

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN MEDIDOR DE BAJO COSTO, PARA EL FLUJO DE AGUA EN TUBERIAS

JUAN FRANCISCO MARTÍNEZ AVALOS

TESIS

Presentada como requisito parcial
para obtener el grado de
Maestro en Ciencias
en Riego y Drenaje

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**



PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah,
Abril de 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN MEDIDOR DE
BAJO COSTO, PARA EL FLUJO DE AGUA EN TUBERIAS**

TESIS

POR

JUAN FRANCISCO MARTÍNEZ AVALOS

**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**

COMITÉ PARTICULAR

**Asesor principal : _____
Dr. Felipe De Jesús Ortega Rivera**

**Asesor : _____
M.C. Sergio Z. Garza Vara**

**Asesor : _____
M.C. Emilio Padrón Corral**

**Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Asuntos de Postgrado**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Abril de 2005

AGRADECIMIENTOS

A mi alma Mater por existir y darme la oportunidad de crecer profesional y personalmente, por permitirme convivir con excelentes maestros, y por brindarme la oportunidad de ejercer la docencia en sus aulas.

Mi más amplio agradecimiento al Dr. Felipe De Jesús Ortega Rivera, por el tiempo que le dedicó a mi trabajo y por sus valiosas enseñanzas como uno de mis mejores maestros y como persona.

Al Mc. Sergio Z. Garza Vara por sus invaluable sugerencias para mejorar este trabajo, por contribuir de manera significativa en mi carrera profesional y por su amistad.

Al Mc. Emilio Padrón Corral, por sus enseñanzas, sus consejos, orientaciones en el campo de la estadística y por su sencillez y trato amable.

Al Mc. Regino Morones Reza, por su paciencia y disposición para resolver nuestras dudas dentro y fuera de las aulas.

A todos los maestros del Departamento de Riego y Drenaje por sus enseñanzas

A mis compañeros y compañeras del Departamento de Agrometeorología con sincero afecto.

DEDICATORIA

A mi padre, Francisco Martínez Carranza, Por enseñarme a dar mis primeros pasos, a correr, a sortear todo tipo de obstáculos, a soñar a trabajar y por heredarme la educación.

A mi Madre, Carmelita, por sus cuidados, consejos y regaños que todavía en la actualidad disfruto mucho.

A mi Esposa Teresita, que ha estado conmigo en las buenas y en las malas y con la que he compartido muchos de los mejores momentos de mi vida y especialmente por darme los más grandes tesoros de mi existencia dos preciosas hijas y dos hermosos hijos.

A mi hija Paula Marisol, por su madurez, por su inteligencia y por su facilidad para sonreír y para hacer amigos.

A mi Hija Miriam por ser tan especial, por tener la facilidad de soñar despierta, por ser tan cariñosa con nosotros sus padres y solidaria con sus amigos y amigas.

A mi Hijo Paco, Por su creatividad, por su carácter que espero los utilice para hacer realidad sus sueños y ser el mejor en todo lo que haga, también por aprender rápido a ser honesto, a perdonar y olvidar.

A mi Hijo Enrique, que trajo nuevas fuerzas e ímpetu de padres a mi esposa y a mi y con su forma de convivir con su hermano y hermanas, nos ha mostrado a todos que aún siendo pequeño se puede ser grande.

A mis hermanos, José Luis, Martín, Carmen, Miguel, Alejandro, Arturo, Omar, Hugo y Juan, a quienes con mucho afecto les recuerdo las frases que un día dijo nuestro querido padre “La Educación es la única herencia que voy a dejarles”. Cuando realmente nos heredó mucho más de lo que hoy y siempre disfrutaremos.

A Humberto Moreira Valdés, por tenderme su mano cuando me encontraba en un pozo y por enseñarme con su ejemplar forma de ser, que los sueños se hacen realidad con creatividad, disciplina, valor, trabajo constante y buen humor.

A todos mis demás familiares y amigos, con mucho afecto.

COMPENDIO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN MEDIDOR DE BAJO COSTO, PARA EL FLUJO DE AGUA EN TUBERIAS

POR

JUAN FRANCISCO MARTÍNEZ AVALOS

MAESTRIA EN RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ABRIL DE 2005

DR. FELIPE DE JESÚS ORTEGA RIVERA - ASESOR –

Palabras clave: Medidor , Flujo, Tubería.

Este trabajo fue enfocado a construir y evaluar un medidor de flujo tipo diafragma (orificio de plástico afilado montado en una tuerca unión), el cual puede ser instalado y manejado fácilmente. Su costo es bajo ya que se ahorra desde un 63 por ciento hasta un 87 por ciento, dependiendo del diámetro de la tubería, en comparación con los precios de los medidores volumétricos comerciales. El objetivo fue generar tecnología propia para apoyar a los usuarios potenciales tales como, aforadores de bombas, irrigadores, empresarios y agricultores.

Los tamaños de diafragmas calibrados fueron: 0.6D, 0.8D y 0.9D siendo “D” el diámetro nominal de la línea de abastecimiento. Cada uno fue instalado en tuberías de fierro galvanizado cedula 40, con diámetros nominales de : 1.0”, 1.5”, 2.0” y 2.5”.

durante las pruebas de calibración, el flujo fue incrementado y la diferencia de presiones fue medida en un manómetro de mercurio.

Para este tipo de tuberías y diafragmas, la diferencia de presiones antes y después del diafragma, fue medida en varios puntos aguas arriba y aguas debajo de la línea de abastecimiento, esto se hizo para ajustar los datos a modelos de predicción del gasto.

Los parámetros observados (flujo y caída de presión) , fueron comparados entre sí, y con otros métodos de estimación del flujo. Los mejores resultados encontrados fueron: Para las tuberías de diámetro nominal igual a 1.5" y 1.0" el mejor diafragma fue el de 0.6D seguido muy de cerca por el de 0.8D. Para las tuberías de 2.0" y 2.5" de diámetro nominal, el mejor diafragma fue el de 0.8D.

Hubo valores del número de Reynolds desde 40,000 hasta 211,000 y para estos valores el coeficiente de descarga tiende a ser constante. Para las ecuaciones de predicción el coeficiente de descarga tiende a uno.

ABSTRACT

DESIGN, CONSTRUCTION, AND EVALUATING OF A LOW COST WATER METER FOR A STREAM PIPES.

BY

JUAN FRANCISCO MARTINEZ AVALOS

Master in Sciences

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, APRIL 2005.

DR. FELIPE DE JESÚS ORTEGA RIVERA – ADVISER-

Key words: Water, Meter, Flow, Pipe.

This test was focused to the manufactured and evaluation of a flow meter type diaphragm (plastic-edge orifice mounted in a couple female screw), wich can be installed, and managed easily. Its cost is low and saves from 63 Percent to 87 percent depending of diameter pipe in comparing with commercial volumetric meters price. The objetive was generate our own technology and support the potential water users, such as watermeter for pumps, irrigators, managers and farmers.

The diaphragm sizes calibrated were: 0.6D, 0.8D and 0.9D, being “D” the nominal pipe diameter for the supply line. Each one was installed in iron galvanized pipe schedule 40, in nominal diameters of 1.0“, 1.5”, 2.0”, and 2.5”. During the calibration

test, the flow was increased and the differential pressure was measured by a mercury manometer.

For this type of diaphragm and pipes, the differential pressure before and after of the diaphragm was measured at several points, down stream as upstream on the supply line, that for adjusting the data to flow prediction models.

The observed parameters (flow and pressure drop) was correlated, and analyzed through other estimating methods. The better results found were: For the 1.5", and 1.0" nominal pipe diameters the best diaphragm was 0.6D, nearly successive for the 0.8D. For the 2.0" and 2.5" nominal pipe diameters the best diaphragm was 0.8D.

It was Reynolds number's from 40,000 to 211,000 and for this values, the discharge coefficient was a tendency to be constant. For the prediction models, the discharge coefficient was nearly to one.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	xiii
INDICE DE FIGURAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVOS	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
IMPORTANCIA DE LOS MEDIDORES DE FLUJO	3
MEDIDORES BASADOS EN PRESIONES DIFERENCIALES	4
DIAFRAGMAS	7
MEDIDORES DE ÁREA CONSTANTE Y DE CAÍDA DE PRESIÓN VARIABLE	9
MEDIDORES BASADOS EN DIFERENCIA DE PRESIONES	12
COEFICIENTE DE DESCARGA	16
CURVAS DE AJUSTE, REGRESIÓN Y CORRELACIÓN	17

PÉRDIDAS DE CARGA LOCALES	19
MATERIALES Y METODOS	21
SITIO EXPERIMENTAL	21
MEDIDOR DE FLUJO PROPUESTO	21
MEDICIÓN DE LA DIFERENCIA DE PRESIONES	22
INSTALACIONES HIDRÁULICAS	25
DISPOSITIVOS EMPLEADOS PARA MEDIR EL GASTO	27
CONTROL DEL GASTO	28
CALIBRACIÓN DEL VERTEDOR	30
RESULTADOS	31
DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES	75
RESUMEN	80
LITERATURA CITADA	84
APÉNDICES	85

INDICE DE CUADROS

CUADRO

PAGINA

4.1	Valores de tirantes hidráulicos (h) expresados en milímetros y valores de gasto (q) promedio medidos volumétricamente y expresados en litros por segundo	31
4.2	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua (mca) , para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas y media de diámetro y un diafragma igual a cero punto nueve de diámetro comercial.	32
4.3	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas y media de diámetro y un diafragma de diámetro igual a cero punto ocho de diámetro comercial	34
4.4	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	35
4.5	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y un diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	36
4.6	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas de diámetro	

	comercial y un diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial	37
4.7	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas de diámetro y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	38
4.8	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada y media de diámetro y un diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	39
4.9	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y un diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial	40
4.10	Lecturas piezométricas, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	41
4.11	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	42
4.12	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial	43
4.13	Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	44
5.1	Valores estimados del coeficiente de pérdidas de carga locales (k loc) para hmin y las diferentes combinaciones de	

gastos, diámetro reales y diafragmas
..... 74

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
2.1	Diagrama de un diafragma de diámetro d , colocado en una tubería de diámetro d	5
2.2	Representación de un diafragma estrangulando una sección de un conducto circular	7
2.3	Representación grafica de la pérdida de energía, en un conducto con un diafragma	8
2.4	Conducto circular con diafragma y sensor de diferencia de presiones..	10
2.5	Comportamiento del número de reynolds vs coeficiente de descarga (cd)	12
2.6	Factor de velocidad de aproximación	15
2.7	Ejemplo de un diagrama de dispersión donde los datos se aproximan a una recta	18
2.8	Ejemplo de un diagrama de dispersión donde los datos se aproximan a una curva exponencial	19
3.1	Diafragmas de polietileno maquinable semi-rígido, con diversos valores de diámetro interior y para diferentes diámetros comerciales de tubería	22
3.2	Secuencia de instalación de un diafragma dentro de una tuerca unión maquinada con un torno	23
3.3	Ubicación de los conectores rápidos en la tubería	24

3.4	Conectores rápidos, manguera y manómetro de mercurio, utilizados en la medición de las lecturas piezométricas	25
3.5	Infraestructura del laboratorio de hidráulica del departamento de riego y drenaje	26
3.6	Tubería utilizada en este experimento, correspondiente a los diámetros de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas	26
3.7	Tanque de almacenamiento y vertedor triangular de pared delgada	27
3.8	Vertedor triangular con tanque amortiguador, 3 piezómetros auxiliares y bastidores para su nivelación	28
3.9	Reglas interior y exterior del determinantes del valor de la carga hidráulica (h) sobre el vertedor triangular	29
3.10	Bombas y válvulas utilizadas para controlar los diferentes gastos que se hicieron circular, por las diferentes tuberías y diafragmas	29
3.11	Calibración volumétrica del gasto del vertedor triangular	30
4.1	Diagrama de dispersión de los datos del tirante hidráulico (h) sobre el vertedor triangular en mm. vs. gasto (q) en lt/seg	32
4.2	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	33
4.3	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro y diafragma	

	de cero punto ocho de diámetro comercial	34
4.4	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	35
4.5	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	36
4.6	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial	37
4.7	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	38
4.8	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	39
4.9	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial	40
4.10	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	41
4.11	Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial	42

4.12	Líneas piezométricas en metros de columna de agua , para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial	43
4.13	Líneas piezométricas metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial	44
5.1	Comparación grafica de los datos medidos y los datos estimados del gasto para el vertedor triangular de pared delgada, ecuación de predicción, coeficiente de correlación (r) y gasto estimado de acuerdo con usda	45
5.2	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	47
5.3	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	48
5.4	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	48
5.5	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	49
5.6	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	50

5.7	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	51
5.8	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	51
5.9	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	52
5.10	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	53
5.11	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	54
5.12	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	54
5.13	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	55
5.14	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	56

5.15	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	56
5.16	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	57
5.17	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	58
5.18	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	58
5.19	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	59
5.20	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro	60
5.21	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	60
5.22	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro	61

5.23	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	62
5.24	Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro	62
5.25	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmax	63
5.26	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmin	64
5.27	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmax	64
5.28	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmin	65
5.29	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmax	65
5.30	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmin	65
5.31	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmax y hmin	66

- 5.32 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{max}
 66
- 5.33 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{min}
 66
- 5.34 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{max}
 67
- 5.35 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{min}
 67
- 5.36 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y h_{max}
 67
- 5.37 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y h_{min}
 68
- 5.38 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{max}
 68
- 5.39 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{min}
 68

5.40	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{max}	69
5.41	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{min}	69
5.42	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y h_{max}	69
5.43	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y h_{min}	70
5.44	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{max}	70
5.45	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{min}	70
5.46	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{max}	71
5.47	Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{min}	71
5.48	Comportamiento del número de reynolds vs coeficiente de descarga para los tubos de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas de	

	diámetro con diafragma equivalente a 0.9 décimas de cada diámetro	72
5.49	Comportamiento del número de reynolds vs coeficiente de descarga para los tubos de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con diafragma equivalente a 0.8 décimas de cada diámetro	73
5.50	Comportamiento del número de reynolds vs coeficiente de descarga para los tubos de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con diafragma equivalente a 0.6 décimas de cada diámetro	73

INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, se ha observado que las fuentes de agua, tienden a ser insuficientes, para cubrir la creciente demanda, sea para consumo humano, sea para uso agropecuario o industrial. Esto ha obligado a pobladores y gobiernos, de las más diversas regiones de nuestro planeta, a racionalizar el vital líquido, ya que su localización, extracción, potabilización y conducción, implican cada vez un mayor costo para la sociedad en su conjunto.

Uno de los factores imprescindibles en la racionalización y cuidado del agua, es la medición de los volúmenes que habrán, de derivarse, de los diferentes sistemas de almacenamiento y abastecimiento, ya sea presas, depósitos, pozos profundos, red de distribución urbana, sistemas de riego etc.

Justificación

La precisión en la medición del flujo del agua, permite entregar donde esta se requiere los volúmenes adecuados y evitar así su desperdicio, en la actualidad los medidores de flujo no compresibles entre los que destaca el agua, tienen un alto costo, este último es función directa del diámetro del conducto, donde se pretende instalar. Se puede observar en

diferentes catálogos de precios, que un factor adicional que incrementa los costos de los medidores es la precisión de medición, llegando a ser considerables los gastos de operación y mantenimiento.

Básicamente estos factores justifican la investigación y validación permanente de medidores de flujo de diferentes capacidades, principalmente los utilizados, para conducir agua en sistemas de abastecimiento en predios agrícolas y en sistemas de agua potable urbanos.

Objetivos generales

Diseñar, construir, y evaluar un medidor de flujo , tipo diafragma.

Obtener un medidor de flujo de bajo costo y fácil instalación.

Objetivos específicos

Determinar la factibilidad de medir el gasto en una tubería con un diafragma de bajo costo.

Evaluar si la ubicación de los piezómetros antes y después del diafragma, es determinante en la medición del flujo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de los Medidores de Flujo.

De acuerdo con USDA (1972) el conocimiento actual de la relación que existe entre los suelos, la humedad y los cultivos permite que los sistemas de riego se diseñen para aplicar el agua en los volúmenes y proporciones adecuadas a la capacidad de absorción de las tierras, obteniéndose así el máximo aprovechamiento del líquido y evitando perjuicios al suelo. Obviamente el conocimiento de estos factores, será útil sólo si la medición del agua se lleva a cabo con un grado razonable de exactitud.

En gran parte de los estados del occidente de Norteamérica, los recursos hidráulicos, son suficientes y el agua es distribuida entre los usuarios de acuerdo con sus respectivos derechos legales al respecto. En consecuencia los volúmenes de agua utilizada deben estar sujetos a medición, para que su distribución sea equitativa.

Según Orellan (1996) el uso del agua en la producción agrícola es 100 por ciento primordial y su uso debe ser racionalizado, a tal grado que se sepa eficientarlo y para llegar a este resultado, se debe conocer la

cantidad de agua que se tiene disponible, esta incógnita dependerá de la realización de los aforos, pues su práctica técnica para poder escoger cierto tipo de aforo, primero se requiere saber qué cantidad de agua se está manejando, es decir, si son: gastos pequeños de agua, gastos medios o gastos grandes de agua.

En la actualidad, en las zonas áridas y semiáridas, el aforo del agua para riego viene siendo un problema completamente útil puesto que los productores llevan a cambio demandas inadecuadas de este recurso, con el simple hecho de no tomar en cuenta las necesidades de los cultivos en función de su tiempo y espacio.

Medidores Basados en Presiones Diferenciales

Según Azevedo y Acosta (1975) los medidores diferenciales son dispositivos que consisten en una reducción en la sección de flujo de una tubería de modo que se produzca una diferencia de presión a consecuencia del aumento de velocidad. Considérese por ejemplo el caso de un diafragma en el interior de una tubería (ver figura 2.1) de diámetro D ; La diferencia de presión h entre los puntos 1 y 2 es dada por:

$$h = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \therefore V_2^2 - V_1^2 = 2gh \dots\dots\dots 1$$

$$V_2 = V_1 \frac{D^2}{d^2} \dots\dots\dots 2$$

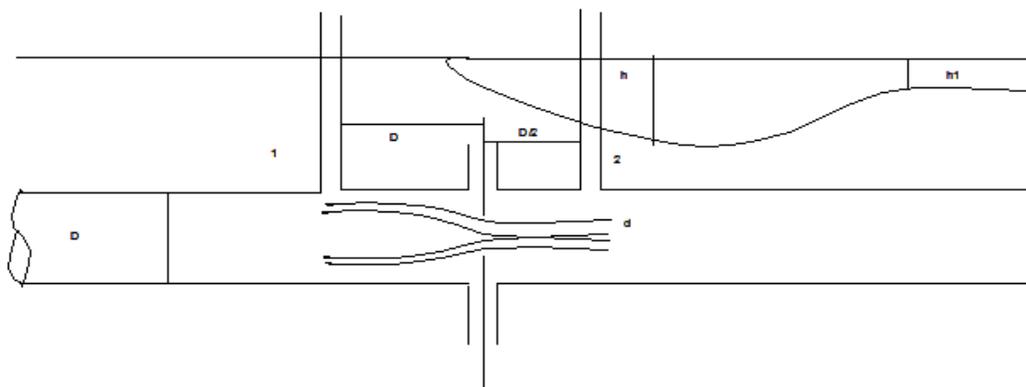


Figura2.1 Diagrama de un diafragma de diámetro d, colocado en una tubería de diámetro D.

$$V_1^2 \frac{D^4}{d^4} - V_1^2 = 2gh \dots\dots\dots 3$$

$$V_1 = \frac{\sqrt{2g} \sqrt{h}}{\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1}} \dots\dots\dots 4$$

$$Q = CdSoAp = \frac{\Pi D^2}{4} Cd \frac{\sqrt{2g} \sqrt{h}}{\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1}} \dots\dots\dots 5$$

$$Q = 3.48 \frac{C_d D^2 \sqrt{h}}{\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1}} \dots\dots\dots 6$$

Donde:

Q: El caudal en m³/s

C_d : Coeficiente de descarga para el caudal.

D : Diámetro interior de la tubería, en m.

d: Diámetro de la sección reducida, en m.

h= Diferencia de presiones entre dos puntos.

La fórmula 6, se aplica a todos los medidores diferenciales: orificios, diafragmas, boquillas internas, venturis cortos, venturis largos,.. etc.

Una vez conocidos los diámetros y medido el valor h, se determina el caudal Q para los orificios concéntricos, el valor de c_d, varía de 0.60 a 0.62 pudiendo admitir el valor medio 0.61.

Los orificios concéntricos, intercalados en las tuberías, constituyen uno de los procesos mas simples, para la medición de caudales.

El Gasto en la sección de una tubería se puede medir indirectamente, con dispositivos de aforo, en el sitio que se desea conocer. Los más comunes son los venturímetros toberas y diafragmas que se adaptan generalmente a tuberías de diversas

dimensiones , donde es necesario llevar un control de los gastos, como en el caso de redes de abastecimiento de agua.

Diafragmas

Según Sotelo (1974) en tuberías donde se permita una gran pérdida de energía para efectuar el aforo, se puede utilizar un diafragma para estrangular la sección. Este consiste en una placa donde se practica un orificio de área A_0 , la cual se inserta dentro de la tubería en la sección deseada. La modificación en las velocidades ocasiona un cambio de presiones antes y después del diafragma, cuyo valor determina el gasto ver Fig. 2.2.

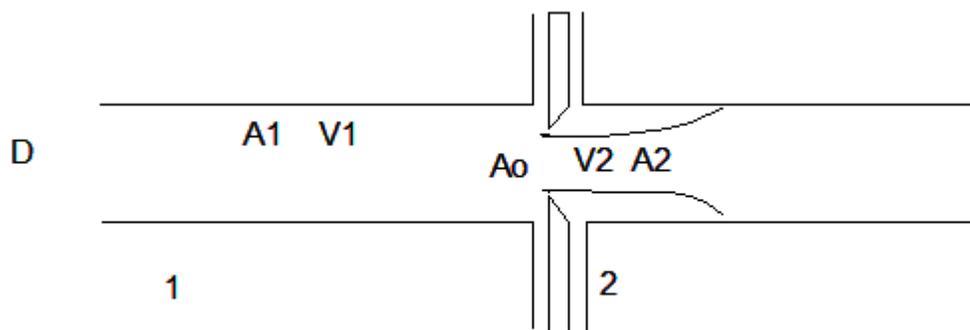


Figura 2.2 Representación de un diafragma estrangulando una sección de un conducto circular.

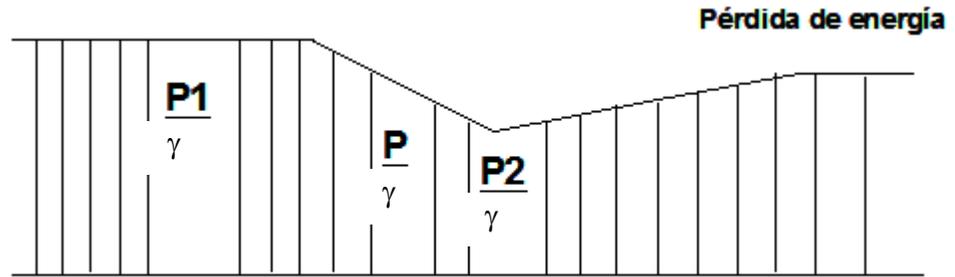


Figura 2.3 Representación grafica de la pérdida de energía, en un conducto con un diafragma.

$$Q = \frac{C_v A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma}} \dots\dots\dots 7$$

Las ecuaciones de continuidad Con los coeficientes de contracción $C_c = \frac{A_2}{A_0}$

y de abertura $C_a = \frac{A_0}{A_1}$, de la ecuación 7, se obtiene:

$$Q = \frac{C_c C_v A_0}{\sqrt{1 - C_c^2 C_a^2}} \sqrt{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma}\right)} \dots\dots\dots 8$$

Al incluir el coeficiente de gasto (Cd) y medir la diferencia de presiones, en términos de la deflexión h , en un manómetro de mercurio, el gasto real es estimado finalmente por :

$$Q = C_d A_0 \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right)} \dots\dots\dots 9$$

El coeficiente C_d , depende no sólo de la geometría del diafragma y de la rugosidad de las paredes sino también del número Reynolds el cual incluye el efecto de la viscosidad del flujo.

Medidores de Área Constante y de Caída de Presión Variable

De acuerdo con Doebelin (1980) quizá el método de aforo más usado, es el que obliga a pasar la corriente por un área hidráulica reducida, de algún tipo en el tubo o conducto que lleva el fluido. La restricción en la corriente produce una caída de presión que varía con el gasto; por tanto la medida de la caída de presión, por medio de un transductor adecuado para diferencia de presiones, permite la medida del gasto.

El orificio de pared delgada, es sin duda el elemento aforador más usado, principalmente debido su sencillez, bajo costo y el gran volumen de datos de investigación disponible para predecir su funcionamiento. En la figura 2.4, se muestra una instalación aforador típica.

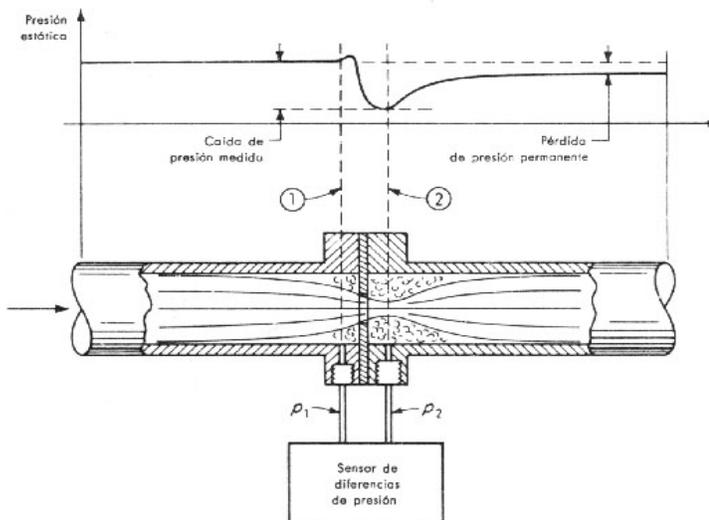


Figura 2.4 Conducto circular con diafragma y sensor de diferencia de presiones.

Si se supone una corriente unidimensional de un fluido incompresible sin rozamiento, transmisión de calor o cambio de elevación, la teoría nos da la magnitud del gasto Q_t (ft^3/s) como:

$$Q_t = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2 f / A_1 f_1)^2}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \dots\dots\dots 10$$

Donde: $A_1 f_1, A_2 f_2$, son las áreas de la sección hidráulica en la que se miden sobre P1 y P2 en Pound/ft².

ρ :Densidad de la masa del fluido, slug/ft³

P1, P2; Presiones estáticas en Pound/ft²

Vemos que para medir Q_t , según la ecuación 10, es necesario conocer $A_1 f_1$, $A_2 f_2$ y P_1 y p_2 , además la medida de la diferencia de presiones (P_1 y P_2), Actualmente la situación real se desvía de las suposiciones del modelo teórico, lo suficiente para que sea necesario emplear, factores de corrección si es que se quiere obtener una precisión aceptable en el medidor del gasto.

Por ejemplo, $A_1 f_1$ y $A_2 f_2$, según la ecuación 10, representan las áreas de la sección hidráulica real, que no son en general, las mismas que las correspondientes a los diámetros del tubo y del orificio, que son las susceptibles de una medida práctica. Además $A_1 f_1$ y $A_2 f_2$ pueden cambiar con el gasto, debido a que cambia la forma geométrica de la corriente, además de estar presentes las pérdidas por rozamiento que afectan la caída de presión medid y también conducen a una pérdida de presión permanente. Para tomar en cuenta estos factores es necesario una calibración experimental a fin de determinar el gasto real Q_a . Puede entonces definirse el coeficiente de descarga C_d por:

$$C_d = \frac{Q_a}{Q_t} \dots\dots\dots 11,$$

$$\text{Por lo tanto } Q_a = \frac{C_d A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \dots\dots\dots 12$$

Donde: $A_1 =$ Área hidráulica del tubo

$A_2 =$ Área del orificio

El coeficiente de descarga de una instalación dada varía principalmente con el número de Reynolds, (Re) en el orificio. Por tanto la calibración puede ejecutarse con un solo fluido, como el agua y los resultados se pueden usar para cualquier otro fluido mientras los números de Reynolds sean los mismos. La variación del coeficiente de descarga (C_d) con relación al Número de Reynolds (Re) sigue típicamente la tendencia de la figura 2.5.

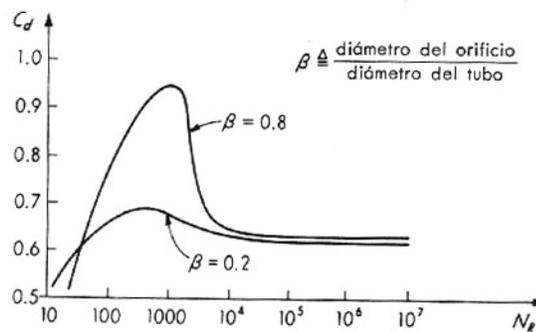


Figura 2.5 Comportamiento del número de Reynolds Vs coeficiente de descarga (C_d).

Medidores Basados en Diferencia de Presiones

Ecuaciones Teóricas Para Líquidos:

De acuerdo con Bean (1971) partiendo de un fluido incompresible, es decir, un líquido que al momento de la medición, no presente cambios drásticos, de temperatura y su densidad sea constante, de tal forma que la ecuación de continuidad es:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2 \quad \dots\dots\dots 13$$

Donde:

A1 : Área 1 en pies cuadrados

A2 : Área 2 en pies cuadrados

V1: Velocidad del flujo 1 pies por segundo

V2 : Velocidad del flujo 2 pies por segundo

Y la ecuación general de la energía es:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} \quad \dots\dots\dots 14$$

Donde ρ : Es la densidad del fluido en libras masa por pie cúbico

Sustituyendo V_1 :, tenemos:

$$V_2^2 = 2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho} \right) \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{a}{A} \right)^2} \right] \quad \dots\dots\dots 15$$

Donde g: es la constante gravitacional en pies por segundo cuadrado.

En la ecuación anterior destacan dos factores; El primero es: $(P_1 - P_2/\rho)$, el cual es el resultado, de la diferencia entre las presiones estáticas de los puntos A, a, y es medida como una columna del líquido que está fluyendo en la tubería y representada como una carga h, de ahí el término “medidor de carga diferencial, el cual es usado en la literatura de medición de fluidos.

El segundo factor es: $\left[\frac{1}{1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2} \right]$ La raíz cuadrada de lo que se conoce

como “velocidad de aproximación”

Si las áreas son circulares, lo cual es muy común, los diámetros pueden ser conocidos de ahí que $(a/A)^2$ pueden ser reemplazadas por : $(d/D)^2 = \beta^4$ (ver figura 2.6).

$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

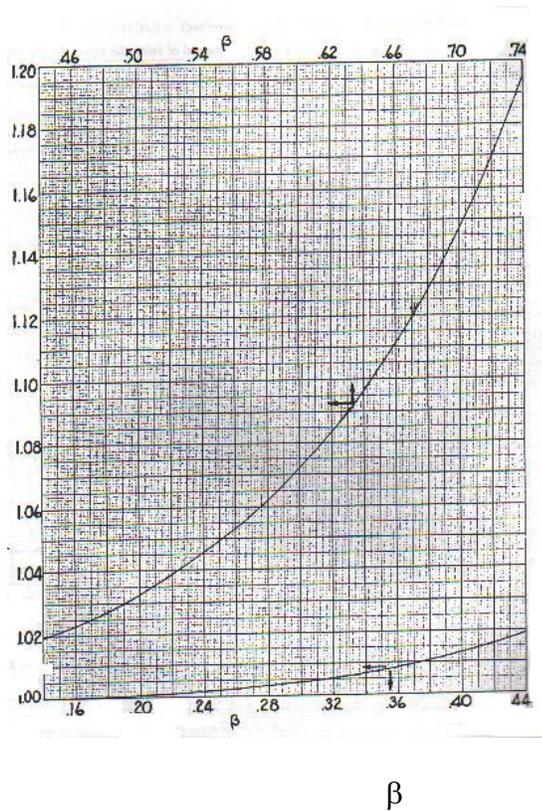


Figura 2.6 Factor de velocidad de aproximación.

En general el uso del medidor de presión diferencial, es útil en el conocimiento de la tasa de flujo en términos de su masa o volumen por unidad de tiempo. La ecuación teórica del flujo de masa es:

$$m = \rho a V_2 \dots\dots\dots 16$$

Donde : ρ : Densidad del fluido en libras por pie cúbico.

a : Área 2 en pies cuadrados.

V_2 : Velocidad 2 en pie por segundo

$$qt = a\sqrt{2g\rho(P_1 - P_2)}\sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}} = Lb/s \dots\dots\dots 17$$

La ecuación teórica (qt) para el volumen de flujo es :

$$qt = aV_2 \dots\dots\dots 18$$

$$qt = a\sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho}}\sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}} \dots\dots\dots 19$$

$$qt = a\sqrt{2gh}\sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}} \dots\dots\dots 20$$

Donde : $h = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho}$, y P1 y P2 se expresan en Libras por pie cuadrado, ρ en

Libras por pie cúbico y h en pies de agua.

Coefficiente de descarga

La tasa de flujo actual, determinada a través de un medidor de presión diferencial es muy “variable”, en general la tasa real de flujo es menor que la determinada teóricamente, de ahí que para obtener el flujo real a partir de la ecuación teórica, deberá

ser introducido un factor adicional llamado “coeficiente de descarga” el cual es representado por C, y definido por la ecuación:

$$C = \frac{q_r}{q_t} \dots\dots\dots 21$$

Donde: C : Coeficiente de descarga

qr : Descarga real

qt : Descarga teórica

$$q_r = Cq_t \dots\dots\dots 22$$

$$q_r = Ca\sqrt{2gh}\sqrt{\frac{1}{1-\beta^4}} \dots\dots\dots 23$$

Curvas de ajuste, regresión y correlación

Según Murray (1987) muy a menudo en la práctica se encuentra que existe una relación entre dos variables y se desea expresar esta relación en forma matemática determinando una ecuación que conecte las variables. Al dibujar los puntos (x1, y1), (x2, y2),..., (xn, yn) en un sistema de coordenadas rectangulares. El conjunto resultante de puntos se le llama a veces diagrama de dispersión.

Del diagrama de dispersión es posible frecuentemente visualizar una curva que se aproxime a los datos. Dicha curva se llama curva de aproximación. En la figura 2.7 por ejemplo, se observa que los datos se aproximan bien a una recta y decimos que existe

una relación lineal entre las variables. Sin embargo, en la figura 2.8 aunque existe una relación entre las variables esta no es una relación lineal, por esto la llamamos relación no lineal.

Uno de los propósitos principales de la curva de ajuste es estimar una de las variables (la variable dependiente) de la otra (la variable independiente). El proceso de estimación se conoce como regresión. Si se va a estimar a partir de x por medio de alguna ecuación la llamamos la ecuación de regresión de y sobre x , y a la curva correspondiente curva de regresión de y sobre x . Por medio de la correlación, se calcula el grado de dependencia o asociación entre dos o más variables, representado numéricamente por el llamado coeficiente de correlación.

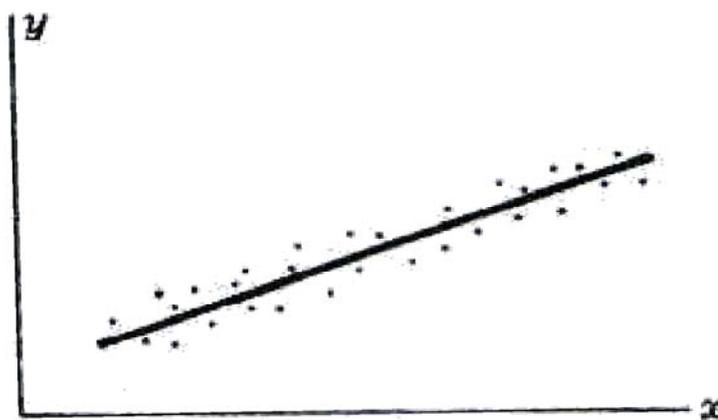


Figura 2.7 Ejemplo de un diagrama de dispersión donde los datos se aproximan a una recta.

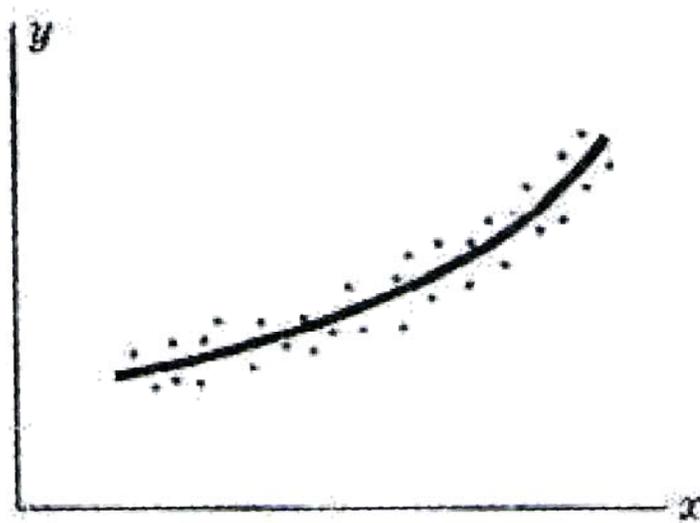


Figura 2.8 Ejemplo de un diagrama de dispersión donde los datos se aproximan a una curva exponencial.

Pérdidas de Carga Locales

De acuerdo con Garza, (1984) al pasar el líquido por los accesorios de la tubería, su velocidad varía y las líneas de corriente se devuelven en contra del sentido general del flujo, surgiendo torbellinos que a su vez provocan una pérdida de energía brusca, a la que se le nombra pérdida local; recibe este nombre por estar localizada en un lugar específico del conducto.

La pérdida local es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad.

$$h_{loc} = k_{loc} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots 24$$

El coeficiente de pérdidas locales (K_{Loc}) en el flujo turbulento esta en función casi de la geometría del accesorio que provoca la pérdida local y varía muy poco al cambiar el número de Reynolds. El coeficiente (K_{Loc}) se determina experimentalmente y otras veces se obtienen gráficas o fórmulas empíricas para determinarla.

MATERIALES Y METODOS

Sitio Experimental

El sitio experimental se localiza en instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México y cuyas coordenadas geográficas representativas son: 25°22' de latitud norte, 101°00' de longitud oeste y 1743 msnm de altitud aproximada. El lugar específico utilizado fue el laboratorio de hidráulica del Departamento de Riego y Drenaje.

Medidor de Flujo Propuesto

Diafragmas

Se utilizó polietileno maquinable semi-rígido UHM W-PE, como base de diseño y construcción de 12 dispositivos denominados diafragmas, algunos de los cuales se muestran en la figura 3.1. Usando un torno mecánico, se construyeron las perforaciones correspondientes a las medidas; 0.6D, 0.8D y 0.9D, donde “D” representa los diámetros comerciales de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 pulgadas para tuberías de fierro galvanizado cédula 40, (Ver Cuadro A.1)



Figura 3.1. Diafragmas de polietileno maquinable semi-rígido, con diversos valores de diámetro interior y para diferentes diámetros comerciales de tubería.

Instalación del Diafragma:

Se utilizaron conexiones de uso común en el mercado, denominadas tuercas unión de fierro galvanizado, a dichas tuercas, se les hizo una adecuación, con un torno mecánico, para insertar los diafragmas de polietileno semi-rígido como se muestra en las figura 3.2.

Medición de la Diferencia de Presiones

Considerando el sentido del flujo, antes y después del diafragma y la tuerca unión instalados en los diferentes tubos en estudio cuyos diámetros fueron de 1.0, 1.5, 2.0, y 2.5 pulgadas, se conectaron a través de la tuerca unión dos niples de 1.0 y 2.0 metros de longitud respectivamente.



Figura 3.2. Secuencia de instalación de un diafragma dentro de una tuerca unión maquinada con un torno.

En cada niple de un metro se instalaron dos conectores rápidos a una distancia a partir del diafragma de $1.0D$ y $2.0D$ y de 6 a 8 de estos mismos conectores en el niple de dos metros, cuya cantidad dependió del diámetro del conducto en estudio, la distancia a partir del diafragma fue de $1D$, $2D$, $3D$, $6D$, $10D$ y $20D$ aguas abajo. Esto se puede observar en la figura 3.3.



Figura 3.3. Ubicación de los conectores rápidos en la tubería.

La medición directa de la lectura piezométrica, se realizó mediante un manómetro de mercurio, cuyo peso específico fue igual a 13596.97 kg/m^3 , (ver apéndice E). Dicho manómetro se conectó a través de una manguera y un dispositivo que se insertó alternadamente en cada conector rápido, como se muestra en la figura 3.4. Para cada flujo se tomaron las lecturas piezométricas con el fin de establecer las cargas diferenciales por presión en metros de columna de agua (mca), antes y después del

diafragma. Al mismo tiempo se registró la lectura del agua sobre el vertedor (H), para determinar el gasto que se hacía pasar por cada diafragma y por el sistema de tuberías.



Figura 3. 4. Conectores rápidos, manguera y manómetro de mercurio, utilizados en la medición de las lecturas piezométricas.

Instalaciones Hidráulicas:

Se aprovechó la infraestructura del laboratorio de hidráulica que se muestra en la figura 3.5. en la cual se instalaron alternadamente las tuberías mostradas en la

figura 3.6. correspondientes a los diámetros de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 pulgadas, en las diferentes fases de la investigación.



Figura 3.5. Infraestructura del laboratorio de hidráulica del Departamento de riego y drenaje.



Figura 3.6. Tubería utilizada en este experimento, correspondiente a los diámetros de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas.

Dispositivos Empleados Para Medir el Gasto:

Con base en las medidas del tanque de almacenamiento, que se encuentra en el laboratorio de hidráulica y con el objetivo de instalarlo en el interior de dicho tanque para asegurar un sistema con flujo permanente, tal como se muestra en la figura 3.7. Se diseñó y construyó un tanque con vertedor triangular de 90° de pared delgada, considerando las medidas y recomendaciones sugeridas por el departamento de agricultura de los estados unidos, publicadas en su libro titulado medición del agua de riego.



Figura 3.7. Tanque de almacenamiento y vertedor triangular de pared delgada.

Con el objetivo de facilitar las lecturas del nivel del agua sobre el vertedor, se incluyeron un tanque amortiguador, una malla disipadora de turbulencia, tres piezómetros auxiliares y dos bastidores transversales, estos últimos para facilitar su nivelación, los cuales se pueden observar en la figura 3.8.



Figura 3.8. Vertedor triangular con tanque amortiguador, 3 piezómetros auxiliares y bastidores para su nivelación.

El gasto en este tipo de vertedores, es función directa del nivel del agua medido, a una distancia aguas arriba del vertedor, equivalente a, dos veces la altura total del vertedor. Para este propósito, se instalaron dos reglas de precisión; una en el interior de una de las paredes laterales y otra en el exterior de la misma pared, aprovechando los piezómetros del vertedor, tal y como se aprecia en la figura 3.9.

Control del Gasto

Para controlar los diferentes gastos, que se hicieron pasar por los diafragmas y por el vertedor triangular, se utilizaron las bombas y válvulas que se muestran en la figura 3.10.



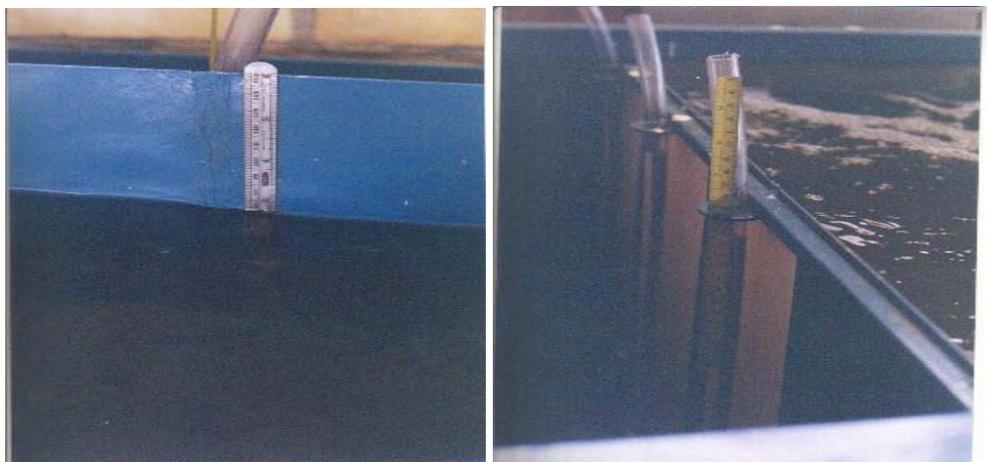


Figura 3.9. Reglas interior y exterior del determinantes del valor de la carga hidráulica (H) sobre el vertedor triangular.



Figura 3.10. Bombas y válvulas utilizadas para controlar los diferentes gastos que se hicieron circular, por las diferentes tuberías y diafragmas.

Calibración del Vertedor

Al observar diferencias entre los gastos estimados con la ecuación propuesta por el departamento de agricultura de los estados unidos en su texto, medición del agua de riego y algunas lecturas del gastos estimados mediante la técnica de medir el volumen captado en un recipiente graduado para diferentes tiempos, lo anterior pudo ser causado por pequeñas imperfecciones en la manufactura del vertedor, por lo tanto, se hicieron pasar diferentes gastos a través del vertedor y se midieron las diferentes cargas hidráulicas y los volúmenes capturados en función del tiempo en recipientes graduados, como se muestra en la figura 3.11. Con los datos obtenidos, se construyó la curva de calibración del vertedor para estimar el gasto a partir de los datos de carga hidráulica medida.



Figura 3.11. Calibración volumétrica del gasto del vertedor triangular.

RESULTADOS

Los valores observados, del tirante hidráulico (H) sobre el vertedor triangular y los promedios de los gastos medidos volumétricamente durante la calibración del vertedor triangular de pared delgada, se presentan en el cuadro 4.1. El diagrama de dispersión de los resultados mencionados se presenta en la figura 4.1.

Cuadro 4.1 Valores de tirantes hidráulicos (H) expresados en milímetros y valores de gasto (Q) promedio medidos volumétricamente y expresados en litros por segundo.

H	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Q	0.195	0.315	0.423	0.583	0.736	0.907	1.173	1.488	1.813

Las lecturas piezométricas, obtenidas a partir de los flujos de agua que se hicieron circular por el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial y un diafragma, de diámetro igual a cero punto nueve décimas del diámetro comercial, se presentan en el cuadro 4.2.

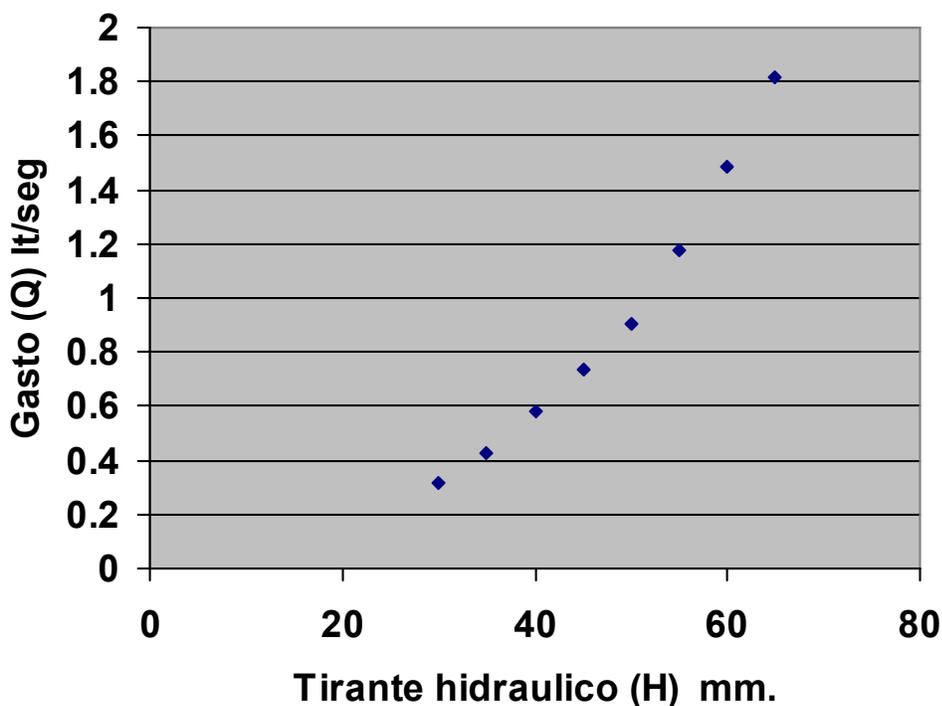


Figura 4.1 Diagrama de dispersión de los datos del tirante hidráulico (h) sobre el vertedor triangular en mm. Vs. Gasto (q) en lt/seg.

Las líneas piezométricas que describen los datos del cuadro 4.2, se pueden observar en la figura 4.2.

Cuadro 4.2 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua (mca) , para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas y media de diámetro y un diafragma igual a cero punto nueve de diámetro comercial.

No. De piezómetro	1	2	3	4	5	6	7	8
Gasto(qi)								
q1 = 5.7876 lt/seg	0.153	0.153	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
q2 = 5.9081 lt/seg	0.192	0.192	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
q3 = 6.1535 lt/seg	0.268	0.268	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192
q4 = 6.4045 lt/seg	0.230	0.230	0.192	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153

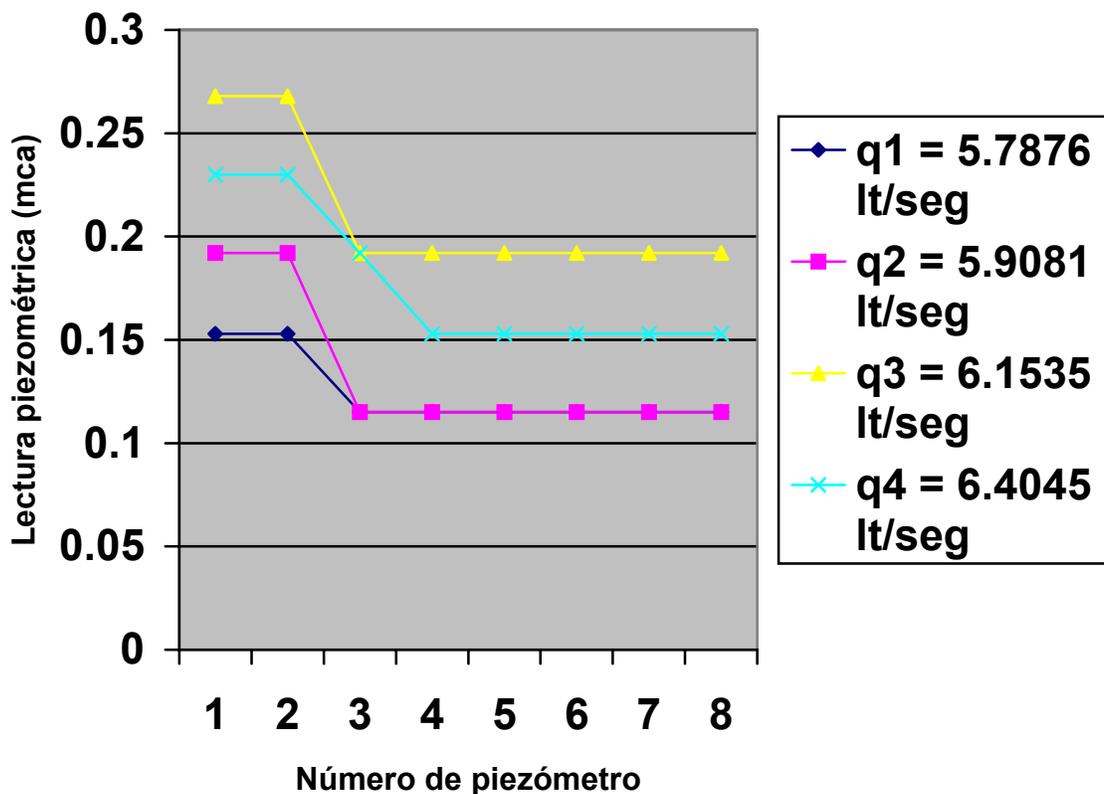


Figura 4.2 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

Se hicieron circular diferentes gastos, por el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial y un diafragma de diámetro igual, a cero punto ocho décimas del diámetro comercial, los resultados de las lecturas piezométricas, obtenidas se presentan en el cuadro 4.3 y las líneas piezométricas se pueden observar en la figura 4.3.

Cuadro 4.3 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas y media de diámetro y un diafragma de diámetro igual a cero punto ocho de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(qi)	1	2	3	4	5	6	7	8
q1 = 5.5505 lt/seg	0.230	0.230	0.038	0.038	0.077	0.115	0.115	0.115
q2 = 5.7876 lt/seg	0.268	0.268	0.077	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
q3 = 6.0301 lt/seg	0.307	0.307	0.077	0.077	0.153	0.153	0.153	0.153
q4 = 6.4045 lt/seg	0.383	0.383	0.115	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192

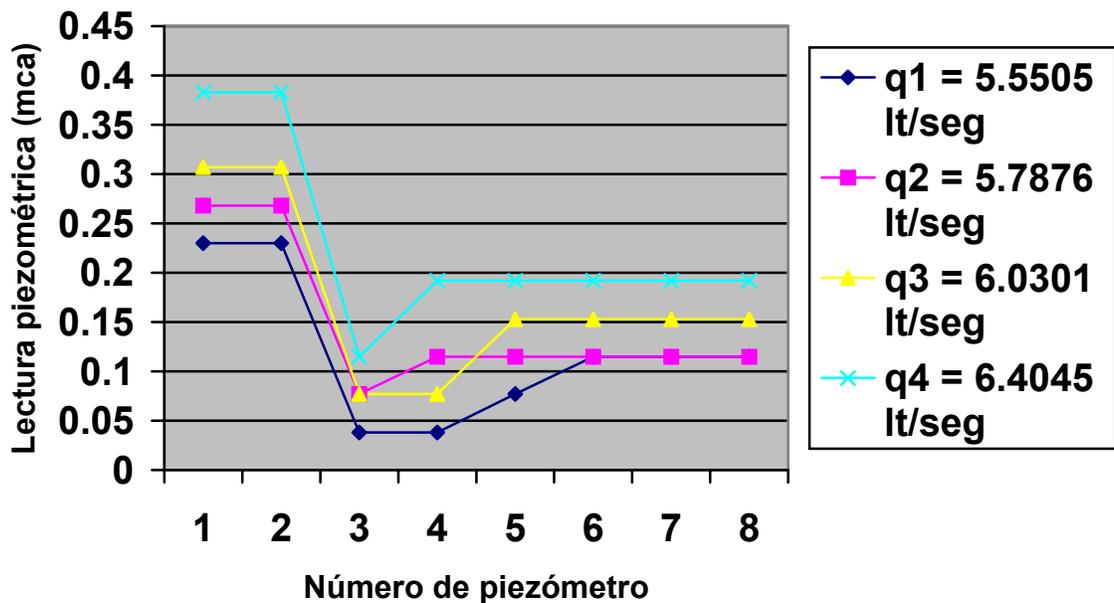


Figura 4.3 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

Los resultados de las lecturas piezométricas, obtenidas a partir de los flujos de agua que se hicieron circular por el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial y un diafragma, de diámetro igual a cero punto seis

décimas del diámetro comercial, se presentan en el cuadro 4.4 y las líneas piezométricas se pueden observar en la figura 4.4.

Cuadro 4.4 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(q_i)	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_1 = 4.7645$ lt/seg	0.996	1.073	-0.536	-0.383	-0.192	-0.077	0.000	0.038
$q_2 = 5.2054$ lt/seg	1.264	1.188	-0.307	-0.153	-0.077	0.038	0.038	0.038
$q_3 = 5.5505$ lt/seg	1.533	1.533	-0.575	-0.345	-0.077	0.077	0.115	0.115
$q_4 = 5.7876$ lt/seg	1.861	1.861	-0.662	-0.083	-0.083	0.083	0.165	0.207
$q_5 = 5.9081$ lt/seg	1.724	1.839	-0.690	-0.383	-0.115	0.038	0.115	0.115

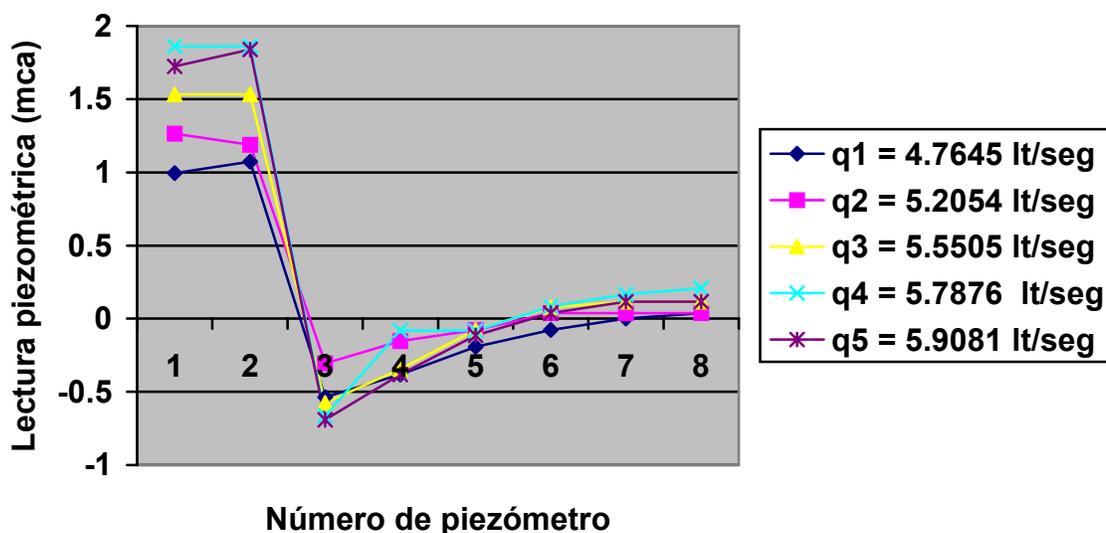


Figura 4.4 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

Las lecturas piezométricas, para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial y un diafragma, de cero punto nueve decimas del diámetro, se presentan en el cuadro 4.5 y las líneas piezométricas en la figura 4.5.

Cuadro 4.5 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y un diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(q_i)	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_1 = 3.6635$ lt/seg	0.077	0.077	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
$q_2 = 4.1439$ lt/seg	0.153	0.153	0.077	0.077	0.077	0.077	0.115	0.077
$q_3 = 4.6577$ lt/seg	0.230	0.268	0.153	0.153	0.153	0.153	0.211	0.153
$q_4 = 5.0931$ lt/seg	0.326	0.364	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230
$q_5 = 5.5505$ lt/seg	0.498	0.460	0.307	0.307	0.307	0.307	0.307	0.307
$q_6 = 6.0301$ lt/seg	0.536	0.575	0.383	0.383	0.383	0.383	0.383	0.383

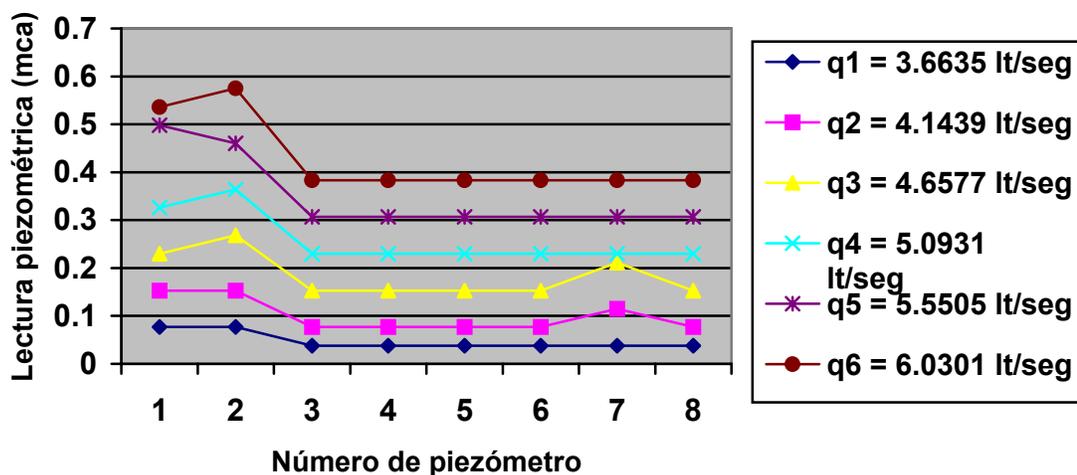


Figura 4.5 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

Para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial y un diafragma, de diámetro igual a cero punto ocho décimas del diámetro comercial, los resultados de las lecturas piezométricas, obtenidas se presentan en el cuadro 4.6 y las líneas piezométricas se pueden observar en la figura 4.6.

Cuadro 4.6 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y un diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(qi)	1	2	3	4	5	6	7	8
q1 = 3.2161 lt/seg	0.153	0.153	-0.038	0.019	0.038	0.038	0.057	0.038
q2 = 3.6635 lt/seg	0.230	0.230	-0.038	0.019	0.077	0.077	0.077	0.077
q3 = 4.1439 lt/seg	0.345	0.364	0.000	0.057	0.077	0.077	0.115	0.115
q4 = 4.6577 lt/seg	0.536	0.536	0.057	0.115	0.153	0.153	0.230	0.153
q5 = 5.3191 lt/seg	0.843	0.805	0.077	0.211	0.230	0.307	0.307	0.307
q6 = 6.0301 lt/seg	1.149	1.149	0.153	0.307	0.383	0.383	0.536	0.383

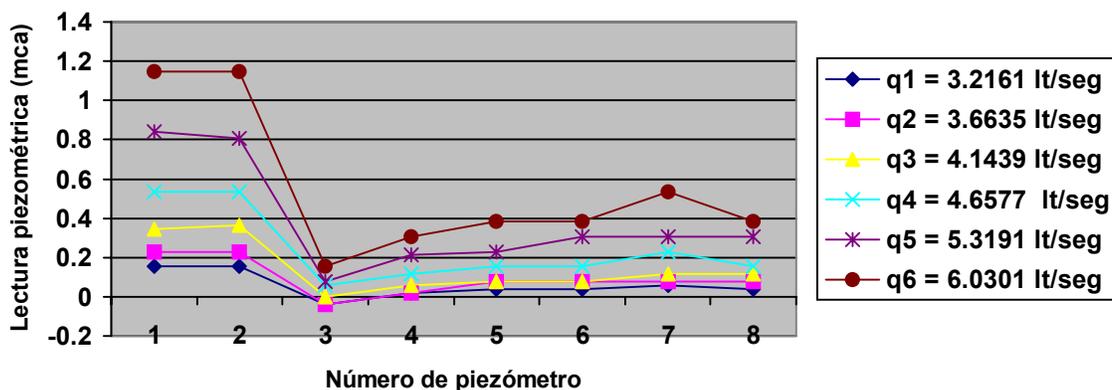


Figura 4.6 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

Los resultados piezométricos, para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial y un diafragma, de cero punto seis décimas , se presentan en el cuadro 4.7 y las líneas piezométricas pueden observar en la figura 4.7.

Cuadro 4.7 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de dos pulgadas de diámetro y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(qi)	1	2	3	4	5	6	7	8
q1 = 3.2161 lt/seg	1.188	1.188	-0.460	-0.460	-0.153	-0.077	-0.077	-0.019
q2 = 3.6635 lt/seg	1.571	1.571	-0.421	-0.383	-0.230	-0.077	0.000	0.019
q3 = 4.1439 lt/seg	1.762	2.184	-0.575	-0.421	-0.268	-0.038	0.077	0.077
q4 = 4.7645 lt/seg	2.720	2.835	-1.073	-0.613	-0.230	-0.077	0.153	0.153
q5 = 5.0931 lt/seg	3.372	3.410	-1.149	-0.613	-0.268	0.077	0.230	0.230
q6 = 5.5505 lt/seg	3.755	3.831	-1.379	-0.766	-0.345	0.000	0.153	0.230

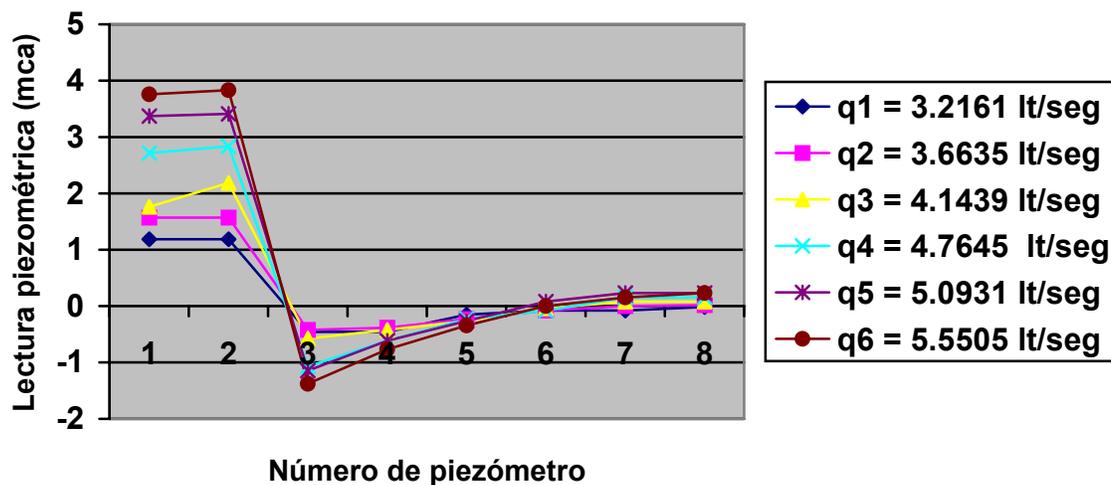


Figura 4.7 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

Los resultados del tubo de una pulgada y media de diámetro comercial y un diafragma, de cero punto nueve décimas se observan en el cuadro 4.8 y las líneas piezométricas se presentan en la figura 4.8.

Cuadro 4.8 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada y media de diámetro y un diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(qi)	1	2	3	4	5	6	7	8
q1 = 1.6846 lt/seg	0.115	0.115	0.096	0.096	0.096	0.096	0.115	0.077
q2 = 1.9342 lt/seg	0.192	0.192	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153
q3 = 2.0662 lt/seg	0.268	0.268	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.192
q4 = 2.1341 lt/seg	0.230	0.230	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	0.153
q5 = 2.2032 lt/seg	0.307	0.307	0.192	0.192	0.192	0.230	0.230	0.192
q6 = 2.4180 lt/seg	0.383	0.383	0.307	0.307	0.307	0.307	0.307	0.307
q7 = 2.6441 lt/seg	0.498	0.498	0.383	0.383	0.383	0.383	0.460	0.383
q8 = 2.8011 lt/seg	0.613	0.613	0.460	0.460	0.460	0.460	0.536	0.460

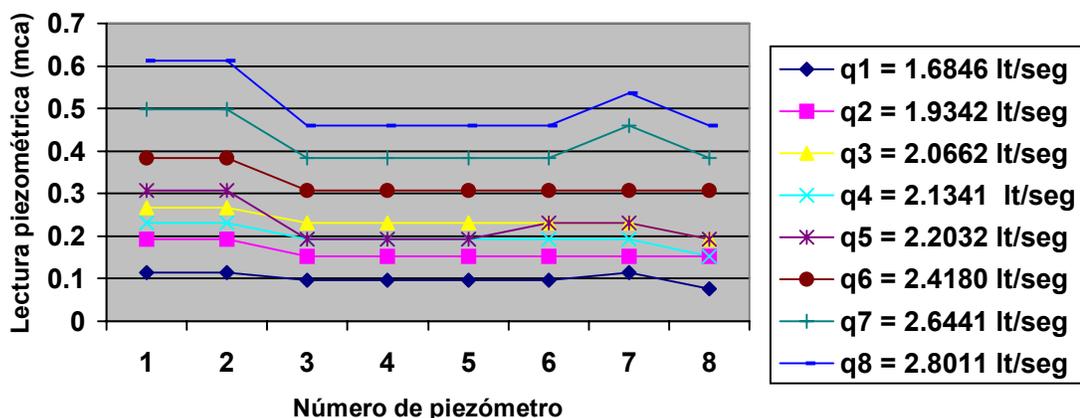


Figura 4.8 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

Las lecturas piezométricas y las líneas piezométricas para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho décimas, Se presentan en el cuadro 4.9 y en la figura 4.9 respectivamente.

Cuadro 4.9 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y un diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(qi)	1	2	3	4	5	6	7	8
q1 = 1.1926 lt/seg	0.077	0.077	-0.038	0.000	0.038	0.038	0.038	0.038
q2 = 1.4542 lt/seg	0.153	0.153	0.000	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
q3 = 1.6846 lt/seg	0.153	0.192	0.000	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
q4 = 1.9342 lt/seg	0.307	0.307	0.077	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153
q5 = 2.0662 lt/seg	0.345	0.345	0.077	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153
q6 = 2.2032 lt/seg	0.421	0.421	0.115	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192
q7 = 2.4180 lt/seg	0.594	0.594	0.153	0.230	0.307	0.307	0.307	0.249
q8 = 2.6441 lt/seg	0.728	0.728	0.192	0.307	0.383	0.383	0.383	0.307

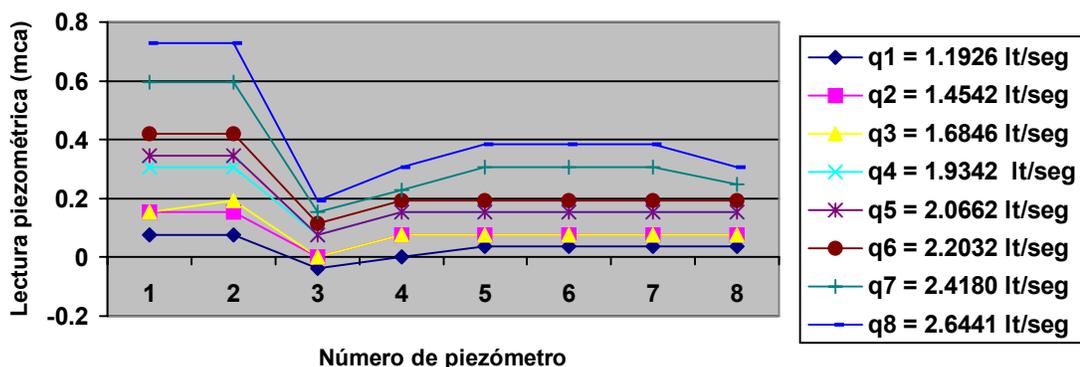


Figura 4.9 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

Los resultados y sus líneas piezométricas, para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial y un diafragma, de cero punto seis décimas, se presentan en el cuadro 4.10 se observan en la figura 4.10 respectivamente.

Cuadro 4.10 Lecturas piezométricas, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

No. De piezómetro	1	2	3	4	5	6	7	8
Gasto(qi)								
q1 = 1.1926 lt/seg	0.307	0.307	-0.153	-0.077	0.000	0.038	0.038	0.038
q2 = 1.4542 lt/seg	0.613	0.613	-0.230	-0.115	0.000	0.038	0.038	0.038
q3 = 1.6846 lt/seg	0.920	0.920	-0.230	-0.077	0.038	0.038	0.077	0.077
q4 = 1.9342 lt/seg	1.303	1.303	-0.326	-0.077	0.115	0.115	0.172	0.172
q5 = 2.0662 lt/seg	1.533	1.533	-0.383	-0.057	0.153	0.153	0.230	0.230
q6 = 2.2032 lt/seg	1.686	1.686	-0.441	-0.077	0.153	0.230	0.230	0.230
q7 = 2.2736 lt/seg	1.782	1.782	-0.460	-0.077	0.153	0.153	0.307	0.307
q8 = 2.4180 lt/seg	2.222	2.222	-0.536	-0.077	0.153	0.307	0.307	0.307

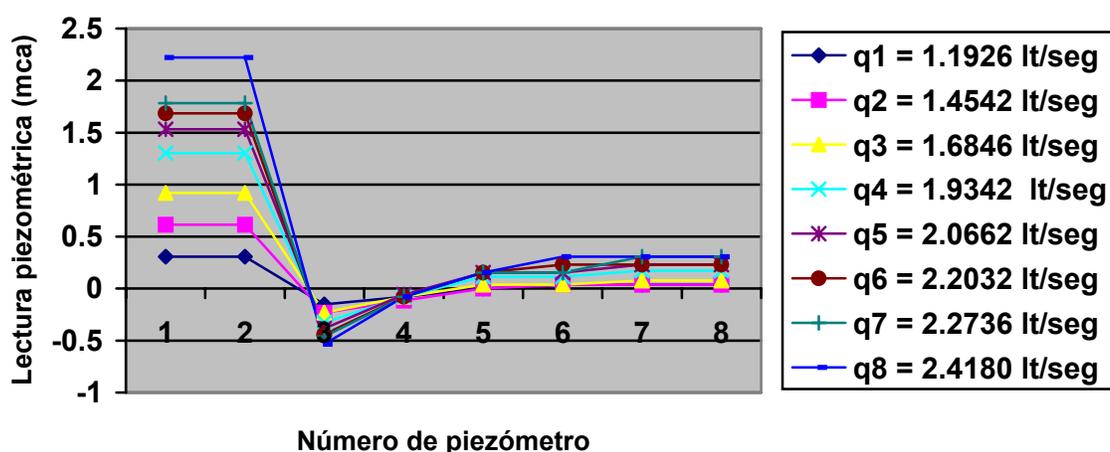


Figura 4.10 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

Las lecturas y las líneas piezométricas, para el tubo de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve décimas, Se presentan en el cuadro 4.11 y en la figura 4.11 respectivamente.

Cuadro 4.11 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(q_i)	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_1 = 0.7173$ lt/seg	0.153	0.153	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.077
$q_2 = 0.8746$ lt/seg	0.307	0.307	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.192
$q_3 = 0.9598$ lt/seg	0.383	0.383	0.307	0.307	0.307	0.307	0.307	0.268
$q_4 = 1.0595$ lt/seg	0.498	0.498	0.383	0.383	0.383	0.383	0.383	0.345
$q_5 = 1.1926$ lt/seg	0.690	0.690	0.536	0.536	0.536	0.536	0.536	0.460
$q_6 = 1.3461$ lt/seg	0.881	0.805	0.728	0.728	0.728	0.728	0.728	0.613
$q_7 = 1.4542$ lt/seg	0.996	0.996	0.843	0.843	0.843	0.843	0.843	0.690
$q_8 = 1.6846$ lt/seg	1.264	1.264	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	0.958

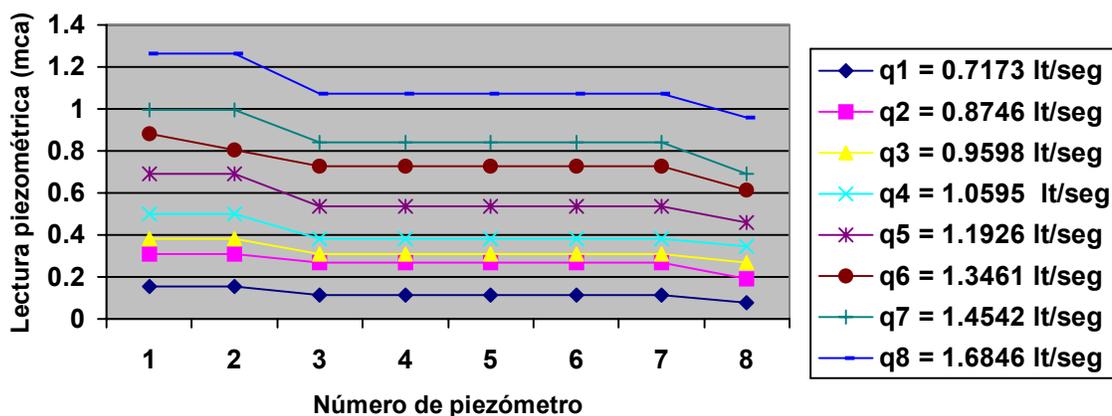


Figura 4.11 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto nueve de diámetro comercial.

Para el tubo de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma, de cero punto ocho décimas de este diámetro, los resultados piezométricos, y sus líneas, se presentan en el cuadro 4.12 y en la figura 4.12 respectivamente.

Cuadro 4.12 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(q_i)	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_1 = 0.7549$ lt/seg	0.230	0.230	0.153	0.153	0.230	0.230	0.230	0.153
$q_2 = 0.8746$ lt/seg	0.383	0.383	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230
$q_3 = 0.9598$ lt/seg	0.421	0.421	0.230	0.230	0.307	0.307	0.307	0.230
$q_4 = 1.0495$ lt/seg	0.536	0.536	0.307	0.345	0.345	0.345	0.383	0.307
$q_5 = 1.1926$ lt/seg	0.690	0.690	0.421	0.460	0.460	0.460	0.460	0.383
$q_6 = 1.3461$ lt/seg	0.920	0.920	0.613	0.613	0.690	0.690	0.690	0.575
$q_8 = 1.6846$ lt/seg	1.609	1.533	1.073	1.149	1.149	1.149	1.149	0.996

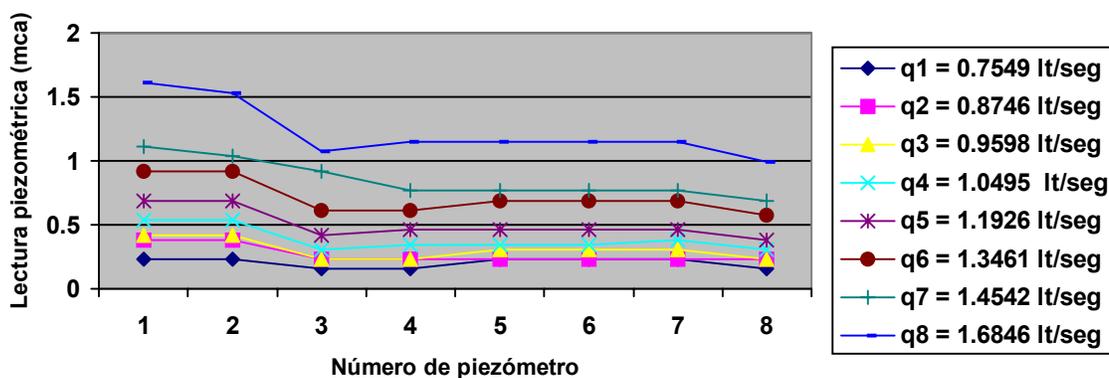


Figura 4.12 Líneas piezométricas en metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto ocho de diámetro comercial.

Los resultados piezométricos, y sus líneas, para el tubo de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma, de cero punto seis décimas de este diámetro, se presentan en el cuadro 4.13 y en la figura 4.13 respectivamente.

Cuadro 4.13 Lecturas piezométricas en metros de columna de agua, para diferentes gastos en la tubería de una pulgada de diámetro comercial y un diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

No. De piezómetro \ Gasto(qi)	1	2	3	4	5	6	7	8
q1 = 0.7549 lt/seg	0.690	0.690	-0.038	0.077	0.115	0.115	0.115	0.115
q2 = 0.8743 lt/seg	0.996	0.996	-0.038	0.153	0.230	0.230	0.230	0.192
q3 = 0.9586 lt/seg	1.533	1.533	0.000	0.192	0.268	0.268	0.268	0.230
q4 = 1.0495 lt/seg	1.494	1.494	0.000	0.307	0.345	0.383	0.383	0.307
q5 = 1.1926 lt/seg	1.647	1.647	0.000	0.307	0.383	0.460	0.460	0.383
q6 = 1.3461 lt/seg	2.375	2.337	0.000	0.460	0.651	0.651	0.651	0.536
q7 = 1.4542 lt/seg	3.103	3.027	0.000	0.651	0.728	0.728	0.728	0.651
q8 = 1.6846 lt/seg	3.908	3.793	0.000	0.805	0.958	0.958	0.958	0.843

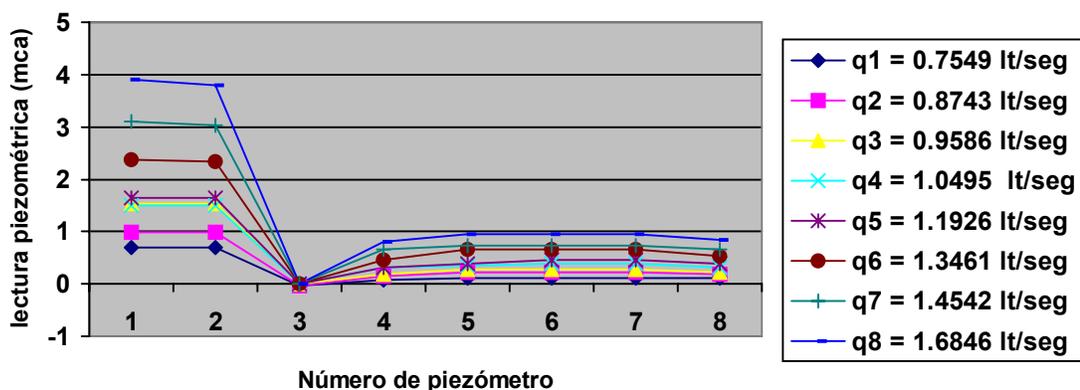


Figura 4.13 Líneas piezométricas metros de columna de agua, para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma de cero punto seis de diámetro comercial.

DISCUSIÓN

Con relación al proceso de calibración del vertedor triangular de pared delgada y a partir del diagrama de dispersión de los datos presentado en la figura 4.1, en el cual se observa una tendencia homogénea y una aparente buena correlación, se buscó el modelo curvilíneo que ofreciera el mejor ajuste y se presentan en la figura 5.1, las gráficas de los datos medidos, de los datos estimados, la ecuación de predicción y el coeficiente de correlación correspondiente, así como el modelo propuesto por la USDA (1972).

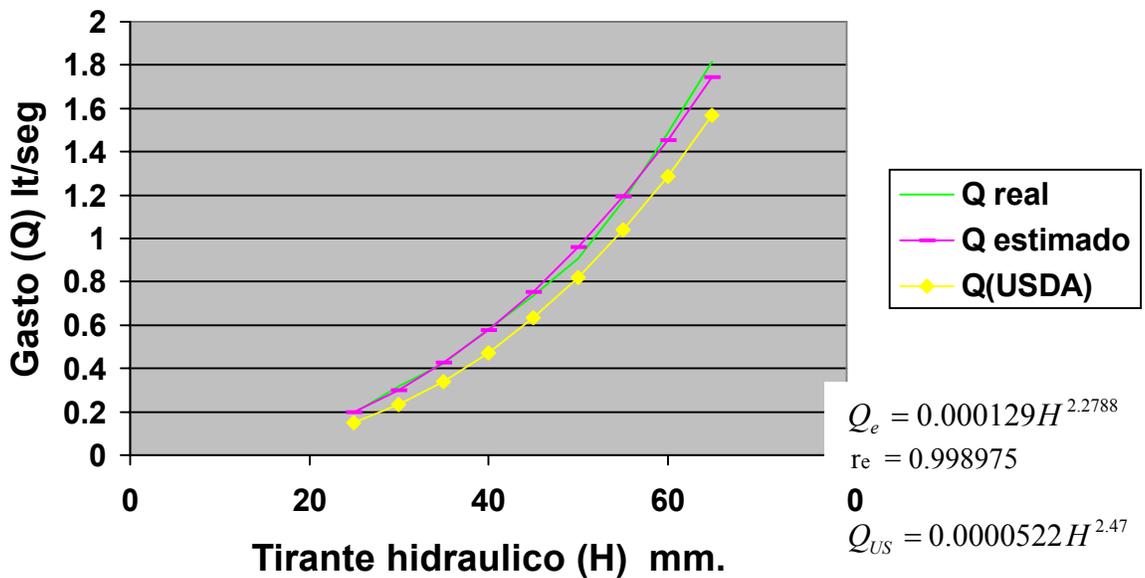


Figura 5.1 comparación grafica de los datos medidos y los datos estimados del gasto para el vertedor triangular de pared delgada, ecuación de predicción, coeficiente de correlación (r) y gasto estimado de acuerdo con USDA.

De acuerdo con Azevedo y Acosta (1975) y Doebelin (1980) a partir de las líneas piezométricas correspondientes a los tubos sujetos de este estudio y que se observan en el capítulo de resultados, se sugieren dos formas de medir las cargas diferenciales por presión (Δh): La primera se considera la diferencia entre el valor mas alto y el valor mas bajo de cada línea piezométrica y que identificaremos como “hmax”. La segunda se obtuvo a partir de aquellas líneas donde los resultados piezométricos lo permitieron, de la diferencia entre el valor mas alto y el valor de la lectura piezométrica que representó la recuperación estabilizada de la carga hidráulica lo que generalmente se observó en el piezómetro seis correspondiente a cada conducto y que identificaremos como “hmin” y ambas se graficaron contra el gasto medido en cada serie de pruebas.

En el caso de la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a nueve décimas de este último, los valores de hmax vs gastos medidos correspondientes y su diagrama de dispersión se presenta en la figura 5.2.

Como podrá observarse la tendencia irregular de los datos de la figura 5.2, esto pudo deberse a la combinación de este diámetro en particular con el diafragma de cero punto nueve y a que el sistema de bombeo no suministraba mayores gastos a los mostrados en esta gráfica, lo que produjo una respuesta deficiente en las lecturas piezométricas.

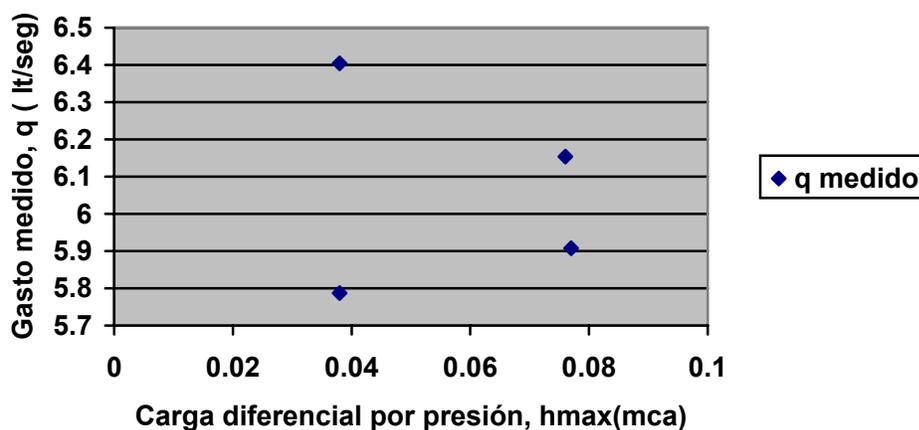


Figura 5.2 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{max} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

Este efecto se observa de manera similar en el diagrama de dispersión de los datos para “ h_{min} ” en (mca) vs gasto medido en (lt/seg), el cual puede observarse en la figura 5.3, esta situación dificultó encontrar un modelo que nos permitiera encontrar una ecuación de predicción para el comportamiento de estos datos. De hecho las mediciones se limitaron al momento en que la tubería empezaba a funcionar como canal, lo cual se identificaba con lecturas cero, en cada piezómetro.

La tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.4.

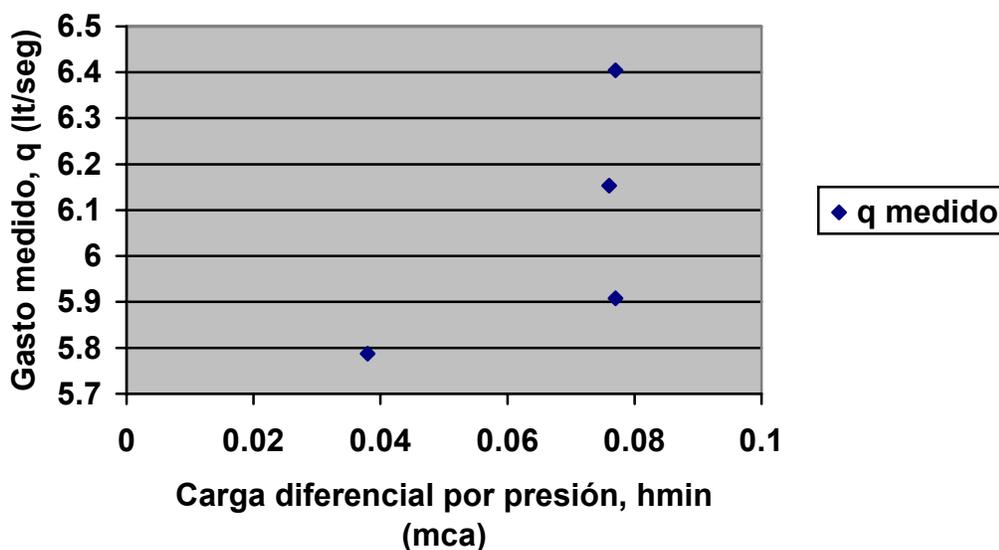


Figura 5.3 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

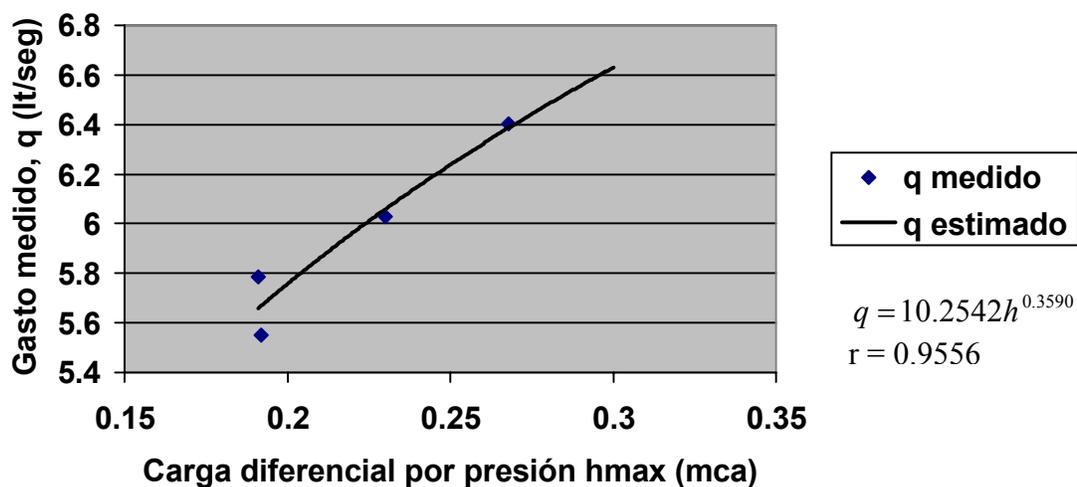


Figura 5.4 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

En el caso del tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.5.

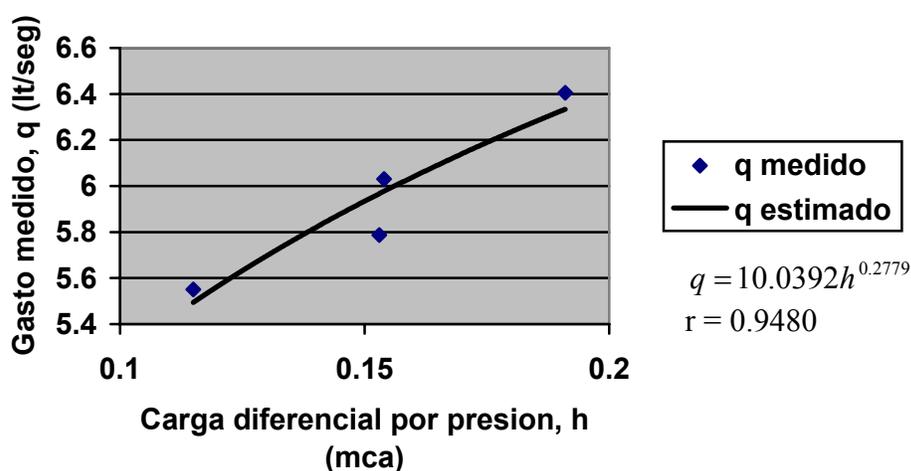


Figura 5.5 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{min} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

Los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y el coeficiente de correlación Para la tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, se presenta en la figura 5.6.

La tubería de dos pulgadas y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.7.

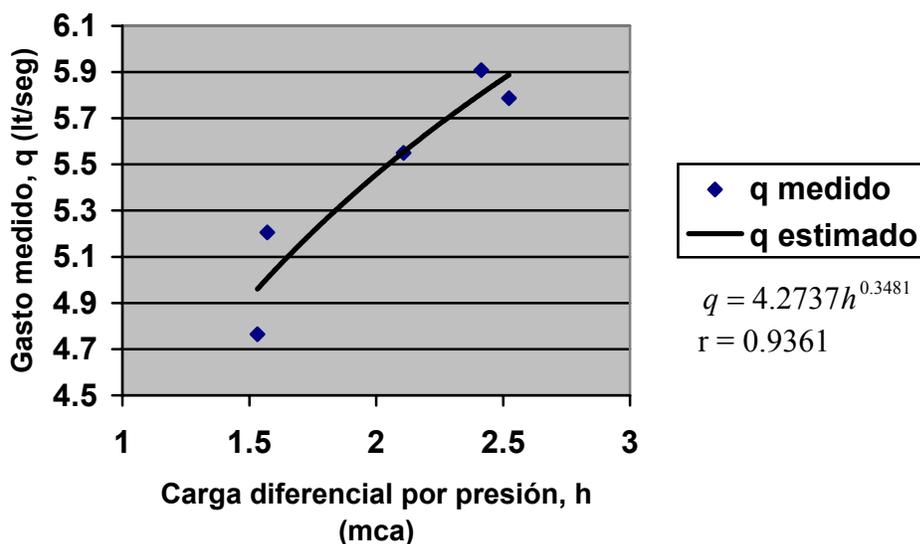


Figura 5.6 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{max} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

Para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma equivalente a nueve décimas de este último, los valores de h_{max} y h_{min} fueron iguales y al graficarlos con los gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presentan en la figura 5.8.

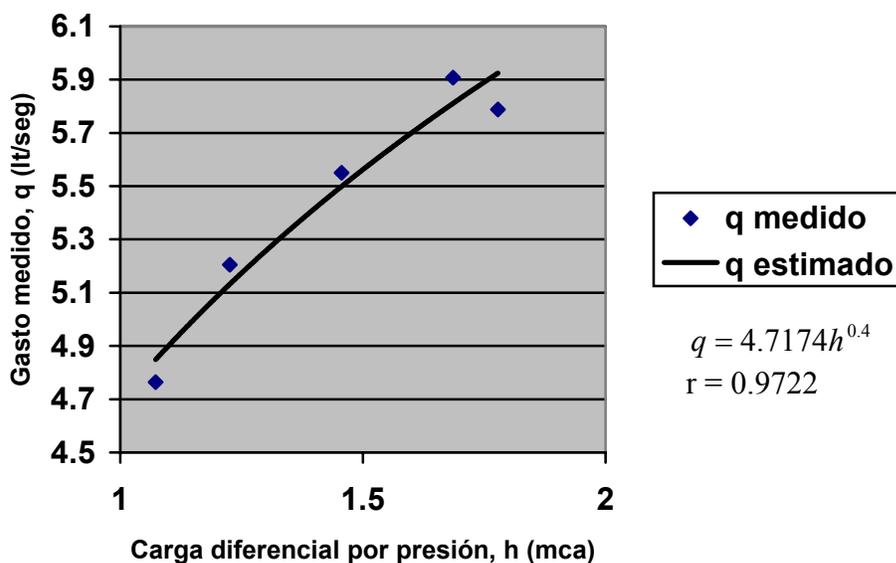


Figura 5.7 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

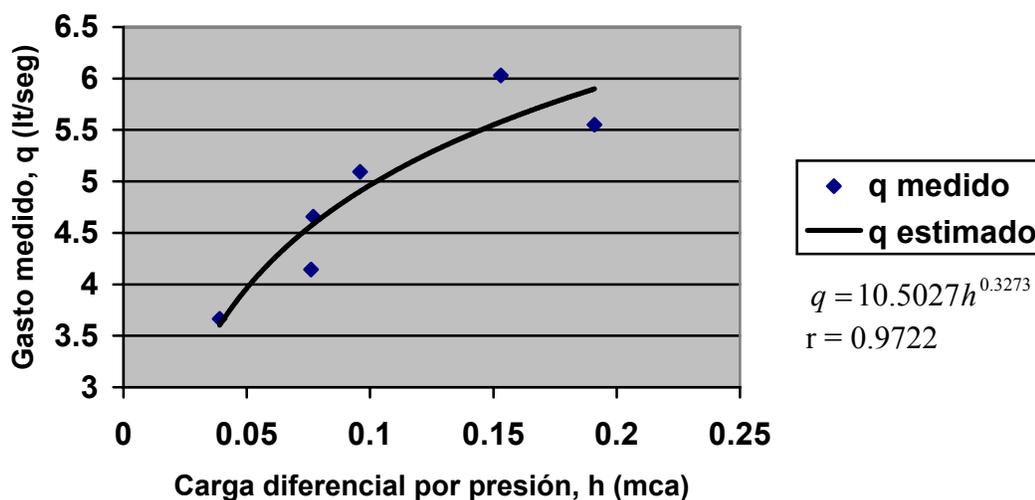


Figura 5.8 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

En el caso del tubo de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.9.

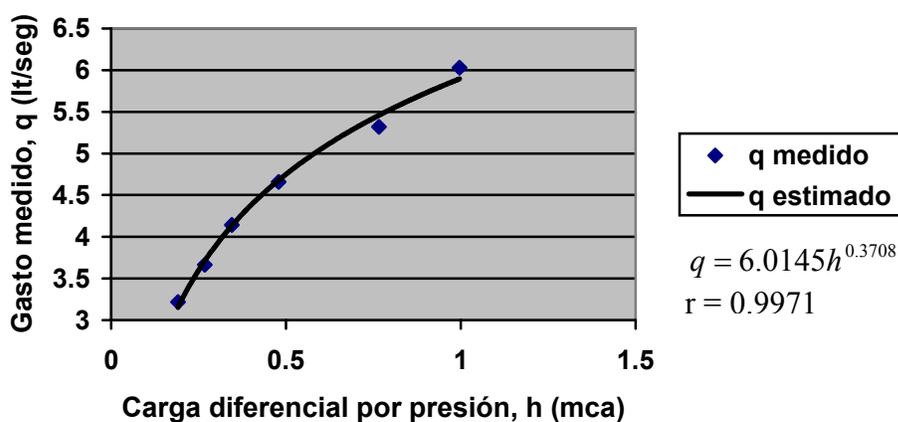


Figura 5.9 Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{max} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

La línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, se presenta en la figura 5.10.

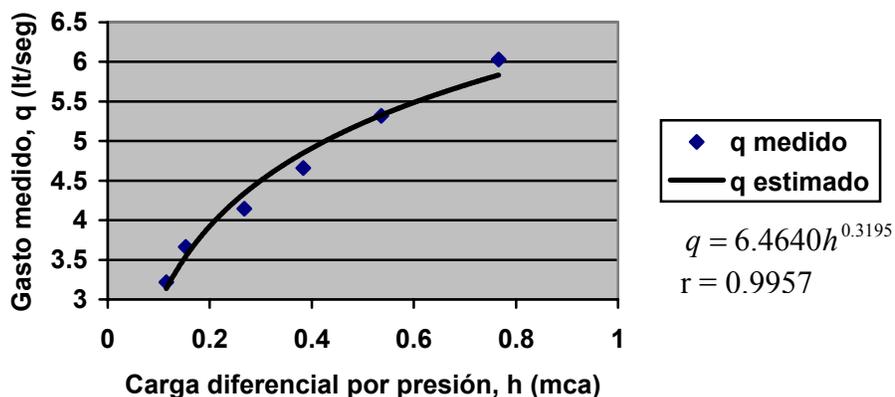


Figura 5.10. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “h_{min}” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

La tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.11.

Para la tubería de dos pulgadas de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.12.

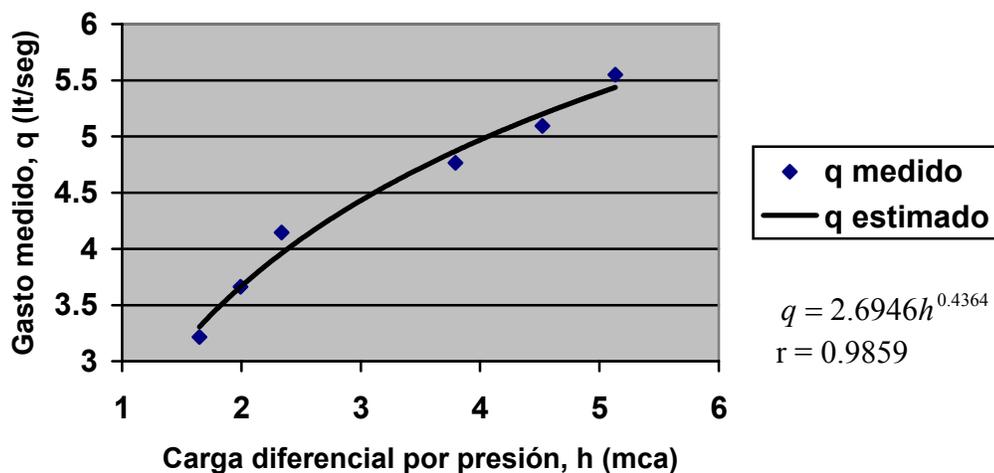


Figura 5.11. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

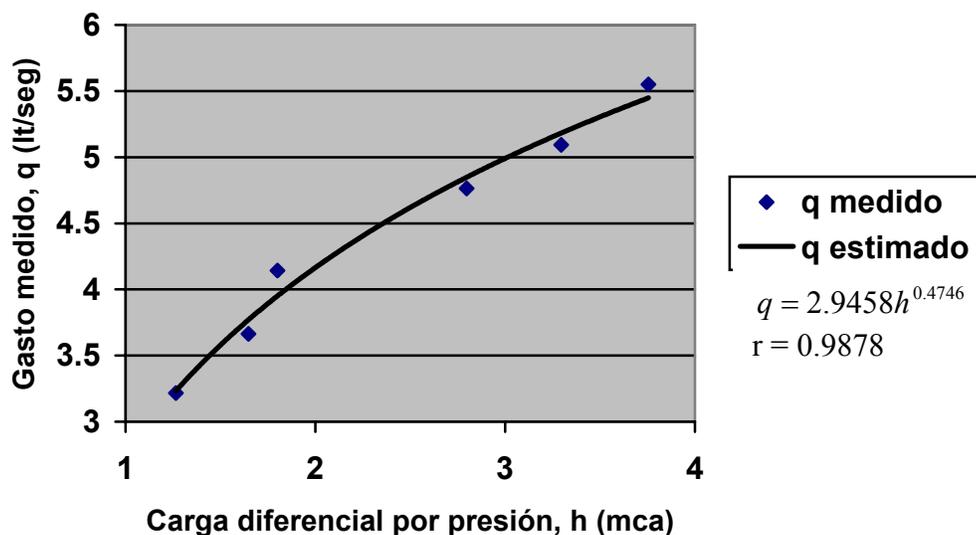


Figura 5.12. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” vs gasto medido para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

En el caso del tubo de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a nueve décimas de este último, los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.13.

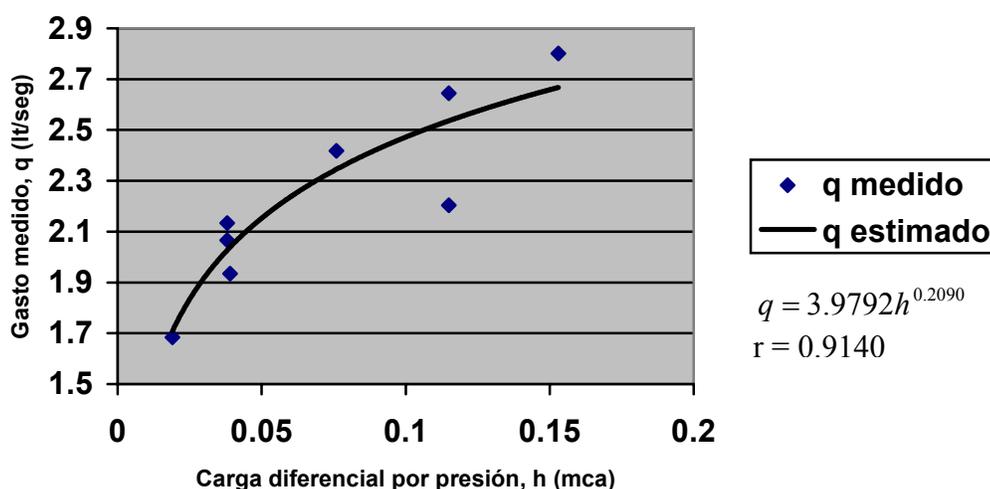


Figura 5.13. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{max} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

Los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación para la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a nueve décimas de este último, se presenta en la figura 5.14.

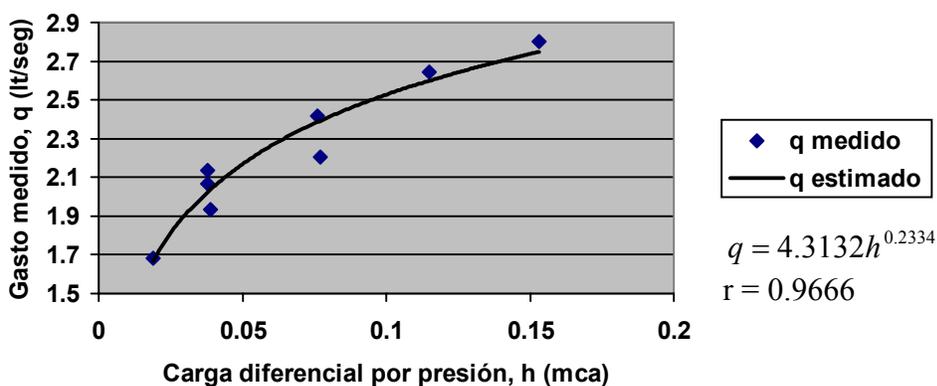


Figura 5.14. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

La tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de hmax vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.15.

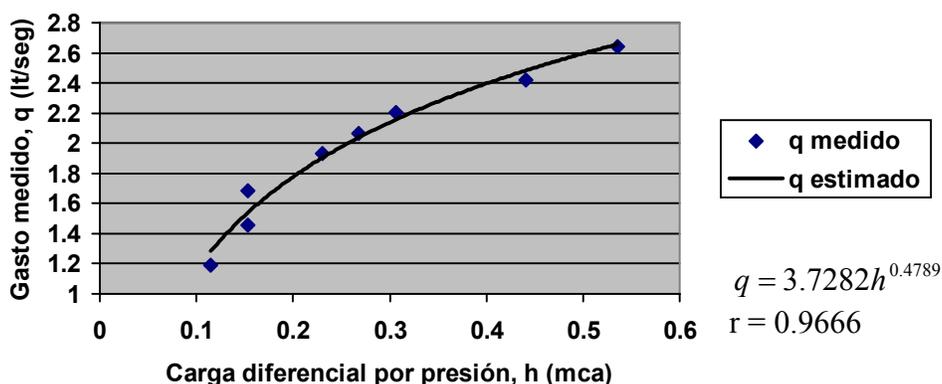


Figura 5.15. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

Para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.16.

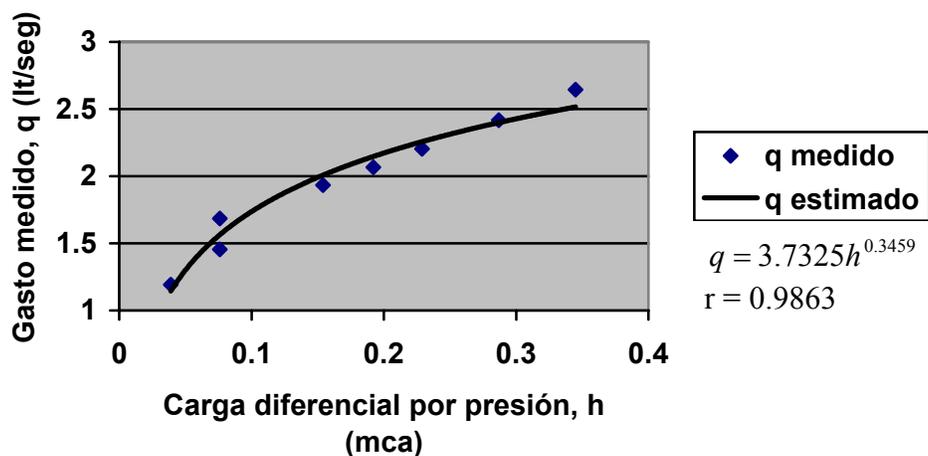


Figura 5.16. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{min} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

En el caso de la tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.17.

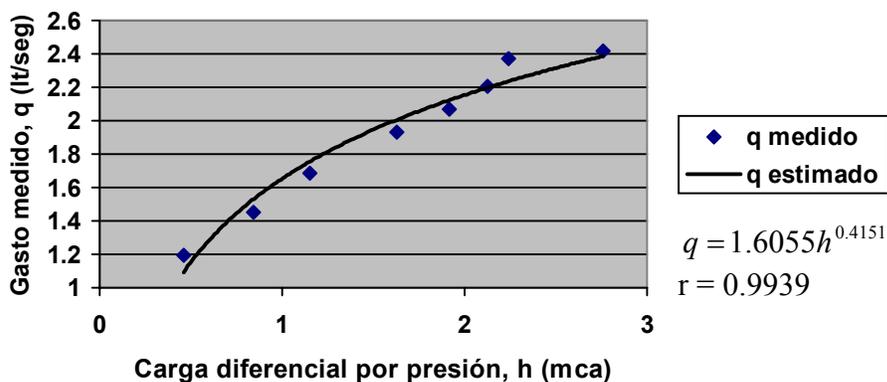


Figura 5.17. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

La tubería de una pulgada y media de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de hmin vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.18.

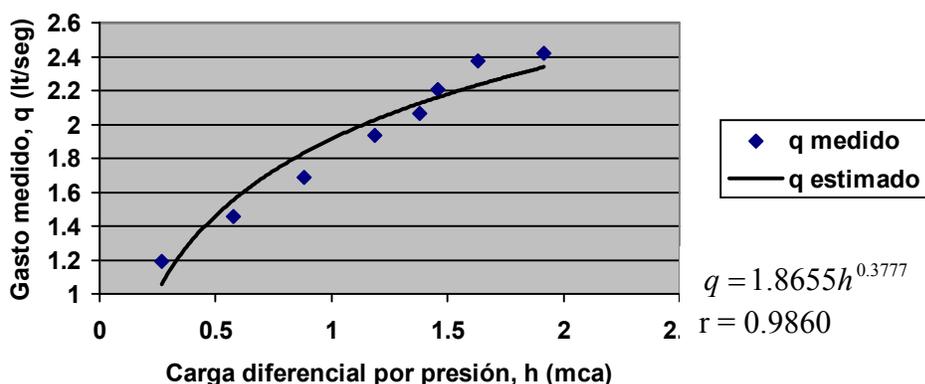


Figura 5.18. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

Los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación para el tubo de una pulgada de diámetro comercial y diafragma equivalente a nueve décimas de este último, se presenta en la figura 5.19.

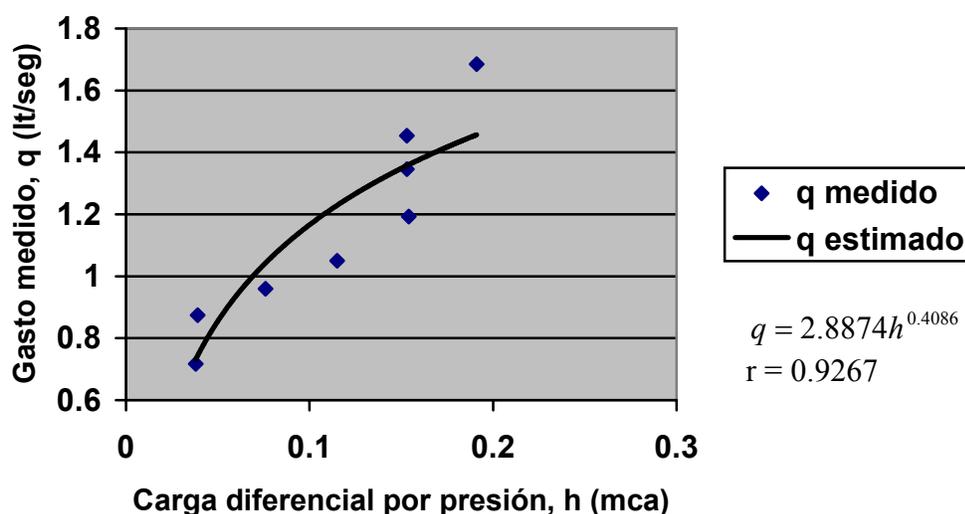


Figura 5.19. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{max} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

En el caso del tubo de una pulgada de diámetro comercial y diafragma equivalente a nueve décimas de este último, los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.20.

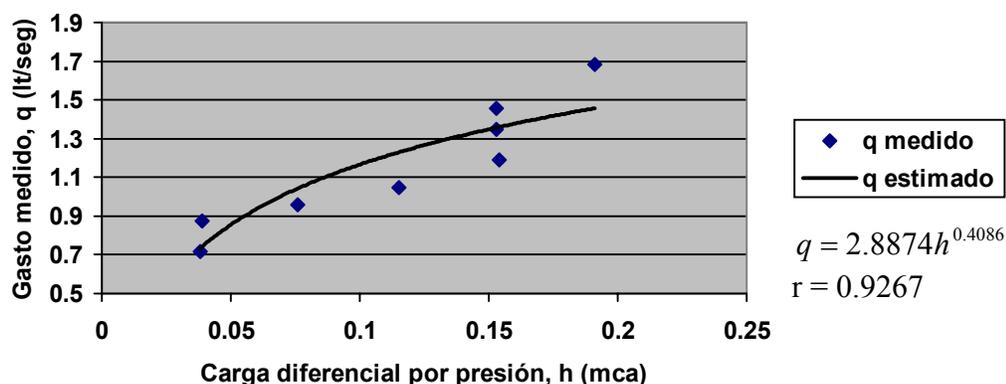


Figura 5.20. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de nueve décimas de este diámetro.

Para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, los valores de hmax vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.21.

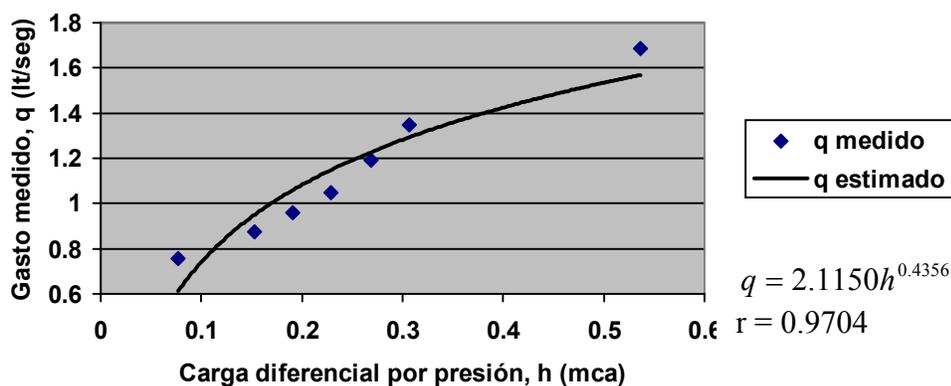


Figura 5.21. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

Los valores de h_{min} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción del gasto y su coeficiente de correlación para la tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma equivalente a ocho décimas de este último, se presenta en la figura 5.22.

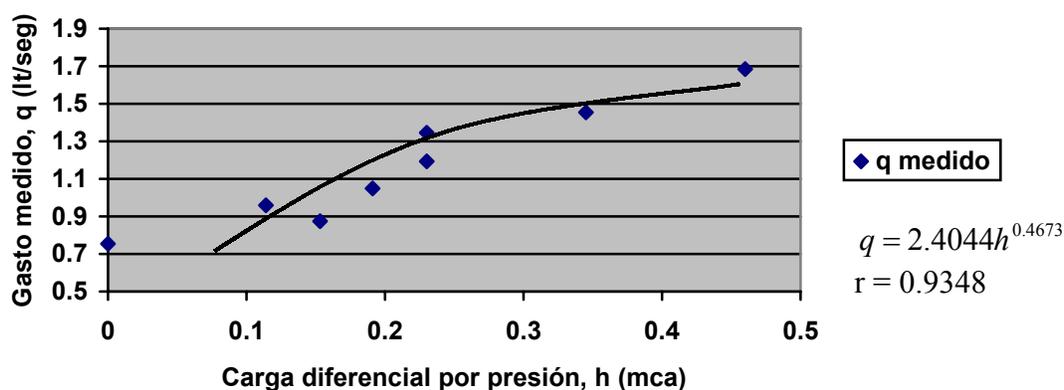


Figura 5.22. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “ h_{min} ” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de ocho décimas de este diámetro.

La tubería de una pulgada de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de h_{max} vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.23.

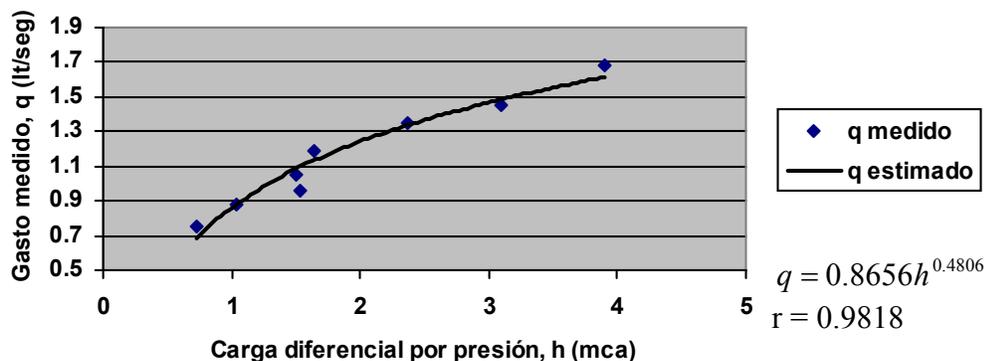


Figura 5.23. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmax” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

Para el caso del tubo de una pulgada de diámetro comercial y diafragma equivalente a seis décimas de este último, los valores de hmin vs gastos medidos correspondientes, su diagrama de dispersión, la línea de tendencia de los datos, la ecuación de predicción y su coeficiente de correlación se presenta en la figura 5.24.

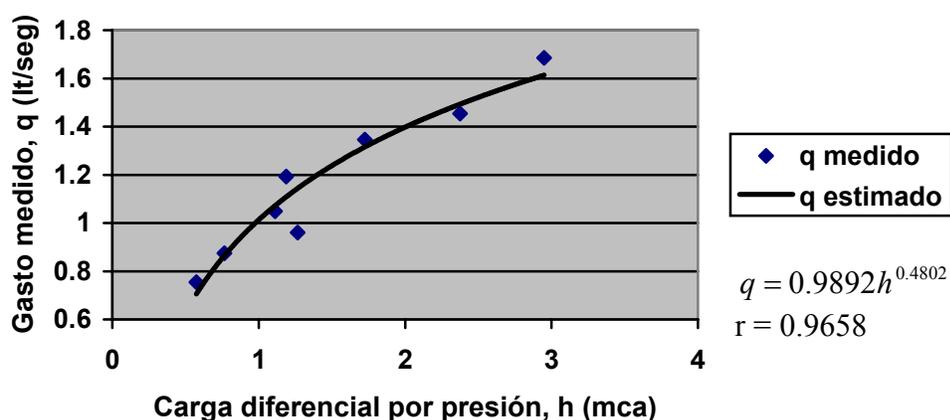


Figura 5.24. Diagrama de dispersión de los datos de carga diferencial por presión “hmin” en (mca) vs gasto medido para el tubo de una pulgada de diámetro comercial con diafragma de seis décimas de este diámetro.

Los gastos medidos y los obtenidos de las ecuaciones de predicción del gasto para cada serie de datos, se compararon con los resultados de aplicar las ecuaciones 6, 9, 10 y 19 propuestas y citadas en la revisión de literatura para estimar el gasto real a partir de los coeficientes de descarga (C_d) citados en las ecuaciones mencionadas, sin embargo al graficar los datos se puede observar la gran similitud que presentan las ecuaciones 6, 10 y 19 con los gastos medidos y los gastos estimados con las ecuaciones de predicción del gasto y solo los resultados derivados de la ecuación 9 se alejan considerablemente incluso el rango del coeficiente de descarga propuesto por esta metodología oscila entre 0.60 y 0.82, reduciendo con esto las posibilidades de que este coeficiente, ajuste los gastos teóricos propuestos por la ecuación 9 a los valores obtenidos en este trabajo con las ecuaciones de predicción del gasto, mucho menos a los gastos reales medidos. Las graficas comparativas se presentan en las figuras 5.25 hasta 5.44.

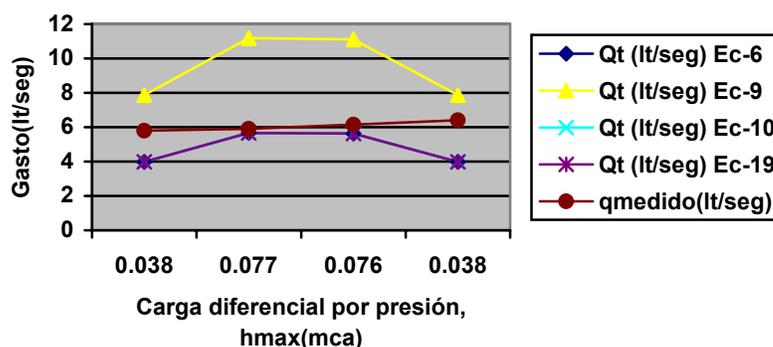


Figura 5.25 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y h_{max} .

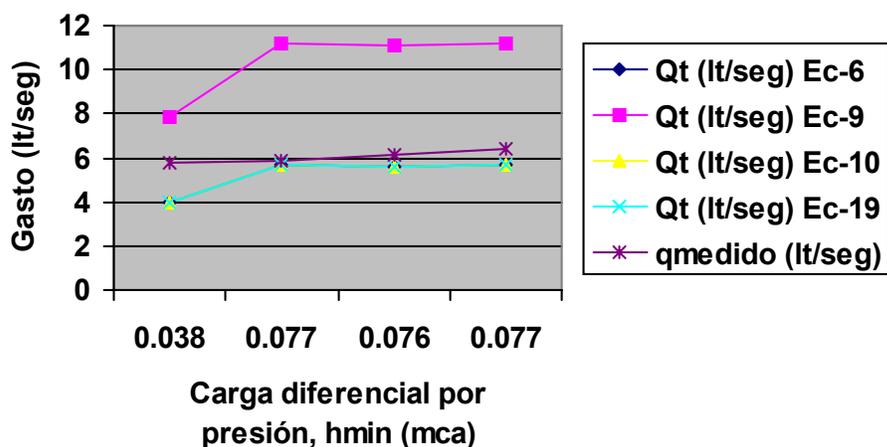


Figura 5.26 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmin.

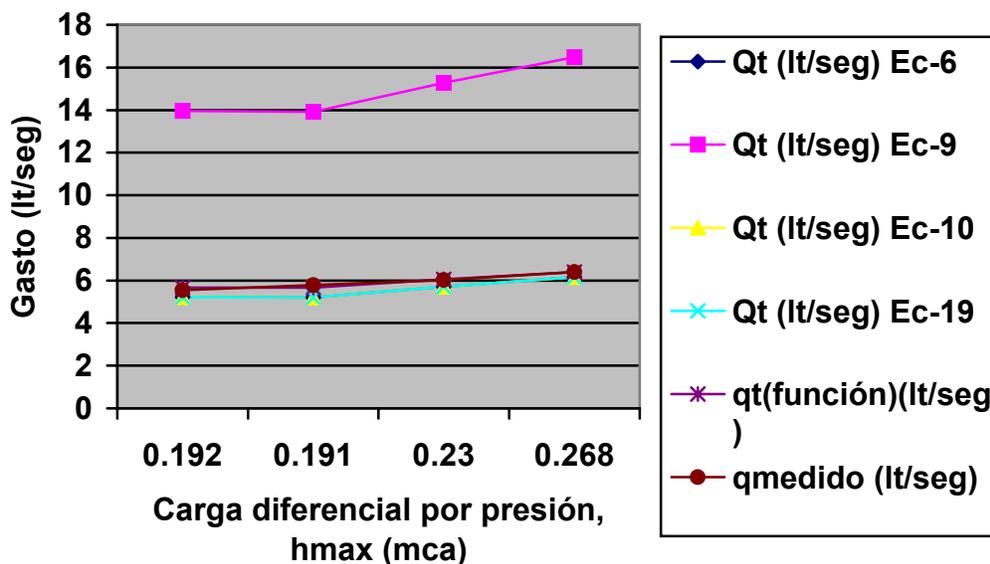


Figura 5.27 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmax.

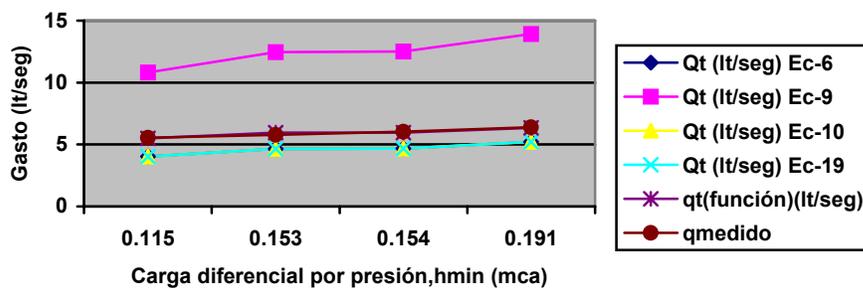


Figura 5.28 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmin.

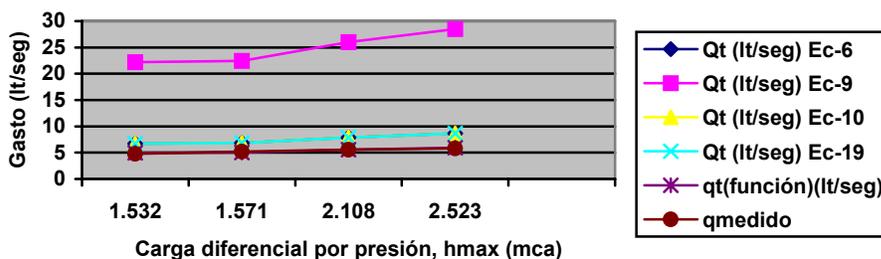


Figura 5.29 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmax.

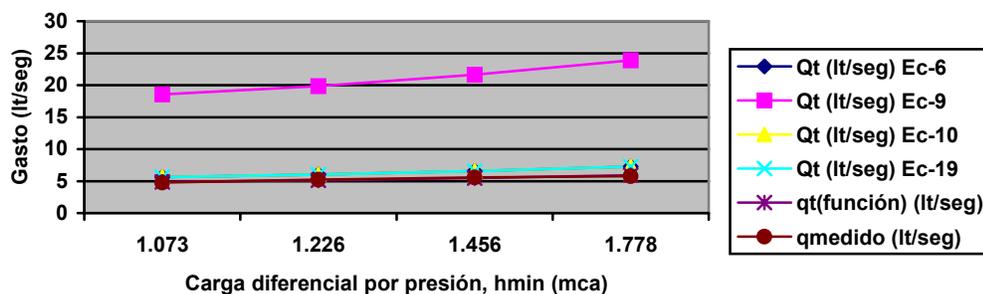


Figura 5.30 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmin.

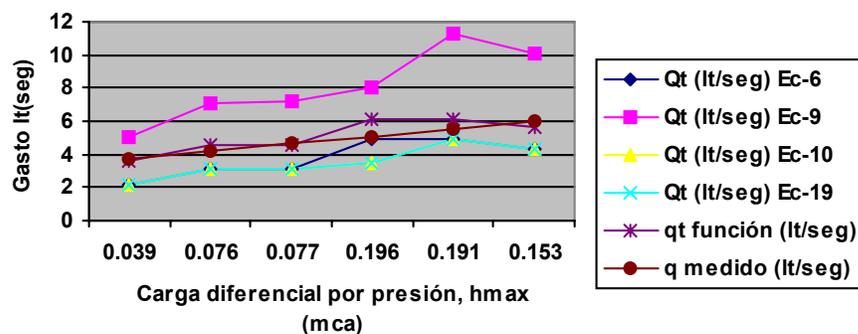


Figura 5.31 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y h_{max} y h_{min} .

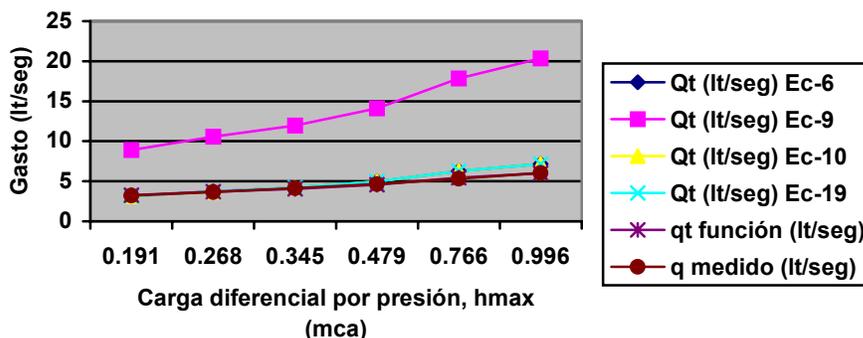


Figura 5.32 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{max} .

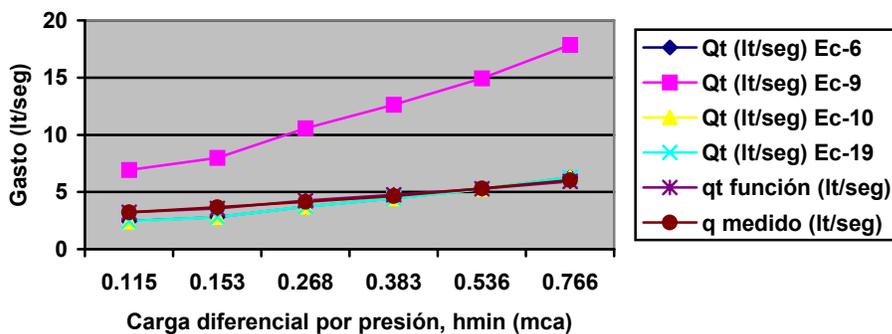


Figura 5.33 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y h_{min} .

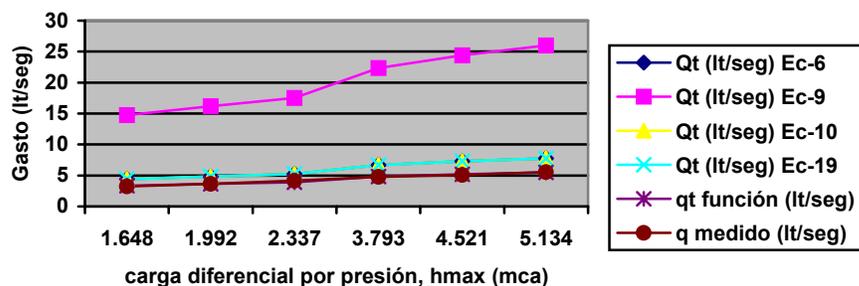


Figura 5.34 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmax.

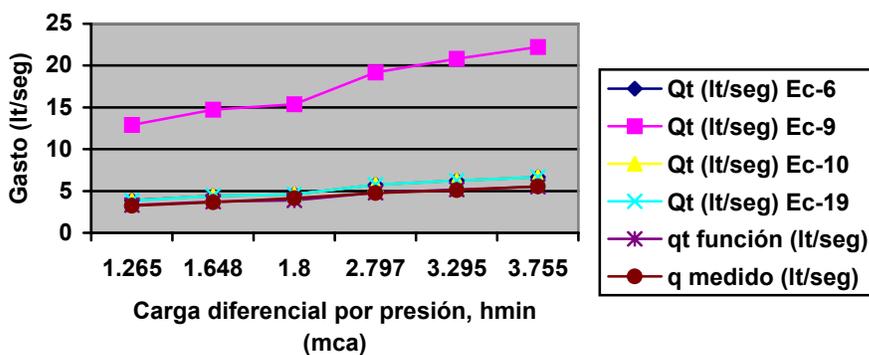


Figura 5.35 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de dos pulgadas y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmin.

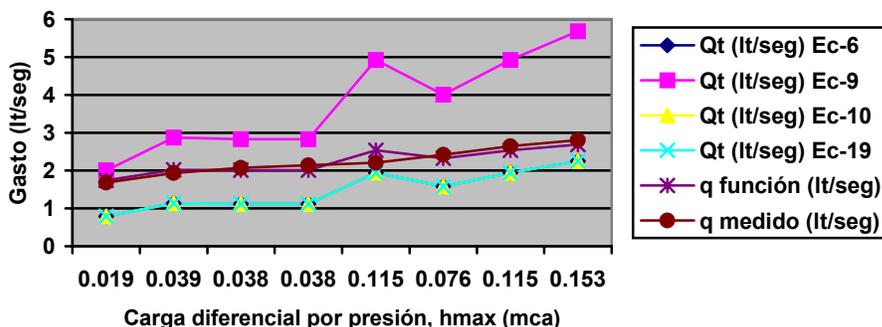


Figura 5.36 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmax.

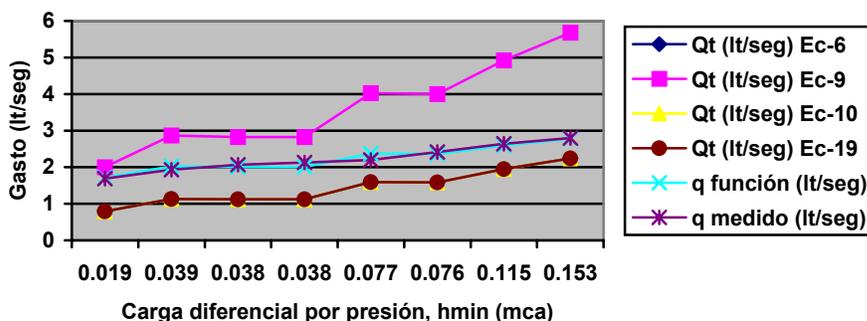


Figura 5.37 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmin.

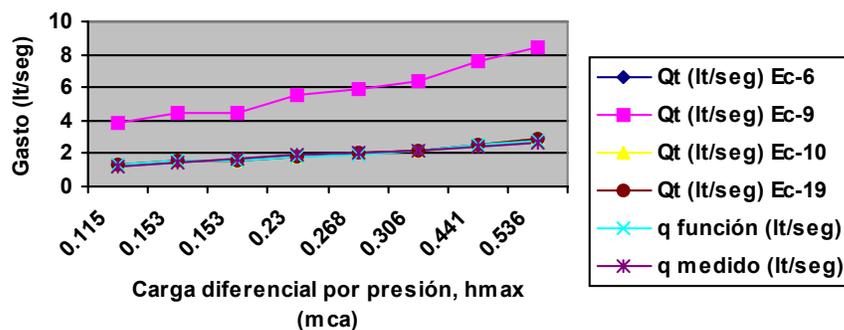


Figura 5.38 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmax.

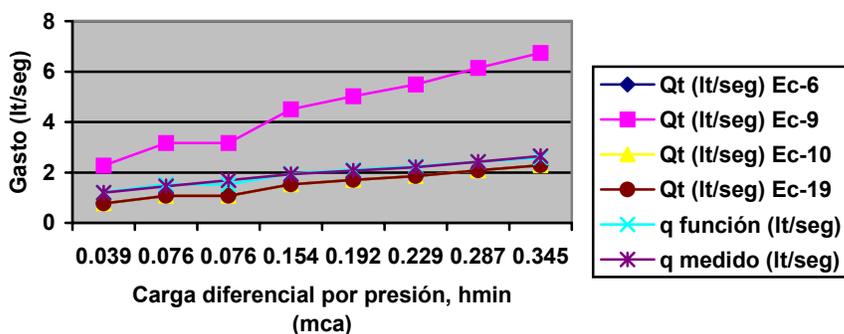


Figura 5.39 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmin.

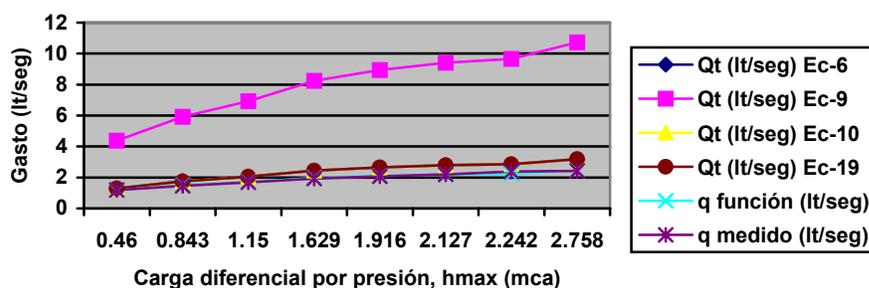


Figura 5.40 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmax.

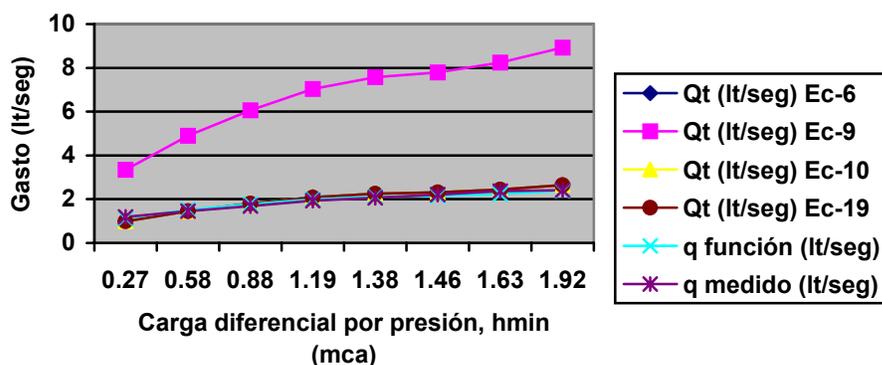


Figura 5.41 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y media y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y hmin.

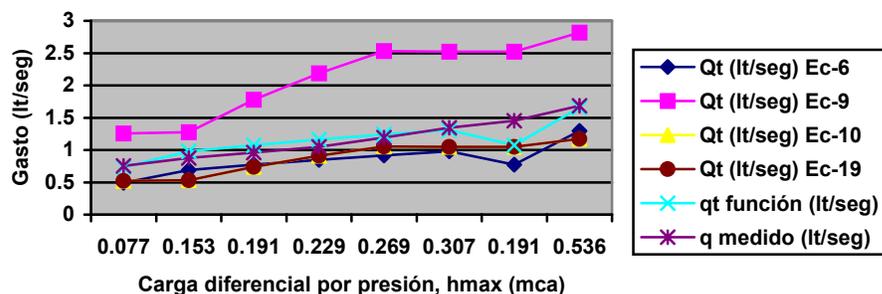


Figura 5.42 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmax.

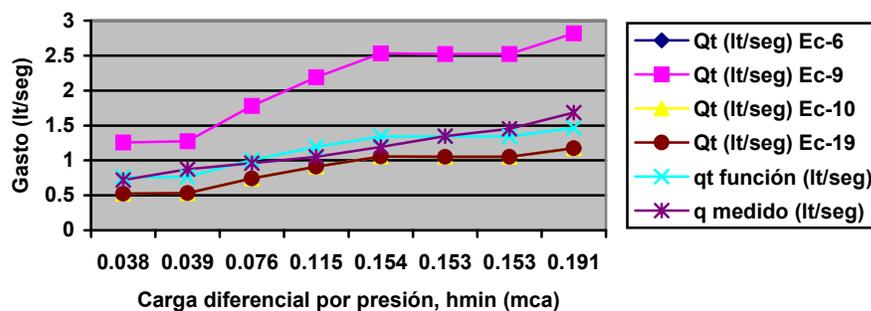


Figura 5.43 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto nueve décimas de este diámetro y hmin.

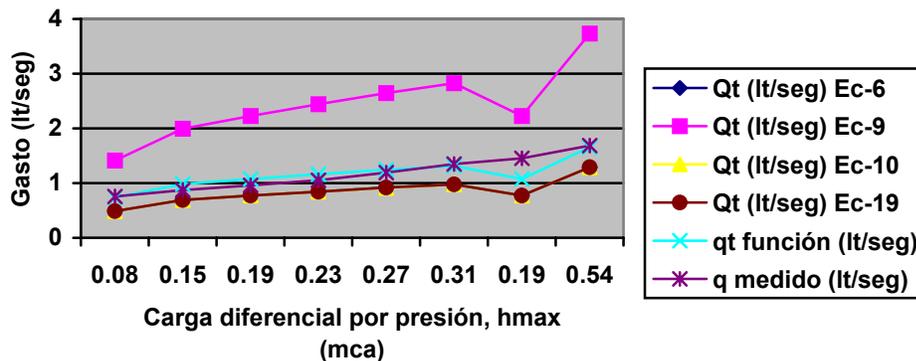


Figura 5.44 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmax.

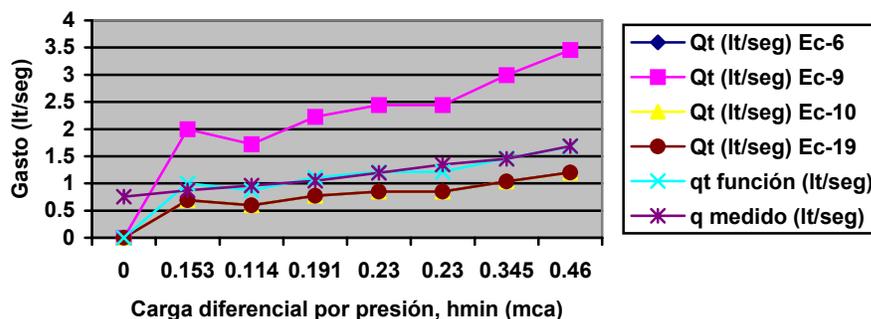


Figura 5.45 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto ocho décimas de este diámetro y hmin.

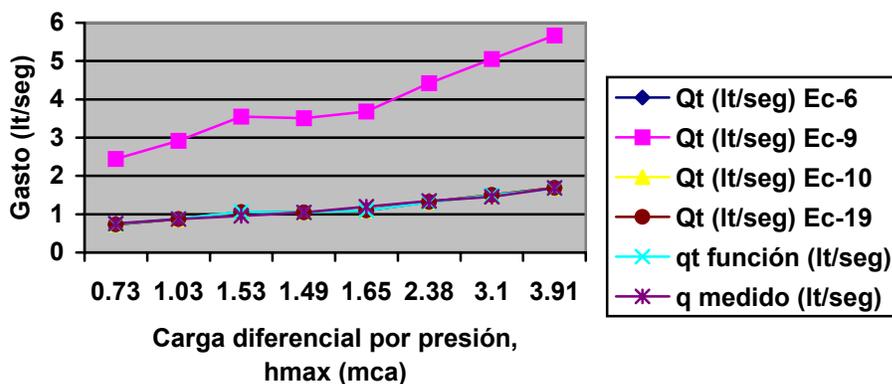


Figura 5.46 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{max} .

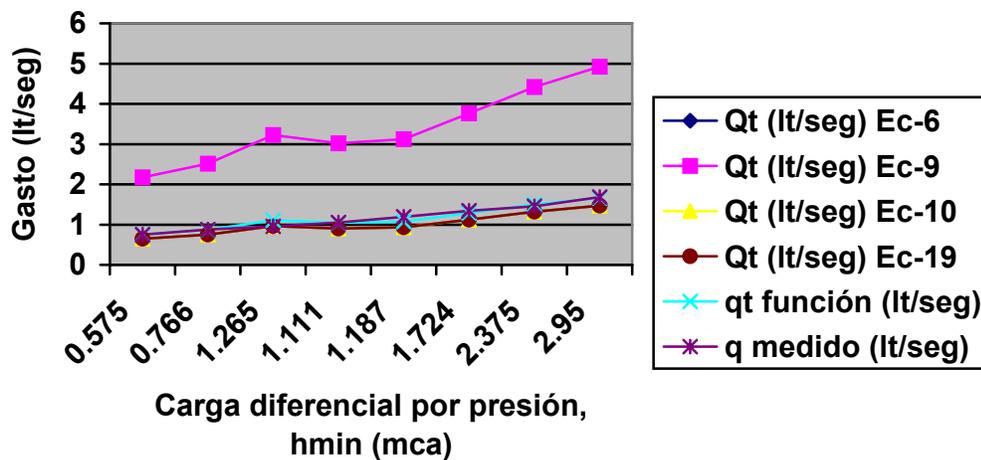


Figura 5.47 Comparación de gastos teóricos con el gasto medido para la tubería de una pulgada y diafragma de cero punto seis décimas de este diámetro y h_{min} .

Coeficiente de Descarga

De acuerdo con los autores que plantearon ecuaciones de predicción del gasto, se hace necesario aplicar un coeficiente de descarga (C), como un factor de ajuste para determinar el gasto real a partir del gasto teórico tal y como se

cita en la fórmula No. 22 de la revisión de literatura, también se pudo observar en la figura No. 2.5 planteada por Doebelin (1980), que el coeficiente de descarga tiende a hacerse constante para números de Reynolds arriba de los 10,000 lo cual es altamente coincidente en este experimento. Aunque no fue posible evaluar en el laboratorio con números de Reynolds menores a 40,000, por las líneas mostradas en las figuras 5.48, 5.49 y 5.50, se puede concluir que tienen un comportamiento típico, con graficas obtenidas por diferentes autores planteados en la revisión de literatura de este trabajo, Otra observación relevante es que al obtener el coeficiente de descarga utilizando las ecuaciones obtenidas en este trabajo, para la predicción del gasto, se obtuvieron valores predominantemente cercanos a la unidad.

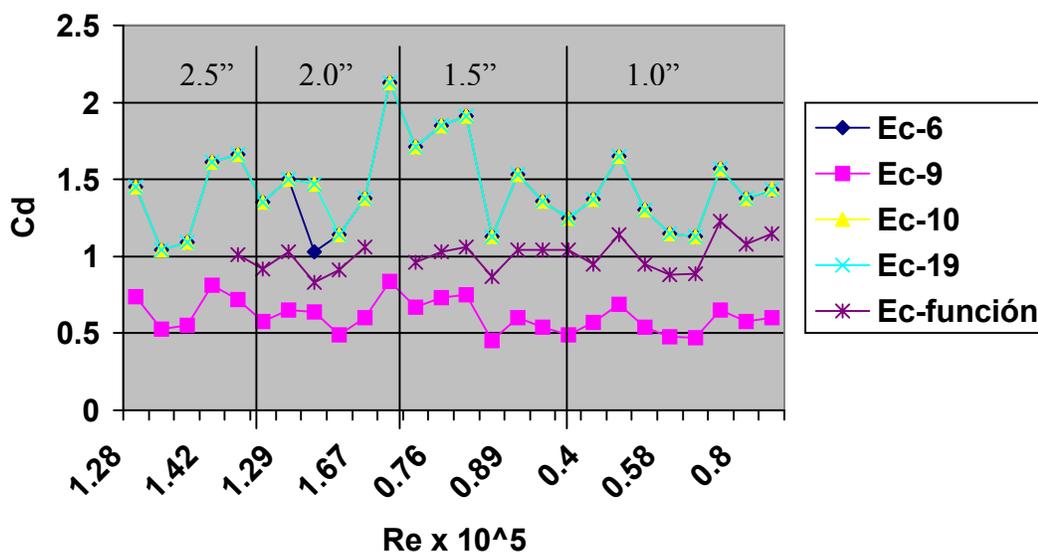


Figura 5.48 Comportamiento del número de Reynolds vs coeficiente de descarga para los tubos de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con diafragma equivalente a 0.9 décimas de cada diámetro.

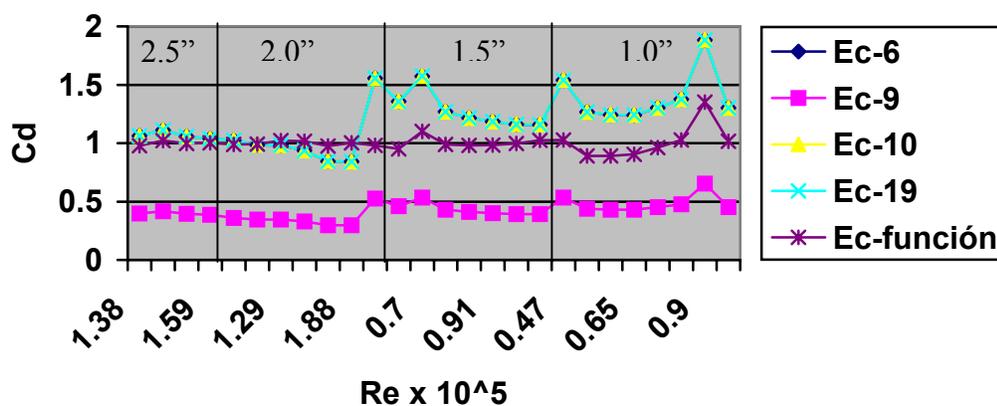


Figura 5.49 Comportamiento del número de Reynolds vs coeficiente de descarga para los tubos de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con diafragma equivalente a 0.8 décimas de cada diámetro.

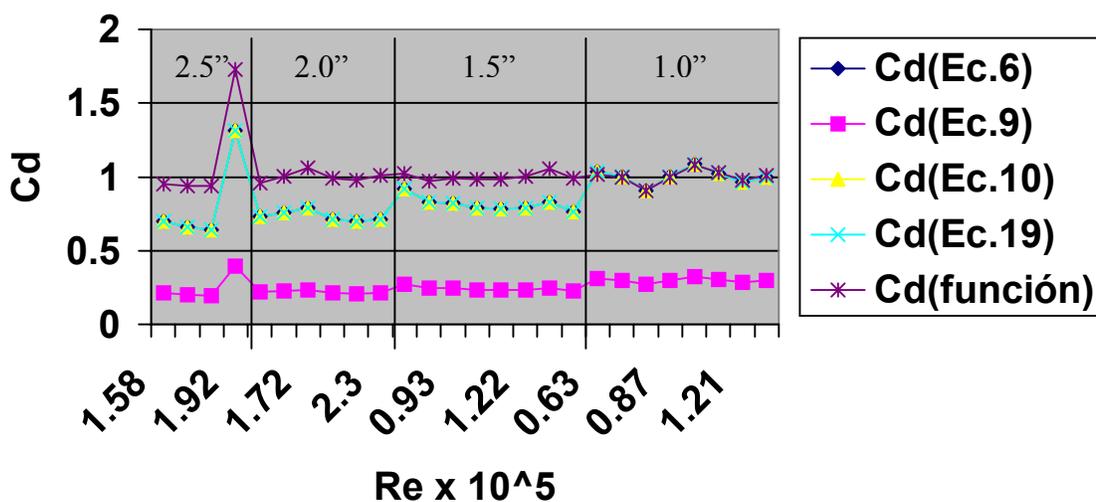


Figura 5.50 Comportamiento del número de Reynolds vs coeficiente de descarga para los tubos de 2.5, 2.0, 1.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con diafragma equivalente a 0.6 décimas de cada diámetro.

Pérdidas de Carga Locales

Con relación a las pérdidas de carga locales, se estimaron a partir de la ecuación número 24 de la revisión de literatura mencionada por Garza para cada evento y se observó para los diafragmas equivalentes a nueve décimas de cada uno de los diámetros comerciales evaluados, los coeficientes de pérdida local (K_{Loc}), oscilaron entre 0.11 y 0.36. Para los diafragmas equivalentes a ocho décimas de los diferentes diámetros comerciales evaluados los coeficientes de pérdida de carga (K_{Loc}) oscilaron entre 0.26 y 0.70. Por último para los diafragmas de seis décimas de los diferentes diámetros comerciales, los coeficientes de pérdidas locales (K_{Loc}) Oscilaron entre 0.54 y 1.35, como puede observarse en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Valores estimados del coeficiente de pérdidas de carga locales (K_{Loc}) para h_{min} y las diferentes combinaciones de gastos, diámetro reales y diafragmas.

Diámetro y diafragma								
D = 2.5, d = 0.9D	0.15	0.28	0.26	0.24				
D = 2.0, d = 0.9D	0.15	0.23	0.19	0.40	0.33	0.22		
D = 1.5, d = 0.9D	0.11	0.17	0.15	0.14	0.27	0.22	0.28	0.33
D = 1.0, d = 0.9D	0.24	0.17	0.27	0.35	0.36	0.28	0.24	0.22
D = 2.5, d = 0.8D	0.30	0.37	0.34	0.38				
D = 2.0, d = 0.8D	0.37	0.38	0.52	0.58	0.63	0.70		
D = 1.5, d = 0.8D	0.29	0.38	0.28	0.43	0.47	0.49	0.51	0.52
D = 1.0, d = 0.8D	0.00	0.41	0.26	0.36	0.33	0.26	0.34	0.33
D = 2.5, d = 0.6D	1.21	1.15	1.21	1.35				
D = 2.0, d = 0.6D	1.28	1.28	1.09	1.29	1.33	1.27		
D = 1.5, d = 0.6D	0.63	0.90	1.03	1.05	1.07	0.99	0.96	1.08
D = 1.0, d = 0.6D	0.66	0.65	0.90	0.66	0.54	0.62	0.73	0.68

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y los análisis realizados durante el presente trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

Las combinaciones de diámetro de tubo – diámetro de diafragma que mostraron una mejor respuesta a la calibración y por lo tanto a la predicción del gasto basada en la ecuación que ajustó mejor los datos fueron: para el tubo de dos pulgadas y media el diafragma de ocho décimas, cuya ecuación de predicción fue: $qt = 10.0392h^{0.2779}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9480 para la carga diferencial por presión mínima (hmin). Si consideramos que para la carga diferencial por presión máxima (hmax) y esta misma combinación de diámetro y diafragma la ecuación de predicción del gasto está dada por: $qt = 10.2542h^{0.3590}$ y un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9556, por tanto se concluye que no representa una diferencia considerable , el hecho de establecer la diferencia de lecturas piezométricas ya sea entre los piezómetros uno y tres o entre los piezómetros uno y seis.

La mejor combinación para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial fue sin duda el diafragma de ocho décimas de este diámetro, de hecho la ecuación de predicción del gasto teórico para este caso fue la de mejor

ajuste de acuerdo a los coeficientes de correlación que fueron los mas altos de todo el experimento, tanto para la máxima carga diferencial por presión (h_{max}), como para la mínima carga diferencial por presión (h_{min}). Las ecuaciones respectivas de predicción fueron: $qt = 6.0145h^{0.3708}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9971 para h_{max} y $qt = 6.4640h^{0.3195}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9957 para h_{min} . También en esta combinación de tubo-diafragma, se puede concluir que los puntos desde donde se obtuvieron las diferencias piezométricas no derivan en una gran diferencia a la hora de obtener gastos estimados por cualquiera de las dos ecuaciones aquí presentadas.

Para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial, la mejor combinación de diámetro de diafragma que facilita la predicción de los gastos que se hicieron circular a través de este, fue el equivalente a seis décimas del diámetro comercial. Cuya ecuación de predicción del gasto fue: $qt = 1.6055h^{0.4151}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9939 para h_{max} . Para este tubo la mejor segunda combinación de diafragma, fue el equivalente a ocho décimas del diámetro comercial con una ecuación de predicción del gasto dada por: $qt = 3.7325h^{0.3459}$ y un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9863 para h_{min} . En este caso donde las ecuaciones de predicción provienen de un diferente

diámetro de diafragma para el mismo tubo se concluye que en aquellos usos prácticos donde las pérdidas de carga locales sean importantes, a fin de reducirlas al mínimo se utilice la ecuación obtenida con el diafragma de ocho décimas del diámetro comercial de una pulgada y media y para la carga diferencial por presión mínima (h_{min}).

En el Caso del conducto de una pulgada de diámetro comercial, la mejor combinación de diámetro de diafragma que originó datos mejor ajustados a una ecuación de predicción del gasto fue el equivalente a seis décimas del diámetro comercial para h_{max} , cuya ecuación esta dada por : $qt = 0.8656h^{0.4806}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9818. Para el caso de h_{min} en esta misma combinación de diámetro de tubo y diámetro de diafragma la ecuación de predicción del gasto está dada por : $qt = 0.9892h^{0.4802}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9658.

Con excepción del diafragma equivalente a nueve décimas del diámetro comercial, para el tubo de dos pulgadas y media para “ h_{max} “ como para h_{min} , donde las lecturas no arrojaron datos fiables, los resultados de las pruebas en las veinte y dos combinaciones restantes de tubos y diafragmas así como en la calibración del vertedor triangular de pared delgada, nos muestran datos consistentes que se ajustan a ecuaciones de predicción cuyos coeficientes de correlación oscilan desde 0.8649 el mas bajo hasta 0.9990 el mas alto. Si a esto agregamos la comparación hecha en el capítulo de discusión, con las principales fórmulas propuestas en la literatura para estimar gastos teóricos y donde se puede observar que las mediciones directas del gasto y las ecuaciones encontradas en este trabajo ofrecen una gran similitud con los métodos ahí

propuestos. Al considerar la comparación de los costos de otros medidores presentados en el apéndice B, se observan ahorros desde un 63 hasta un 87 por ciento dependiendo del diámetro, podemos concluir que si es factible medir el gasto en tubos de fierro galvanizado de dos pulgadas y media, dos pulgadas, una pulgada y media y una pulgada, con diafragmas de bajo costo cumpliendo así a cabalidad con el objetivo principal de este trabajo.

En cuanto a la importancia de la ubicación de los piezómetros, con los gastos aquí evaluados, se concluye que no es indispensable que los piezómetros aguas abajo del diafragma se ubiquen a cortas distancia ($1D$ ó $2D$) del diafragma como lo señalan algunos autores, ya que se obtuvieron resultados similares de cargas diferenciales, tanto en piezómetros tan alejados aguas abajo del diafragma a distancias $10D$ o $20D$ como en los mas cercanos, con la ventaja que los en piezómetros mas alejados la velocidad del agua y la turbulencia son menores facilitando las lecturas piezométricas.

El coeficiente de descarga tiende a ser constante para valores de reynolds arriba de 40,000 y para las ecuaciones de predicción del gasto, el coeficiente de descarga tiende a uno.

Para finalizar se recomienda continuar este estudio en dos etapas; la primera instalando y evaluando diafragmas directamente en tuberías de diámetros mayores a los aquí analizados y en una segunda etapa utilizar los resultados aquí expuestos para tratar de medir el gasto en tubos de diámetros mayores mediante un sistema de tuberías en paralelo.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de hidráulica del Departamento de Riego y Drenaje ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” en la ciudad de Saltillo, Coahuila México. El objetivo principal del trabajo fue: Diseñar construir y evaluar un medidor de bajo costo para el flujo de agua en tuberías.

Como base del diseño del medidor de flujo, se tomó una tuerca unión de fierro galvanizado y de una pulgada de diámetro comercial, a este accesorio se le hizo con ayuda de un torno mecánico una cavidad para insertar alternadamente tres diafragmas de plástico semi-rígido maquinable con diámetros interiores equivalentes a nueve décimas , ocho décimas y seis décimas de una pulgada. Al unir mediante la tuerca unión dos niples de fierro galvanizado de uno y dos metros de longitud respectivamente, se logró obtener en el punto de unión un orificio concéntrico, que al hacer pasar el agua a través de este, se registró una diferencia de presión antes y después del diafragma , lo cual fue medido con un manómetro de mercurio. Bajo este mismo esquema se evaluaron en total cuatro tubos de fierro galvanizado cédula 40 con diámetros comerciales de dos pulgadas y media, dos pulgadas, una pulgada y media y

una pulgada El gasto real medido en cada prueba, se realizó con un tanque con vertedor triangular de pared delgada que fue fabricado con esta finalidad.

La mejor respuesta de estimación del gasto para el tubo de dos pulgadas y media se encontró con el diafragma de ocho décimas, cuya ecuación de predicción fue: $qt = 10.0392h^{0.2779}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9480 para la carga diferencial por presión mínima (hmin) entre los piezómetros uno y seis.

Para el tubo de dos pulgadas de diámetro comercial el mejor resultado predictivo se encontró con el diafragma de ocho décimas de este diámetro, de hecho la ecuación de predicción del gasto teórico, para este caso fue la de mejor ajuste de acuerdo a los coeficientes de correlación que fueron los mas altos de todo el experimento, tanto para la máxima, carga diferencial por presión (hmax), como para la mínima carga diferencial por presión (hmin). Las ecuaciones respectivas de predicción fueron: $qt = 6.0145h^{0.3708}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9971 para hmax y $qt = 6.4640h^{0.3195}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9957 para hmin.

Para el tubo de una pulgada y media de diámetro comercial, la mejor respuesta ocurrió con el diafragma equivalente a seis décimas del diámetro comercial. Cuya ecuación de predicción del gasto fue: $qt = 1.6055h^{0.4151}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9939 para hmax.

En el Caso del conducto de una pulgada de diámetro comercial, la mejor combinación de diámetro de diafragma que origino datos mejor ajustados a una ecuación

de predicción del gasto fue el equivalente a seis décimas del diámetro comercial para h_{max} , cuya ecuación esta dada por : $qt = 0.8656h^{0.4806}$ con un coeficiente de correlación (r) igual a 0.9818.

En el presente experimento no fue posible evaluar el coeficiente de descarga para Reynolds debajo de los 40,000 sin embargo arriba de este valor el coeficiente de descarga tiende a ser constante y al estimarlo a partir de las ecuaciones de predicción obtenidas en este trabajo se observa una gran tendencia a tomar valores cercanos a uno.

Al considerar finalmente la comparación de los costos presentados en el apéndice B, podemos concluir que es perfectamente factible medir con nuestra propuesta, el gasto en tubos de fierro galvanizado cédula cuarenta de diámetros comerciales equivalentes a dos pulgadas y media, dos pulgadas, una pulgada y media y una pulgada, con ahorros de un 63 % a un 86% dependiendo del diámetro cumpliendo así con el objetivo principal de este trabajo.

La importancia de la ubicación de los piezómetros, al momento de determinar las cargas diferenciales por presión, se encontró que no es indispensable que los piezómetros aguas abajo del diafragma se ubiquen a cortas distancia (1D ó 2D), ya que se obtuvieron resultados similares, tanto en piezómetros tan alejados aguas abajo del diafragma a distancias 10D o 20 D como en los mas cercanos, con la ventaja que los en piezómetros mas alejados la velocidad del agua y la turbulencia son menores facilitando las lecturas.

LITERATURA CITADA

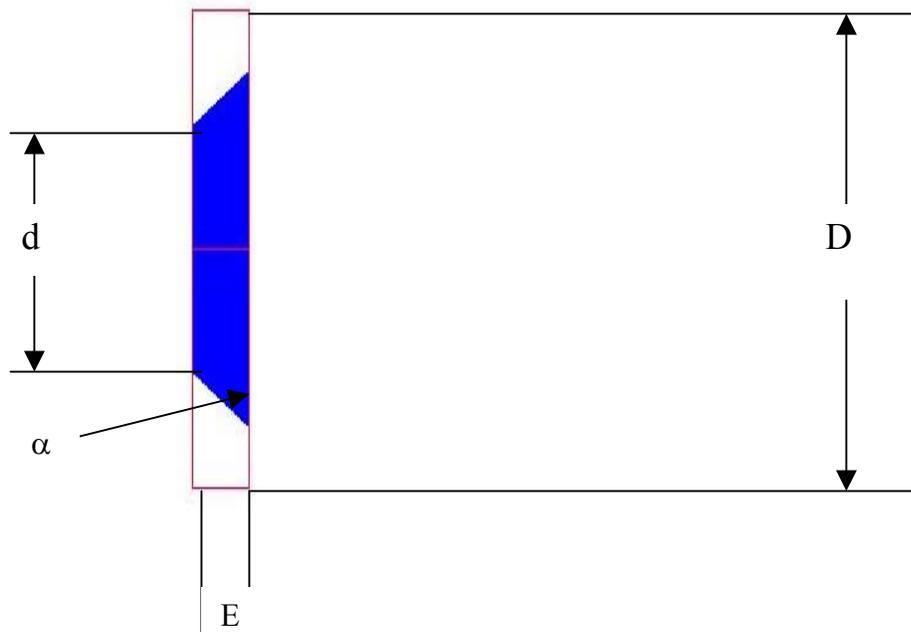
- Azevedo, N.J.M. y Acosta, A.G. 1975. Manual de Hidráulica, Sexta Edición. Ed. Harla, México D.F. P.445-446.
- Bean, H.S. 1971. Fluid Meters, Sexta edición Ed. American Society of Mechanical Engineers. New York, N.Y 10016. P 51.
- Doebelin, E.O. 1980. Diseño y Aplicación de Sistemas de Medición, Primera Edición. Ed. Diana. México 12, D.F. P 469-471.
- Garza V. S. Z. 1984 Hidráulica Agrícola, Teórica y Aplicación. Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P 292.
- Murray, R.S. 1987. Probabilidad y Estadística, Primera Edición. Ed. Mc Graw Hill. México D.F. P. 258.
- Orellan, T.M.E. 1996. Manual de Procedimientos y Métodos de Aforo. Monografía para obtener el grado de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P 61.
- Sotelo A. G. 1974. Hidráulica General, Volumen 1 Fundamentos, Primera edición, Ed. Limusa, México 1 D.F. P324-327.
- USDA. 1972. Medición del Agua de Riego. (Publicación 5 del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Primera Edición. Ed. Diana, México D.F.

APÉNDICES

APÉNDICE A

DIAGRAMA Y DIMENSIONES DE DISEÑO DE LOS DIAFRAGMAS

Figura A.1 Diagrama de diseño del diafragma de polietileno maquinable semi-rígido UHM W-PE.



d : Diámetro interior del diafragma, sujeto a estudio en décimas del diámetro comercial.

E : Espesor del plástico semi-rígido maquinable.

D : Diámetro exterior del plástico semi-rígido maquinable

α : Angulo de 60°.

Cuadro A.1 Dimensiones de diseño para los diferentes diafragmas.

Diámetro Comercial (pulgadas)	Diámetro interior (pulgadas)	Espesor (E) (pulgadas)	Diámetro exterior (pulgadas)
2.5	2.25	0.5	3.09
2.5	2.00	0.5	3.09
2.5	1.50	0.5	3.09
2.0	1.80	0.5	2.67
2.0	1.60	0.5	2.67
2.0	1.20	0.5	2.67
1.5	1.35	0.25	2.33
1.5	1.20	0.25	2.33
1.5	0.90	0.25	2.33
1.0	0.90	0.25	1.586
1.0	0.80	0.25	1.586
1.0	0.60	0.25	1.586

APÉNDICE B

COMPARATIVO DE COSTOS DE MEDIDORES

Cuadro B.1 Comparativo de costos de medidores

	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Kit Medidor de diafragma	Porcentaje de ahorro referido al precio mas bajo
DIAM. EN PULG.	PRECIO M.N.+iva \$	PRECIO M.N.+iva \$	PRECIO M.N.+iva \$	PRECIO M.N.+iva \$	PRECIO M.N.+iva	%
1"	910.00	785.00	809.00	1,108.80	290.70	63
1 ½"	1,705.00	2,358.00	2,452.00	2,116.80	328.40	80
2"	3,058.00	4,781.00	4,545.00	2,800.00	354.70	87
2 ½"	3,390.00		4,807.00	4,368.00	487.13	86

Empresa 1. Equipo Scale Industrial, Paseo de los Sabinos 3661, del paseo residencial, Monterrey N.L. 64920, México.

Empresa 2. J.L. Rodríguez medidores, joselrodriguez@infosel.net.mx, Monterrey N.L.

Empresa 3. CONAMEX, Titanio #4537 Valle de Infonavit 5° sector Monterrey Nuevo León, C.P. 64350.

Empresa 4. ADDCOM Medidores, 01 800 024 23 22 66, Guadalajara Jalisco.

Kit medidor de diafragma, Incluye Diafragma, tuerca unión maquinada, dos nipples de ¼", dos conectores rápidos, un conector hembra y un manómetro de carátula.

APÉNDICE C

FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS EN LABORATORIO

Formato para registro de datos en el laboratorio

LINEA PIEZOMETRICA

Diámetro exterior = _____ Pulg. = _____ m

Diámetro interior = _____ pulgadas = _____ m

Lectura del vertedor = _____ mm. _____ cm.

Gasto de vertedor = _____ lps.

		Manómetro de Mercurio	
Posición	Piezómetro	Lect. 1 (ft.)	Lect. 2 (ft.)
AAR	1		
	2		
AAB	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		

APÉNDICE D

DIÁMETROS EXTERIORES INTERIORES Y ESPESOR
PARA TUBOS COMERCIALES DE FIERRO C-40

Cuadro D.1 Diámetros exteriores interiores y espesor para tubos comerciales de fierro galvanizado cédula-40.

(Dc) Diámetro Comercial (pulgadas)	(De) Exterior (mm)	(E) Espesor (mm)	(Di) Diámetro Interior (mm)	(Di) Diámetro Interior (pulgadas)
1.00	33.4	3.38	26.64	1.05
1.50	48.3	3.68	40.94	1.61
2.00	60.3	3.91	52.48	2.07
2.50	73.0	5.16	62.68	2.47

APÉNDICE E

ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DEL MERCURIO Y DEL AGUA
UTILIZADOS EN ESTE EXPERIMENTO

Estimación de la densidad del mercurio y del agua utilizados en este experimento.

MERCURIO :

Masa de la probeta = 118.9 gr.
Masa de la probeta + mercurio = 567.6 gr.
Volumen del mercurio = 33 cm³

Masa del mercurio = (Masa de la probeta + mercurio) – (masa de la probeta)
= (567.6 – 118.9) gr.
= 448.7 gr.

Densidad del mercurio = masa del mercurio / volumen del mercurio
= 448.7/33
= 13.597 gr/cm³

AGUA :

Masa de la probeta = 119.2 gr.
Masa de la probeta + agua = 189.4 gr.
Volumen del mercurio = 70 cm³

Masa del agua = (Masa de la probeta + agua) – (masa de la probeta)
= (189.4 – 119.2) gr.
= 70.2 gr.

Densidad del agua = masa del agua / volumen del agua
= 70.2/70
= 1.0028 gr/cm³