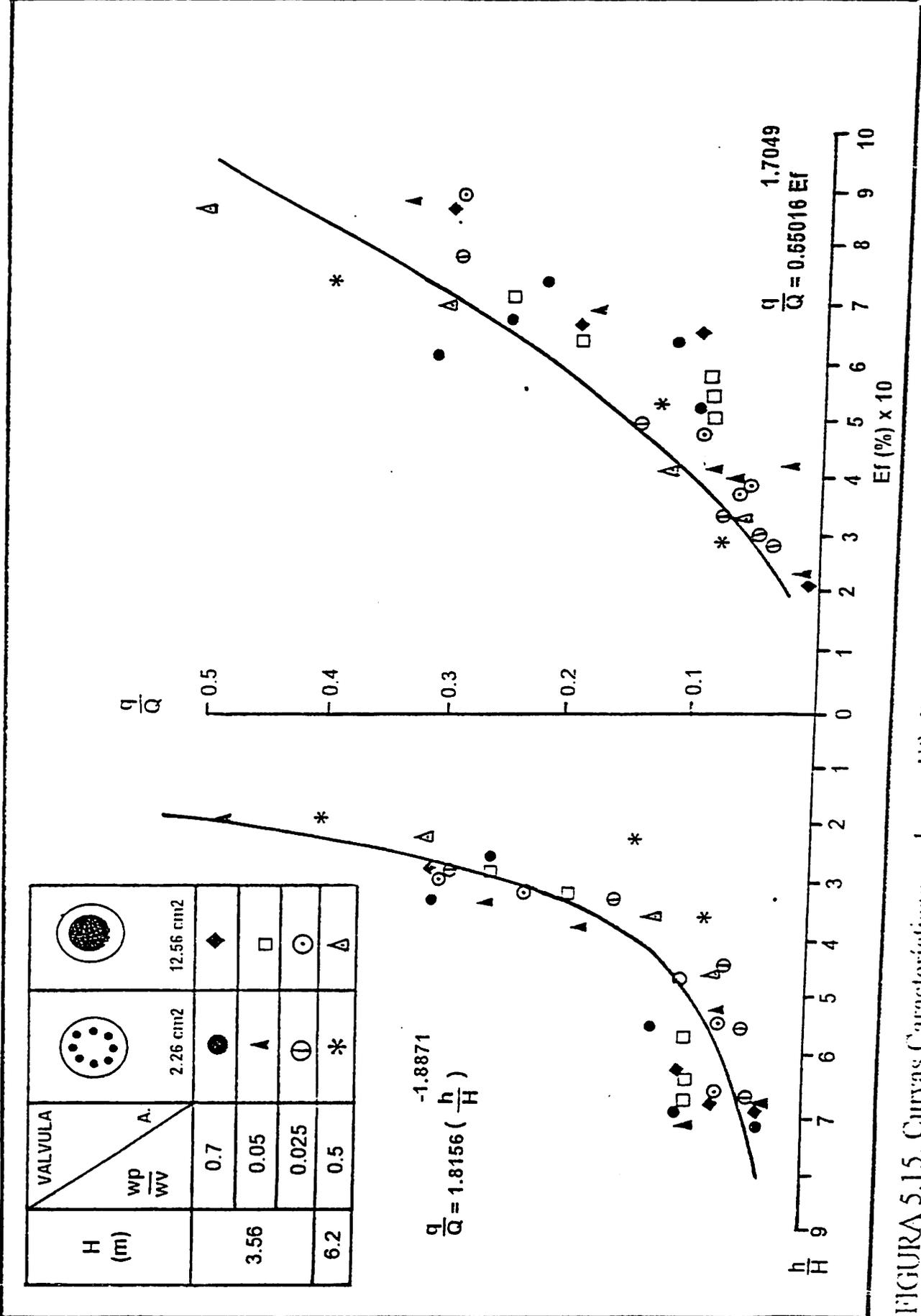


FIGURA 5.15. Curvas Características $q - h$, $q - Ef$. Para los cuatro Arietes $\frac{q}{Q} - Q$

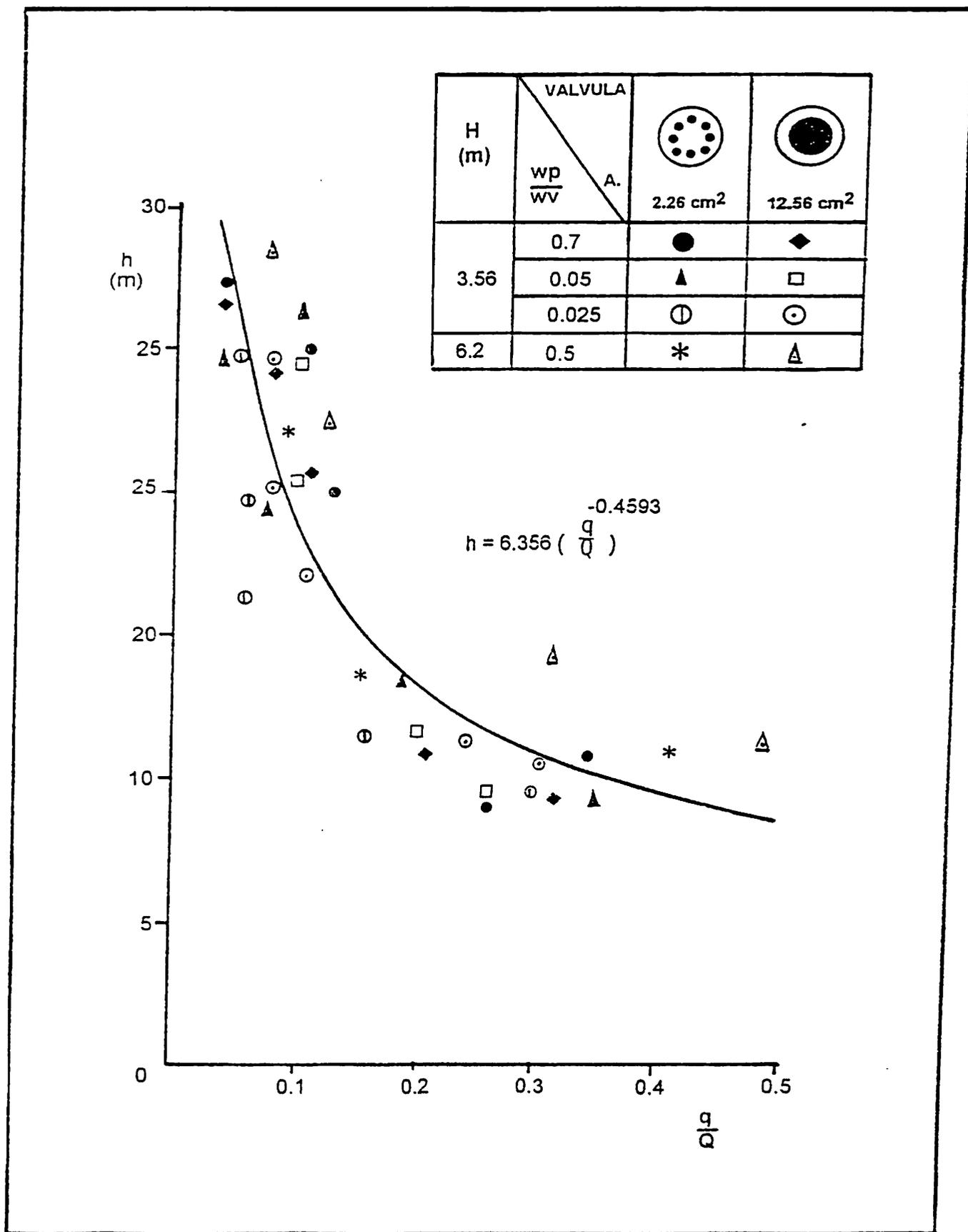


FIGURA 5.16. Curva Característica $h - \frac{Q}{q}$ Para los cuatro Arietes

porcentaje de volumen de agua entregado disminuye. La ecuación presentada en la figura en general para los cuatro arietes.

Para determinar el tipo de régimen que se tiene en la tubería de suministro, como en la de entrega, se presenta en la Figura 5.17 las gráficas Q-Re y q-Re. Para la tubería de suministro la gráfica muestra el número de Reynolds entre 4,900 y 13,000.

En la tubería de entrega se muestra una relación lineal entre q -Re con número de Reynolds entre 700 y algo mayor de 5000. Las ecuaciones en cada caso corresponden a las ocho pruebas realizadas.

En cuanto al por ciento de volumen entregado la Figura 5.18 muestra que el número de Reynolds vario desde la zona de transición al régimen laminar. La ecuación corresponde a los datos observados de el total de pruebas realizadas.

Eficiencia de Bombeo.

Los valores de los caudales de entrega (q) obtenidos por medición directa en campo, a continuación se comparan con los resultados que proporciona una

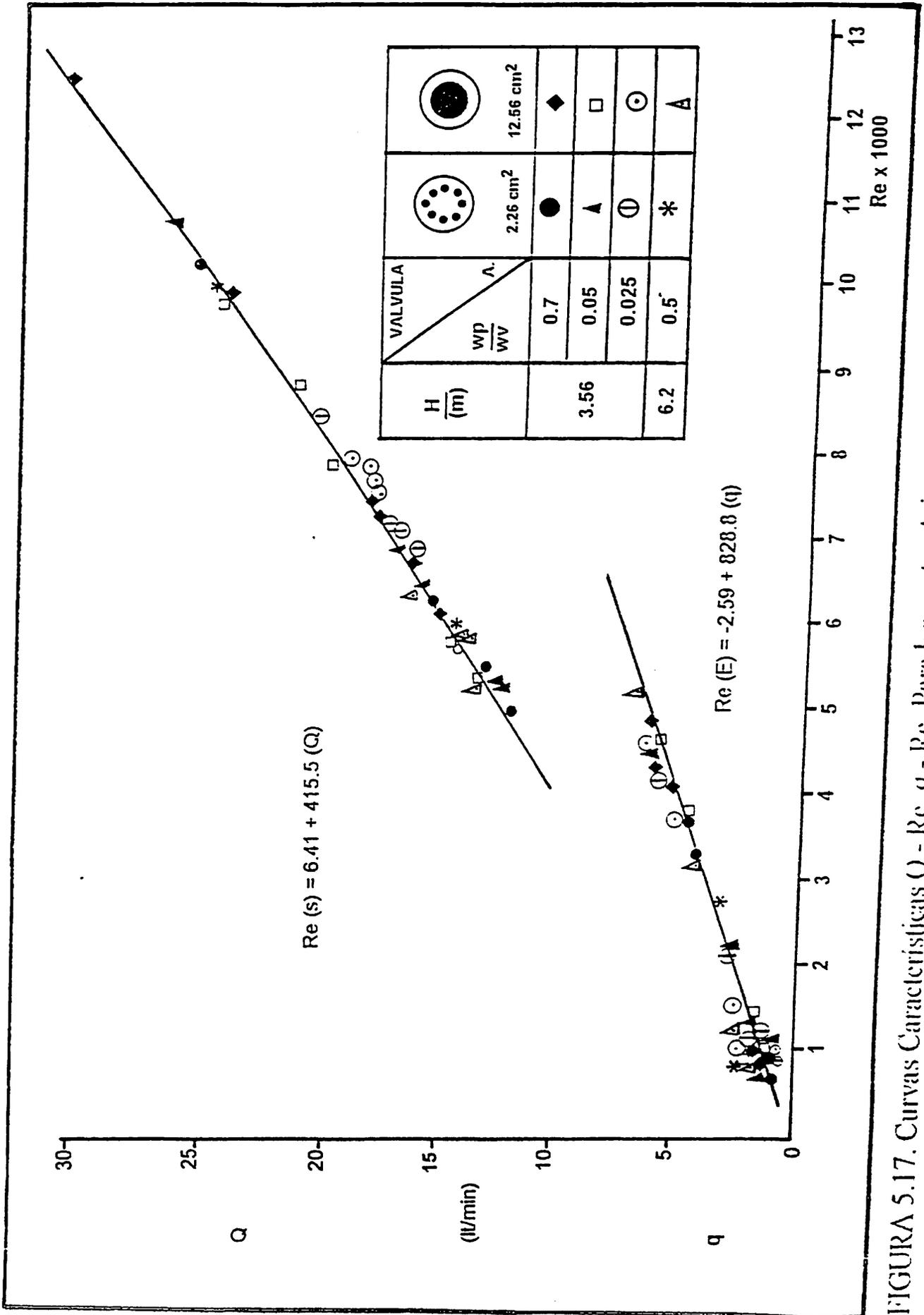


FIGURA 5.17. Curvas Características Q - Re. q - Re Para los cuatro Arceles

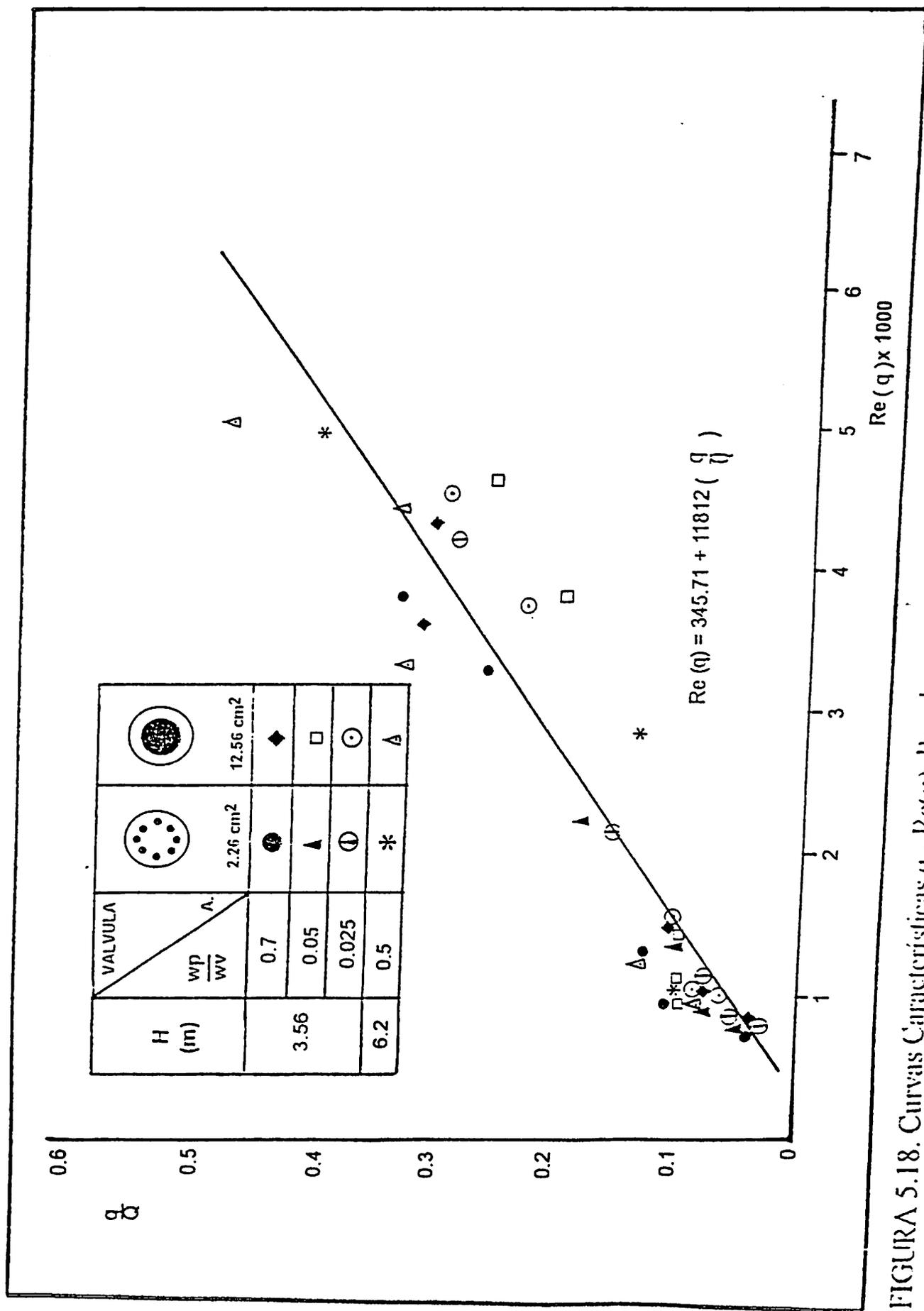


FIGURA 5.18. Curvas Características $\frac{q}{Q} - Re(q)$ Para los cuatro Aríetes

fórmula empírica obtenida en la literatura.

$$\text{La fórmula es : } q = \frac{1800 Qa h}{hE}$$

DONDE:

q = Caudal de entrega lt/hr

Q = Caudal de suministro lt/seg.

h = Carga de suministro (m)

h_e = Carga de entrega o descarga (m)

Los cuadros 5.1 a 5.6 comparan los valores de gasto de entrega (q) medidos en campo con los de la fórmula citada, los valores están dados en lt/min. para las pruebas uno a seis.

q_m = Gasto de entrega medido en campo

q_f = Gasto de entrega calculado en fórmula descrita.

CUADRO 5.1 Prueba 1. Ariete 1a.

COTA	q_m	q_f
1	4.0	2.9
2	2.6	1.67
3	1.6	1.1

CUADRO 5.2 Prueba 2. Ariete 1b.

COTA	q_m	q_f
1	5.2	2.9
2	5.0	3.6
3	1.9	0.85

4	1.1	0.6
5	0.9	0.66

4	1.3	1.33
5	1.0	2.15

CUADRO 5.3 Prueba 3. Ariete 2a.

COTA	qm	qf
1	5.42	3.02
2	2.65	1.44
3	1.6	1.9
4	1.7	1.3
5	0.9	1.9

CUADRO 5.4 Prueba 4. Ariete 2b.

COTA	qm	qf
1	5.64	3.9
2	4.62	3.5
3	1.8	1.7
4	1.4	1.23
5	1.2	0.96

CUADRO 5.5 Prueba 5. Ariete 3a.

COTA	qm	qf
1	5.1	3.23
2	2.6	2.59
3	1.4	2.0
4	1.0	1.6
5	0.85	1.5

CUADRO 5.6 Prueba 6. Ariete 3b.

COTA	qm	qf
1	5.5	3.04
2	4.5	3.03
3	1.9	1.93
4	1.3	1.6
5	1.1	1.4

Los cuadros anteriores muestran que los valores obtenidos por la fórmula son menores a los observados, para desniveles (Δh) de hasta 12 metros al menos; para desniveles mayores a esta cota y hasta 24.5 metros los valores estimados por la fórmula son muy similares a los observados, y a cotas superiores de este nivel los valores observados son algo menores a los calculados por la fórmula.

Los cuadros 5.7 y 5.8 comparan los valores de gasto (q) medidos en campo con los de la fórmula, los valores están dados en lt/min. para las pruebas siete y ocho.

CUADRO 5.7 Prueba 7. Ariete J3a.

COTA	qm	qf
1	5.9	3.9
2	3.4	3.4
3	1.3	2.13

CUADRO 5.8 Prueba 8. Ariete J3b.

COTA	qm	qf
1	6.1	3.5
2	4.0	2.83
3	1.5	1.76
4	1.2	1.5

Para la prueba siete el valor de la fórmula es menor al observado en campo para cotas de hasta 12mts, mientras que para desniveles intermedios alrededor de 13mts, el valor de la fórmula es similar al medido, y para alturas superiores los valores de la fórmula son mayores a los observados.

Los cuadros 5.9 a 5.16 y las figuras 5.19 a 5.22 comparan las eficiencias de bombeo entre las fórmulas de D'Aubisson's y Rankine en por ciento. Estas fórmulas fueron obtenidas de la literatura.

CUADRO 5.9 Prueba 1. Ariete 1a.

COTA	EA	ER
1	68.4	57.3
2	61.3	51.9
3	67.5	62.9
4	53.0	49.0
5	43.0	39.3

CUADRO 5.10 Prueba 2. Ariete 1b.

COTA	EA	ER
1	87.15	81.15
2	68.8	60.7
3	67.2	63.4
4	48.6	44.7
5	23.1	20.5

CUADRO 5.11 Prueba 3. Ariete 2a.

COTA	EA	ER
1	89.3	83.9
2	69.9	63.1
3	42.54	36.4
4	41.28	36.3
5	23.0	20.2

CUADRO 5.12 Prueba 4. Ariete 2b.

COTA	EA	ER
1	72.23	62.2
2	64.87	56.5
3	52.6	47.6
4	56.8	52.1
5	59.8	55.7

CUADRO 5.13 Prueba 5. Ariete 3a.

COTA	EA	ER
1	78.8	70.0
2	50.0	40.7
3	34.8	29.1
4	31.1	26.91
5	30.9	27.56

CUADRO 5.14 Prueba 6. Ariete 3b.

COTA	EA	ER
1	90.3	86.0
2	74.1	66.54
3	49.2	43.2
4	38.5	33.8
5	39.3	35.4

CUADRO 5.15 Prueba 7. Ariete J3a. CUADRO 5.16 Prueba 8. Ariete J3b.

COTA	EA	ER
1	74.4	56.4
2	52.9	38.2
3	30.4	23.7

COTA	EA	ER
1	86.9	74.8
2	70.0	56.9
3	42.5	34.6
4	34.8	29.4

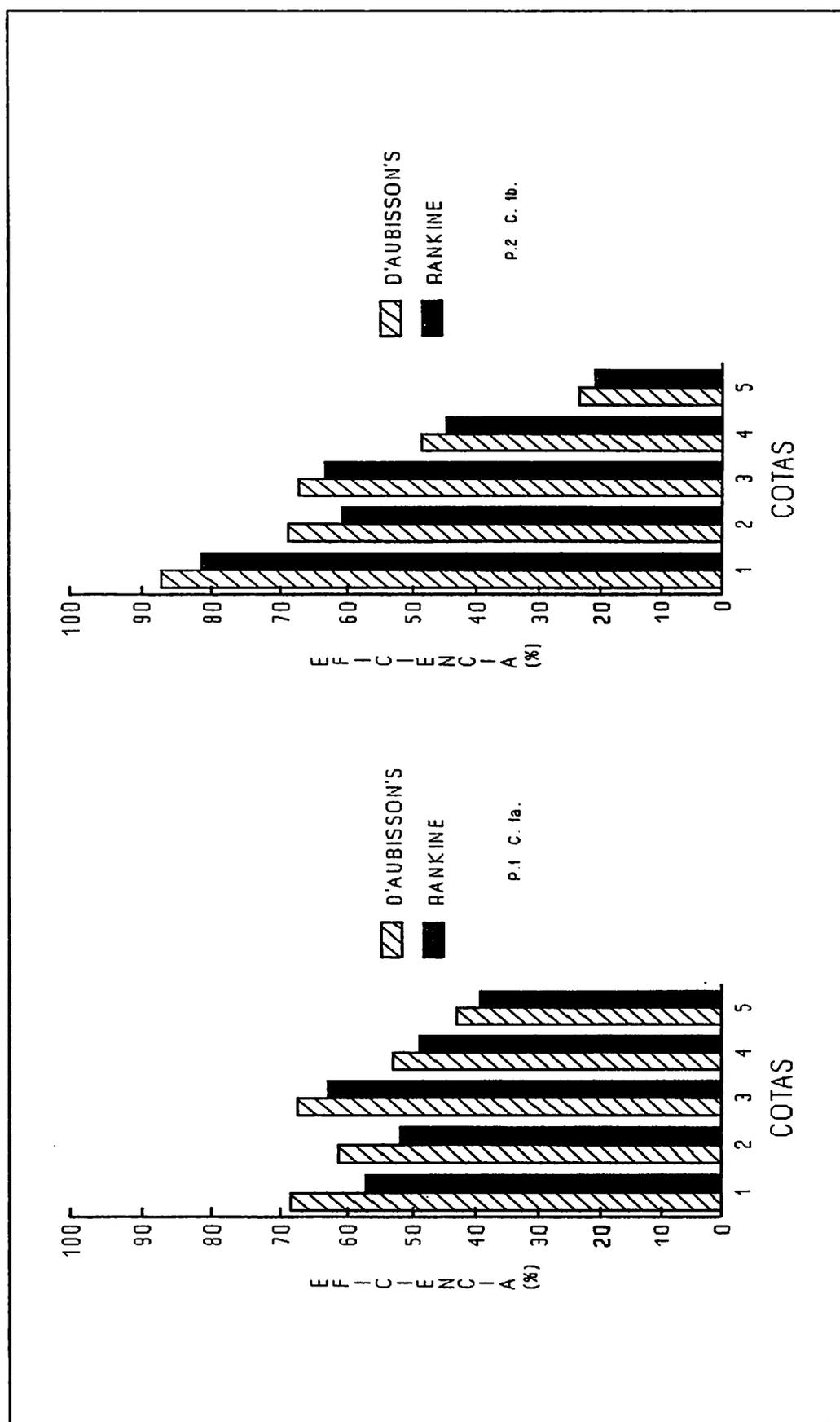


FIGURA 5.19. Eficiencia de Bombeo, Ariete 1a, 1b. (Pruebas Uno, Dos).

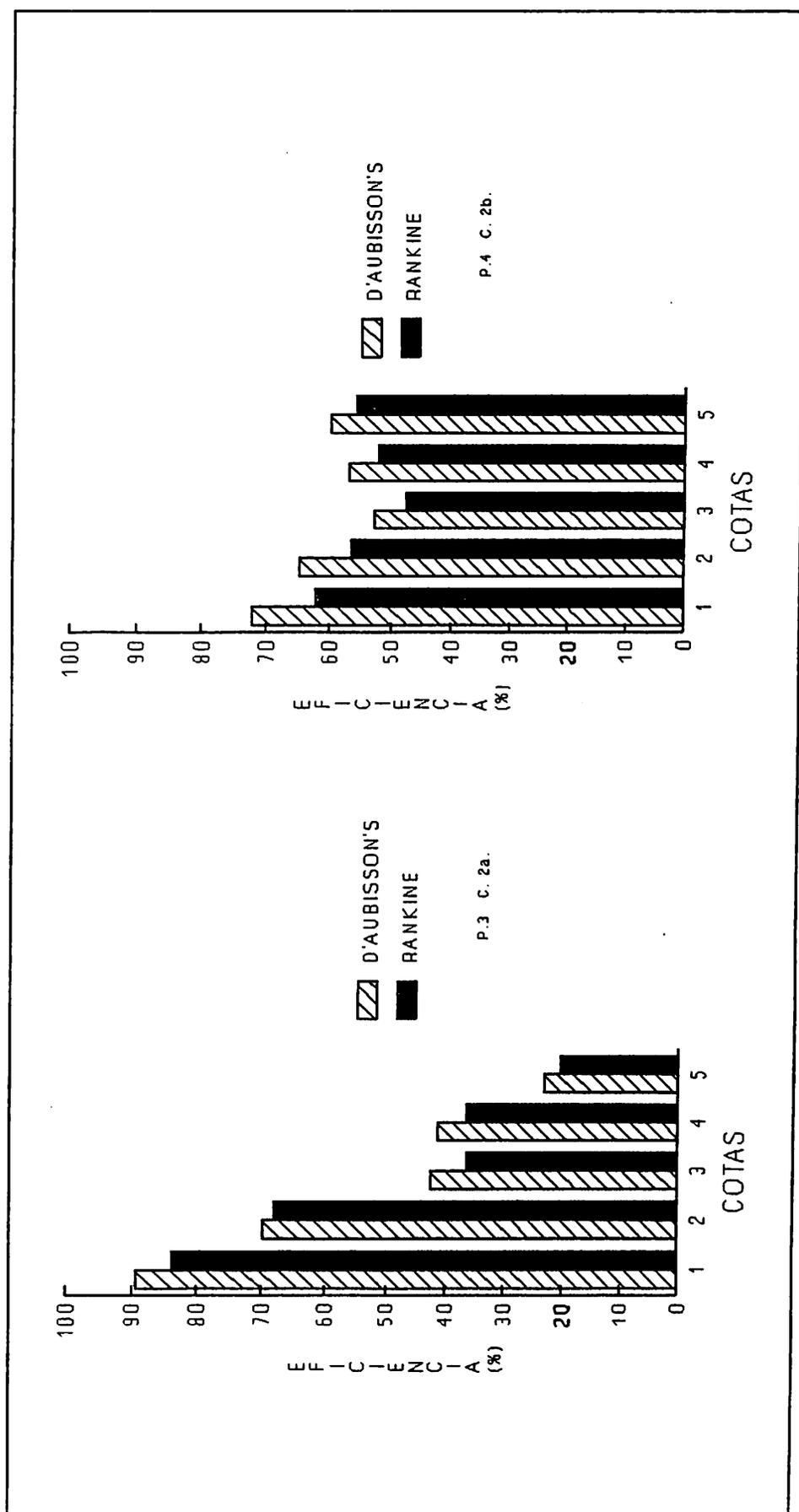


FIGURA 5.20. Eficiencia de Bombeo, Ariete 2a, 2b. (Pruebas Tres, Cuatro).

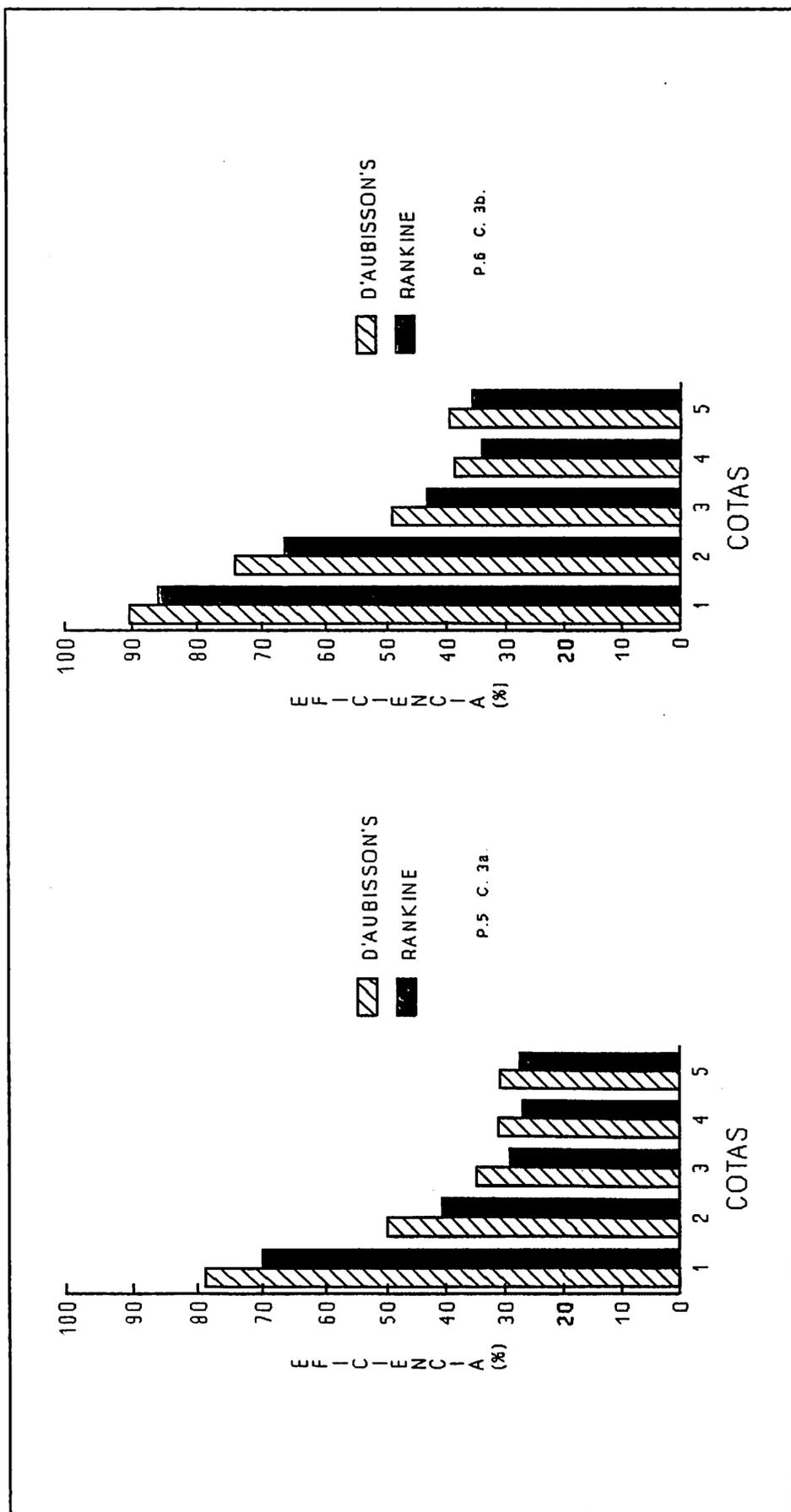


FIGURA 5.21. Eficiencia de Bombeo, Ariete 3a, 3b. (Pruebas Cinco, Seis).

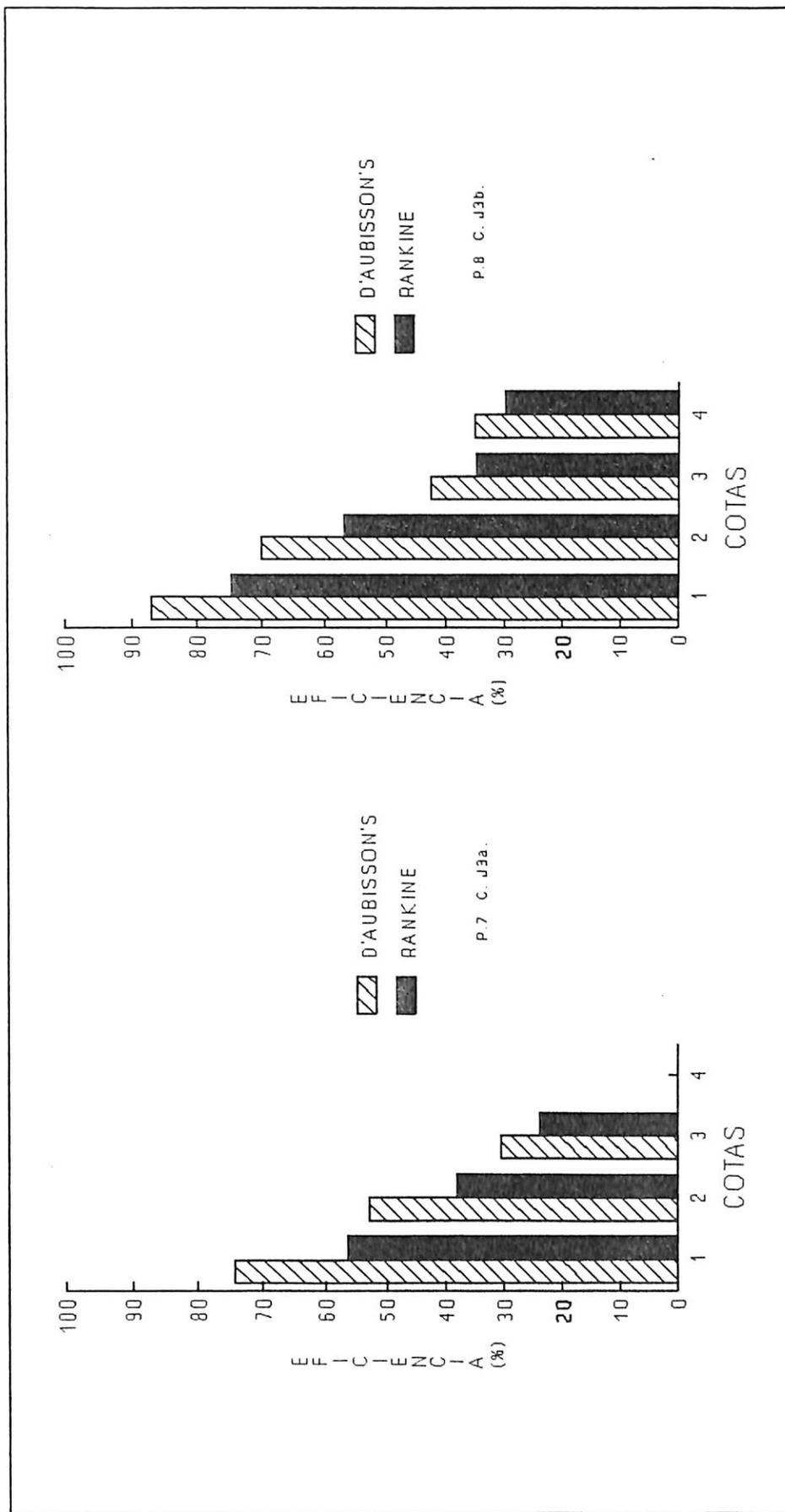


FIGURA 5.22. Eficiencia de Bombeo, Ariete J3a, J3b. (Pruebas Siete, Ocho).

Los resultados mostrados en cuadros y figuras se observa que para la cota uno $\Delta h = 8.46\text{m}$. se obtuvieron valores de eficiencia muy elevados, mayores del 70 por ciento en ambas fórmulas, sólo con excepción del ariete 1a. Para alturas arriba de esta cota y hasta los 24.6 metros se obtuvieron valores bastante buenos incluso algunos de ellos más elevados de los que cita la literatura, (Kitani 1984), en las dos fórmulas. Para cotas superiores a los 24 metros, las combinaciones 2b y 1a tienen valores muy aceptables; respecto a las demás combinaciones tuvieron éstas, valores regulares y algunos de ellos bajos, sobre todo para cotas más elevadas. En general se puede decir que la combinación 2b resultó con mayor uniformidad de eficiencia, y con valores bastante buenos para las cinco alturas (Δh) en los que ésta fue evaluada.

Para las pruebas siete y ocho se obtuvieron buenas eficiencias, en las alturas de hasta 14 metros en ambas fórmulas con excepción de la fórmula de Rankine en la prueba siete; para cotas hasta de 29m. se obtuvieron eficiencias algunas buenas y regulares otras para las dos fórmulas; una eficiencia considerando como baja fue la combinación J3a. en la fórmula de Rankine.

Porcentaje de gasto desperdiciado (Qd) y de entrega (q).

Los cuadros 5.17 a 5.24 y las figuras 5.23 a 5.26 muestran relación QD-q en por ciento para cada prueba.

CUADRO 5.17 Prueba 1. Ariete 1a.

COTA	QD	q
1	73.4	26.2
2	80.3	19.7
3	88.1	11.9
4	92.5	7.5
5	93.9	6.1

CUADRO 5.18 Prueba 2. Ariete 1b.

COTA	QD	q
1	68.5	31.5
2	79.1	20.9
3	89.3	10.7
4	92.8	7.2
5	96.7	3.3

CUADRO 5.19 Prueba 3. Ariete 2a.

COTA	QD	q
1	65.8	34.2
2	81.5	18.5
3	89.8	10.8
4	92.2	7.8
5	96.5	3.5

CUADRO 5.20 Prueba 4. Ariete 2b.

COTA	QD	q
1	73.4	26.6
2	80.8	19.2
3	90.8	9.2
4	90.1	9.9
5	90.0	9.1

CUADRO 5.21 Prueba 5. Ariete 3a.

COTA	QD	q
1	70.6	29.4
2	84.8	15.6
3	92.1	7.9
4	94.3	5.7
5	95.3	4.7

CUADRO 5.22 Prueba 6. Ariete 3b.

COTA	QD	q
1	69.3	30.7
2	76.3	23.7
3	87.9	12.1
4	93.0	7.0
5	94.1	5.0

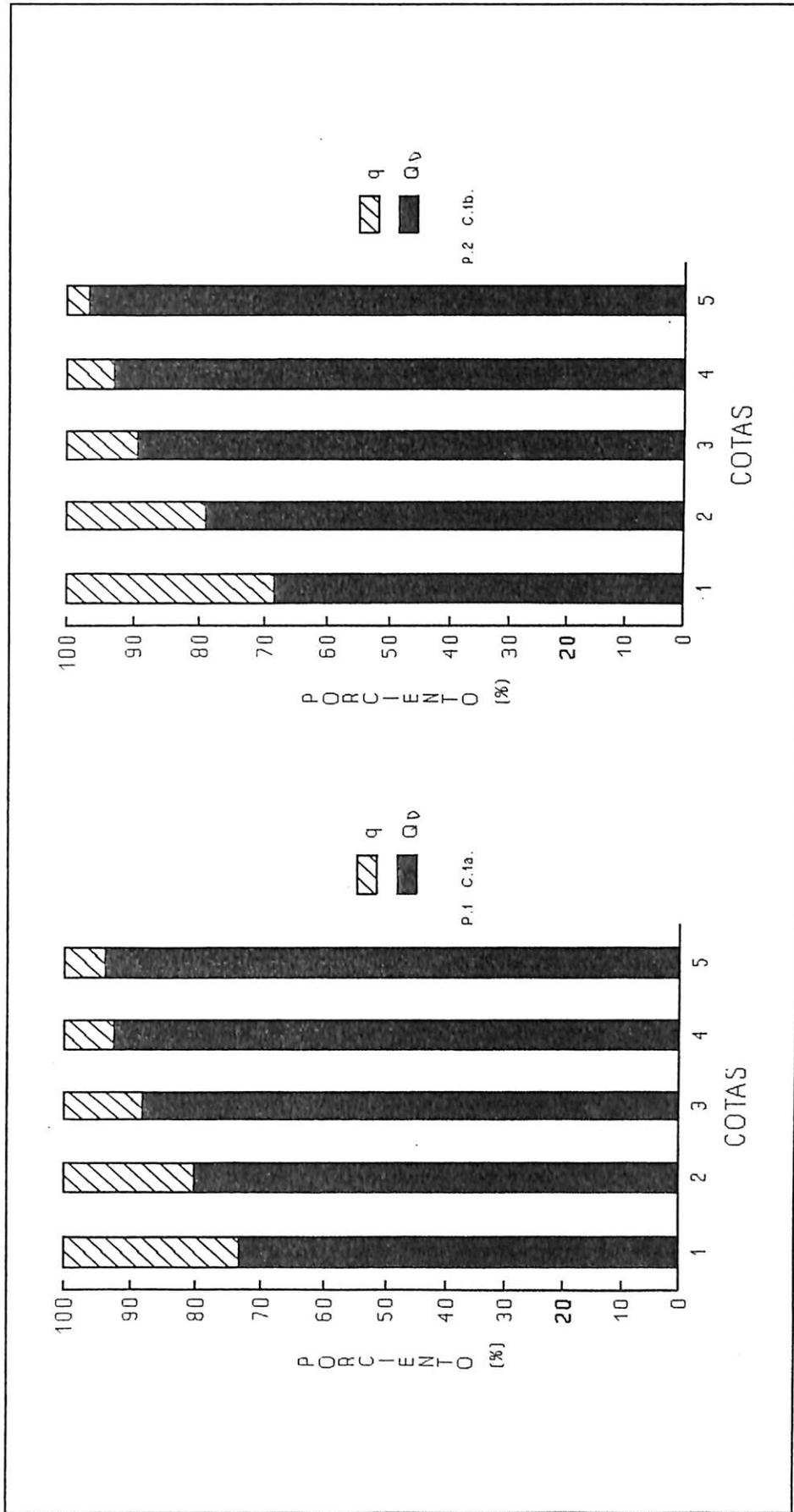


FIGURA 5.23. Relación QD - q (%). Ariete 1a, 1b. (Pruebas Uno, Dos).

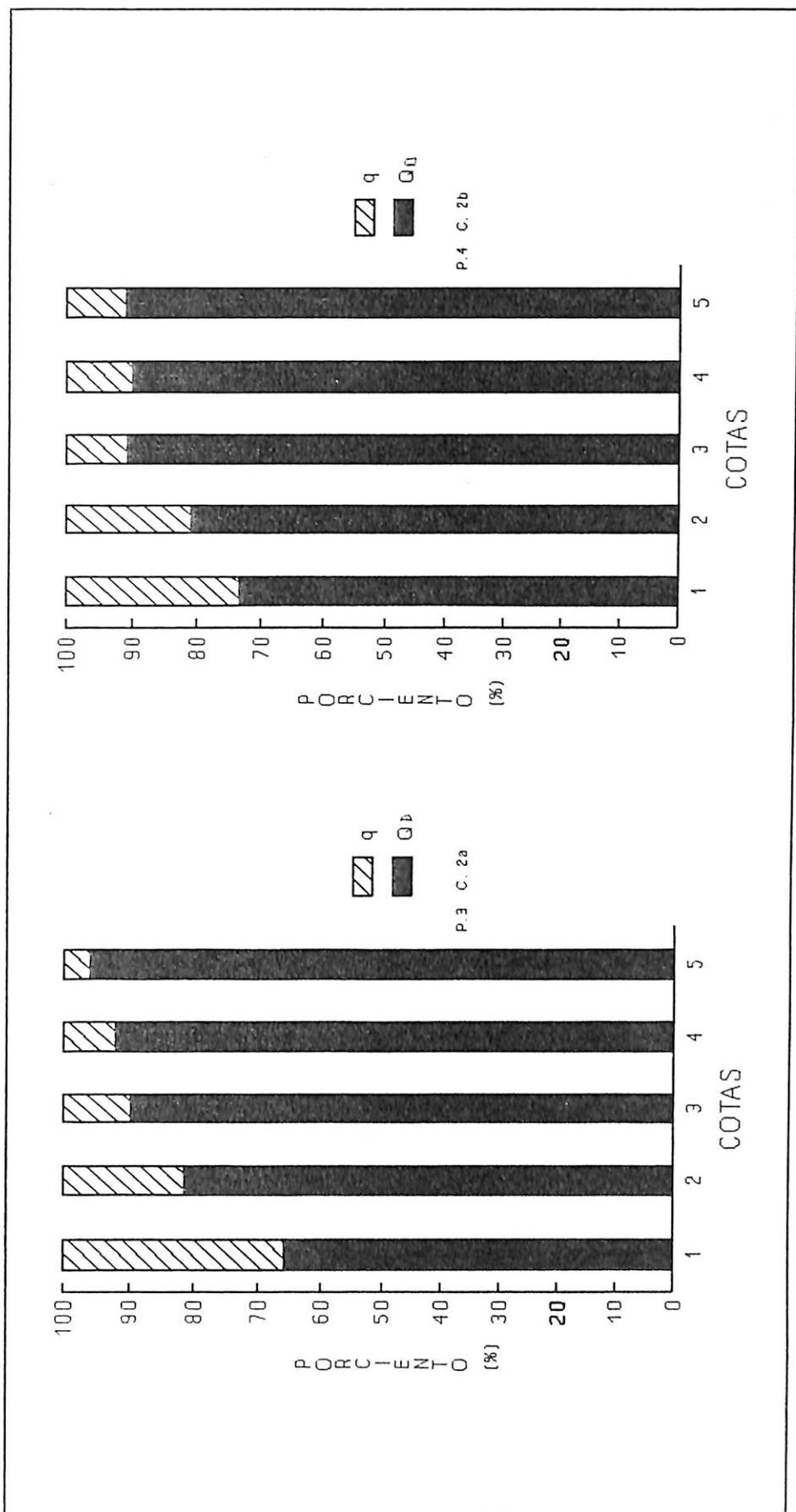


FIGURA 5.24. Relación QD - q (%). Ariete 2a, 2b. (Pruebas Tres, Cuatro).

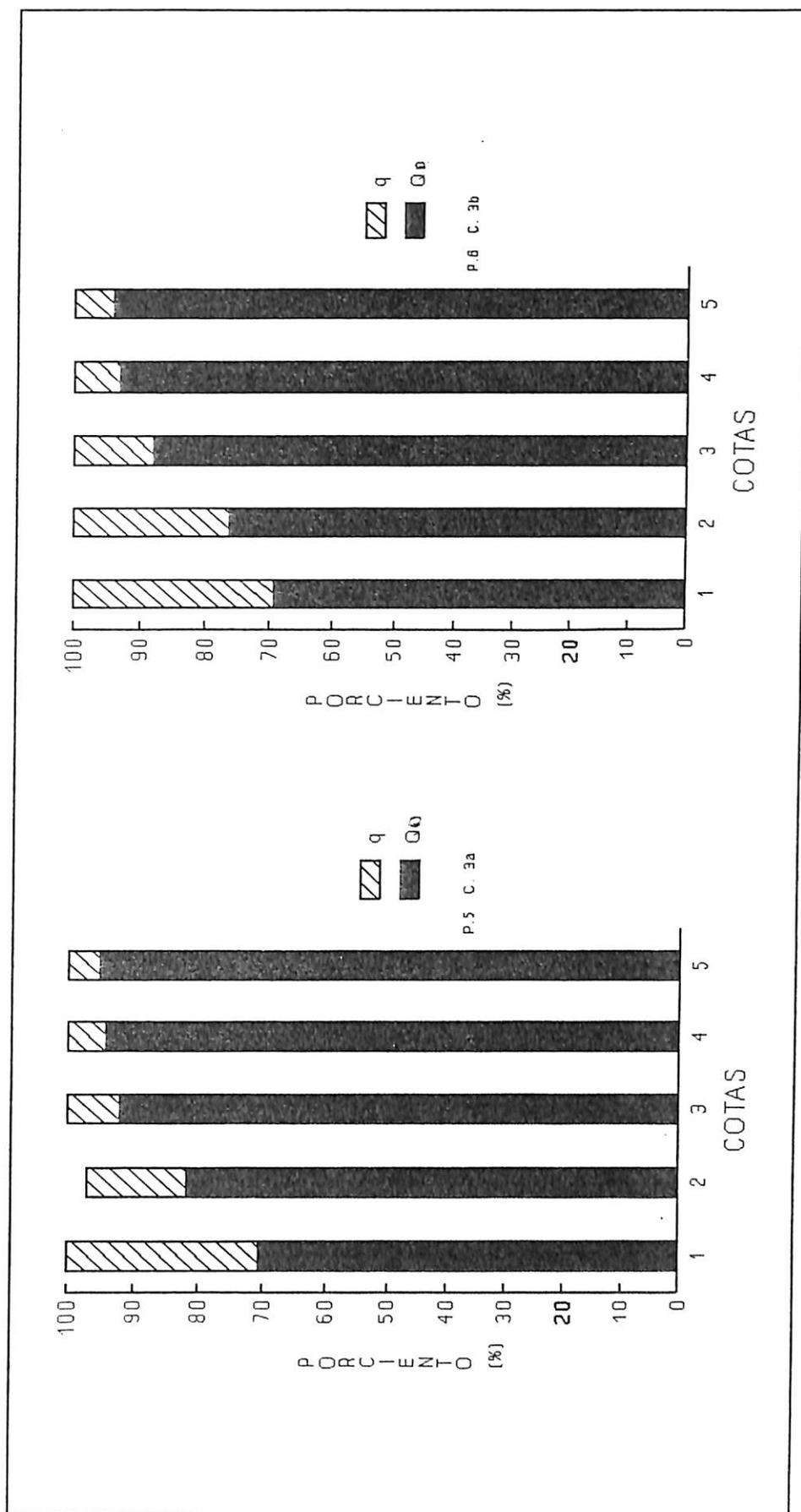


FIGURA 5.25. Relación QD - q (%). Ariete 3a, 3b. (Pruebas Cinco, Seis).

CUADRO 5.23 Prueba 7. Ariete J3a. CUADRO 5.24 Prueba 8. Ariete J3b.

COTA	QD	q
1	58.74	41.25
2	76.22	23.78
3	91.33	8.666

COTA	QD	q
1	51.96	48.03
2	68.75	31.25
3	87.92	12.1
4	92.4	7.5

En la figura 5.27 para la válvula “a” se aprecia como el gasto de descarga disminuye conforme aumenta la relación h/H , es decir conforme aumentaba la altura en el punto de descarga; relacionando las dos secciones de la gráfica vemos que el gasto de suministro se hace mayor al aumentar la relación h/H . La Figura 5.28 muestra la misma tendencia que la anterior pero en este caso para la válvula “b”.

Finalmente, comparando los resultados experimentales con los datos de otros arietes, (arietes marca goulds) se tomaron los datos del ariete número cinco debido a que su diámetro de alimentación es de dos pulgadas y el diámetro de descarga es de una pulgada, los cuáles coinciden con los diámetros utilizados en este trabajo. En la figura 5.29 se observa que los datos experimentales tienen una tendencia similar a la del ariete utilizado en este trabajo.

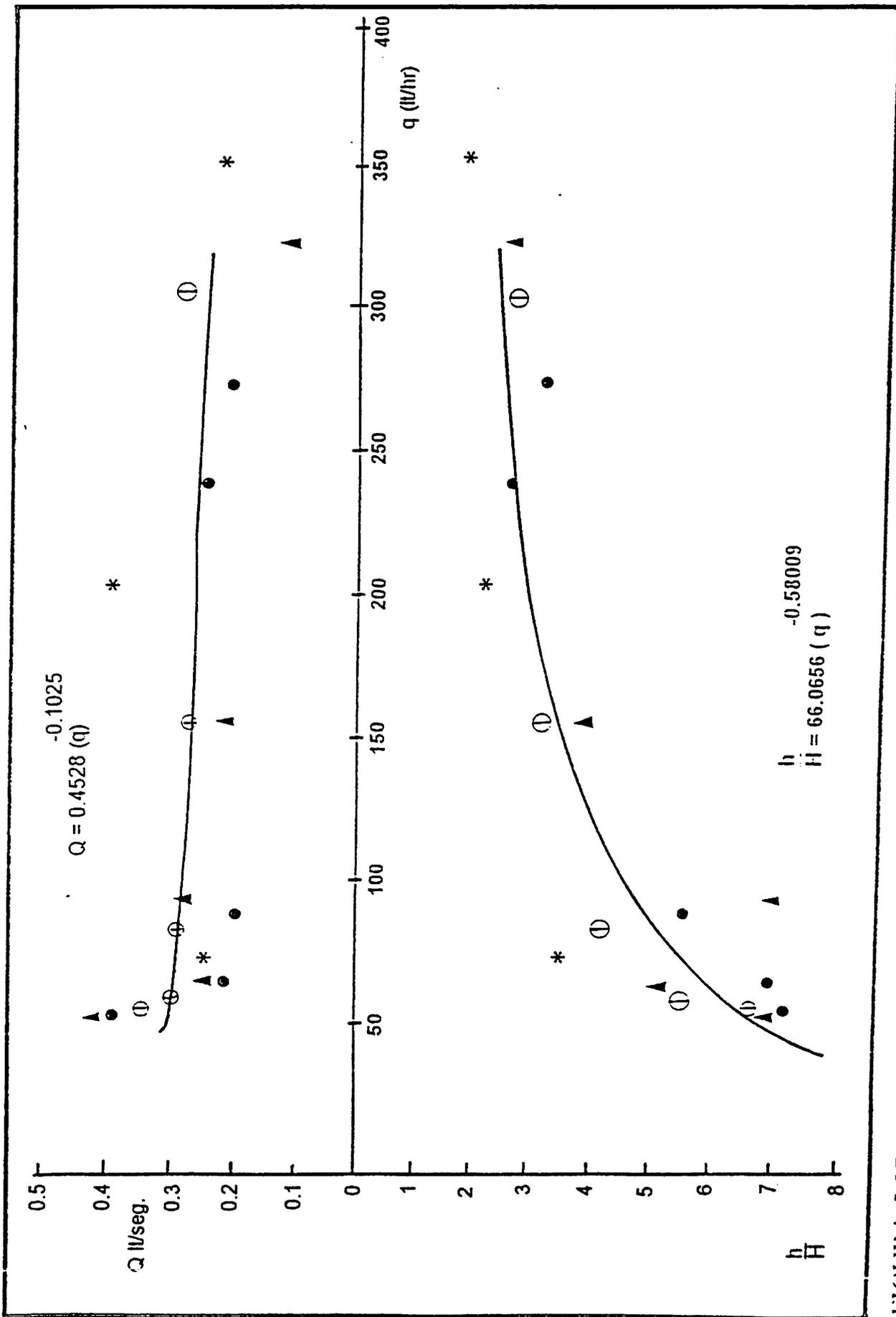


FIGURA 5.27. Curvas Características $Q(h \text{ seg}) - q(h \text{ hr})$, $h - q(h \text{ hr})$ Para la Válvula "a"

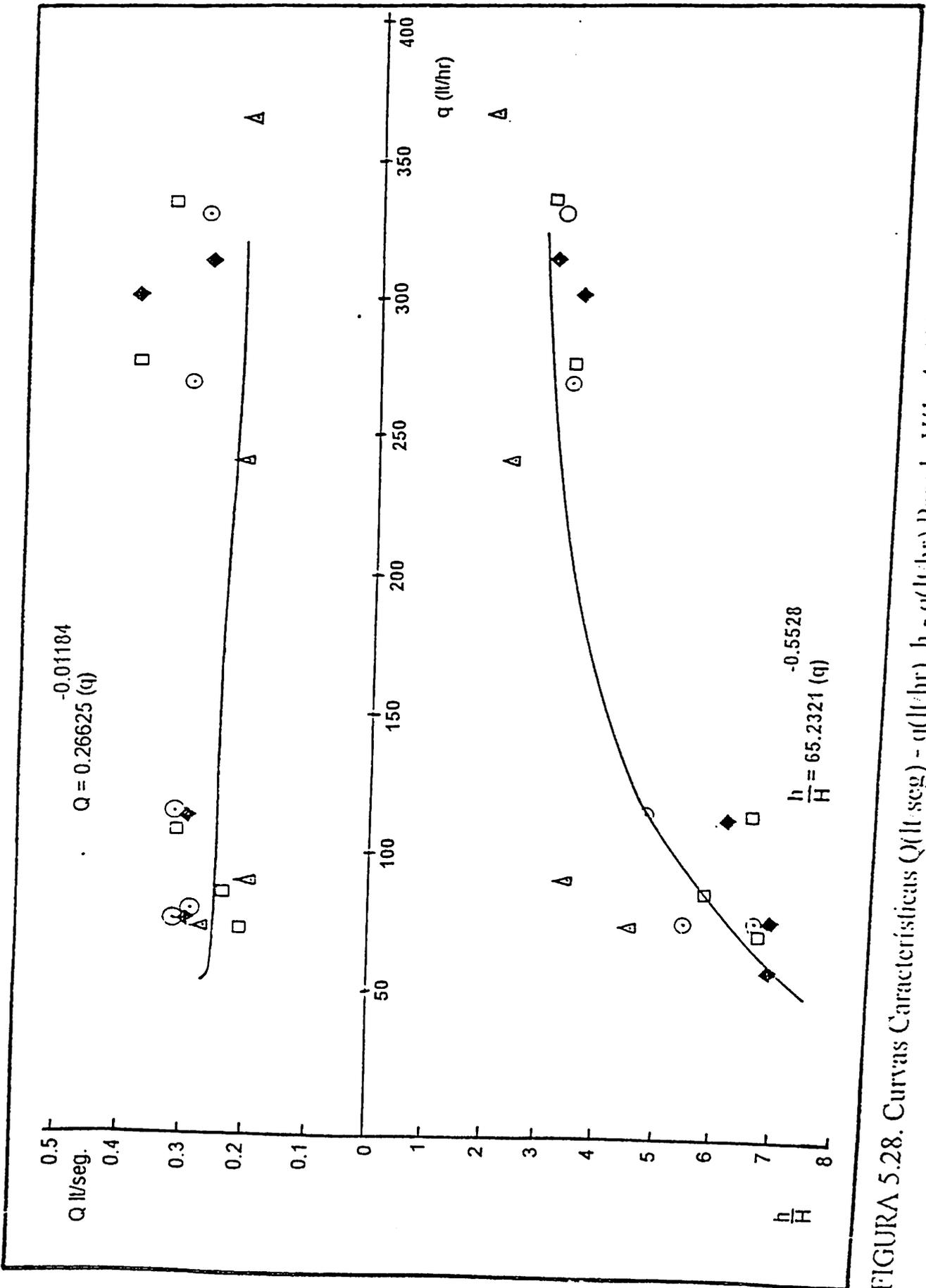


FIGURA 5.28. Curvas Características $Q(l/seg) - q(l/hr)$, $\frac{h}{H} - q(l/hr)$ Para la Válvula "b"

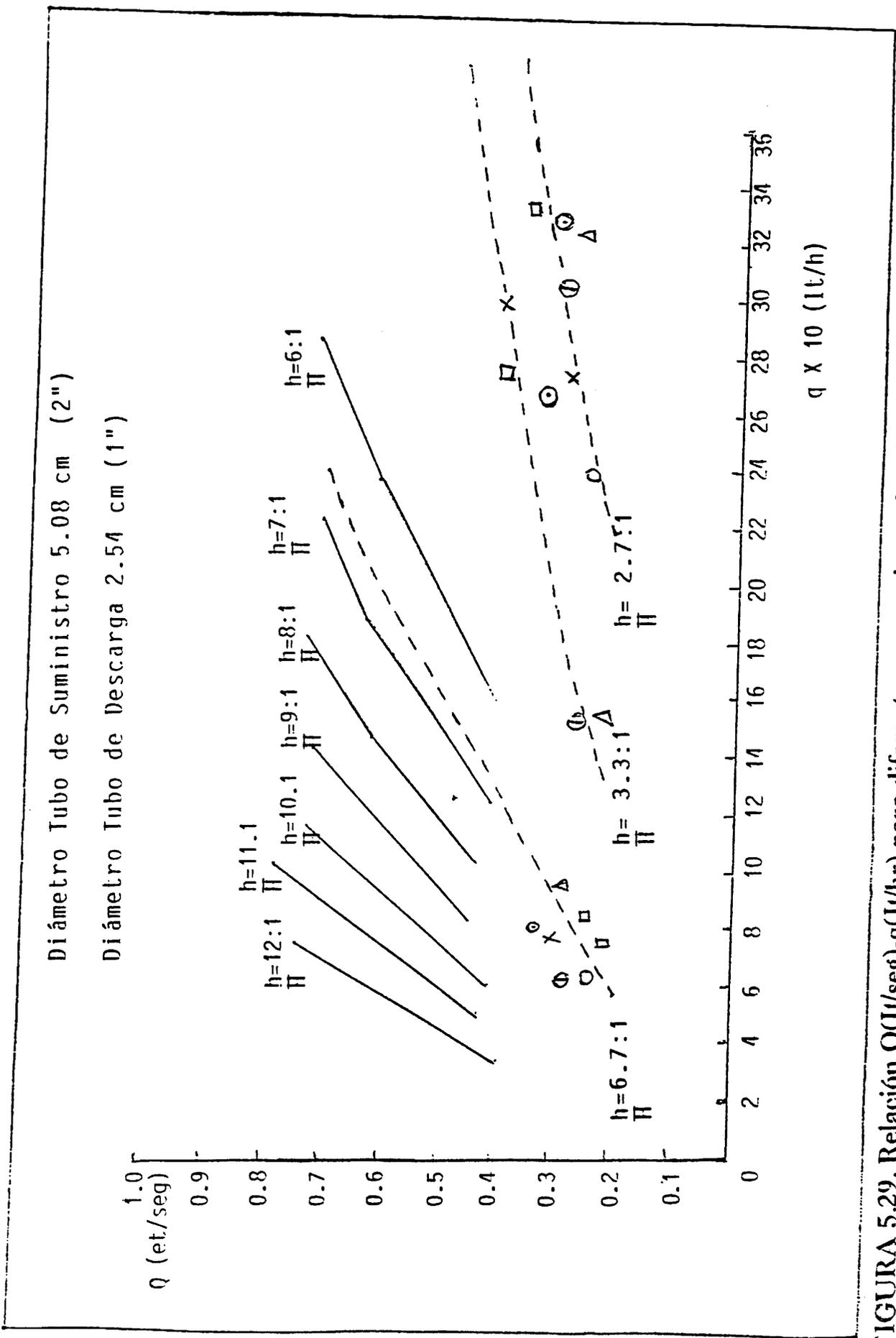


FIGURA 5.29. Relación $Q(lt/seg)-q(lt/hr)$ para diferentes proporciones de h/H comparados con los de la literatura.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, y bajo las condiciones en que se desarrolló esta investigación, se presentan las siguientes conclusiones.

El funcionamiento de los arietes hidraulicos presentan una función de tipo potencial, y la curva característica muestra que el mayor gasto de entrega, corresponde a la mínima carga de entrega. A mayor carga para la entrega se tendrá un menor gasto, y con menor carga se tendrá mayor caudal aportado.

Las pequeñas diferencias en presión en las cámaras determinan que la cámara uno tiene una capacidad ligeramente mayor para alcanzar cotas más elevadas.

En los gastos entregados para un rango de hasta 24.5 metros de desnivel las diferencias existentes son muy reducidas y de esta cota hasta 26.5 metros de desnivel la cámara uno muestra una ligera ventaja; en la

práctica hasta una cota de 24.6 m. se puede considerar una capacidad similar entre las tres cámaras.

La caja de válvulas que consistió únicamente de un tubo de dos pulgadas de diámetro, aun cuando tuvo un funcionamiento satisfactorio, sus resultados no deben ser comparados con los de la caja de válvulas original ya que funciono con mayor carga hidráulica de suministro. Se puede concluir que esta caja de válvulas - tubo 2"- tiene un buen funcionamiento bajo las condiciones en que se instalo el ariete en su segunda posición.

La válvula con mayor área de derrame opero con mayor presión en la cámara de aire en la mayoría de los ensayos, dando mayores gastos de entrega.

La fórmula empírica para calcular caudal de entrega tuvo valores congruentes con los observados dentro de un rango de desnivel de los 16 a los 20.7 metros y no para cotas menores y mayores de este rango. Las eficiencias de bombeo son bastante aceptables en todos los ensayos, la ecuación de D'Aubisson's proporciona valores más altos que la de Rankine.

El ariete construido tiene capacidad y eficiencia aceptables, puede ser usado para suministrar agua en el rango de hasta 26 metros de desnivel de acuerdo a las condiciones de la primera posición. Las ventajas que presenta son: Es fácil y barato de fabricar, tiene bajo costo de operación, y se puede utilizar donde no haya electricidad; bajo las condiciones de la segunda posición el ariete puede suministrar agua hasta 28.5 metros de altura.

Las cartas de diseño obtenidas a partir de los parámetros del funcionamiento hidráulico, que presentaron correlación estadística al relacionarse gráficamente, pueden ser utilizadas para inferir en modelos de ariete de las mismas características de diseño y construcción de los arietes con que se experimento este trabajo.

Se recomienda repetir este trabajo usando en la línea de distribución - entrega - tubería de fierro galvanizado, cobre o pvc que se reduzca su diámetro en forma telescópica después de haber rebasado los 11 metros de altura. La tubería debe de estar instalada en forma permanente para su protección y para facilitar los trabajos. Utilizar válvulas de purga o en su defecto experimentar con válvulas de flujo unidireccional, éstas

últimas con el fin de evitar que se descargue la tubería, cuando por algún motivo se detenga el funcionamiento del ariete.

Se recomienda que las válvulas de purga que se intercalen en la línea de descarga, deben de colocarse al pie de desniveles verticales o muy pronunciados mayores de 45 grados las válvulas deben de quedar instaladas en forma permanente y fácil de operar.

En posteriores investigaciones experimentar con diferentes longitudes y diámetro en la tubería de suministro.

Realizar una investigación específicamente en la válvula de desperdicio, para determinar con mayor exactitud la influencia del área de derrame de agua, así como la variación de la resistencia al cierre, en la intensidad, del golpe de ariete.

De acuerdo a los costos que se presentan en el Apéndice B y a los mencionados al final del siguiente resumen para el último de los arietes evaluados se concluye que se logro el objetivo principal de este trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en las instalaciones de la U.A.A.A.N. en Buenavista Saltillo, Coahuila, el objetivo principal fue el de construir un ariete hidráulico de bajo costo, y evaluar su funcionamiento en pruebas de campo, el diseño y la construcción se realizaron de forma empírica los materiales con que se construyó el ariete y algunos de sus accesorios, así como la gran mayoría de los materiales de la instalación hidráulica, con excepción de la línea de distribución fueron sobrantes y/o de desecho.

El ariete se colocó en dos posiciones, en la primera posición se evaluaron tres cámaras de presión y dos válvulas de gasto, haciéndose seis combinaciones cámara - válvula probando su operación a diferentes alturas. En la segunda posición se llevaron a cabo dos pruebas más, estas se analizaron por separado ya que al cambiar la posición del ariete, aumentó la longitud de la tubería de impulso, y la carga de suministro, en estas dos últimas pruebas se utilizó la cámara de presión de menor volumen y la caja de válvulas fue sustituida por un tubo de dos pulgadas de diámetro y 80 cm.

de largo en la cual se busco la forma de acoplar la válvula de gasto y la cámara de presión, por medio de accesorios de tubería.

En la discusión se presentan los parámetros que presentaron correlación estadística al relacionarse gráficamente. Con estas gráficas se obtienen curvas características, del funcionamiento hidráulico de los arietes utilizados, estas curvas pueden ser usadas como cartas de diseño y usarse para inferir en modelos de ariete de las mismas características de diseño y construcción de los arietes ensayados en este trabajo.

El caudal de entrega (q) fue medido y calculado directamente en campo, los valores obtenidos en esta forma fueron comparados con los que se obtienen de una fórmula de origen empírico.

Las eficiencias de bombeo fueron determinadas por dos diferentes fórmulas encontrándose que una de ellas ofrece valores más elevados que la otra, pero en ambos casos las eficiencias fueron bastante buenas. Los valores en porcentaje de gasto de desperdicio o de derrame (Q_d) y caudal de entrega (q) son presentados en cuadros y gráficas para su mejor observación.

Se considera aplicable este trabajo en zonas con fuente de agua permanentes y declives pronunciados donde se carece de energía eléctrica y de combustión, y se requiere conducir agua para usos de diversa índole, que requiera de pequeños gastos.

De acuerdo a los costos que presentó el ultimo ariete evaluado, donde la caja de válvulas y la cámara de presión tuvieron un costo de 52 pesos y 21 pesos respectivamente incluyendo el roscado de los tubos, además de los costos mostrados en el apéndice B para la válvula Check, la Te, y el codo se concluye con toda seguridad que el trabajo cumplió su principal objetivo.

LITERATURA CITADA

Azevedo, N.J.M. 1975. Manual de Hidráulica, Ed. Harla, México, D.F. P. 292-304.

De Parres, J.L. 1977. Maquinas Hidráulicas, Ed. Litoarte, México, D.F. P. 202-210.

Gómez, J.R. 1983. Logros y Aportaciones de la Investigación en la Ingeniería y Mecanización Agrícola S.A.R.H. I.N.I.A., México, D.F. P. 24.

King, H.W. 1962, Manual de Hidráulica, U.T.E.H.A. México. P. 1977-1982.

Kitani, K. And L.S. Willardson, 1984. Hidraulic Ram Use For Sprinkle Irrigation, Transactions Of the Asae. Vol. 27 No. 6 Dic. P. 1788-1791.

Krol, J. 1976 The Automatic Hydraulic Ram. Asme. Pulicatio N. 76-de 17:
1-12.

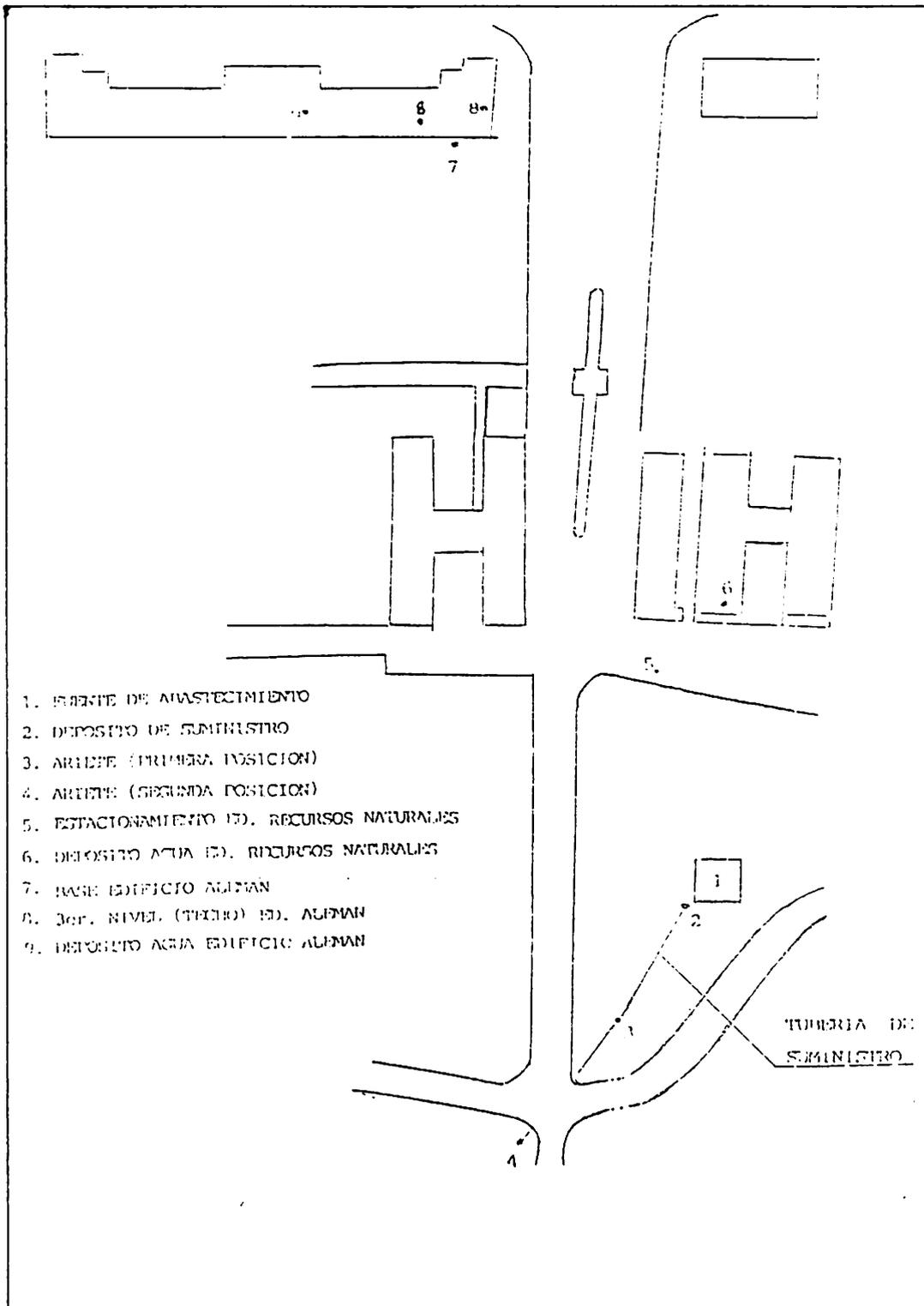
Rojas, M.E. 1991 Aplicación del Ariete Hidráulico (Bombeo) sin Energía en
cultivo de Tomate *Lycopersicum Esculentum* Regado por Goteo.
Tesis Profesional "U.A.A.A.N." U.L.

Schafer, A. 1959 Hidráulica y Construcciones Hidráulicas. Ed. Labor
México P. 125 - 129. 133 - 134.

APENDICES

APENDICE A

CROQUIS DEL AREA DE TRABAJO



APENDICE A. Croquis del Área de Trabajo

APENDICE B

CUADRO DE COSTOS PARA UN ARIETE HIDRAULICO

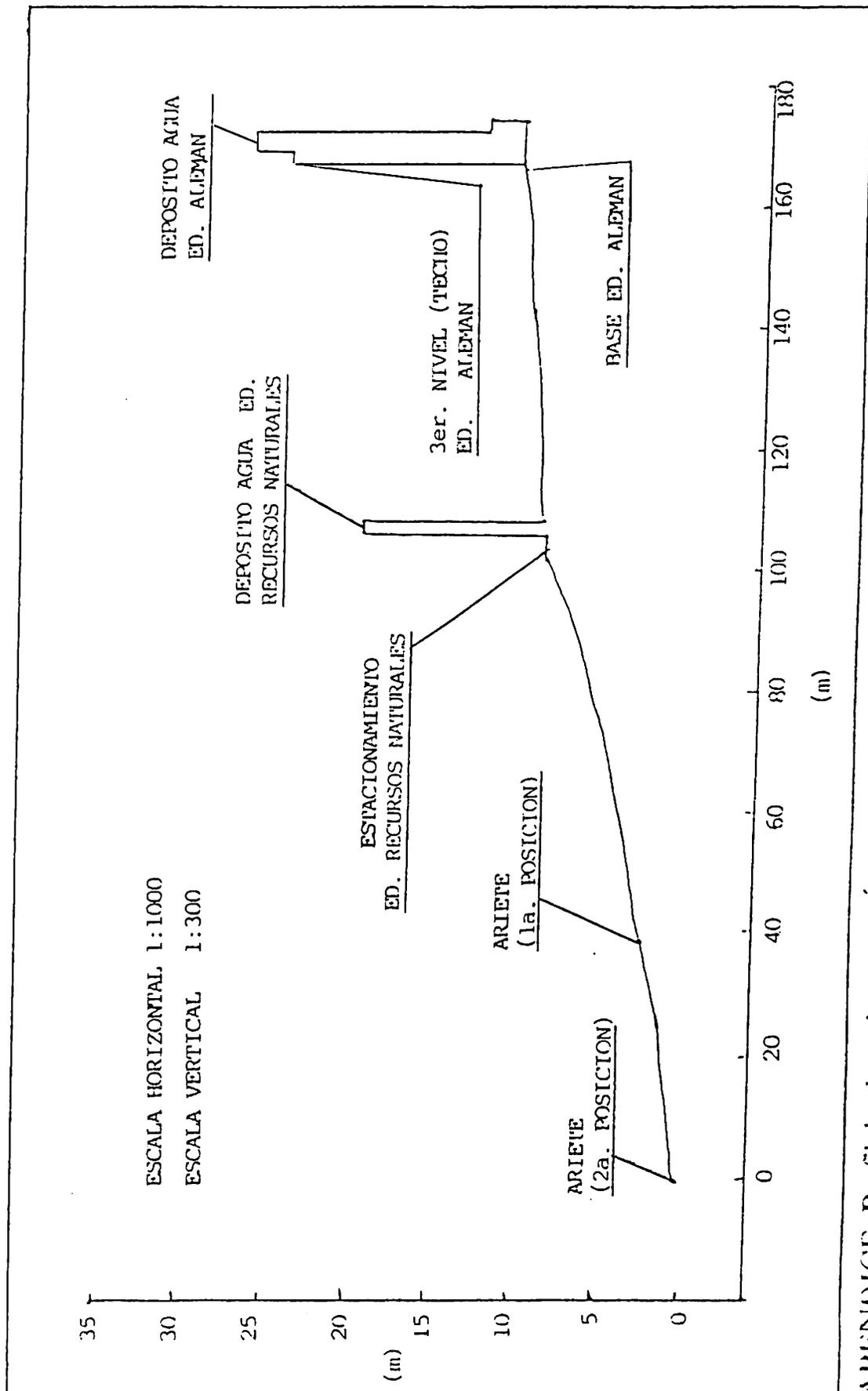
SEMEJANTE AL UTILIZADO

APENDICE B

MATERIAL	PRECIO/UNIDAD (PESOS)
Tubo de Fierro Galvanizado de 2” de Seis Metros de Largo Roscado	\$ 380.00
Tubo de Fierro de 8”, Cédula 40, un Metro de Largo	336.00
Tanque de 220 Litros de Capacidad	40.00
Válvula Check 2”	188.00
Tuerca Unión 2”	45.00
Niple 2”, 2 ½” Largo	9.50
Cople 2”	16.00
Codo 90° 2”	20.00
Tapón Cachucha 2”	12.00
Te 2”	32.00
Manómetro	86.00

APENDICE C

PERFIL DE ELEVACIONES DEL AREA DE TRABAJO



APENDICE. Perfil de elevaciones del Área de Trabajo

APENDICE D

PLANILLA DE TOMA DE DATOS EN CAMPO

APENDICE D

Co.	Ca.	Va.	Hr.	CT.	G.V.	h	C.C.P.	P	G/M	q

Co. = Cota, Punto de Entrega

Ca. = Cámara Utilizada

Va. = Válvula Utilizada

Hr. = Hora

C.T. = Carga en Deposito de Suministro

G.V. = Gasto de Suministro Medido Volumétricamente

h = Carga en Manguera de Entrega a Depósito de Suministro

p = Presión o Carga en Manómetro de Ariete

G/M = Golpes de Ariete por Minuto

q = Gasto de Entrega en Cota Respectiva

APENDICE E

PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL ARIETE

APENDICE E

PRUEBA	Q Q=lt/min	Re (Q)	q q=lt/min	Re (q)	q/Q
1	15.23	6315	4.0	3304	0.2361
	13.2	5493	4.6	3308	0.348
	12.3	4994	1.5	1246	0.121
	14.3	5816	1.1	913	0.104
	15.0	10387	0.9	746	0.036
2	16.5	6865	5.2	4318	0.315
	24.0	9988	5.0	4151	0.208
	17.7	7365	1.9	1576	0.107
	18.0	7491	1.3	1079	0.072
	30.0	12485	1.0	829	0.033
3	15.81	6573	5.4	4464	0.0341
	14.32	5957	2.6	2174	0.183
	16.59	6901	1.6	1329	0.96
	14.04	5841	1.1	913	0.078
	26.0	10795	0.9	746	0.034
4	21.2	8823	5.6	4666	0.268
	24.0	9988	4.62	3836	0.192
	19.1	7920	1.8	1388	0.094
	14.1	5866	1.4	1162	0.099
	13.18	5483	1.2	996	0.091
5	17.32	7208	5.1	4235	0.294
	16.6	6921	2.6	2159	0.156
	17.65	7345	1.4	1162	0.079
	17.5	7309	1.0	829	0.059
	20.41	8490	0.95	786	0.046
6	17.9	7445	5.5	4567	0.307
	19.2	8016	4.5	3738	0.233
	18.3	9371	1.9	1576	0.103
	18.5	7698	1.3	1079	0.070
	18.61	7743	1.3	1079	0.069
7	14.3	5947	5.9	4900	0.412
	24.3	10089	3.4	2822	0.139
	15.0	6204	1.3	1079	0.086
8	12.7	5281	6.1	5044	0.48
	12.8	5327	4.0	3304	0.312
	12.4	5412	1.5	1246	0.12
	15.8	6573	1.2	983	0.75

APENDICE E CONTINUACION

PRUEBA	H	h	h/H	Ef	Fr (q)
1	3.5	9.12	2.6	68.4	0.186
	3.5	10.9	3.11	61.3	0.214
	3.6	20.0	5.5	67.5	0.069
	3.6	24.9	6.9	53.0	0.051
	3.7	26.4	7.1	43.0	0.041
2	3.4	9.42	2.77	87.1	0.242
	3.4	11.24	3.3	68.8	0.232
	3.5	21.88	6.22	67.2	0.88
	3.65	24.6	6.8	48.6	0.06
	3.8	26.5	6.9	23.1	0.046
3	3.6	9.42	2.6	89.3	0.251
	3.6	13.76	3.8	69.9	0.121
	3.72	26.41	7.1	42.5	0.074
	3.75	19.76	5.1	41.2	0.051
	3.75	24.9	6.7	23.0	0.041
4	3.58	9.72	2.77	72.2	0.262
	3.62	12.2	3.38	6.48	0.215
	3.2	20.6	6.4	52.6	0.083
	3.61	20.6	5.7	56.8	0.065
	3.61	24.71	6.8	59.8	0.55
5	3.63	9.72	2.7	78.8	0.237
	3.6	11.5	3.2	50.0	0.121
	3.74	16.4	4.43	34.0	0.065
	3.62	19.8	5.5	31.0	0.046
	3.75	24.9	6.7	30.9	0.44
6	3.62	10.6	2.9	90.3	0.256
	3.62	11.5	3.9	74.1	0.209
	3.72	17.6	4.7	49.2	0.088
	3.72	20.36	5.48	38.5	0.061
	3.773	24.7	6.6	39.3	0.061
7	6.1	11.0	1.8	74.4	0.274
	6.2	13.8	2.2	52.9	0.158
	6.3	22.1	3.5	30.4	0.06
8	6.3	11.4	1.8	86.9	0.283
	6.3	14.2	2.25	70.0	0.186
	6.3	22.15	3.51	42.5	0.069
	6.3	28.9	4.5	34.8	0.055

APENDICE E CONTINUACION

PRUEBA	Q lt/seg.	q lt/hr
1	0.25	240
	0.22	276
	0.20	90
	0.23	66
	0.41	54
2	0.27	312
	0.40	300
	0.29	114
	0.30	78
	0.50	60
3	0.26	234
	0.23	157
	0.27	96
	0.23	66
	0.43	54
4	0.35	336
	0.40	277
	0.31	208
	0.23	84
	0.21	72
5	0.28	306
	0.27	156
	0.24	84
	0.292	60
	0.34	57
6	0.29	330
	0.32	270
	0.30	114
	0.308	78
	0.31	78
7	0.23	354
	0.40	204
	0.25	78
8	0.211	366
	0.213	240
	0.206	90
	0.203	72