

84



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### **“Comparación del funcionamiento hidráulico entre descargas sanitarias a 45 y 90 grados, utilizando para ello un modelo físico”**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
SUSANA REYNA MENA RIVERA



DIRECTOR: M.I. VICTOR FRANCO

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 098/02

Señorita  
**SUSANA REYNA MENA RIVERA**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. VICTOR FRANCO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tema de tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO ENTRE DESCARGAS SANITARIAS A 45 Y 90 GRADOS, UTILIZANDO PARA ELLO UN MODELO FÍSICO"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. DESCARGA DOMICILIARIA
- III. ASPECTOS DE HIDRÁULICA
- IV. MODELO EXPERIMENTAL
- V. MEDICIONES
- VI. RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXO FOTOGRÁFICO

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 21 de junio de 2002.  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GEB/GMP/mstg.

Se remite a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.  
NOMBRE: Susana R. Mena Rivera

FECHA: 27 Agosto 2002  
FIRMA: Susana R. Mena R.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres por darme la oportunidad de vivir.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, *mi alma mater*, a quien debo mi formación académica.

A la Sección de Hidráulica del Instituto de Ingeniería por los buenos ratos que compartí con ella, y también, porque no decirlo, por los momentos difíciles de los cuales también aprendí.

Al Ing. Víctor Franco por confiar en mí, por sus enseñanzas, consejos y regaños, por su apoyo durante mi estancia en el Instituto.

A mis amigos por la amistad incondicional que me han brindado siempre, en especial a Paola y Alejandro por sus asesorías y consejos.

A Dios.

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>I</b>
<b>1. DESCARGA DOMICILIARIA</b>	<b>1</b>
1.1 Definición	1
1.2 Materiales	3
1.2.1 Tubería de concreto	4
1.2.2 Tubería de fibrocemento	5
1.2.3 Tubería de policloruro de vinilo (PVC)	6
1.2.4 Tubería de polietileno de alta densidad	14
1.2.5 Concreto polimérico (Policreto)	15
1.3 Recomendaciones	16
<b>2. ASPECTOS DE HIDRÁULICA</b>	<b>17</b>
2.1 Elementos geométricos	17
2.2 Clasificación de flujo	21
2.3 Ecuaciones básicas	25
2.3.1 Continuidad	25
2.3.2 Energía	27
2.3.2.1 Pérdidas de carga	29
2.3.3 Cantidad de movimiento	31
<b>3. MODELO EXPERIMENTAL</b>	<b>35</b>
3.1 Descripción	40
3.2 Combinación de diámetros y accesorios	41
3.3 Recomendaciones pendientes máximas y mínimas	
<b>4. MEDICIONES</b>	<b>43</b>
4.1 Altura del agua en el tanque	43
4.2 Calibración de gasto	44
4.3 Medición del tirante	48
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>53</b>
5.1 Velocidades permisibles	68
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO FOTOGRÁFICO</b>	

## INTRODUCCIÓN

El sistema de alcantarillado es un conjunto de obras que sirven para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de lluvia hasta sitios donde no se provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de poblaciones de donde provienen dichas aguas.

La recolección de aguas en este sistema puede ser de 3 tipos diferentes: alcantarillado de aguas pluviales, compuesto de las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas de lluvia; alcantarillado de aguas residuales, sistema que se encarga de la recolección y transporte de las aguas residuales domesticas y/o industriales, y el alcantarillado combinado que consta de la recolección y transporte tanto de las aguas residuales como las pluviales.

La red de alcantarillado se inicia con la descarga domiciliaria a partir del paramento exterior de las edificaciones, que se une a una tubería de diámetro mayor (atarjea), localizadas generalmente al centro de las calles, la cual va recolectando las aportaciones de los albañales, su diseño, en general debe seguir la pendiente natural del terreno, siempre y cuando cumpla con los límites máximos y mínimos de velocidad y la condición mínima de tirante.

En los sistemas convencionales el albañal se conecta al sistema de alcantarillado (atarjea) con un ángulo horizontal de  $45^\circ$  en el sentido de flujo del agua, pero actualmente existen accesorios que permiten que el ángulo sea de  $90^\circ$ .

Con el fin de revisar el comportamiento hidráulico de las conexiones a  $90^\circ$  se construyó un modelo físico y comparar los resultados con los obtenidos con la conexión a  $45^\circ$ , ya que esta pieza se fabrica en todo tipo de material utilizados en sistemas de alcantarillado, los accesorios a  $90^\circ$  fueron propuestos por la Compañía Plásticos Omega, que fabrica piezas y tubos de PVC para sistemas de alcantarillado.

Para analizar el funcionamiento de estas conexiones, en el capítulo 1 se define cada una de las partes que constituyen la descarga de aguas domésticas a la red de alcantarillado, así como las dimensiones, materiales y accesorios que se emplean en la unión de albañal y atarjea.

El capítulo 2, contiene las ecuaciones para determinar las características geométricas del conducto, la velocidad y el tipo de flujo que se presenta cuando se utiliza una descarga vertical ( $90^\circ$ ) o con un ángulo de inclinación ( $45^\circ$ ).

La descripción del modelo experimental y cada una de las partes que lo constituyen se explica en el capítulo 3, en donde se anexa la tabla que contiene las combinaciones de accesorios de unión entre albañal y atarjea probadas en el modelo y los valores de las pendientes recomendables para la atarjea.

El capítulo 4 está constituido por los valores de las variables que se consideran para el análisis de los datos, como son la altura del agua en el tanque que abastece a las tuberías, el gasto que circula por cada tubo, y el tirante de agua que se presenta en el interior de ellos, con estos valores se puede obtener el funcionamiento de las descargas propuestas.

Los resultados de las mediciones y sus gráficas, se utilizarán para revisar de manera experimental el comportamiento del agua en cada tubería se incluyen en el capítulo 5, comparando para cada caso la velocidad medida en el tubo y el régimen del flujo, obtenida analíticamente usando para ello el número de Froude. También se revisa con un programa de computo el factor de rugosidad para la tubería.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones de los experimentos realizados en el laboratorio en la unión de albañal y atarjea con accesorios a  $45^\circ$  y  $90^\circ$ . Además se incluye un anexo fotográfico del modelo y las conexiones utilizadas para este trabajo.



## 1. DESCARGA DOMICILIARIA

En este capítulo se define una descarga domiciliaria (o albañal) y la atarjea, también se hace la descripción de los diferentes tipos de materiales, accesorios y los procedimientos empleados en la instalación de los albañales y la unión a la atarjea.

### 1.1 Definición

A la descarga domiciliaria se le conoce comúnmente como albañal, es una tubería con un diámetro de 15 cm mínimo, su función es la de recolectar las aguas residuales de una casa o edificio y entregarla a la red municipal.

El albañal puede construirse oculto o visible. En el primer caso se encuentra en el piso bajo la edificación con tubos que garanticen su impermeabilidad, y el segundo esta apoyado sobre el piso bajo o suspendidos de los elementos estructurales del edificio. En los dos casos, deben estar debidamente protegidos e instalarse a una distancia mínima de un metro de los muros, con una pendiente no menor de 1.5%. Para facilitar su limpieza, estarán dotados de un registro que se coloca a una distancia no mayor de 10 m.

La descarga domiciliaria se divide en 2 partes, la primera se denomina albañal interior y es la que se localiza en medio del predio, casa o edificio, y la otra se le llama albañal exterior de la casa o edificio, y se utiliza para realizar el entronque con el conducto de la calle conocido como atarjea o colector secundario (fig. 1.1).

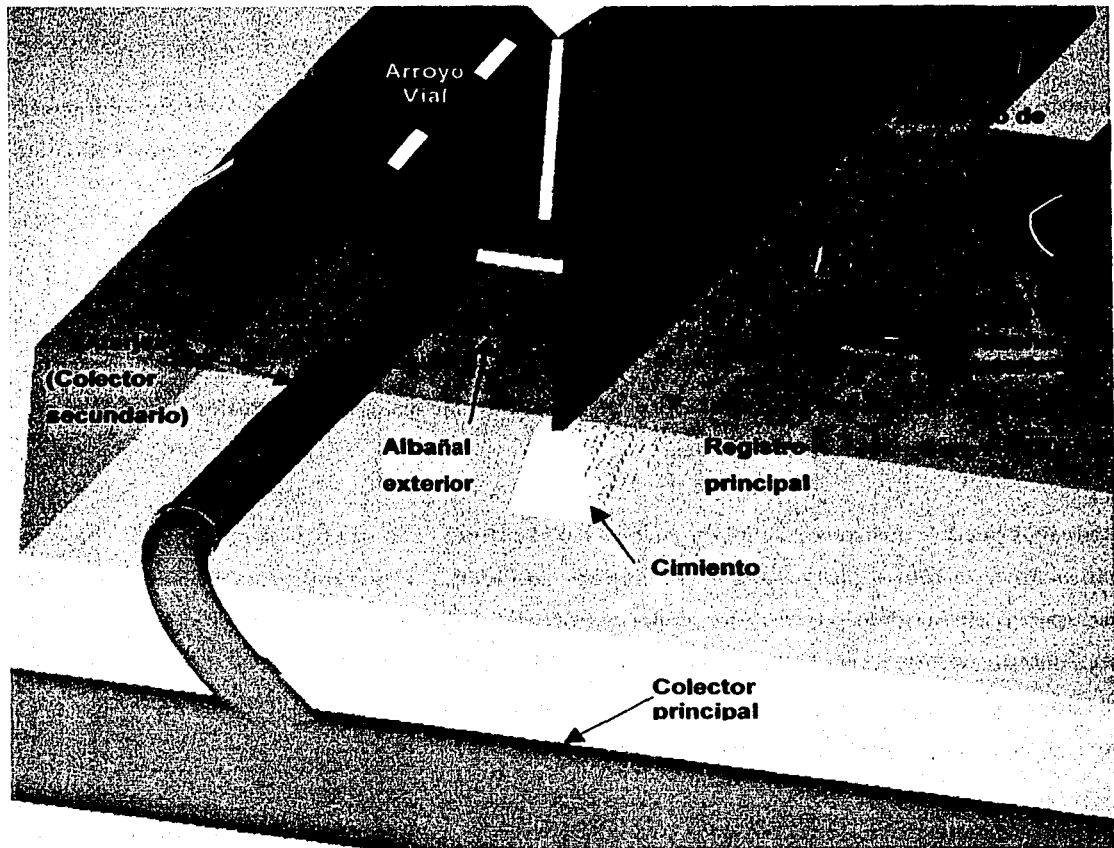


Figura 1.1 Ejemplo de unión de albañal exterior y atarjea en una descarga domiciliar

La atarjea es una tubería de diámetro mínimo dentro de la red secundaria de drenaje, que se instala a lo largo de los ejes de las calles de una localidad y sirven para recibir las aportaciones de los albañales de las casas o edificios, como se observa en la figura 1.1.

Los registros para los albañales ocultos (fig. 1.2), tienen restricciones en sus dimensiones y las mínimas serán las siguientes:

Para profundidad hasta de un metro	0.40 x 0.60 m.
Para profundidad hasta de dos metros	0.50 x 0.70 m.
Para profundidad mayor a dos metros	0.60 x 0.80 m.
Las cubiertas no serán menores de	0.40 x 0.60 m.

En los albañales visibles, los registros estarán constituidos por un orificio en el propio tubo no menor de 10 cm de diámetro, provisto de tapa con cierre hermético que impide la salida de malos olores.

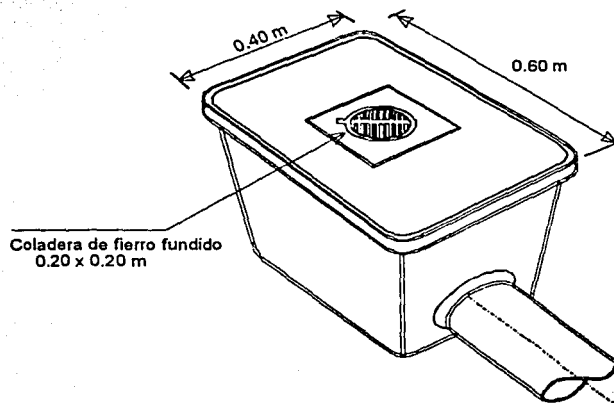


Figura 1.2 Registro para albañal oculto (prefabricado)

## 1.2 Materiales

Los materiales empleados en la conexión de una descarga domiciliar son principalmente concreto, fibrocemento, Policloruro de Vinilo (PVC), polietileno de alta densidad y policroto. A continuación se describen las características de cada uno de ellos y los accesorios existentes que se utilizan comúnmente para la conexión del albañal con el colector secundario.

### 1.2.1 Tubería de concreto

Para efectuar la conexión del albañal con la atarjea se utiliza el denominado "slant" (fig. 1.3), es una pieza especial de concreto con un extremo en forma de campana (para unir con anillo de hule) y el otro en forma de espiga cortado a 45° con respecto a su eje longitudinal; para acoplar con la atarjea, lo cual permite que la conexión domiciliaria una vez construida quede con este ángulo de deflexión, al slant se conecta un codo a 45° de concreto con espiga y campana para su acoplamiento al albañal con anillo de hule, el cual generalmente es perpendicular a la atarjea. En el caso de una conexión con un colector con cierta profundidad, será necesario incluir en la conexión un tramo de tubería entre el "slant" y el codo. Las piezas y medidas existentes para este tipo de unión se indican en la tabla 1.1.

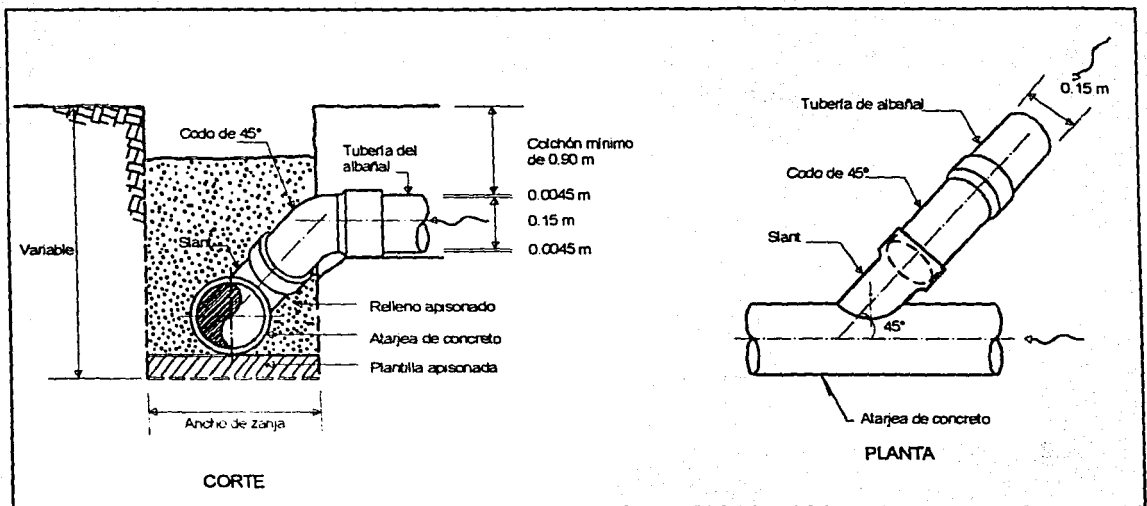


Figura 1.3 Descarga domiciliaria con tubería de concreto (ref.14)

TIPO DE PIEZA	DIMENSIONES (m)
Tubería de concreto simple con junta hermética	0.15 0.20
Codo de 45°	0.15 0.20
Slant	0.15 0.20

Tabla 1.1 Dimensiones nominales piezas de concreto (ref.14)

### 1.2.2 Tubería de fibrocemento

Para la conexión domiciliaria en tubería de fibrocemento, el procedimiento es similar al descrito en tubería de concreto; se emplean el "slant" a 45 grados con campana (para unir con anillo) y extremo de apoyo para unir a la atarjea con pasta epóxica; y el codo de 45° con espiga y campana para su acoplamiento al albañal con anillo de hule (fig. 1.4). Las dimensiones nominales en este material son las siguientes:

TIPO DE PIEZA	DIMENSIONES (m)
Tubería de fibrocemento	0.15 0.20
Codo de 45°	0.15
Slant	0.15

Tabla 1.2 Dimensiones nominales en piezas de fibrocemento (ref.14)

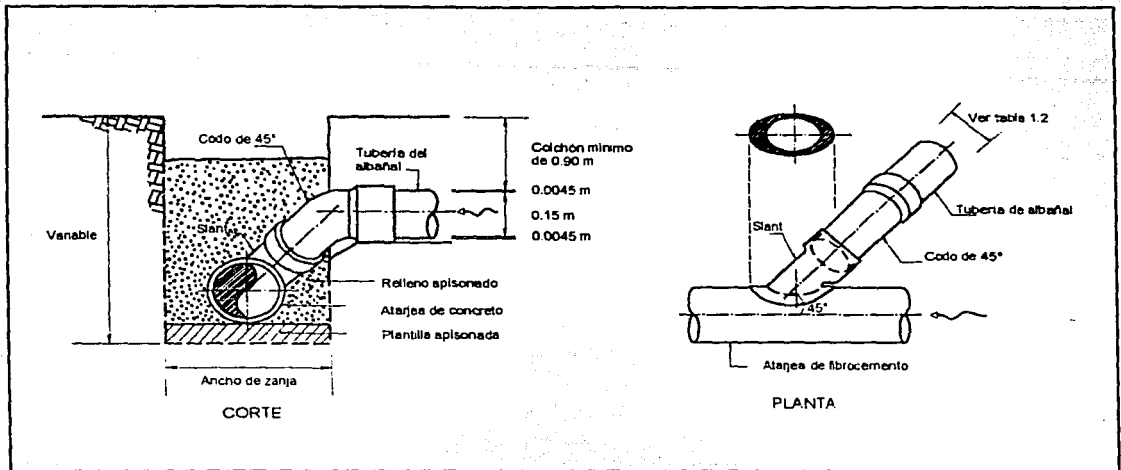


Figura 1.4 Tubería de fibrocemento (ref.14)

### 1.2.3 Tubería de policloruro de vinilo (PVC)

Los tubos de PVC se fabrican generalmente en longitudes de seis metros, sus diámetros y espesores se muestran en la tabla 1.3. En el caso de las descargas domiciliarias existen “yees” y varios tipos de silletas para conectarlas descargas domiciliarias a la red, ya sea a 45° o 90° (por la parte superior de la atarjea). La selección de estos accesorios depende del momento de su instalación (durante o después de la construcción de las atarjeas, o cuando ya este funcionando el sistema), de las condiciones ambientales (temperaturas altas, lluvias frecuentes), de las experiencias o especificaciones del organismo operador, del costo de instalación de cada descarga, y de la disponibilidad de diámetro y facilidad de instalación hermética de cada pieza.

Este tipo de material permite

- Mayor avance de obra gracias a la longitud de los tubos y su junta con empaque de material elastomérico integrado (junta de hule).

- Instalar rápidamente las descargas domiciliarias bajo prácticamente cualquier circunstancia, al contar con silletas que no requieren ser cementadas; su diseño con anillo de hule y libres de partes metálicas, aseguran la hermeticidad de la unión instantáneamente y a largo plazo.

Una de las variantes de PVC es el sistema de alcantarillado hermético Novahol, consiste en un tubo aplicado a sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. El sistema Novahol es de alta resistencia química y mecánica así como el sellado, ya que con ello se garantiza que el desalojo de aguas residuales de las zonas urbanas e industriales no repercuta en el medio ambiente ni en la salud de los usuarios y que el gasto conducido esta libre de cualquier alteración a través del subsuelo. Es de pared estructurada con celdas longitudinales y su rigidez es mayor que la de tuberías plásticas sólidas de similar peso.

TIPO DE PIEZA	DIÁMETRO (m)	DIMENSIONES (m)		
Tubería PVC	0.160	Se fabrican en longitudes totales de seis metros		
	0.200			
	0.250			
	0.315			
	0.450			
	0.525			
	0.600			
		L2	Z1	Z2
Codo 45°	0.110	0.060	0.026	0.029
	0.160	0.081	0.037	0.042
	0.200	0.099	0.046	0.054
		L2	Z1	Z2
Codo 87°	0.110	0.060	0.059	0.065
	0.160	0.081	0.084	0.091
	0.200	0.099	0.105	0.113
	0.250	0.134	0.132	0.143
	0.315	0.144	0.166	0.180
		L1	L2	Z1
Reducción excéntrica	0.125 x 0.110	0.143	0.067	0.015
	0.160 x 0.110	0.176	0.081	0.034
	0.160 x 0.125	0.174	0.081	0.026

Tabla 1.3 Dimensiones nominales de accesorios de PVC (ref.1)

Las conexiones para tubería de alcantarillado que cumplen con lo mencionado y que forman parte de este sistema son codos, coples, reducciones, tees, tapones, etc, incluyendo las que se utilizan en la unión de la atarjea al albañal y son las siguientes:

- a) Silleta cementar a 45° con campana
- b) "Y" a 45°
- c) Silleta Clic a 90°
- d) Silleta W a 90°

Las piezas necesarias para una conexión a 45° son: albañal, codo de 45°, y silleta cementar o yee. En los incisos a) y b) se describen estos accesorios y su forma de instalación.

a) Se le llama "silleta cementar" a la conexión de 45° que puede acoplarse con un anillo de hule o pegarse con cemento (fig. 1.5), se puede realizar la conexión durante la construcción o una vez que ya esta funcionando el sistema. Si la unión es con cemento, es necesario fijar la silleta por medio de un par de abrazaderas metálicas y esperar por lo menos dos horas antes de probar la hermeticidad de la unión. Las abrazaderas podrán retirarse después para utilizarse nuevamente. El codo se inserta a la silleta de la misma forma que la tubería y en dirección apropiada para recibir el albañal

La silleta cementar a 45 grados con campana, (para unir con anillo) y extremo de apoyo se utiliza para unir a la atarjea o colector con un codo de 45 grados con espiga y campana para su acoplamiento al albañal con anillo de hule. La silleta se acopla a la atarjea por cementación, o bien, se sujeta por medio de un par de abrazaderas o cinturones de material resistente a la corrosión; en este caso, la silleta es provista de un anillo de hule con el que se logra la hermeticidad con la atarjea. Las medidas para este tipo de silletas se anexan en la tabla 1.4.

El procedimiento para colocar la silleta cementar es el siguiente:

- Localizar el punto exacto de la descarga y utilizando la silleta como guía marcar la perforación que se hará en el tubo.



- Con una broca hacer varias perforaciones a una distancia de 15 cm de la marca, terminar el corte con ayuda de un serrucho. Limpiar las rebabas y sobrantes en la perforación.
- Montar las abrazaderas sobre el tubo dejando una holgura para recibir la silleta.
- Si se utiliza anillo de hule, montar éste alrededor de la perforación del tubo, montar la silleta de acuerdo al marcado y apretar los flejes (abrazaderas metálicas) hasta evitar que la silleta gire o se deslice. Aplicar una capa uniforme y abundante de cementante en las áreas de contacto que se limpiaron previamente y aplicar cordones de cementante perimetrales a la perforación (primero en la silleta y luego en el tubo) espaciados de 3 a 5 mm, en toda el área de contacto.
- Montar inmediatamente la silleta en el tubo (para evitar que el cemento se volatilice), apretar los flejes alrededor de ella dándoles una tensión que no permita su desplazamiento.
- Una vez instalada la silleta, proceder a la instalación del codo y albañal exterior e iniciar el relleno apisonado.

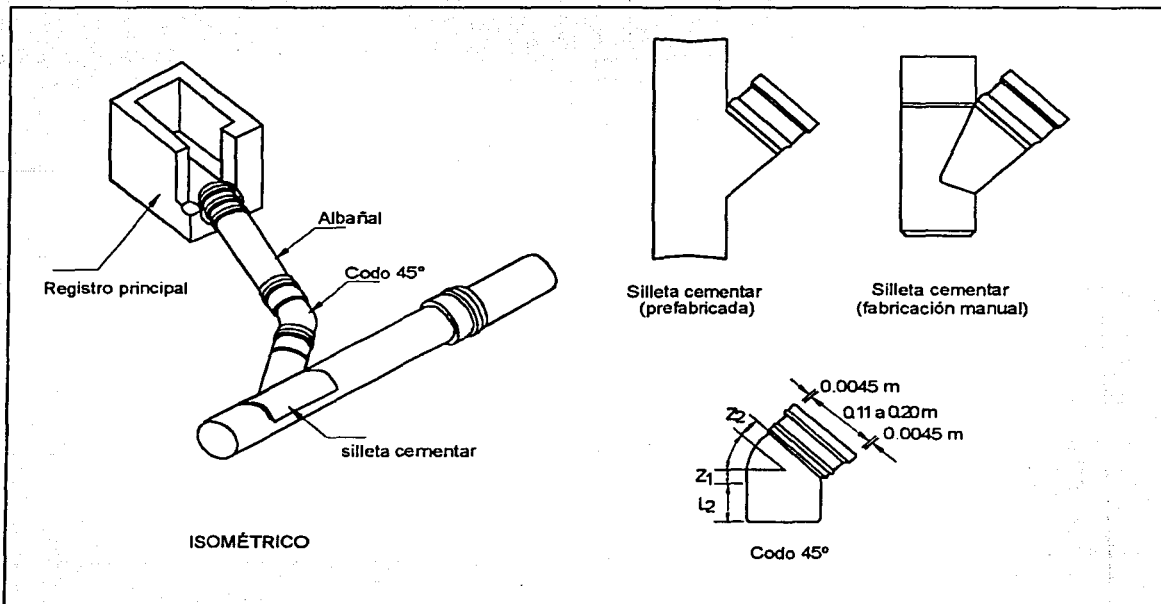


Figura 1.5 Instalación de silleta cementar (ref.1)

TIPO DE PIEZA	MEDIDAS (m)	DIMENSIONES (m)
Silleta cementar	0.200 x 0.110	Se fabrican a partir de las yees, o de tubo
	0.200 x 0.160	
	0.250 x 0.110	
	0.250 x 0.160	
	0.315 x 0.110	
	0.315 x 0.160	

Tabla 1.4 Dimensiones de silleta cementar (ref.1)

b) La yee, asegura la correcta instalación en lugares con temperatura ambiente y muy alta o lluvias y niveles freáticos presentes (fig. 1.6), su proceso de instalación es el siguiente:

- Cortar el tubo en el punto marcado y acoplar el cople conexión, la yee y el codo de 45° colocándolos para recibir el albañal
- Si el punto donde se conecta la descarga coincide con la campana de un tubo, o se conecta a otra yee, no se requiere el cople conexión
- Cada yee contribuye a la longitud de la atarjea, las dimensiones de la yee se indican en la tabla 1.5.

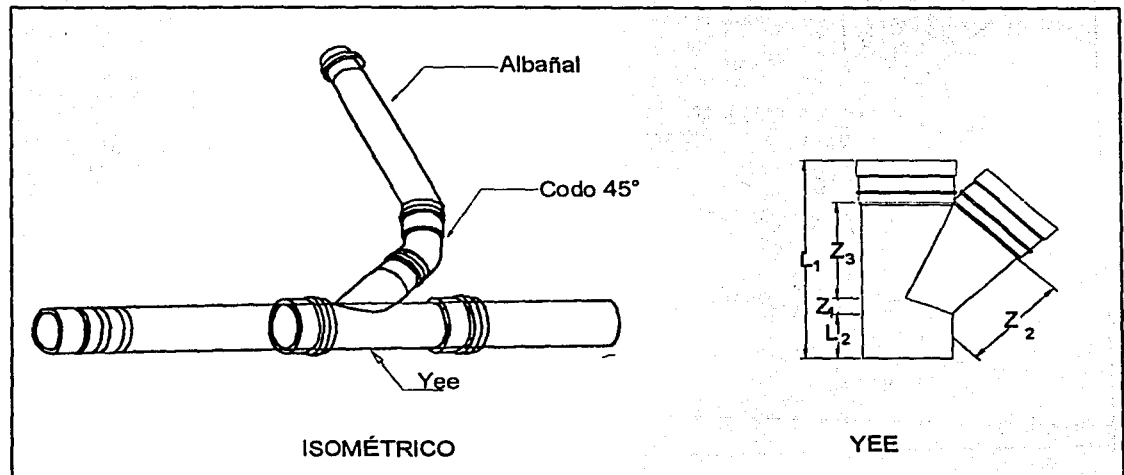


Figura 1.6 Instalación de Yee con tubería de PVC

TIPO DE PIEZA	MEDIDAS (m)	DIMENSIONES (m)				
		L1	L2	Z1	Z2	Z3
Yee	0.160 x 0.110	0.323	0.081	0.002	0.168	0.159
	0.160 x 0.160	0.393	0.008	0.037	0.194	0.194
	0.200 x 0.110	0.362	0.099	-0.016	0.195	0.180
	0.200 x 0.160	0.431	0.099	0.019	0.221	0.214
	0.250 x 0.110	0.437	0.134	-0.037	0.228	0.206
	0.250 x 0.160	0.506	0.134	-0.003	0.254	0.241
	0.315 x 0.160	0.531	0.144	-0.032	0.297	0.275

Tabla 1.5 Medidas y dimensiones para un accesorio tipo "Yee" fabricado en PVC (ref.1)

En el caso de las conexiones a 90°, se requiere de un codo de 90° y una silleta Clic o W, a continuación se describe cada una de ellas y su proceso de instalación.

c) La "silleta Clic" está diseñada para conectarse por la parte superior del tubo y para evitar que la unión de la descarga domiciliaria pueda concentrar cargas externas sobre la parte del tubo donde se apoya, está provista de una canastilla de polipropileno, colocada en el interior de cada campana, que permite el deslizamiento vertical, a lo largo, de la espiga acoplada (fig. 1.7). Al accionar sus dos brazos hasta el broche, desliza hacia arriba un niple engrasado de un extremo que expande su empaque y lo presiona contra las paredes de la perforación del tubo y con ello se logra la hermeticidad; se sujeta al quedar la parte abocinada dentro del tubo, las dimensiones y medidas de ella se indican en la tabla 1.6.

El procedimiento de instalación de la silleta clic es el siguiente:

- Se traza el eje longitudinal del tubo y con una línea perpendicular a éste, se marca el centro.
- Con una sierra caladora, completamente vertical, se perfora lentamente un círculo en el tubo. Por ejemplo, si la descarga es de 160 mm, se utiliza una perforadora de 159 mm. Se eliminan las rebabas.
- Se toma la silleta y se cerciora que los brazos estén en posición vertical y que el empaque esté dentro de su nicho para asegurar que pase por la perforación.

- Se asienta bien la base de la silleta y se giran simultáneamente los brazos hacia su posición horizontal asegurándose que pasen por el broche.
- Una vez instalada la silleta, se acoplan el tubo vertical, el codo y el albañal y se inicia el relleno apisonado.

Se puede utilizar un sifón domiciliar, el cual puede integrarse o sustituir al registro, ya que evita la entrada de insectos y malos olores a la vivienda.

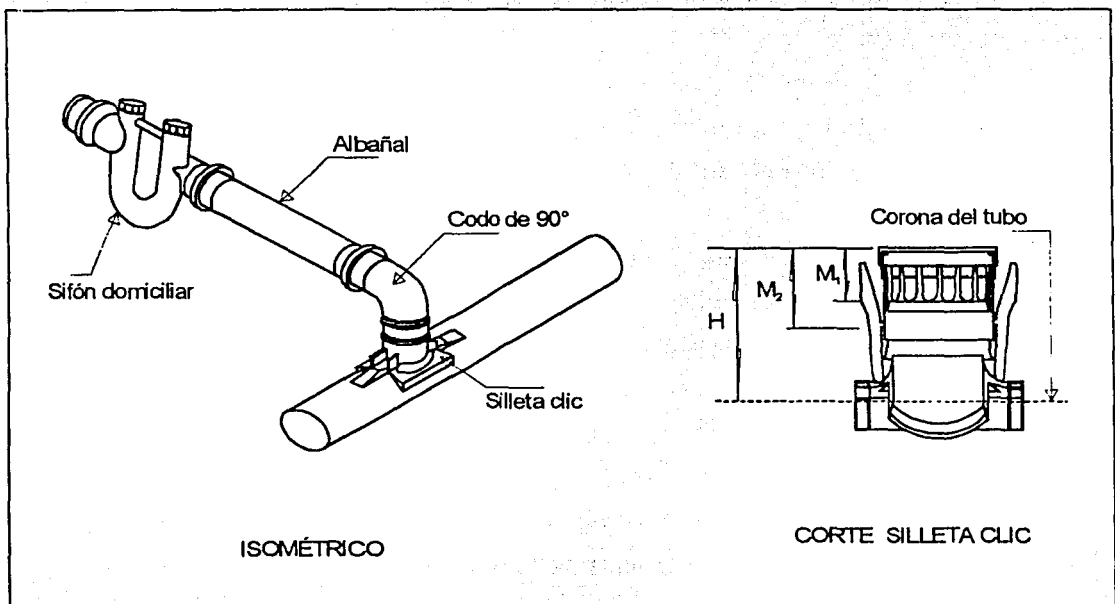


Figura 1.7 Colocación de silleta Clic

TIPO DE PIEZA	MEDIDAS (m)	DIMENSIONES (m)		
		M1	M2	H
Silleta clic	0.200 x 0.125	0.067	0.104	0.185
	0.250 x 0.125	0.067	0.104	0.185
	0.315 x 0.125	0.067	0.104	0.185
	0.250 x 0.160	0.069	0.105	0.185
	0.315 x 0.160	0.069	0.105	0.185

Tabla 1.6 Dimensiones y medidas para la silleta Clic (ref.1)

## d) Silleta W 90°

Al igual que la silleta Clic, la silleta W se conecta por la parte superior de la atarjea, pero esta como si fuera un brazaletes, ver fig. 1.8, sus medidas y dimensiones se muestran en la tabla 1.7.

El procedimiento que se recomienda para montarla en el tubo es el siguiente

- Se traza el eje longitudinal del tubo y con una línea perpendicular a éste, se marca el centro.
- Con una sierra caladora, completamente vertical, se perfora lentamente un círculo en el tubo. Por ejemplo, si la descarga es de 160 mm, se utiliza una perforadora de 159 mm.
- Quitar las rebabas con una esponja de metal. Verificar que el empaque de la silleta este dentro de su nicho.
- Abrir el cuerpo de la silleta y montarlo (como brazaletes) en el tubo, cuidando que la ceja de la silleta entre en la perforación.
- Alinear el cuerpo de la silleta y una de sus partes con la cuña de sujeción, que debe quedar centrada.
- Una vez instalada la silleta, se acoplan el tubo vertical, el codo y el albañal exterior y se inicia el relleno apisonado.

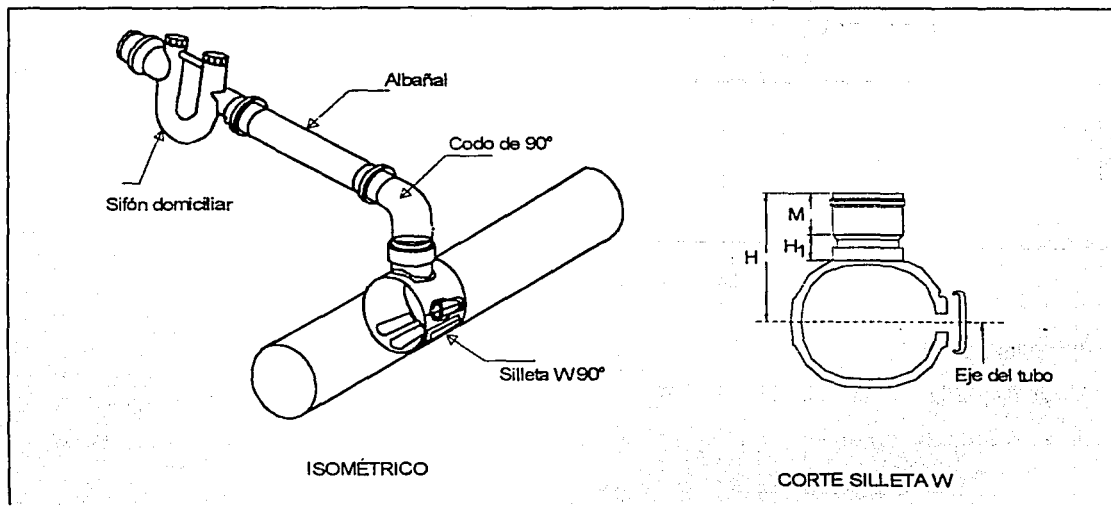


Figura 1.8 Instalación silleta W 90°

TIPO DE PIEZA	MEDIDAS (m)	DIMENSIONES (m)		
		H	H <sub>1</sub>	M
Silleta W 90°	0.315 x 0.110	0.290	0.132	0.070
	0.200 x 0.160	0.228	0.128	0.083
	0.315 x 0.160	0.291	0.133	0.085

Tabla 1.7 Medidas de la silleta W (ref.1)

#### 1.2.4 Tubería de polietileno de alta densidad

Se utiliza un slant o una silleta de 45° y un codo a 45°. La unión entre el albañal y la atarjea cuando el sistema esta seco, se realiza soldando el "slant" (fabricado del mismo material) a la atarjea con soldadura de aporte; cuando el sistema está en operación se debe emplea una silleta de polietileno sujeta con una abrazadera. En este caso la silleta se asienta sobre un empaque de neopreno (ver fig. 1.9 a y b).

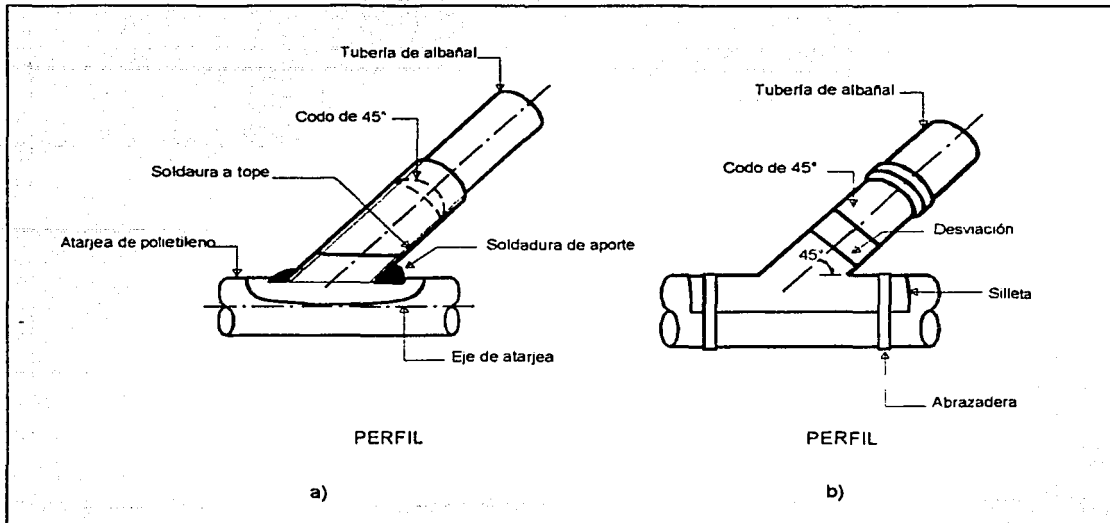


Figura 1.9 Tubería de Polietileno

### 1.2.5 Concreto Polimérico (Policreto)

Es un material de recién introducción en el mercado, fabricado con base de matriz sintética y agregados minerales inorgánicos (no usa cemento tipo Portland). Entre sus aplicaciones para uso sanitario se encuentran: tapas, registros sanitarios para casa habitación, coladeras pluviales, brocales, tapas y pozos de visita, silleta de transición PVC-concreto, y descargas domiciliarias.

La silleta de policreto ha sido diseñada para unir el albañal de PVC o de cemento a tubos de concreto que cumplan con las normas mexicanas NMX-C-401-196-ONNCE ó NMX-C-402-1996-ONNCE. Su colocación se realiza perforando cuidadosamente con un cincel el tubo de concreto con la forma de entrada de la silleta, posteriormente se limpian las superficies de modo que se encuentren libres de polvo y grasa; se aplica una capa de cementante a las dos superficies, del tubo y la silleta, se coloca esta última y se sella con el adhesivo cementante formando un chaflán perimetral.

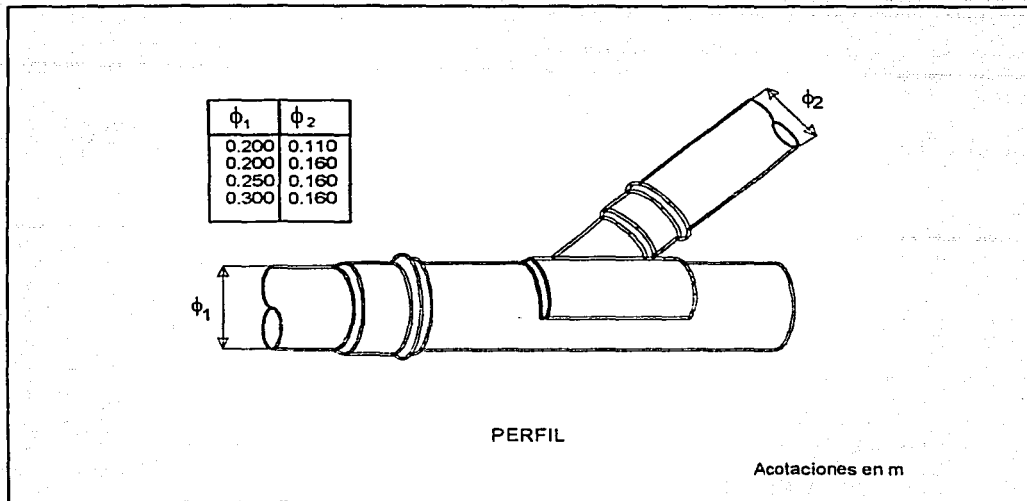


Figura 1.10 Silleta de policroto

### 1.3 Recomendaciones

Se debe asegurar que la conexión del albañal a la atarjea sea hermética. Dependiendo del tipo de material de la atarjea o colector, se debe seleccionar de preferencia el mismo material en la tubería del albañal y en las piezas especiales, así como el correspondiente procedimiento de conexión.

Se debe tomar en cuenta que en algunos casos el diámetro del albañal es muy pequeño en comparación con el de la atarjea, por lo que no es recomendable que se lleve a cabo la unión directa con un diámetro mucho mayor, sino que es necesario prever una atarjea "madrina", la cual servirá para ir interceptando los albañales hasta que el diámetro de dicha tubería sea adecuado para unirse a la atarjea de la red municipal; si las dimensiones de las tuberías por unir no permiten el uso de las conexiones existentes, será necesario hacer uso de un pozo de visita.



## 2. ASPECTOS DE HIDRÁULICA

La eficiencia del funcionamiento hidráulico de un sistema de conducción, ya sea de agua potable, residual o pluvial es función de sus características físicas.

Desde el punto de vista hidráulico un canal es una estructura que conduce un líquido cuya superficie libre esta en contacto con la presión atmosférica, por consiguiente no tiene nada que ver con la forma geométrica de la estructura, siempre y cuando se cumpla con lo mencionado.

A continuación se describe la forma de encontrar los elementos geométricos para diferentes canales y en particular los de tipo circular, que son los que interesan de manera particular en este trabajo, así mismo se definen las diversas clasificaciones del flujo que pasa a través de un conducto y las ecuaciones fundamentales de la Hidráulica que se utilizan para el análisis de los valores obtenidos.

### 2.1 Elementos geométricos

Los elementos geométricos son característica propia de una sección determinada, que definen por completo la geometría de ella, estos elementos son muy importantes y se utilizan para el cálculo de flujo.

Por su origen un canal puede ser natural o artificial; el primero incluye todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra como son arroyos y ríos, y el segundo es aquel que es construido o desarrollado mediante el esfuerzo humano para fines como el riego, drenaje, generación de energía, etc.

En una canal natural su sección transversal es irregular, y tiene forma y dimensiones que varían continuamente a lo largo del mismo, por el contrario en un artificial su sección tiene una geometría definida, es decir es constante y por ello se le conoce como prismático.

Los canales artificiales se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad del flujo y de otras dimensiones de la sección, en la tabla 2.1 se presentan las formas geométricas más utilizadas y las expresiones para calcular sus elementos geométricos. La rectangular y triangular son casos especiales de la trapezoidal, se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera, mientras que la otra se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de investigación. La sección circular es la más usada en alcantarillas pequeñas y medianas. Existen formas compuestas de las mencionadas anteriormente que se utilizan en conductos grandes como alcantarillas y emisores, ya que debido a sus dimensiones permiten el paso a su interior, ver fig. 2.1.

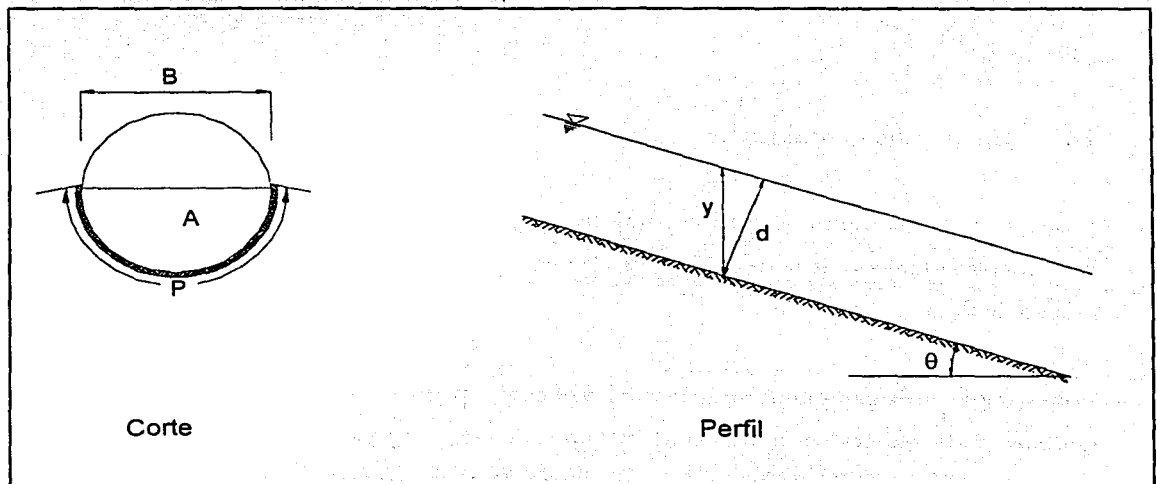


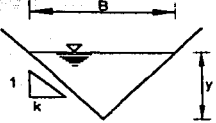


Figura 2.1 Parámetros hidráulicos en una conducción a superficie libre

SECCIÓN	RECTANGULAR	TRAPEZIAL	TRIANGULAR
			
Area, $A$	$by$	$(b+ky) y$	$ky^2$
Perímetro mojado, $P$	$b + 2y$	$b + 2\sqrt{1+k^2} y$	$2\sqrt{1+k^2} y$
Radio Hidráulico, $R_h = A/P$	$\frac{by}{b + 2y}$	$\frac{(b + ky) y}{b + 2\sqrt{1+k^2} y}$	$\frac{ky}{2\sqrt{1+k^2}}$
Ancho de la superficie libre, $B$	$b$	$b + 2ky$	$2ky$
Tirante medio $Y = A/B$	$y$	$\frac{(b + ky) y}{b + 2ky}$	$\frac{1}{2} y$

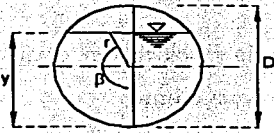
CIRCULAR				
	$y < D/2$	$Y = D/2$	$y > D/2$	$y = D$
$\alpha$	$\frac{D - 2y}{D}$	—	$\frac{2y - D}{D}$	—
Angulo grados	$\theta = \tan^{-1} \sqrt{1 - \frac{2\alpha^2}{D}}$	—	$\theta = \tan^{-1} \sqrt{1 - \frac{2\alpha^2}{D}}$	—
Area, $A$	$\frac{1}{8} (\theta - \text{sen } \theta) D^2$	$\frac{\pi D^2}{8}$	$\frac{\pi D^2}{4} - \frac{1}{8} (\theta - \text{sen } \theta) D^2$	$\frac{\pi D^2}{4}$
Perímetro mojado, $P$	$D \cdot \theta$	$\frac{\pi D}{2}$	$D(\pi - \theta)$	$\pi D$
Ancho de superficie libre, $B$	$(\text{sen } \theta) D$ ó $2\sqrt{y(D - y)}$	—	$(\text{sen } \theta) D$ ó $2\sqrt{y(D - y)}$	—

Tabla 2.1 Elementos geométricos de las secciones más comunes

Como en este estudio se realizaron pruebas en tuberías, las características hidráulicas de la sección circular se calcularon utilizando las ecuaciones que se muestran en la tabla 2.1.

A continuación se definen los elementos hidráulicos y geométricos más importantes de la sección transversal de un canal en m.

*Tirante del flujo (d)*: Es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua.

*Profundidad de flujo (y)*: Es la distancia vertical desde el punto mas bajo de una sección del canal hasta la superficie libre del agua, (fig. 2.1), en m.

La relación entre ambos es.

$$d = y \cos \theta$$

donde

$\theta$  ángulo formado entre en fondo del canal y la horizontal, cuando dicho ángulo es pequeño (menor a  $8^\circ$ ) entonces la profundidad y el tirante se consideran iguales.

*Nivel del agua (h)*: Es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia hasta la superficie libre del agua en m.

*Area hidráulica (A)*: Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del flujo en  $m^2$ .

*Ancho de superficie libre (T)*: Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre, en m.

*Perímetro mojado (P)*: Es la longitud del contorno de la sección transversal en la que el agua tiene contacto con las paredes y el fondo de la conducción, en m.

*Tirante Hidráulico (Y)*: Se define como el cociente de dividir el área hidráulica sobre el ancho de superficie libre, en m.

$$Y = \frac{A}{T}$$

*Radio hidráulico (R<sub>H</sub>)*: Es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado, en m.

$$R_H = \frac{A}{P}$$

## 2.2 Clasificación del flujo

El flujo en un conducto abierto o cerrado puede darse con superficie libre (sección transversal parcialmente llena) o a presión (sección llena). En una red de alcantarillado se recomienda que las tuberías trabajen como un canal para aprovechar al máximo la capacidad de la conducción, y evitar que trabajen a presión ya que esto puede provocar que el agua escape del sistema y brote en las calles ocasionando molestias y daños.

Existen diferentes criterios para clasificar un flujo, esto es fundamental debido a que las ecuaciones de diseño solo se aplican a ciertas condiciones del flujo o se establecen para cada caso.

El flujo de agua en una conducción se puede clasificar

- a) En el tiempo
- b) En el espacio
- c) Uniforme y variado
- d) Laminar y turbulento
- e) Subcrítico y supercrítico
- f) Incompresible y compresible

a) Cuando se desean conocer las características de un flujo con el tiempo, el flujo puede ser permanente o no permanente (transitorio).

Es permanente si la presión, tirante, velocidad y gasto, correspondientes a cualquier sección no cambian o son constantes durante un intervalo de tiempo. Por el contrario, se dice que es no permanente o transitorio si sus características en un punto determinado varían durante un intervalo muy pequeño de tiempo. El flujo permanente es el más simple de analizar, no obstante en la práctica casi no se presenta, pero se puede utilizar siempre y cuando el valor medio de dichos valores permanezca constante sobre un intervalo de tiempo.

b) Dependiendo de la forma como se mueve en el espacio, las características del flujo pueden clasificarse en unidimensional, bidimensional y tridimensional.

Es unidimensional cuando las características del flujo (velocidad, presión o tirante, etc.) varían como funciones del tiempo y de un sistema de ejes curvilíneos. Es bidimensional cuando sus características son idénticas sobre una familia de planos paralelos, no habiendo componente en dirección perpendicular a dichos planos, o bien permanecen constantes, es decir que el flujo tiene gradiente de velocidad o de presión en dos direcciones exclusivamente. Es tridimensional cuando sus características varían en cualquier dirección en el espacio.

c) El flujo será uniforme si en un instante en particular, los tirantes, las velocidades y los gastos son iguales en cualquier sección transversal a lo largo del canal. En caso contrario, el flujo es no uniforme o variado.

El uniforme solo se presenta en canales artificiales y sus características hidráulicas no cambian de una sección a otra, esto es que la magnitud y dirección del vector velocidad es constante a lo largo de la línea en cualquier instante; el tirante que corresponde al flujo uniforme se llama tirante normal.

El flujo es variado o no uniforme cuando sus características hidráulicas varían de sección a

sección, la magnitud y dirección del vector velocidad cambia a lo largo de la línea en cualquier instante. Los cambios de velocidad se pueden originar por cambios en la forma de la sección del canal, por un cambio de pendiente o por una estructura hidráulica. El flujo variado se clasifica a su vez en gradual, rápida y espacialmente variado. Se define el gradualmente variado cuando cambia el tirante en forma gradual a lo largo del canal, rápidamente cuando el tirante varía en forma brusca o rápida que es el caso del salto hidráulico, y espacialmente variado donde se dan cambios en el gasto a lo largo del canal.

d) El movimiento del agua en un canal se rige por la importancia de las fuerzas viscosas respecto a la inercia. En relación con esto, el flujo se clasifica como laminar, transición o turbulento, ver fig. 2.2.

Es laminar cuando el movimiento de las partículas se produce siguiendo trayectorias separadas perfectamente definidas; sin mezclarse o entrelazarse entre sí, en el líquido muy viscoso esto ocurre a velocidades muy bajas. El turbulento se presenta cuando las partículas se mueven sobre trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido, mezclándose entre sí. Se presenta cuando las velocidades son muy altas o el líquido es de baja viscosidad. En el momento en el cual cambia del estado laminar al turbulento este se considera como de transición.

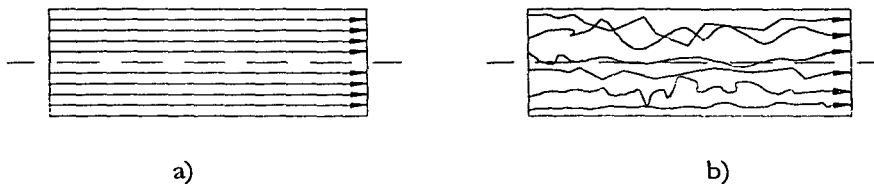


Figura 2.2 Esquema de flujo a) laminar, b) turbulento

Para conocer numéricamente la diferencia entre un flujo laminar, transición o turbulento se utiliza un parámetro adimensional conocido como número de Reynolds ( $R$ )

$$R_e = \frac{VL}{\nu}$$

donde

- $L$  longitud característica, en m  
 $V$  velocidad media en la sección, en m/s  
 $\nu$  viscosidad cinemática del agua, en m/s<sup>2</sup>

La longitud característica en tuberías a presión es el diámetro  $D$ , en conducciones a superficie libre es igual a  $4R_H$ .

La definición del tipo de flujo se hace con respecto a los intervalos del número de Reynolds, con los valores siguientes:

Tipo de flujo	Conducciones a	
	Presión (tuberías)	Superficie libre (canales)
	$R_e = \frac{VL}{\nu}$	$R_e = \frac{4 R_H V}{\nu}$
Laminar	$R_e < 2300$	$R_e < 5000$
Transición	$2300 \leq R_e \leq 4000$	$5000 \leq R_e \leq 1000,000$
Turbulento	$R_e > 4000$	$R_e > 1000,000$

e) La importancia de la fuerza de gravedad respecto a la de inercia se mide a través de un parámetro adimensional conocido como número de Froude ( $F_r$ ).

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

donde

- $V$  velocidad media del flujo, en m/s  
 $g$  aceleración media de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>  
 $Y$  tirante hidráulico, en m



Si las fuerzas de inercia y las gravitatorias son iguales, se dice que el flujo esta en régimen crítico, lo cual implica que el número de Froude sea igual a uno; en tanto que si  $F_r < 1$ , el escurrimiento es lento o subcrítico, en cambio, si  $F_r > 1$ , el flujo es rápido o supercrítico.

f) El flujo se considera incompresible si los cambios de densidad de un punto a otro son despreciables; en caso contrario, el flujo es compresible. Un ejemplo de flujo incompresible puede ser los líquidos y gases a velocidades bajas.

### 2.3 Ecuaciones básicas

Las ecuaciones fundamentales de la Hidráulica se derivan de los principios fundamentales de conservación de la masa, energía y del impulso y cantidad de movimiento aplicado a un volumen de control, de donde se derivan las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento, respectivamente. Dichas ecuaciones pueden adecuarse dependiendo del tipo de flujo que se presenta o el fenómeno que se quiere analizar.

#### 2.3.1 Continuidad

El principio de conservación de masa o de continuidad establece que “La diferencia entre la cantidad de masa que ingresa a un volumen de control y aquella que se extrae del mismo es igual al cambio en el almacenamiento dentro del propio volumen de control”, esto en términos matemáticos equivale a la siguiente expresión

$$\frac{dV}{dt} = \sum m_e - \sum m_s$$

donde

$\frac{dV}{dt}$  variación de almacenamiento por unidad de tiempo

$\sum m_e$  masa que entra al volumen de control

$\sum m_s$  masa que sale del volumen de control

Si las cantidades de agua en el volumen de control las cuantificamos en unidades de masa, peso o volumen por unidad de tiempo, podemos relacionarlas con el concepto de flujo volumétrico o gasto.

El gasto ( $Q$ ) puede evaluarse en una sección transversal de un flujo si se conoce la velocidad media del flujo y el área hidráulica como

$$Q = AV$$

$A$       área hidráulica, en  $m^2$

$V$       velocidad media del flujo, en  $m/s$

Esta ecuación se puede aplicar al flujo en una tubería o en un canal natural o artificial, donde se seleccionan dos secciones transversales (sean estas las secciones 1 y 2 de la figura 2.3, respectivamente), separadas entre sí cierta distancia en la cual no existan aportaciones o extracciones de agua, y el gasto no varíe con el tiempo, esto es considerando flujo permanente, entonces la cantidad de agua por unidad de tiempo que ingresa al volumen de control será igual a aquella que lo abandona. De esta forma, expresando la ecuación de continuidad como flujo volumétrico se obtiene

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 = AV$$

donde

$V_1, V_2$  velocidad media en las secciones 1 y 2, respectivamente, en  $m/s$

$A_1, A_2$  área de las secciones transversales 1 y 2, respectivamente, en  $m^2$

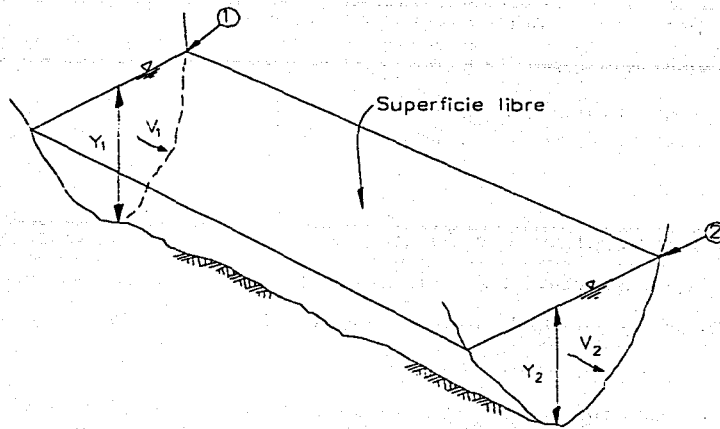


Figura 2.3 Sección transversal de un cauce

### 2.3.2 Energía

La energía total contenida en un fluido en movimiento es la suma de la energías correspondientes a la posición o elevación del flujo respecto a un nivel de referencia (energía potencial), la carga de presión estática (energía correspondiente al trabajo mecánico ejecutado por las fuerzas debidas a la presión) y la carga de velocidad (energía cinética); esta ecuación varía para flujo con superficie libre y a presión.

Para superficie libre se expresa de la manera siguiente:

$$H = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

y a presión

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

donde

- $H$  energía total o carga hidráulica, en m
- $Z$  carga de posición, en m
- $y$  carga de presión en conducciones con superficie libre, en m

- $p/\gamma$  Carga de presión en conducciones a presión, en m  
 $V^2/2g$  carga de velocidad, en m  
 $\alpha$  coeficiente de Coriolis, adimensional

En conducciones con superficie libre  $Z$  se mide al nivel del fondo del cauce o canal, y al eje de la tubería en conductos a presión. El coeficiente de Coriolis se incluye debido a que se utiliza la velocidad media del flujo y no la distribución real de velocidades.

De acuerdo con el principio de conservación de la energía aplicado a un flujo con superficie libre, "La energía contenida en un flujo no cambia a lo largo de la trayectoria del mismo, solo entre transformaciones entre sus componentes". Por lo tanto si aplicamos este principio entre dos secciones transversales de un flujo con superficie libre o a presión, se obtiene la ecuación de la energía expresada de la manera siguiente:

conductos a superficie libre

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum h$$

conductos a presión

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum h$$

el último término es la pérdida de carga, que es la suma de la pérdidas por fricción y locales entre las secciones 1 y 2, ver figura 2.4.

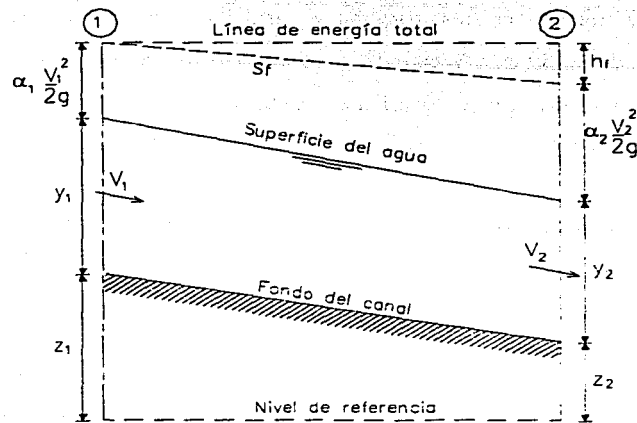


Figura 2.4 Aplicación de la ecuación de la energía

### 2.3.2.1 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga o de energía se deben a los obstáculos que enfrenta el fluido en movimiento, ya sea por cambios de dirección, área, conexiones, etc., y a los esfuerzos cortantes desarrollados sobre las paredes de la conducción.

Las pérdidas debidas a los esfuerzos cortantes se conocen como de fricción y las otras se llaman locales. En conductos de gran longitud, la magnitud de las locales se consideran despreciable comparándola con las de fricción, lo contrario ocurre cuando se tiene un gran número de obstrucciones y longitud pequeña.

Para calcular las pérdidas de fricción ( $h_f$ ) de manera general se utiliza la expresión siguiente:

$$h_f = S_f L$$

donde

$S_f$  pendiente de fricción o pendiente de la línea de energía, adimensional

$L$  longitud del tramo donde se evalúan las pérdidas, en m

En la práctica la pérdida es desconocida y para determinarla se emplean ecuaciones de tipo empírico como de la Darcy-Weisbach, recomendada en el cálculo del flujo en tuberías a presión, y la de Manning que se emplea en escurrimientos a superficie libre y en algunos casos en conductos a presión.

La ecuación de Darcy-Weisbach es la siguiente:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

donde

- $h_f$  pérdida por fricción, en m
- $f$  factor de fricción, adimensional
- $L$  longitud del tramo en consideración, en m
- $D$  diámetro de la tubería, en m
- $V$  velocidad media del flujo, en m/s
- $g$  aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$

El factor de fricción es función de la rugosidad relativa  $\epsilon/D$  ( $\epsilon$  rugosidad absoluta y su valor es función del tipo de material) y del número de Reynolds  $R_e$  usando para ello el ábaco de Moody, mas detalles ver referencia 4.

La de Manning se escribe como

$$h_f = \left( \frac{V n}{R_H^{2/3}} \right)^2 L$$

donde

- $V$  velocidad media del flujo, en m/s
- $n$  coeficiente de rugosidad, su valor depende del tipo de material
- $R_H$  radio hidráulico, en m
- $L$  longitud del tramo en estudio, en m

Las pérdidas locales son ocasionadas por cambios de geometría, y de dirección, y de dispositivos para controlar las descargas. La magnitud de dichas pérdidas se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produce la pérdida, la fórmula general para calcularla esta dada por

$$h = K \frac{V^2}{2g}$$

donde

$h$  pérdida de energía, en m

$K$  coeficiente que depende del tipo de pérdida que se trate, adimensional

$V^2/2g$  carga de velocidad aguas abajo, de la zona de alteración del flujo, en m

### 2.3.3 Cantidad de movimiento

La ecuación de conservación de cantidad de movimiento en un cuerpo o volumen de control se deriva de la segunda ley de Newton. Se conoce como cantidad de movimiento de un elemento de masa  $M$  al producto de ésta por su velocidad, por lo tanto establece que la suma vectorial de todas las fuerzas  $F$  que actúan sobre una masa de flujo es igual a la rapidez de cambio del vector lineal cantidad de movimiento de la masa del fluido es decir, en términos matemáticos se tiene que

$$F = \frac{d(Mv)}{dt}$$

Considerando un volumen de control limitado por las secciones 1 y 2 (ver figura 2.5), las paredes de un flujo unidimensional permanente e incompresible, en donde el gasto es constante a lo largo de su longitud. La ecuación de la cantidad de movimiento para dicho volumen es la siguiente

$$\vec{F}_p + \vec{F}_r + \vec{F}_c = \rho [(Q \beta V)_2 - (Q \beta V)_1]$$

donde

$F_p$  fuerza resultante de la presión ejercida sobre las superficies de frontera del volumen

- de control
- $F$ , fuerza resultante producida por el esfuerzo tangencial generado sobre el fondo y paredes del volumen de control
- $F$ , fuerza de cuerpo debida al peso del volumen de control
- $Q$  gasto que atraviesa el volumen de control
- $V$  velocidad media en cada uno de las fronteras del volumen de control
- $\beta$  coeficiente de Boussinesq, para considerar el efecto que se tiene al tomar la velocidad media en el lugar de la distribución irregular de la velocidad en la sección de cálculo de la cantidad de movimiento, adimensional

Para la utilización de esta ecuación deben tomarse en cuenta las consideraciones siguientes:

- Las fuerzas son externas al volumen de control y toman su signo en función de su proyección
- Los términos de  $\beta Q V$  se consideran aplicados en dirección normal (perpendicular) a las secciones que limitan el volumen de control
- Cada producto  $\beta Q V$  es un vector con la dirección y sentido de la velocidad al pasar la sección que limita al volumen de control
- Además del signo que le corresponda en la suma, según la dirección y el sentido de  $V$ , se deberá afectar cada término con un signo, el cual es positivo si el gasto sale del volumen de control y negativo en caso contrario.



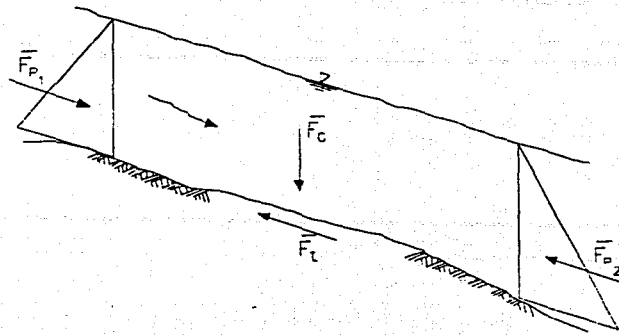


Figura 2.5 Aplicación de la ecuación de la cantidad de movimiento

Los coeficientes de Coriolis y Boussinesq que se utilizan, tanto en la ecuación de la energía como en la de cantidad de movimiento, para su evaluación se requieren del conocimiento previo de la distribución de velocidades en cada sección; sin embargo, en la mayoría de los problemas de Hidráulica es común considerar que  $\alpha \approx \beta \approx 1$ , pero debe tenerse en cuenta que puede existir un error en ellos cuando en los escurrimientos existan problemas locales que modifiquen el perfil de velocidades respecto del uniforme.



### 3. MODELO EXPERIMENTAL

Actualmente el desalojo de las aguas residuales domesticas, se realizan por medio de descargas a  $45^\circ$  hacia el colector secundario, ya que su funcionamiento hidráulico ha resultado adecuado, pero en los últimos años han aparecido en el mercado conexiones que permiten que ella se realice a  $90^\circ$ . Por tal razón, se construyó un modelo físico escala 1:1 para observar el comportamiento hidráulico de ambas conexiones ( $45^\circ$  y  $90^\circ$ ) y compararlas entre sí.

A continuación se describe cada una de las partes que constituyen al modelo, así mismo se indican los diferentes diámetros utilizados en cada una de las pruebas realizadas para albañal y atarjea. Es importante señalar que en estas pruebas la pendiente (S) de la atarjea se mantuvo constante,  $S=0.002$ , la cual se encuentra entre las permisibles (ver apartado 3.3) y cuyo valor corresponde a la que actualmente se da en la descarga domiciliaria.

#### 3.1 Descripción

El modelo consta de 2 tanques elevados y 2 bajos soportados mediante una estructura metálica, tubería hidráulica, sanitaria, conexiones y una bomba para recirculación del agua, en la parte superior de cada tanque elevado se encuentran una válvula que permiten el paso del agua a cada depósito y se colocaron piezómetros de acrílico a lo largo de la atarjea unidos mediante mangueras a un tablero de madera; con ello es posible simular el comportamiento de una descarga domiciliaria y su unión a la atarjea para diferentes valores de gastos que puedan escurrir por ella.

Los tanques de acrílico están conectados entre sí mediante tuberías de PVC hidráulicas y sanitarias, la tubería hidráulica es de color blanco y tiene un diámetro de 10.12 cm se fabrica en diámetros de 10 a 60 cm en dos tipos de serie y cada serie con tres tipos de tubería de acuerdo a su espesor, la sanitaria es de pared estructurada con celdas longitudinales que se fabrican en diámetros de 16 a 31.5 cm del sistema Novahol.

El funcionamiento de los sistemas se realiza de manera independiente, debido a que la cantidad de agua que se encuentra en los tanques inferiores no es suficiente para que ambos trabajen de manera simultánea, para operar cada uno es por medio de dos válvulas ubicadas en la tubería hidráulica que alimenta los tanques 2 y 3 respectivamente (ver fig. 3.4), por ejemplo, si se desea trabajar con la descarga a  $90^\circ$ , se cierra totalmente la válvula ubicada en el tanque número tres, manteniendo abierta la válvula uno, la abertura de ella esta en función de la diferentes cargas con que se trabaja en el albañal y atarjea. Una vez que el agua llega a la atarjea esta se conduce nuevamente hacia el tanque no. 4, este procedimiento de operación permite retroalimentar el sistema.

En la figura 3.1 se muestra el modelo para las dos condiciones ( $45^\circ$  y  $90^\circ$ ) en planta, en donde se indica la longitud de la atarjea, del albañal, las dimensiones de los tanques y la dirección del escurrimiento por la atarjea. La altura total del modelo se observa en el perfil que se muestran en la figura 3.2.

La figura 3.3 muestra la tubería que alimenta a la atarjea por medio de un orificio que se encuentra en el costado posterior del tanque elevado a una distancia de 5 cm de la base, mientras que el suministro al albañal es por medio de un orificio localizado a un costado del tanque elevado a una distancia de 35 cm de la base del depósito. La bomba de agua que se utilizó proporciona una carga de cinco metros y un gasto máximo de 30 lps, con un motor eléctrico de 3 HP que gira a 1150 rpm, el diámetro para descarga y succión es de 10.12 cm.

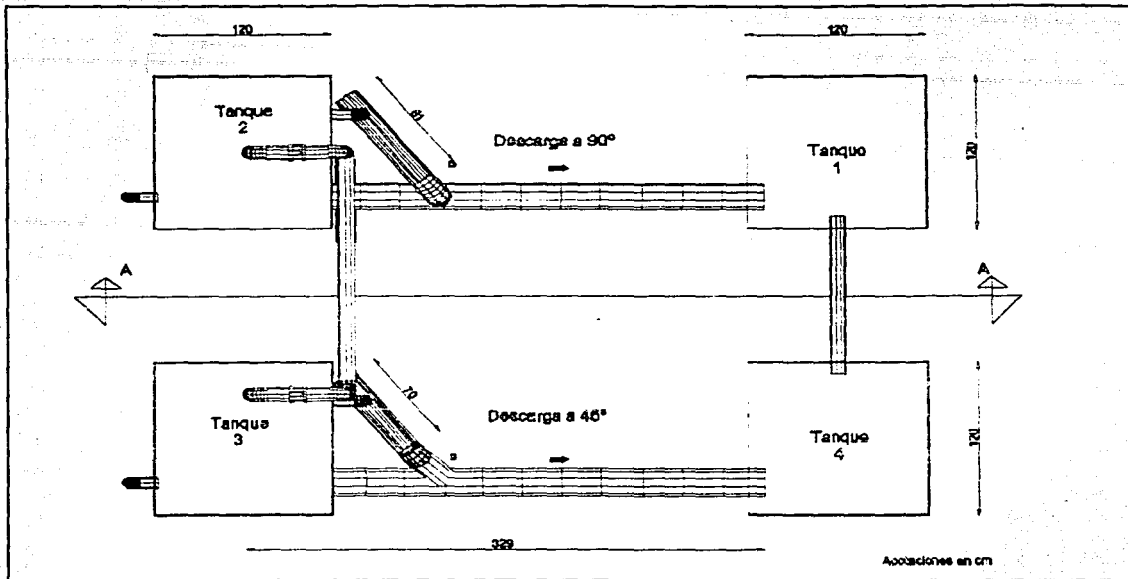


Figura 3.1 Modelo de descargas a 45° y 90°, vista en planta

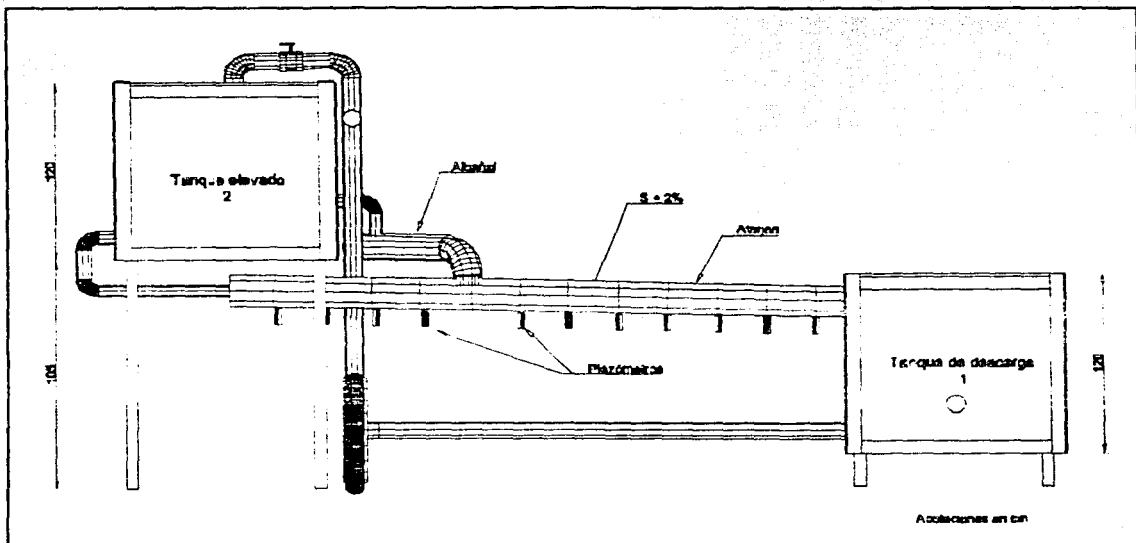


Figura 3.2 Corte A-A de la fig. 3.1 en donde se muestra la ubicación de los piezómetros y la altura total del modelo

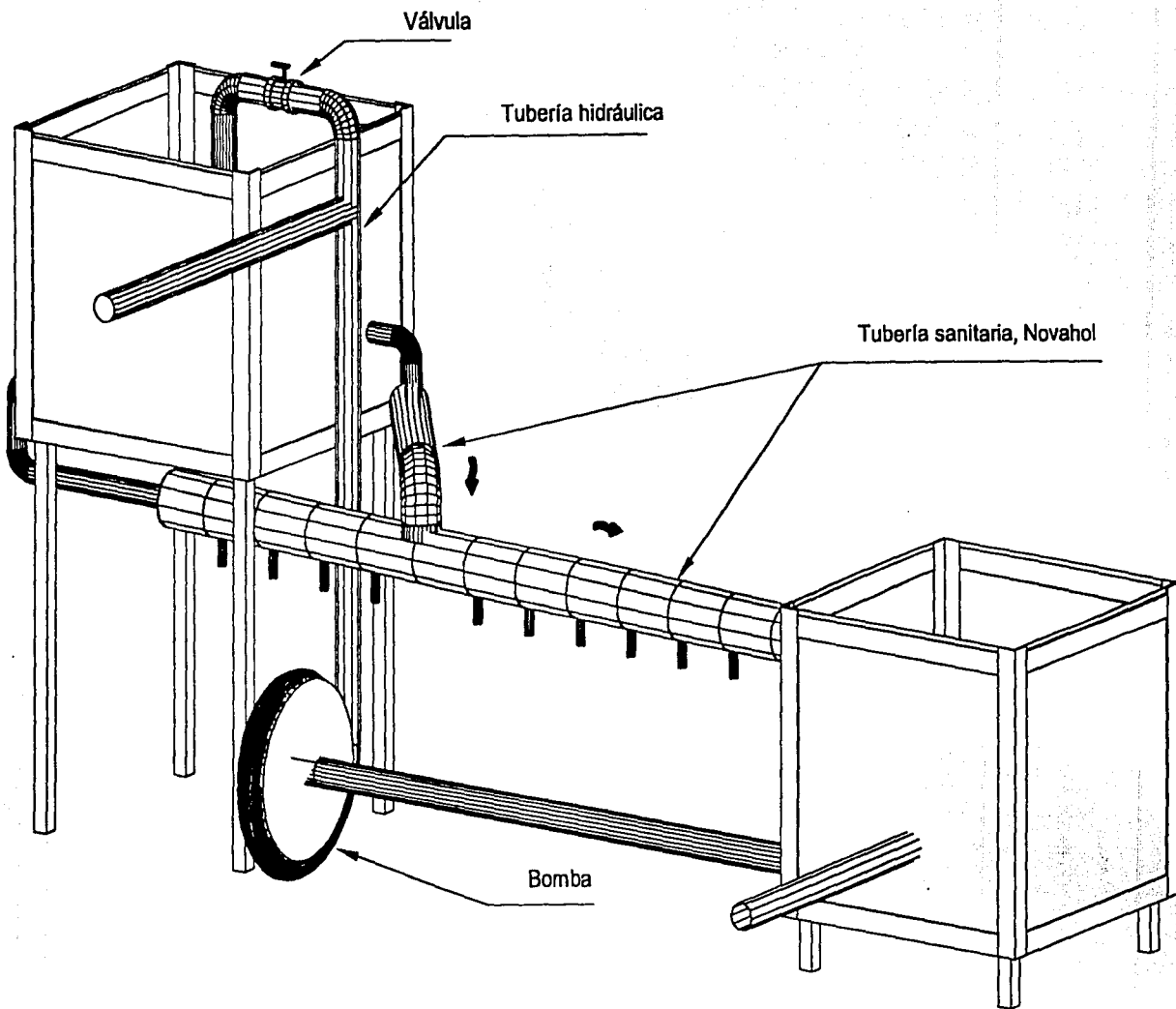


Figura 3.3 Vista del sistema para la descarga a 45°, en donde se encuentra ubicada la bomba, para un funcionamiento de manera independiente

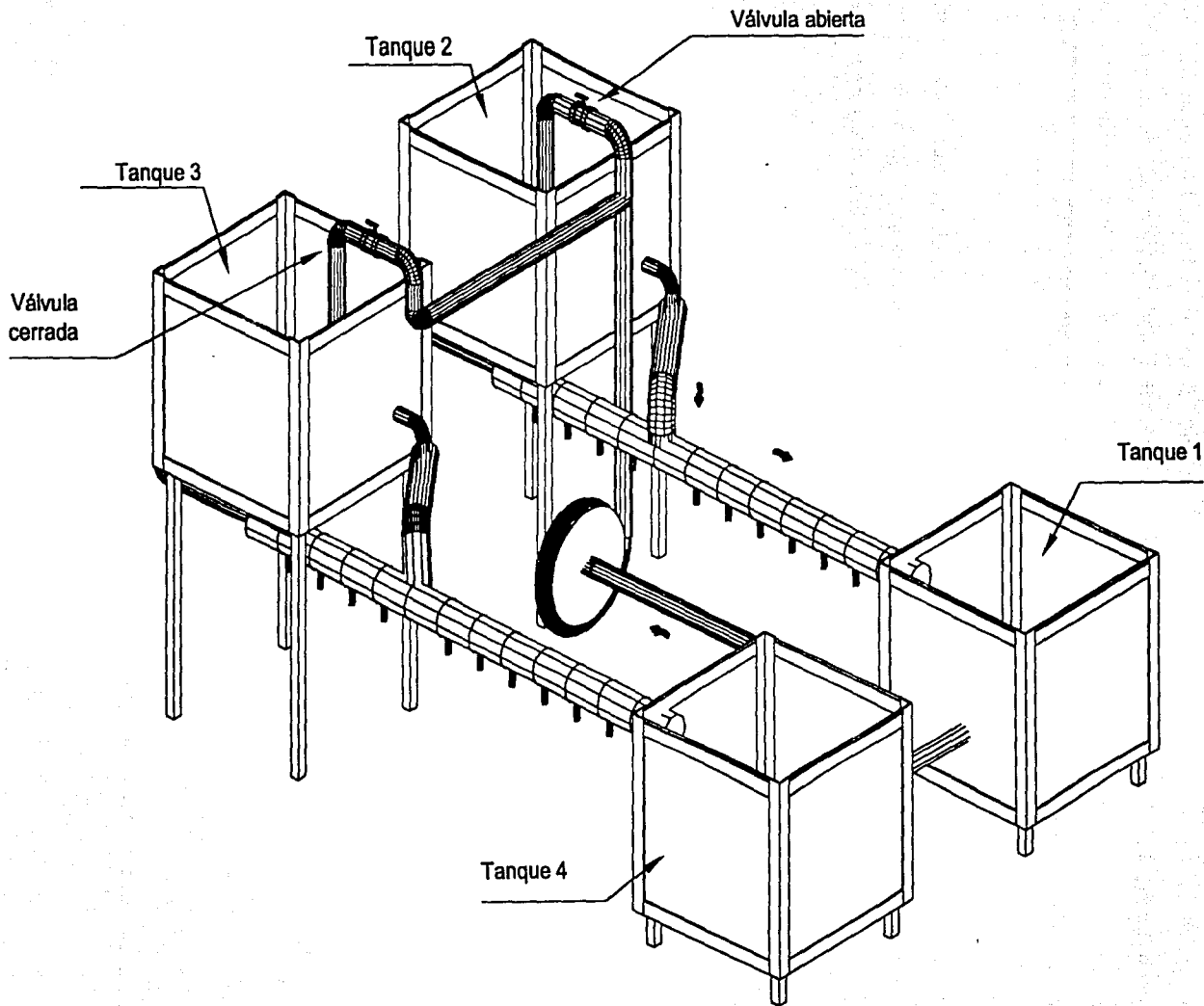


Figura 3.4 Isométrico

### 3.2 Combinación de diámetros y accesorios

De acuerdo con el reglamento de construcciones del Distrito Federal, los albañales que conducen las aguas residuales de una edificación hacia afuera de los límites de su predio, deberán ser de 15 cm de diámetro interior como mínimo; y en el caso de la atarjea esta debe considerar un diámetro interior de 20 cm como mínimo. La variación del diámetro exterior esta en función del tipo de material.

Para las descargas a 45°, existen varios materiales como lo vimos en el capítulo 1, por otra parte la tubería de PVC Novahol es la única que contiene el accesorio correspondiente para realizar una conexión a 90°, por tal motivo, se reviso el funcionamiento de las descargas con este material.

Durante la elección de la posible combinación de los diámetros, se consideran las piezas existentes para ambas conexiones. En uniones a 45°, ya sea con Yee o silleta cementar en las tablas 1.3 y 1.4 del capítulo 1 las medidas comunes en ambos casos son de 0.200 x 0.160 m, 0.250 x 0.110 m, 0.250 x 0.160 m y 0.315 x 0.160 m, esto es por ejemplo para el primer caso un tubo de 0.200 m para la atarjea, con uno de 0.160 m en el albañal.

En las conexiones a 90°, solamente se tiene como combinación común a las silletas Clic y W el diámetro de albañal y atarjea de 0.315 x 0.160 m, como se puede ver en las tablas 1.5 y 1.6; pero con una reducción se pueden transformar de 0.125 m a 0.110 m. En la tabla siguiente se hace un breve resumen de la colocación de la tubería para el albañal y la atarjea con el accesorio correspondiente.



$\phi$ ATARJEA (m)		$\phi$ ALBAÑAL (m)		ACCESORIO UTILIZADO
EXT.	INT.	EXT.	INT.	
0.315	0.2984	0.160	0.151	Silleta W Silleta Clic Yee
0.250	0.2368	0.160	0.151	Silleta Clic Yee
0.200	0.1892	0.160	0.151	Silleta W Yee
0.200	0.1892	0.110	0.110	Silleta Clic Yee
0.250	0.2368	0.160	0.151	Silleta Clic 45°

Tabla 3.1 Combinación de diámetros y accesorios para el modelo de descargas sanitarias

### 3.3 Recomendaciones pendientes máximas y mínimas

Las pendientes de las tuberías son aquellas que ayudan a proporcionar al flujo velocidades aceptables en un rango específico, ya que con ello se evita por una parte la sedimentación y azolves de las tuberías y por otra la erosión en las paredes de los conductos.

La pendiente de las tuberías debe ser lo más semejante, como sea posible, a la del terreno natural, con objeto de tener excavaciones mínimas, pero tomando en cuenta las pendientes mínimas y máximas, por ejemplo si la pendiente mínima es mayor a la del terreno se debe colocar la mínima.

Las pendientes mínimas son en casos normales en las que se dispone del desnivel topográfico necesario, aceptando un valor de velocidad de 0.90 m/s, en condiciones de tubo lleno, en los casos en donde existan desniveles y sea necesario sacrificar la eficiencia de la atarjea se acepta

como pendiente mínima aquella que produce una velocidad de 0.60 m/s, calculada con la ecuación de Manning y nomogramas o ábacos de fabricante (ver fig. 5), o bien tiene un tirante mayor o igual a 0.3 m. Las pendientes máximas son aquellas que producen velocidades máximas de 3 a 5 m/s, trabajando normalmente, y en casos excepcionales hasta de 8 m/s.

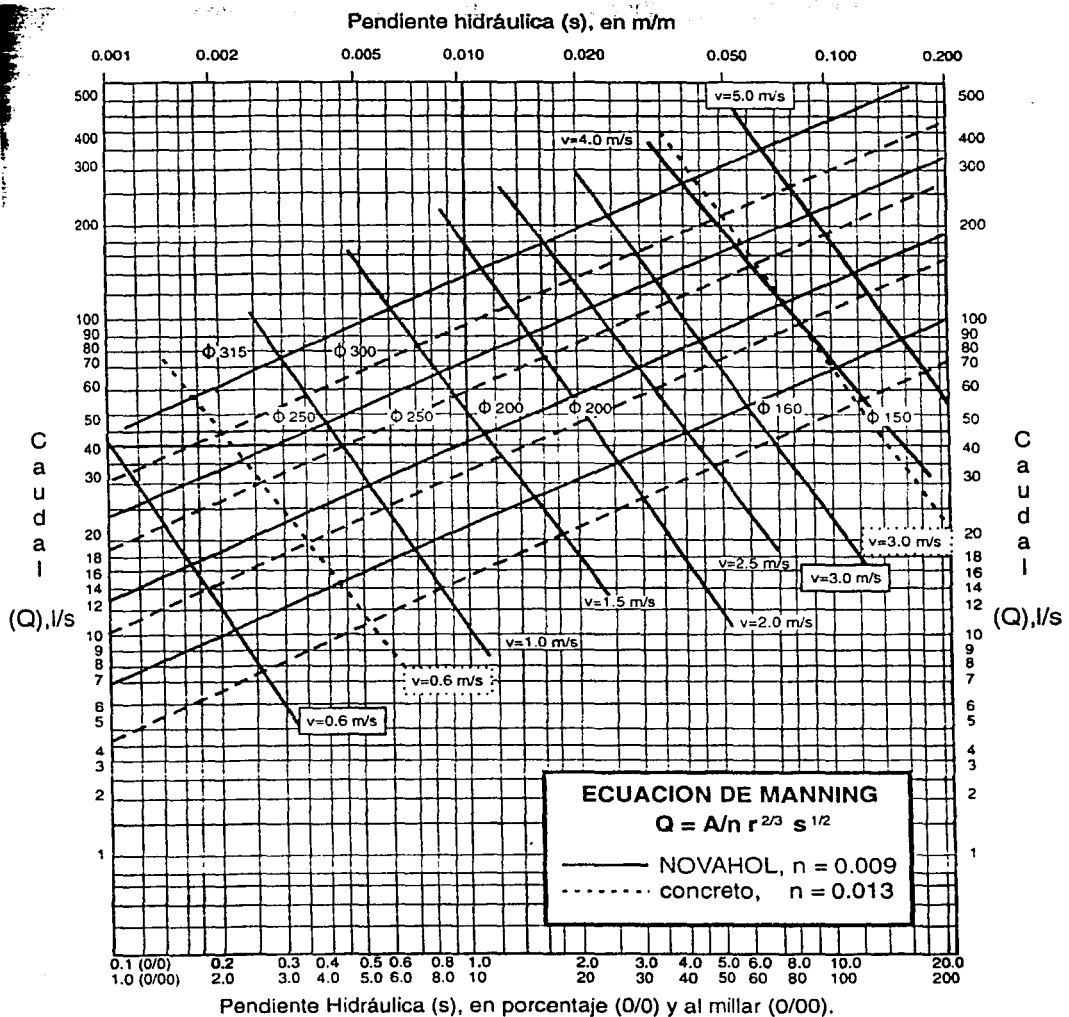


Fig. 5.3 Ábaco para el calculo hidráulico de tubos Novahol para alcantarillado hermético (ref.1)

## 4. MEDICIONES

Al hacer la comparación entre los dos tipos de descarga a  $45^\circ$  y  $90^\circ$  se realizaron 157 ensayos en los sistemas que conforman el modelo para diferentes diámetros de tuberías y combinaciones de estos con los accesorios propuestos ("Yee y Silletas). Los parámetros que se midieron para determinar del comportamiento del agua a través de dos tipos de conexiones son el nivel del agua en el tanque elevado, el gasto que circula a través de la tubería para cada condición y la forma en que se determina el tirante a lo largo del conductor secundario.

### 4.1 Altura del agua en el tanque

En la realización de modelos es frecuente tener que determinar el nivel del agua, cuando este nivel no requiere mucha precisión o resulta complicado estabilizar el agua, se puede colocar una escala, esta puede ser vertical y cuando no sea posible inclinada, con un cierto ángulo conocido.

La altura del agua en el tanque elevado se determinó colocando una escala vertical en la cara lateral de este, donde el plano de referencia es la cara inferior del tanque, el nivel del contenedor se limitó por un valor máximo y uno mínimo, el primero se estableció en función de la presión máxima que soportaron las juntas del tanque, y el segundo por el orificio que se encuentra en la cara lateral del tanque a 35 cm de distancia de la base con un diámetro de 7.62 cm que se conecta al albañal, ver figura 4.1.

El valor mínimo de la elevación del tanque fue de 40 cm, incrementándose cada cinco centímetros aproximadamente, esto se hizo al estar abriendo la válvula que se encuentra en la tubería hidráulica que llega al tanque elevado, hasta alcanzar el nivel máximo que resultó de 68 cm. En ambos contenedores se colocó una escala para obtener en cada experimento el mismo caudal en la descarga a noventa y cuarenta y cinco grados.

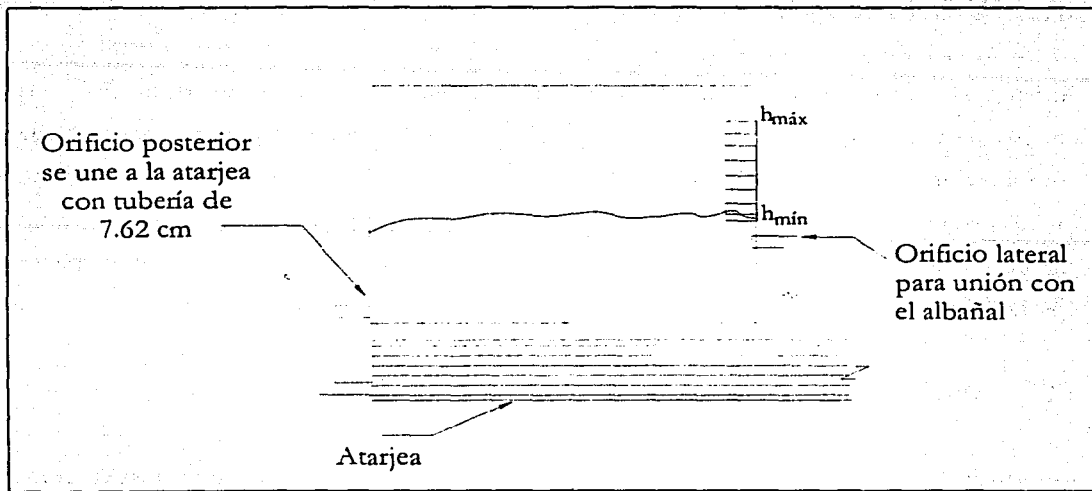


Figura 4.1 Tanque superior

#### 4.2 Calibración de gasto

Con el fin de comparar el funcionamiento de los accesorios utilizados en las descargas domiciliarias, es necesario conocer el valor del gasto que escurre por cada una de las tuberías, en el albañal el gasto que circula es menor en comparación al del colector secundario, pues a este se unen varios ramales.

La comprobación del valor del caudal se realizó de varias maneras, por las características de la instalación una de ellas fue de tipo teórico con las ecuaciones de orificios de pared gruesa, con un valor del coeficiente de descarga de 0.8048 (ref.4).

Por otra parte para calcular el valor del caudal en el laboratorio, se obtuvo el volumen en un tiempo determinado al final de la tubería. Posteriormente se compararon los resultados de forma gráfica, (ver fig. 4.2 y 4.3), en donde se observó gran dispersión en los valores experimentales ocasionada por la turbulencia del agua y las fluctuaciones entre los niveles en la escala de altura del tanque superior.

Por cada orificio del tanque elevado escurre una porción de gasto, por lo tanto para conocer su valor se realizó un análisis numérico para cada una de las elevaciones del tanque con la ecuación de orificios, calculando el gasto teórico que circula por el albañal y la atarjea.

En laboratorio para determinar el gasto que circula por el albañal se colocó una obstrucción en el orificio que se conecta a la atarjea para evitar el paso del agua por este punto, y se aforó el volumen del agua entre el tiempo a la salida de la descarga al tanque inferior, de manera similar se realizó para la atarjea bloqueando el paso de flujo al albañal. De tal forma se estimó el valor del gasto experimental para el albañal, y la atarjea funcionando por separado y de manera simultánea, obteniendo un gasto total para cada nivel del tanque.

La tabla 4.1 muestra los resultados de un ajuste de datos entre los valores experimentales y teóricos para el albañal, representados gráficamente en la figura 4.2 en donde el eje de las abscisas esta compuesto por los cálculos hechos con la ecuación y el de las ordenadas con los aforados, de donde se tiene una serie de puntos que se ajustan a la correlación lineal siguiente:

$$Q_{\text{medido}} = 0.6642Q_{\text{teórico}} + 1.2366$$

Carga (cm)	Gasto medido (l/s)
39	3.40
40	3.65
45	4.65
47	4.98
48	5.13
53	5.82
55	6.07
60	6.64
65	7.15
68	7.44

Tabla 4.1 Gastos que circulan por el albañal

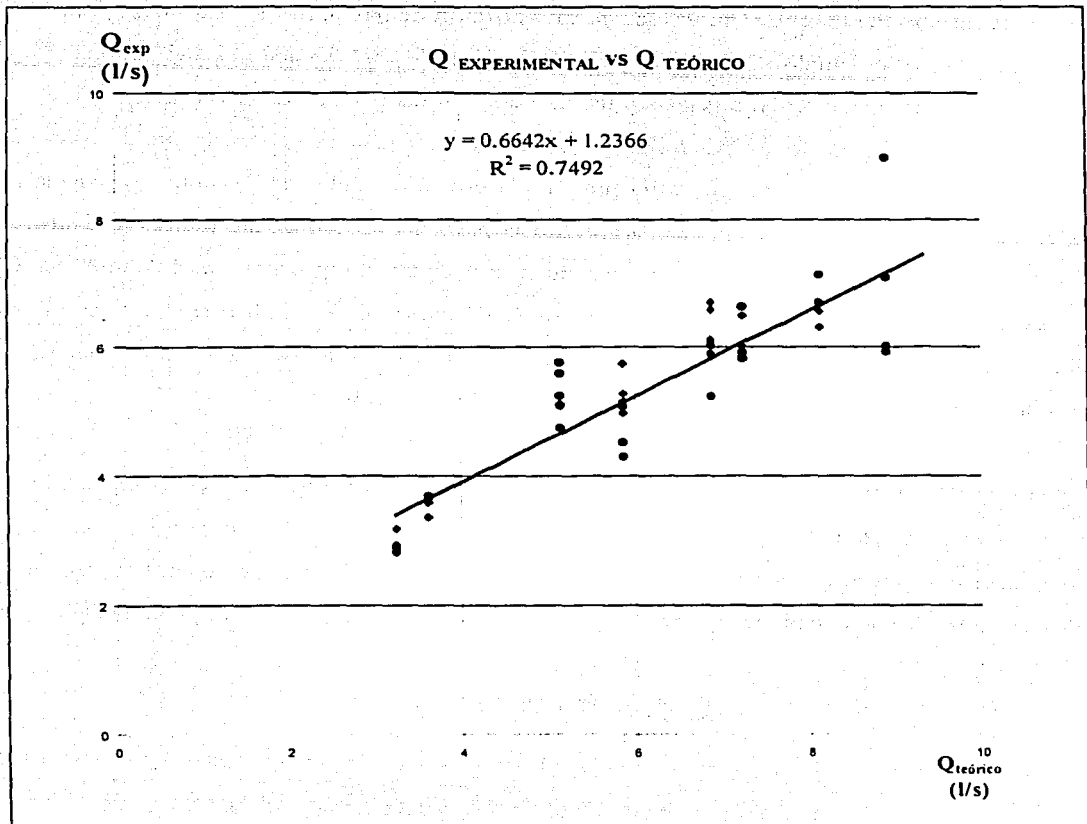


Figura 4.2 Relación de Gasto experimental y teórico para el albañal

En el caso de la descarga por la atarjea, la gráfica se realizó de la misma manera (ver fig. 4.3), la ecuación de relación lineal es la siguiente:

$$Q_{\text{medido}} = 0.9187Q_{\text{teórico}} - 2.0081$$

La tabla 4.2 contiene los gastos calculados con la ecuación de ajuste y la gráfica 4.3 muestra gráficamente los valores.

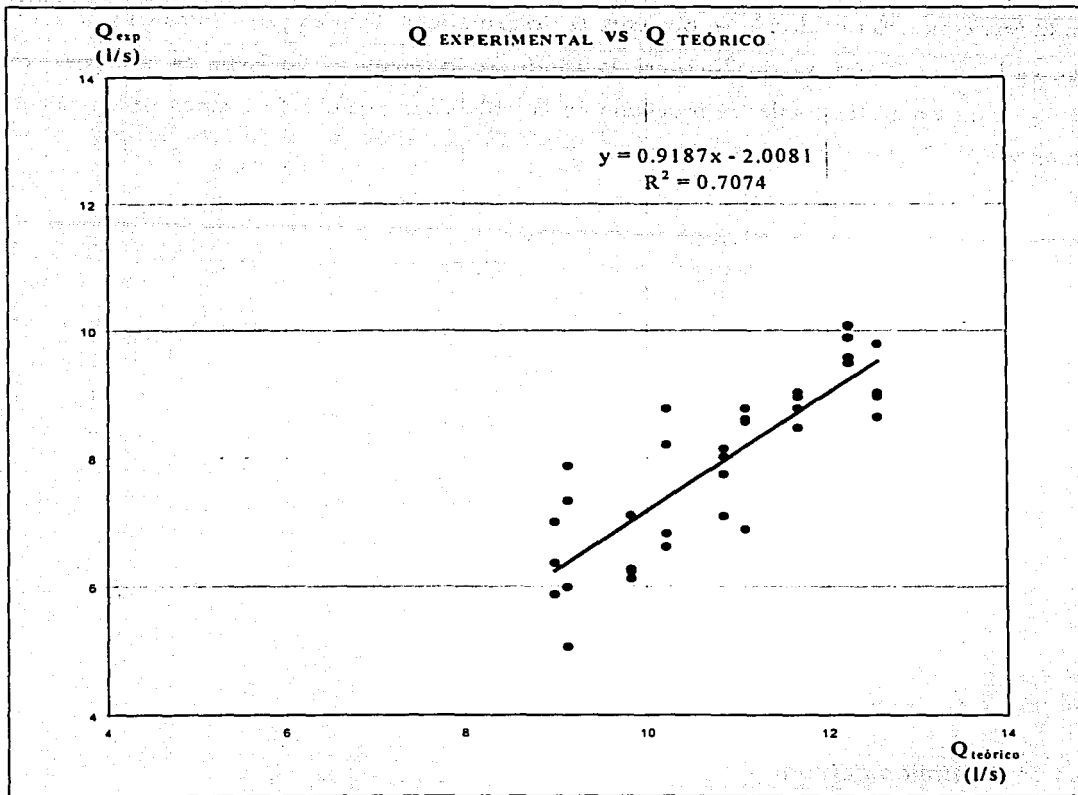


Figura 4.3 Relación de Gasto experimental y teórico para la atarjea

Carga (cm)	Gasto medido (l/s)
39	6.24
40	6.37
45	7.01
47	7.26
48	7.38
53	7.95
55	8.17
60	8.71
65	9.22
68	9.51

Tabla 4.2 Gastos que circulan por la atarjea

La última condición es donde se presenta la descarga total, esto es por el albañal y la atarjea que es la más común, ya que siempre existirán escurrimientos a lo largo de la atarjea. Los valores para los gastos totales se muestran en la tabla 4.3, resultado de la suma de los cálculos anteriores.

Carga (cm)	Gasto medido (l/s)
39	9.63
40	10.02
45	11.66
47	12.23
48	12.51
53	13.77
55	14.24
60	15.34
65	16.37
68	16.95

Tabla 4.3 Gastos que circulan por el albañal y la atarjea

### 4.3 Medición del tirante

En algunas ocasiones cuando era necesario medir los tirantes en puntos específicos de difícil acceso se utilizan piezómetros que registran la presión estática, proporcional al tirante en el sitio indicado. El piezómetro es una pieza de acrílico de 1.27 cm de ancho por 2.54 cm de largo, la cual se introduce a la tubería mediante una pequeña perforación de las mismas dimensiones, conectados a una manguera, esta a su vez se encuentra sujeta a un tablero, en donde se tiene indicada la plantilla del tubo, ver fig. 4.4.



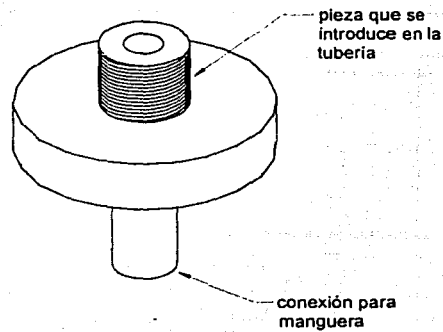


Figura 4.4 Piezómetro de acrílico

Los piezómetros se encuentran ubicados en el fondo de la tubería, hay 2 en la descarga domiciliar y 12 a lo largo de la atarjea, con una separación entre ellos de 20 a 25 cm, algunos tramos fueron mas largos, por ejemplo en el caso de la descarga a 45°, la conexión Yee no se perforo por lo que la separación entre los piezómetros fue mayor antes y después de ella; la distancia que existe entre cada piezómetro se anexa en la tabla 4.4 a y b.

Descarga 90°		Descarga 45°	
Número piezómetro	Distancia (cm)	Número piezómetro	Distancia (cm)
1	64.0	1	62.5
2	23.0	2	24.0

Distancia total del albañal (cm)	
87.0	86.5

Tabla 4.4.a Distancia a la que se encuentran los piezómetros en el albañal

Descarga 90°		Descarga 45°	
Número piezómetro	Distancia (cm)	Número piezómetro	Distancia (cm)
1	64.0	3	61.0
2	22.0	4	22.0
3	22.0	5	21.0
4	23.0	6	13.0
5	40.5	7	80.0
6	25.0	8	19.0
7	34.3	9	17.0
8	22.5	10	21.5
9	23.0	11	20.0
10	20.5	12	22.0
11	19.5	13	12.0
12	31.5	14	8.5

Distancia total de la atarjea(cm)	
325.8	317

Tabla 4.4.b -Distancia a la que se encuentran los piezómetros en la atarjea

El tablero tiene dimensiones de 1.20 m de ancho x 1.00 m de altura, cubierto de papel milimétrico para marcar la altura del agua que pasa por los piezómetros en cada experimento (ver foto No. 17). En cada cambio de tubería en se colocan las mangueras y los piezómetros sellados con silicon para evitar fugas. Con los niveles mencionados del agua en el tanque se trabajo con la descarga a 45°, y posteriormente con la de 90°, para ambos casos las mediciones se realizaron como se describe a continuación.

Llenar los tanques de almacenamiento superior e inferior, revisar que la pendiente de la atarjea y albañal sea del 2%, medir el cero en el papel milimétrico del tablero, encender la bomba, abrir

la válvula y mantener constante un nivel asignado en el tanque superior, incrementando este para las siguientes mediciones, medir el tirante a la salida del tubo, medir las fluctuaciones de los piezómetros ya que en la zona donde se encuentra la descarga las oscilaciones son mayores, marcar en el papel los valores mayor y menor de cada fluctuación (estos resultados se anotan en el formato que se indica en la Figura 4.5); medir nuevamente la carga en el tanque superior e inferior y las observaciones en cada experimento. La duración aproximada de cada experimento es de 3 horas, esto se hizo de la misma manera para los diámetros y accesorios indicados en el Capítulo 3 para el albañal y la atarjea.

Como el albañal era muy corto no fue posible obtener mediciones en el, en el caso de la atarjea la longitud era mayor y se logro dibujar un pequeño perfil para cada una de las combinaciones propuestas.

Se hicieron mediciones para los casos siguientes: descarga por la atarjea, descarga por el albañal, y cuando trabajaban simultáneamente el albañal y la atarjea, para cada gasto y altura, en cada caso se dibujo un perfil experimental en el que se observa su comportamiento y los posibles errores en las lecturas. En el capítulo 5 se muestran algunos de ellos para los ensayos realizados, en donde se indica el tipo de unión y el número de experimento correspondiente.

Descarga	90°	45°	Accesorio														
Fecha																	
Diámetro tubería																	
Carga tanque (cm)	y crítico a la salida (cm)	LECTURAS PIEZOMETROS (cm)														Observaciones	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
/																	
/																	
/																	
/																	
/																	
/																	

Figura 4.5 Formato de laboratorio utilizado en la realización de cada experimento

## 5. RESULTADOS

En este capítulo se presenta la comparación entre los sistemas que componen el modelo de descargas sanitarias, para revisar el funcionamiento hidráulico de la unión en la descarga a  $90^\circ$  y  $45^\circ$  al tubo colector de drenaje, utilizando para ello tubería y conexiones de PVC.

Los parámetros hidráulicos que se revisaron fueron la velocidad en el conducto, el número de Froude para determinar el tipo de flujo que circula por el colector y la rugosidad de la tubería. Con ayuda de algunas figuras se compara cada caso, utilizando las mismas condiciones de gasto, diámetro del albañal, atarjea variando la conexión.

De las 157 pruebas realizadas para el análisis se consideran solo un 60% de ellas, como consecuencia de los errores durante las mediciones.

Al revisar la velocidad del conducto se calcularon las características geométricas de la tubería con las ecuaciones descritas en el capítulo 2, con el área y el gasto se calculó la velocidad en cada punto por medio de la ecuación de continuidad; para conocer el tipo de flujo que pasa por el tubo como se tiene escurrimiento a superficie libre, se determino el número de Froude para indicar si es lento (subcrítico) o rápido (supercrítico).

Así por ejemplo, para la descarga a  $45^\circ$ , se presentan oscilaciones fuertes en la superficie libre y en los tirantes, ellas se observan en la distribución del tirante en cada sección, en donde estos cambian mucho debido a que la descarga del flujo incide directamente contra la pared opuesta del conducto, de donde es reflejada y de esta forma oscila de pared a pared hasta la descarga final, por lo cual, no logra estabilizarse variando el tirante a la salida siendo mayor de un lado que de otro reduciendo la velocidad del flujo (ver foto No. 12).

En la descarga a  $90^\circ$  el chorro de agua cae a la atarjea como regadera y se dispersa ( ver foto 14), por lo que parte del agua queda almacenada hacia aguas arriba de la tubería y la otra escurre estabilizándose poco a poco hacia la salida de manera uniforme. Las oscilaciones que presentan después de la descarga son menores, en donde el flujo se estabiliza en una distancia

relativamente corta. Un inconveniente que se presenta en esta descarga es que en la parte anterior a la descarga se queda almacenada agua que avanza lentamente por el conducto, esto disminuye cuando pasa agua a través de la atarjea, como se observa en el perfil del experimento 97 figura 5.4.

El funcionamiento descrito de las conexiones a 45° y 90° se considera que es de tipo general, por lo cual se revisará cada una de las combinaciones con sus correspondientes tubos para el albañal y atarjea descritos en el capítulo 3.

Al colocar la tubería de mayor diámetro 0.315 – 0.160 m (atarjea y albañal, respectivamente), con su correspondiente conexión Yee y silleta W en el modelo se obtuvieron los siguientes resultados; en la descarga a 45° con un gasto de 3.65 l/s y considerando que solo circula agua por el albañal, la velocidad es baja con valores de 0.39 m/s a 1.02 m/s, como se muestra en la tabla 5.1 del experimento 112, el número de Froude va de régimen subcrítico en el primer tramo 0.52 a supercrítico 1.90, en el experimento 115 con un gasto mayor (7.44 l/s), la velocidad se comporto de manera estable a lo largo de la conducción siendo la mínima de 0.79 m/s y la máxima de 1.46 m/s, los datos completos se indican en la tabla 5.2.

En la descarga a 90° con silleta W, para un caudal de 3.65 l/s, los intervalos de velocidad van de 0.35 a 1.68 m/s según la tabla 5.3 del experimento 116, comparando con el experimento 112 se observa que la velocidad es mayor para el mismo gasto al igual que el número de Froude. Cuando se tiene un escurrimiento de 7.44 l/s la velocidad tiende a aumentar, siendo la mínima de 0.28 m/s y la velocidad permisible es de 0.3 m/s por lo cual se considera aceptable, pero en un punto que se encuentra en donde cae el chorro de agua el valor del tirante disminuye 2.25 cm por lo que alcanza una velocidad de 3.10 m/s, como se menciona anteriormente cae el agua como una regadera, después de este tramo se estabiliza nuevamente alcanzando un valor hasta de 1.28 m/s (ver tabla 4.4).

**Experimento 112**  
**Descarga 45°, YEE Descarga albañal**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 315 mm**  
**Diámetro interior = 0.2984 m**  
**H tanque = 0.40 m**  
**Q = 0.00365 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
5.20	0.0520	0.0082	0.45	0.63
05.65	0.0565	0.0092	0.40	0.53
5.75	0.0575	0.0094	0.39	0.52
5.65	0.0565	0.0092	0.40	0.53
3.80	0.0380	0.0052	0.70	1.15
3.70	0.0370	0.0050	0.73	1.22
3.80	0.0380	0.0052	0.70	1.15
3.40	0.0340	0.0044	0.83	1.43
3.40	0.0340	0.0044	0.83	1.43
2.95	0.0295	0.0036	1.02	1.90
3.90	0.0390	0.0054	0.68	1.10
3.15	0.0315	0.0039	0.93	1.67

Tabla 5.1 Cálculos de la descarga a 45°, 0.315 -0.160 m con accesorio tipo yee

**Experimento 115**  
**Descarga 45°, YEE Descarga albañal**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 315 mm**  
**Diámetro interior = 0.2984 m**  
**H tanque = 0.68 m**  
**Q = 0.00744 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
5.45	0.0545	0.0087	0.85	1.16
5.50	0.0550	0.0089	0.84	1.14
5.75	0.0575	0.0094	0.79	1.05
5.90	0.0590	0.0098	0.76	1.00
4.60	0.0460	0.0068	1.09	1.62
5.45	0.0545	0.0087	0.85	1.16
5.50	0.0550	0.0089	0.84	1.14
4.15	0.0415	0.0059	1.26	1.98
4.75	0.0475	0.0072	1.04	1.52
4.20	0.0420	0.0060	1.24	1.93
5.40	0.0540	0.0086	0.86	1.19
3.75	0.0375	0.0051	1.46	2.41

Tabla 5.2 Cálculos en la descarga a 45°, 0.315 -0.160 m

Experimento 116  
 Descarga 90°, Silleta W Descarga albañal  
 Pendiente = 2 %  
 Diámetro nominal = 315 mm  
 Diámetro interior = 0.2984 m  
 H tanque = 0.40 m  
 Q = 0.00365 m<sup>3</sup>/s

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
6.00	0.0600	0.0100	0.36	0.47
6.15	0.0615	0.0104	0.35	0.45
6.25	0.0625	0.0106	0.34	0.44
2.10	0.0210	0.0022	1.68	3.71
2.80	0.0280	0.0033	1.10	2.10
2.55	0.0255	0.0029	1.26	2.53
2.10	0.0210	0.0022	1.68	3.71
2.45	0.0245	0.0027	1.34	2.74
2.50	0.0250	0.0028	1.30	2.63
2.60	0.0260	0.0030	1.23	2.43
2.75	0.0275	0.0032	1.13	2.18
3.00	0.0300	0.0037	1.00	1.84

Tabla 5.3 Descarga a 90°, 0.315 -0.160 m con Silleta W

Experimento 119  
 Descarga 90°, Silleta W Descarga albañal  
 Pendiente = 2 %  
 Diámetro nominal = 315 mm  
 Diámetro interior = 0.2984 m  
 H tanque = 0.68 m  
 Q = 0.00744 m<sup>3</sup>/s

y (cm)	Y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
12.10	0.121	0.0266	0.28	0.26
12.15	0.122	0.0267	0.28	0.25
11.95	0.120	0.0262	0.28	0.26
2.25	0.023	0.0024	3.10	6.60
5.50	0.055	0.0089	0.84	1.14
4.60	0.046	0.0068	1.09	1.62
4.10	0.041	0.0058	1.28	2.03
4.85	0.049	0.0074	1.01	1.46
4.90	0.049	0.0075	0.99	1.43
5.50	0.055	0.0089	0.84	1.14
5.30	0.053	0.0084	0.89	1.23
4.55	0.046	0.0067	1.10	1.65

Tabla 5.4 Resultados en la descarga a 90°, 0.315 -0.160 m con Silleta W



A manera de ejemplificar se anexan los perfiles de los experimentos analizados, de donde se observa el comportamiento del agua al caer con un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  (fig. 5.1) o totalmente vertical  $90^\circ$  (figura 5.2), cuando se tiene un diámetro de atarjea de 0.315 m. Por lo cual para estas condiciones en las que solo escurre flujo por el albañal cuando la unión es a  $90^\circ$  se forma un pequeño remanso aguas arriba de la atarjea que escurre lentamente a la salida.

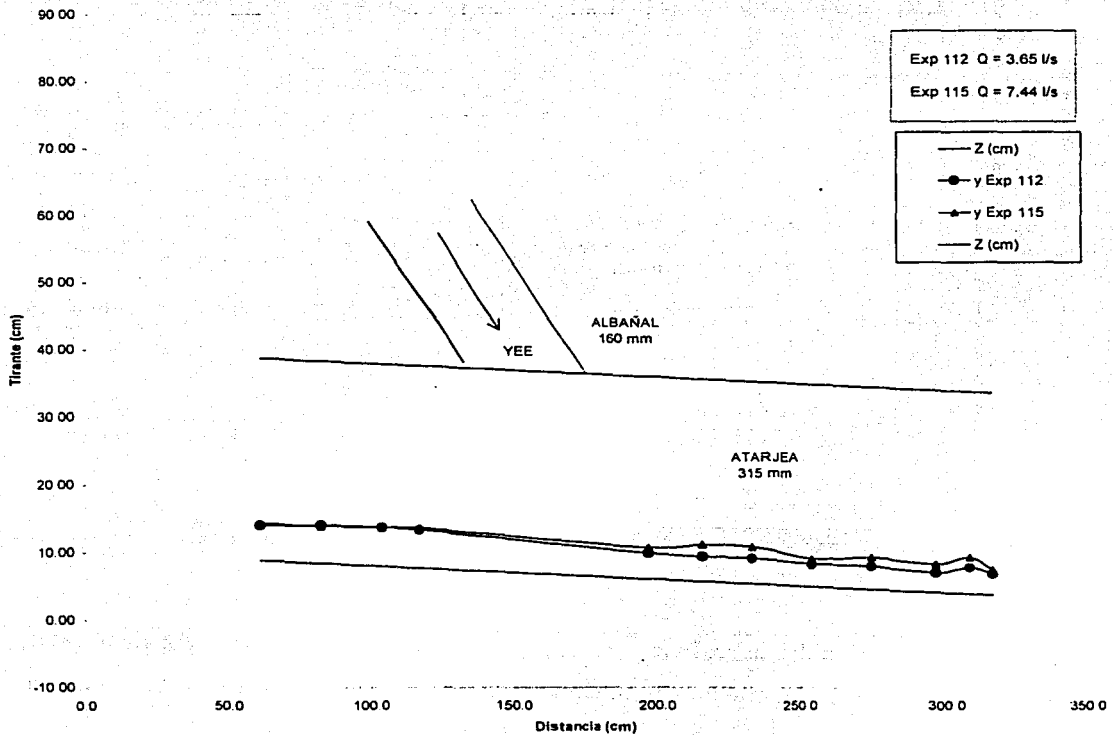


Figura 5.1 Descarga por el albañal únicamente. YEE ( $45^\circ$ )

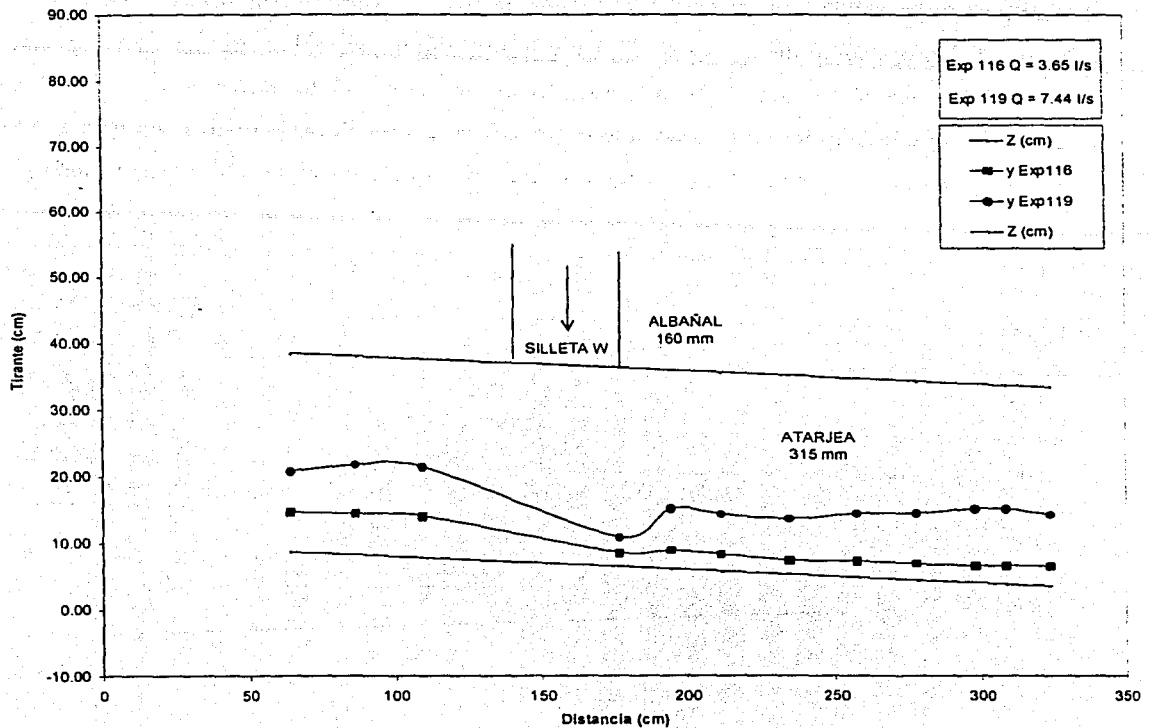


Figura 5.2 Descarga por el albañal únicamente. Silleta W (90°)

Los resultados obtenidos al realizar el cambio de tubería con la combinación de 0.250 x 0.160 m, en donde existe escurrimiento simultáneamente en el albañal y atarjea son los siguientes:

En la descarga a 45° cuando circula por el albañal un gasto de 3.65 l/s y a lo largo de la atarjea escurre 6.7 l/s, con un total en el sistema de 10.02 l/s, la velocidad a lo largo de la tubería oscila entre 1.59 m/s y 4.87 m/s, los cálculos de la velocidad y número de Froude se incluyen en la tabla 5.4 este último valor indica que el tipo de régimen es supercrítico en la tubería, cuando aumenta un poco el gasto el funcionamiento es similar y los valores de la velocidad también son semejantes los cuales van de 1.50 m/s a 5.31 m/s (tabla 5.5). La figura 5.3 representa el funcionamiento de esta descarga en donde se observa que aunque el gasto aumente, el comportamiento del agua es el mismo.

Si la unión de albañal y atarjea se hace con una silleta Clic a  $90^\circ$  con la combinación de diámetros 0.250 X 0.160 m, la figura 5.4 muestra 2 perfiles del agua, el primero es del experimento 96 por el cual circula un gasto total después de la descarga de 10.02 //s, y el segundo es del experimento 97 con un gasto de 11.66 //s. En el primer caso el comportamiento del flujo comparado con la Figura 5.3 es similar, sin embargo al aumentar el gasto el comportamiento del agua cambia notoriamente, y se forma un remanso hacia aguas arriba, después de este punto se estabiliza el flujo y continua su trayectoria de manera similar al experimento anterior. Las tablas 5.7 y 5.8 contienen los valores de velocidad y número de Froude en los que se observa que el régimen del flujo es supercrítico.

**Experimento 100**  
**Descarga  $45^\circ$ , YEE Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 250 mm**  
**Diámetro interior = 0.2368 m**  
**H tanque = 0.40 m**  
**Q = 0.01002 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
2.30	0.023	0.0022	4.56	9.61
2.50	0.025	0.0025	4.04	8.16
2.40	0.024	0.0023	4.29	8.84
2.20	0.022	0.0021	4.87	10.49
2.60	0.026	0.0026	3.81	7.55
4.30	0.043	0.0055	1.84	2.83
4.75	0.0475	0.0063	1.59	2.33
4.75	0.0475	0.0063	1.59	2.33
3.45	0.0345	0.0040	2.52	4.34
4.35	0.0435	0.0056	1.81	2.76
3.15	0.0315	0.0035	2.88	5.18
3.90	0.039	0.0047	2.11	3.42

Tabla 5.5 Valores de tirante, área, velocidad y número de Froude para la descarga a  $45^\circ$

**Experimento 101**  
**Descarga 45°, YEE Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 250 mm**  
**Diámetro interior = 0.2368 m**  
**H tanque = 0.45 m**  
**Q = 0.01166 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
2.30	0.0230	0.0022	5.31	11.18
2.60	0.0260	0.0026	4.44	8.79
2.50	0.0250	0.0025	4.70	9.49
2.35	0.0235	0.0023	5.14	10.72
3.35	0.0335	0.0038	3.06	5.35
5.25	0.0525	0.0073	1.61	2.24
5.50	0.0550	0.0078	1.50	2.05
5.25	0.0525	0.0073	1.61	2.24
3.85	0.0385	0.0047	2.50	4.08
4.80	0.0480	0.0064	1.82	2.66
3.90	0.0390	0.0047	2.46	3.98
4.40	0.0440	0.0056	2.07	3.15

Tabla 5.6 Cálculos en la descarga a 45° con diámetros de 0.250 x 0.160 m

**Experimento 96**  
**Descarga 90°, Silleta Clic Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 250 mm**  
**Diámetro interior = 0.2368 m**  
**H tanque = 0.40 m**  
**Q = 0.01002 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
3.25	0.0325	0.0036	2.75	4.88
2.00	0.0200	0.0018	5.60	12.66
2.20	0.0220	0.0021	4.87	10.49
2.80	0.0280	0.0029	3.42	6.53
2.10	0.0210	0.0019	5.22	11.50
2.20	0.0220	0.0021	4.87	10.49
5.15	0.0515	0.0071	1.42	2.00
4.40	0.0440	0.0056	1.78	2.70
5.10	0.0510	0.0070	1.44	2.03
7.00	0.0700	0.0109	0.92	1.11
6.60	0.0660	0.0100	1.00	1.24
4.25	0.0425	0.0054	1.87	2.89

Tabla 5.7 Resultados del experimento 96 utilizando silleta Clic a 90°

**Experimento 97**  
**Descarga 90°, Silleta Clic Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2%**  
**Diámetro nominal = 250 mm**  
**Diámetro interior = 0.2368 m**  
**H tanque = 0.45 m**  
**Q = 0.01166 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
3.05	0.0305	0.0033	3.51	6.43
2.20	0.0220	0.0021	5.67	12.21
6.80	0.0680	0.0105	1.12	1.37
11.75	0.1175	0.0218	0.53	0.50
13.60	0.1360	0.0262	0.45	0.39
6.55	0.0655	0.0099	1.17	1.47
7.20	0.0720	0.0113	1.03	1.23
6.80	0.0680	0.0105	1.12	1.37
7.40	0.0740	0.0118	0.99	1.16
8.95	0.0895	0.0152	0.76	0.82
8.55	0.0855	0.0143	0.81	0.89
6.15	0.0615	0.0091	1.28	1.65

Tabla 5.8 Descarga a 90° Silleta W con diámetro de 0.250 x 0.160 m

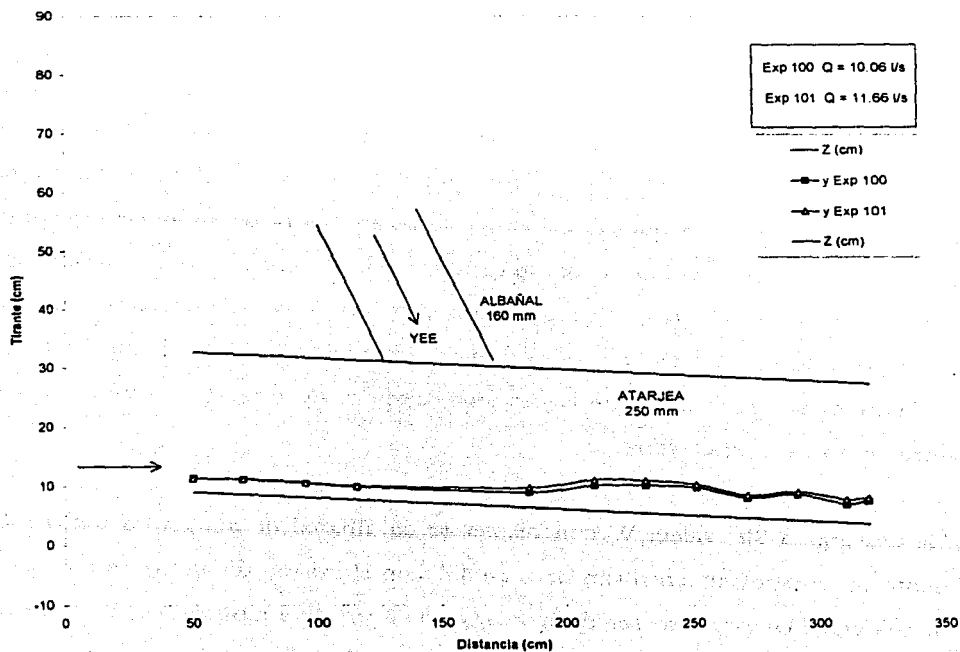


Figura 5.3 Descarga por el albañal y atarjea funcionando de manera simultánea. YEE (45°)

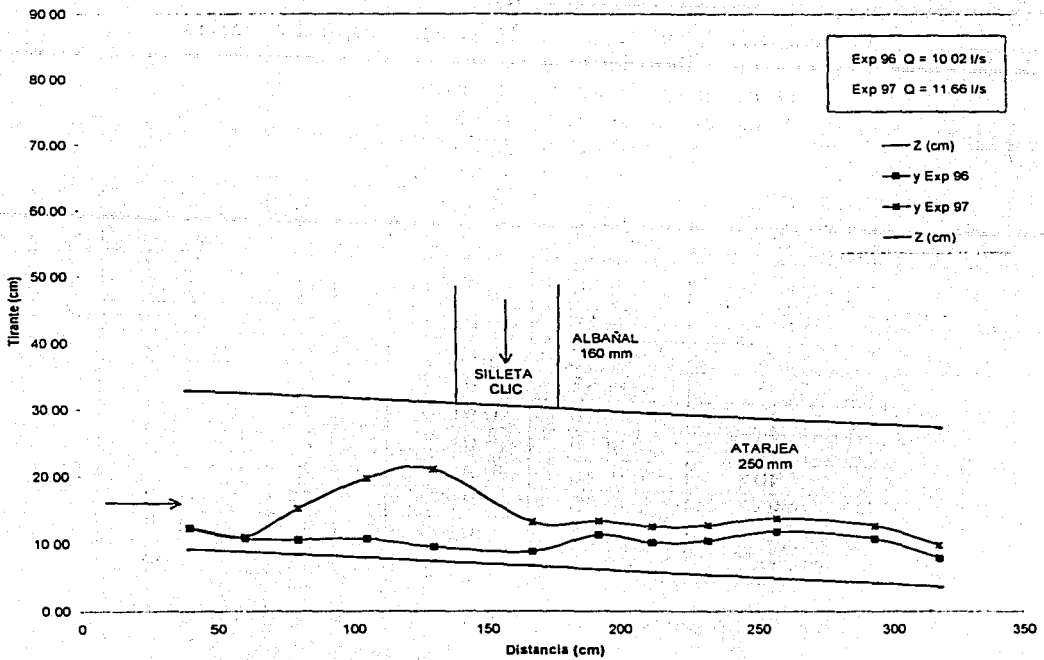


Figura 5.4 Descarga por el albañal y atarjea funcionando de manera simultánea. Silleta Clic ( $90^\circ$ )

Otra de las combinaciones fue la compuesta por el diámetro de 0.200 m en la atarjea y 0.160 m para el albañal. El análisis que se realizó a este sistema para la unión a  $45^\circ$  se muestra en las tablas 5.9 y 5.10. Para esta unión con un gasto total de  $10.02 \text{ l/s}$ , se observa de la figura 5.5 que el comportamiento del agua es similar al de la tubería colocada anteriormente, la velocidad oscila entre  $1.46 \text{ m/s}$  a  $5.88 \text{ m/s}$ . Al aumentar el caudal a  $16.95 \text{ l/s}$ , la atarjea funcionó como tubo lleno hacia aguas arriba de la descarga, después de esta se estabilizó nuevamente con escurrimiento a superficie libre.

En la descarga a  $90^\circ$  silleta W con diámetros en albañal de atarjea de  $0.200 \times 0.160 \text{ m}$ , se presentó un comportamiento similar al de  $45^\circ$  con el mismo diámetro para un gasto de  $10.02 \text{ l/s}$  la velocidad en este caso fue de  $1.18 \text{ m/s}$  a  $5.88 \text{ m/s}$  (ver tabla 5.11). Al aumentar el gasto a  $16.95 \text{ l/s}$ , el tubo se llenó completamente antes de la descarga como se observa en la figura 5.6,

después de la unión el flujo se estabilizó, la velocidad en el primer tramo fue de  $0.60 \text{ m/s}$ , después de la descarga los valores variaron de  $1.21 \text{ m/s}$  a  $2.70 \text{ m/s}$ , al final del conducto (ver tabla 5.12), aguas arriba se formo un remanso que impedía la circulación del agua y después de la unión el flujo continuo su dirección aumentando la velocidad y por lo tanto el régimen del flujo. Por lo cual no se recomienda el uso de tubería para la atarjea de  $0.200 \text{ m}$ , porque puede ocasionar problemas en el sistema.

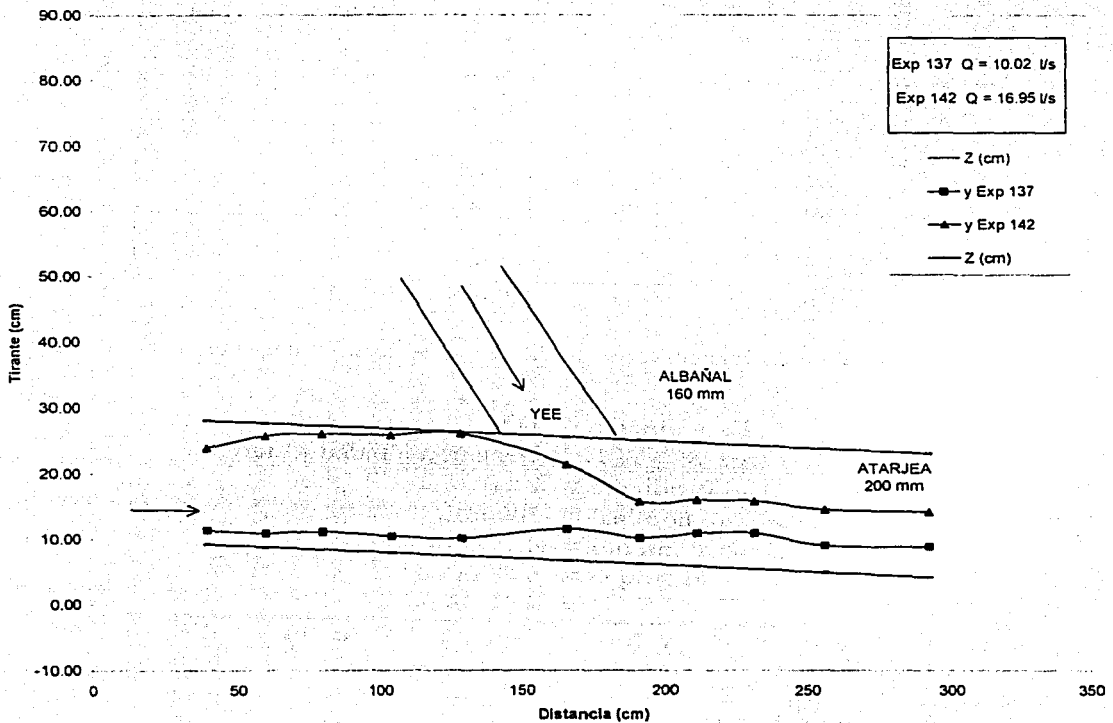


Figura 5.5 Descarga por el albañal y atarjea funcionando con el diámetro de  $0.200 \text{ m}$ . YEE ( $45^\circ$ )

**Experimento 137**  
**Descarga 45°, YEE Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 200 mm**  
**Diámetro interior = 0.1892 m**  
**H tanque = 0.40 m**  
**Q = 0.01002 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
2.10	0.0210	0.0017	5.88	12.95
2.10	0.0210	0.0017	5.88	12.95
2.75	0.0275	0.0025	3.97	7.64
2.55	0.0255	0.0023	4.43	8.85
2.70	0.0270	0.0025	4.07	7.92
4.90	0.0490	0.0058	1.73	2.50
4.00	0.0400	0.0043	2.31	3.69
5.10	0.0510	0.0061	1.64	2.32
5.55	0.0555	0.0069	1.46	1.98
4.15	0.0415	0.0046	2.19	3.44
4.70	0.0470	0.0054	1.84	2.71
5.00	0.0500	0.0059	1.69	2.41

Tabla 5.9 Cálculos para la combinación de diámetros de albañal y atarjea de 0.200 x 0.160 m

**Experimento 142**  
**Descarga 45°, YEE Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 200 mm**  
**Diámetro interior = 0.1892 m**  
**H tanque = 0.68 m**  
**Q = 0.01695 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
14.75	0.1475	0.0235	0.72	0.60
17.00	0.17	0.0266	0.64	0.49
17.70	0.177	0.0273	0.62	0.47
18.00	0.18	0.0276	0.61	0.46
18.70	0.187	0.0281	0.60	0.45
14.75	0.1475	0.0235	0.72	0.60
9.60	0.096	0.0143	1.18	1.22
10.20	0.102	0.0155	1.10	1.10
10.45	0.1045	0.0159	1.06	1.05
9.65	0.0965	0.0144	1.18	1.21
10.05	0.1005	0.0152	1.12	1.13
8.95	0.0895	0.0131	1.29	1.38

Tabla 5.10 Cálculos para la combinación de diámetros de albañal y atarjea de 0.200 x 0.160 m con Yee



**Experimento 127**  
**Descarga 90°, Silleta W Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 200 mm**  
**Diámetro interior = 0.1892 m**  
**H tanque = 0.40 m**  
**Q = 0.01002 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
2.75	0.0275	0.0025	3.97	7.64
2.10	0.0210	0.0017	5.88	12.95
2.10	0.0210	0.0017	5.88	12.95
3.45	0.0345	0.0035	2.86	4.92
2.10	0.0210	0.0017	5.88	12.95
3.35	0.0335	0.0034	2.98	5.20
4.05	0.0405	0.0044	2.27	3.61
4.45	0.0445	0.0050	1.99	3.01
6.45	0.0645	0.0085	1.18	1.49
4.75	0.0475	0.0055	1.81	2.66
5.55	0.0555	0.0069	1.46	1.98
2.80	0.0280	0.0026	3.86	7.38

Tabla 5.11 Descarga a 90°, tubería 0.200 x 0.160 m

**Experimento 130**  
**Descarga 90°, Silleta W Descarga albañal y atarjea**  
**Pendiente = 2 %**  
**Diámetro nominal = 200 mm**  
**Diámetro interior = 0.1892 m**  
**H tanque = 0.68 m**  
**Q = 0.01695 m<sup>3</sup>/s**

y (cm)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Fr
17.90	0.1790	0.0275	0.62	0.46
18.92	0.1892	0.0281	0.60	0.44
18.92	0.1892	0.0281	0.60	0.44
18.92	0.1892	0.0281	0.60	0.44
18.92	0.1892	0.0281	0.60	0.44
9.45	0.0945	0.0140	1.21	1.25
7.00	0.0700	0.0095	1.79	2.16
8.90	0.0890	0.0130	1.30	1.40
9.90	0.0990	0.0149	1.14	1.16
8.60	0.0860	0.0124	1.36	1.49
9.00	0.0900	0.0132	1.29	1.37
5.20	0.0520	0.0063	2.70	3.78

Tabla 5.6 Descarga albañal y atarjea diámetro 0.200-0.160 m

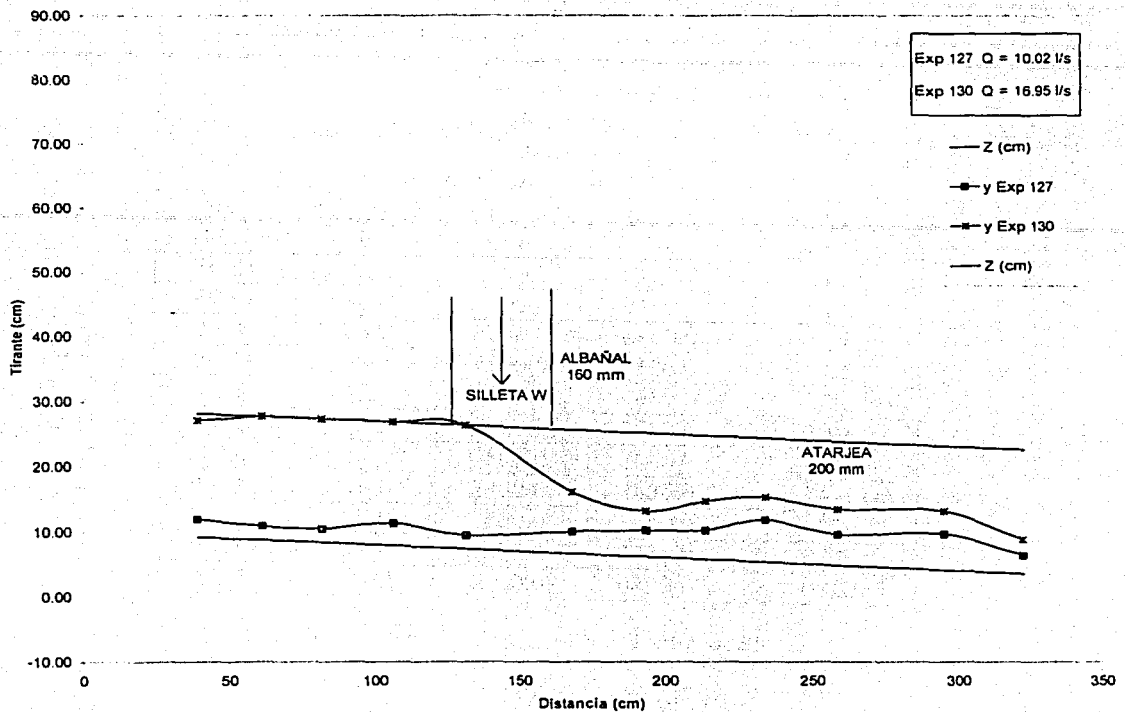


Figura 5.6 Descarga por el albañal y atarjea funcionando con el diámetro de 0.200 m. Silleta W (90°)

La calibración de la rugosidad de la tubería no fue posible hacerla con la descarga a 45°, porque el perfil de la superficie libre del agua que se forma es inestable, en cambio, para la descarga a 90° dicho perfil fue mas estable. Para este último caso se calculó el coeficiente de rugosidad con el procedimiento siguiente:

- Se midieron los perfiles de flujo para cada una de las pruebas con diferentes gastos
- Se escogieron dos secciones separadas una longitud  $L$  y se fijó un plano horizontal de comparación
- Para cada sección se obtuvo el tirante y con éste se determinó el valor del área, perímetro y radio hidráulico, respectivamente
- Como se conocía el gasto, ya que éste se aforó en la prueba, se calculó la velocidad

Con los datos anteriores y el perfil del agua medido, con ayuda de un programa de cómputo elaborado en el Instituto de Ingeniería por Moisés Berezowsky Verduzco y Carlos Basaldua Cruz, el cual permite ajustar el perfil calculado, con las ecuaciones de flujo gradualmente variado, y el experimental, al modificar el coeficiente de rugosidad de Manning hasta lograr la semejanza entre ambos; procediendo de esta manera se encontró que el valor promedio de la rugosidad de Manning es de 0.011, lo cual resulta ser aceptable, ya que el material de que esta hecha la tubería del albañal es un poco mas rugosa que si lo fuera de vidrio, cuyo valor de "n" vale 0.010.

El valor calculado de "n" es el promedio de distintos valores encontrados, estos resultados indican que el factor de rugosidad *n* cambia con el gasto, lo cual concuerda con los experimentos realizados por diferentes investigadores, esto se puede ver, por ejemplo, en la fig. 5.7.

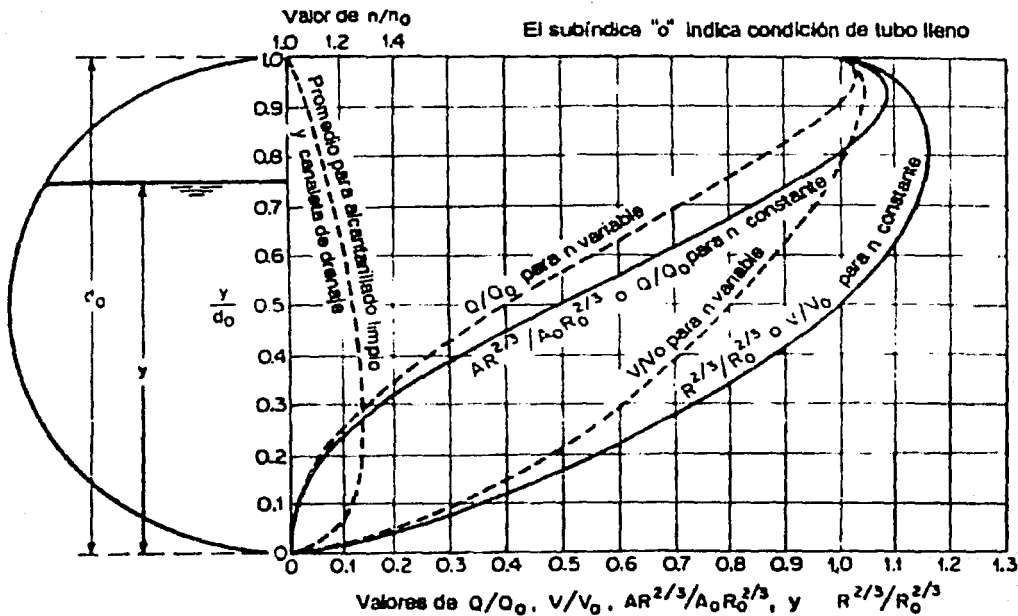


Figura 5.7 Características del flujo en una sección circular (según T. R. Camp) (ref. 3)

### 5.1 Velocidades permisibles

La velocidad límite del escurrimiento es la que evita por una parte la sedimentación y el azolvamiento en un conducto, y por otro lado la erosión de las paredes de la tubería.

La velocidad mínima que no permite el depósito de sólidos que provoquen el azolvamiento en las atarjeas, es de  $0.3 \text{ m/s}$ , considerando para ello el gasto mínimo calculado.

La velocidad máxima es aquella con la que se trata de evitar la erosión de las paredes de la tubería y estructuras.

En casos excepcionales, en tramos aislados de tubería, se pueden llegar a presentar velocidades de hasta  $8 \text{ m/s}$ , y estos valores se pueden aceptar contando con la aprobación del proyecto.

En la tabla 5.13 se muestran los valores de velocidades máxima y mínima para diferentes tipos de material.

MATERIAL DE LA TUBERÍA	VELOCIDAD (m/s)	
	MÁXIMA	MÍNIMA
Concreto simple	3.0	0.30
Concreto reforzado	3.5	0.30
Fibro cemento	5.0	0.30
Polietileno	5.0	0.30
Policloruro de Vinilo (PVC)	5.0	0.30

Tabla 5.13 Velocidades permisibles en tuberías (ref.10)

## 6 CONCLUSIONES

Existen yees y varios tipos de silletas para conectar las descargas domiciliarias a la red. La selección de uno u otro tipo de dispositivo depende del momento de su instalación, ya sea durante o después de la construcción de las atarjeas, cuando ya este funcionando el sistema, con relación a las condiciones ambientales, a la experiencia, especificaciones del organismo operador, del costo de instalación de cada descarga, y de la disponibilidad de diámetro y facilidad hermética de cada pieza.

El tipo de material del que están construidas las atarjeas, el albañal y las piezas especiales debe ser el mismo, el correspondiente procedimiento de conexión puede llevarse a cabo de dos maneras, una a 45 o 90°. El modelo hecho para la revisión del funcionamiento de las uniones proporciona una gran ayuda para conocer las diferencias al utilizar uno u otro accesorio y elegir el que mejor convenga.

Descarga a 45° con Yee se observó lo siguiente:

### Ventajas:

Se presenta una disminución menor de la velocidad en el escurrimiento.

El riesgo de taponamiento es menor.

Las velocidades que se presentan se encuentran dentro de las permisibles (según tabla 5.13).

El tipo de flujo que se presentan en la mayoría de los casos analizados es supercrítico, lo cual garantiza la autolimpieza del conducto.

La unión de la descarga domiciliar a una atarjea con diámetro exterior de 0.250 m o mayor, presenta un buen funcionamiento.

### Desventajas:

Presenta oscilaciones fuertes en la superficie libre del agua y en los tirantes, en el tramo inmediato siguiente a la unión.

El flujo incide directamente contra la pared opuesta al conducto, esto puede ocasionar que en ese punto el desgaste de la tubería sea mayor.

Con el diámetro mínimo de 0.200 m en la atarjea y un gasto de 16 l/s, puede existir el riesgo de que se presente un taponamiento.

Descarga a 90° con silleta Clic y W, se señala lo siguiente:

Ventajas:

El chorro de agua cae disperso dentro de la atarjea, esto indica que no incide directamente sobre un área específica, por lo cual no existe desgaste en esa sección del tubo (ver fotografía no. 14).

Las velocidades después de la conexión son mayores a 3 m/s, pero en un intervalo que se encuentra dentro de las permisibles (ver tabla 5.13).

El tipo de flujo que se presenta es supercrítico en el tramo siguiente a la descarga, lo cual garantiza la autolimpieza del conducto.

Desventajas:

En el caso de la atarjea con diámetros de 0.250 m y mayores se forma un pequeño remanso en la sección aguas arriba a la descarga del albañal.

Si el agua que circula por la atarjea tiene una velocidad pequeña, en el tramo de la descarga ello puede provocar un remanso del flujo dentro del conducto.

No se recomienda usarlo cuando se une a tubos con diámetro de atarjea de 200 mm, porque ello puede ocasionar taponamiento.

De lo antes mencionado, se concluye que cuando el diámetro exterior de la atarjea es de 315 mm, con cualquiera de los accesorios ya sea a 45 o 90°, se presenta un funcionamiento aceptable, no así cuando el diámetro es el mínimo recomendado (0.200 m), en este caso no se recomienda por seguridad en la conducción las uniones a 90°.

El valor de la rugosidad encontrado experimentalmente resulta aceptable pues comparado con otro tipo de tuberías utilizados en alcantarillado es menor lo cual ayuda a que las tuberías sean autolimpiantes. El valor calculado de "n" es el promedio de distintos valores encontrados, lo que indica que el factor de rugosidad cambia con el gasto.

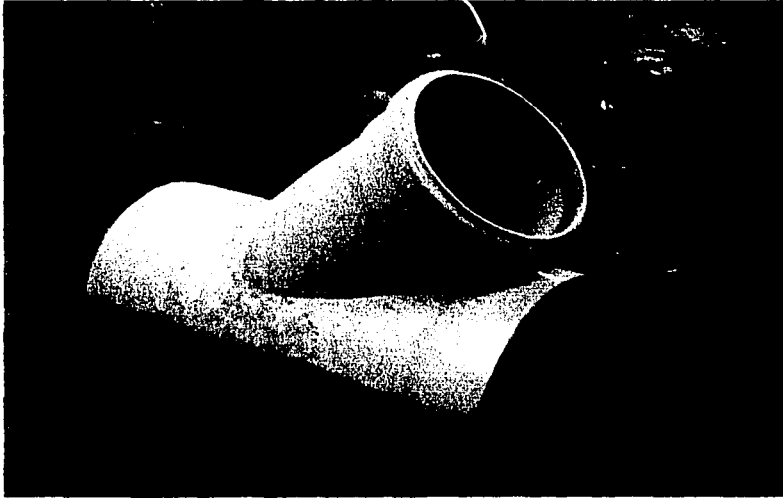
## BIBLIOGRAFÍA

1. Amanco "Manual Técnico del Sistema Novahol para alcantarillado hermético", Plásticos Omega, S.A. de C.V
2. Lara González J. (1991), "Alcantarillado", Facultad de Ingeniería, UNAM
3. Ven Te Chow (1994), "Hidráulica de Canales Abiertos", Mc Graw Hill
4. Sotelo Avila G. (1995), "Hidráulica General", vol. 1 Fundamentos, Limusa
5. Gardea Villegas H. (1995), "Hidráulica de Canales", Facultad de Ingeniería, UNAM
6. César Valdez E. (1997), "Instalaciones Sanitarias para Edificios", Vol. 1, Facultad de Ingeniería, UNAM
7. (Sep 1998), "Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana", Facultad de Ingeniería, UNAM
8. Saldarriaga V. J. (1998), "Hidráulica de Tuberías", Mc Graw Hill
9. Hernández J. y Franco V. (1999), "Hidráulica de Canales" Capítulo 5, Manual de Ingeniería de Ríos, Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 614
10. (Oct 1999), "Alcantarillado Pluvial", Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua
11. (May 2000), "Alcantarillado Sanitario", Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua
12. (2001) "Comparación hidráulica en descargas sanitarias a 45° y 90°", Informe final, Instituto de Ingeniería, UNAM
13. Harper Enríquez G. (2001), "El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias", Limusa
14. (Ene 2002), "Obras Accesorias para Alcantarillado Sanitario y Pluvial", Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua

# ANEXO FOTOGRÁFICO



## CONEXIONES A 45°



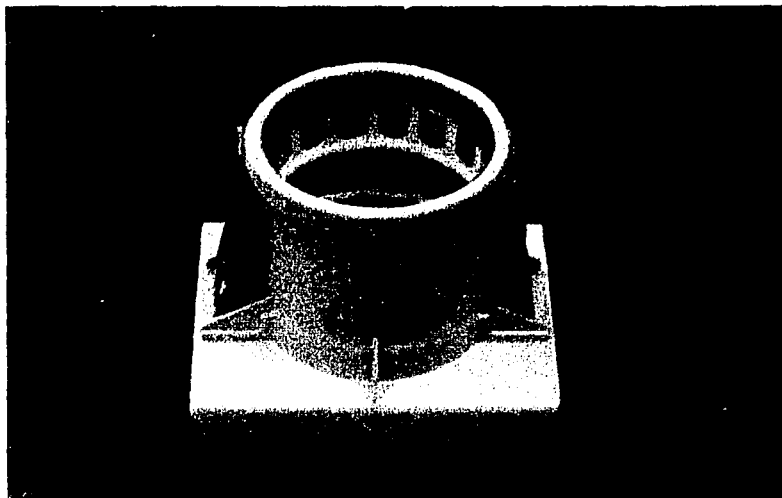
Fotografía No. 1 Silleta Cementar YEE, une al tubo con cementante, sin necesidad de cortes transversales



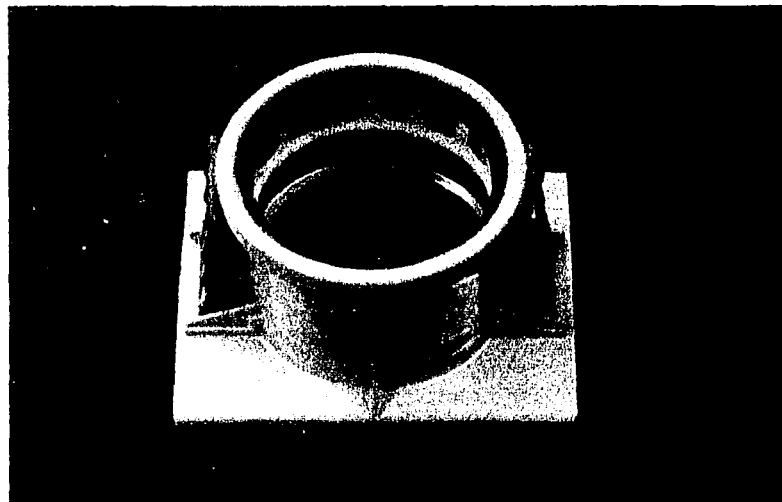
Fotografía No. 2 YEE permite mayor flexibilidad en el entronque, pero se requiere cortar las atarjeas en lugares precisos

## CONEXIONES A 90°

### *SILLETA CLIC*



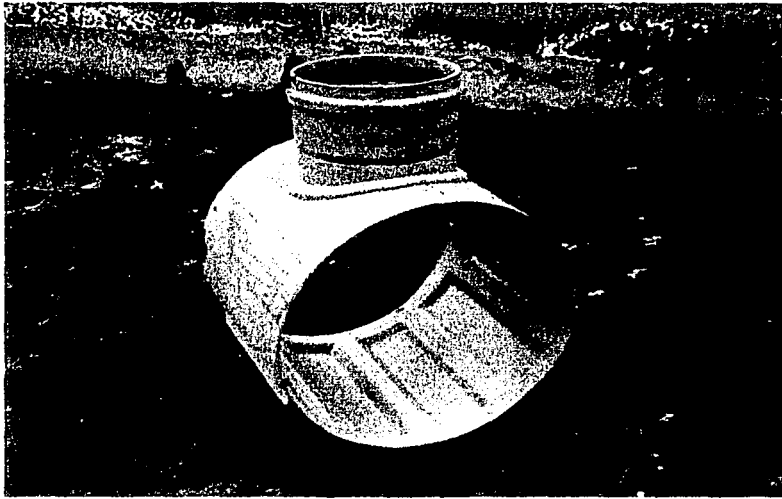
Fotografía No. 3 Silleta Clic de 200 x 125 mm, para conectarla al albañal se utiliza un codo a 87°



Fotografía No. 4 La silleta se une a la atarjea por medio de un empaque que queda a presión al colocarla y sujetarla con las manijas.

## CONEXIONES A 90°

### *SILLETA W*

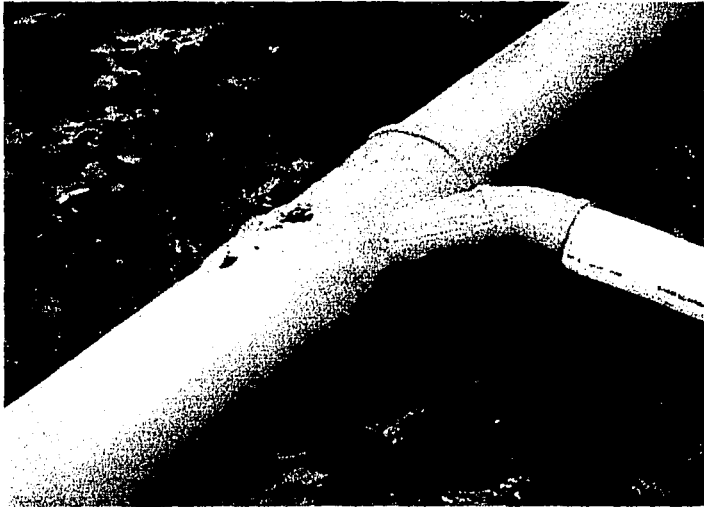


Fotografía No. 5 Silleta W 90°, diámetro 315 x 160 mm

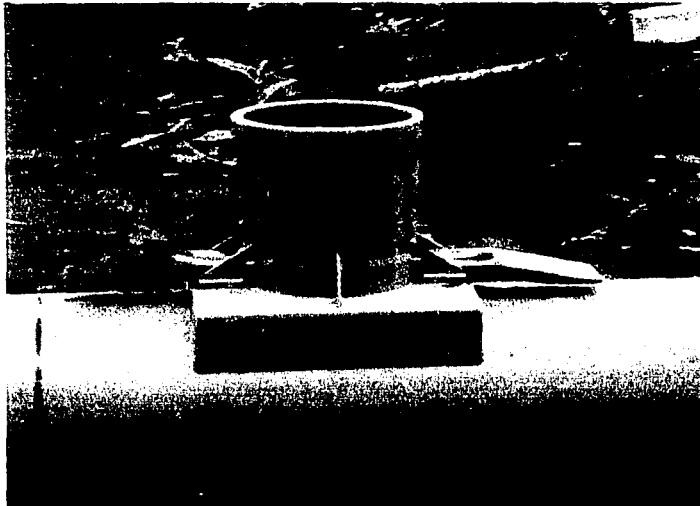


Fotografía 6. La silleta se monta como un brazalete en la atarjea, evitando cortes transversales

## UNIÓN DE ALBAÑAL Y ATARJEA CON LAS CONEXIONES



Fotografía No. 7 Unión de albañal y atarjea con una yee y un codo de 45°

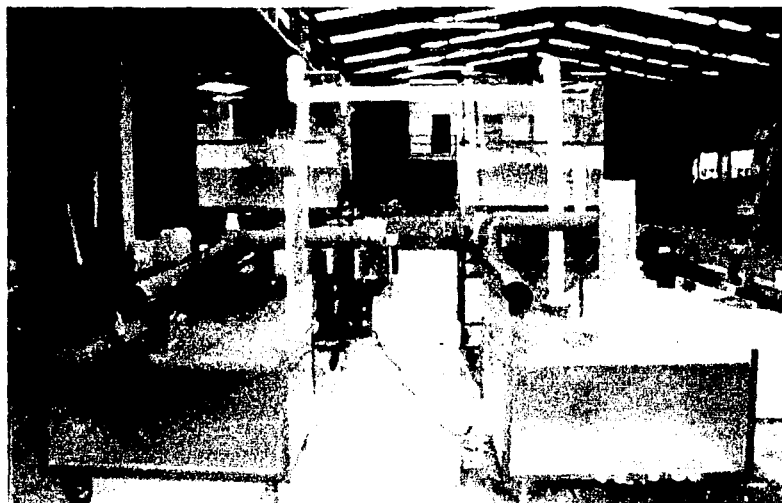


Fotografía No. 8 Silleta Clic a 90° montada en la atarjea



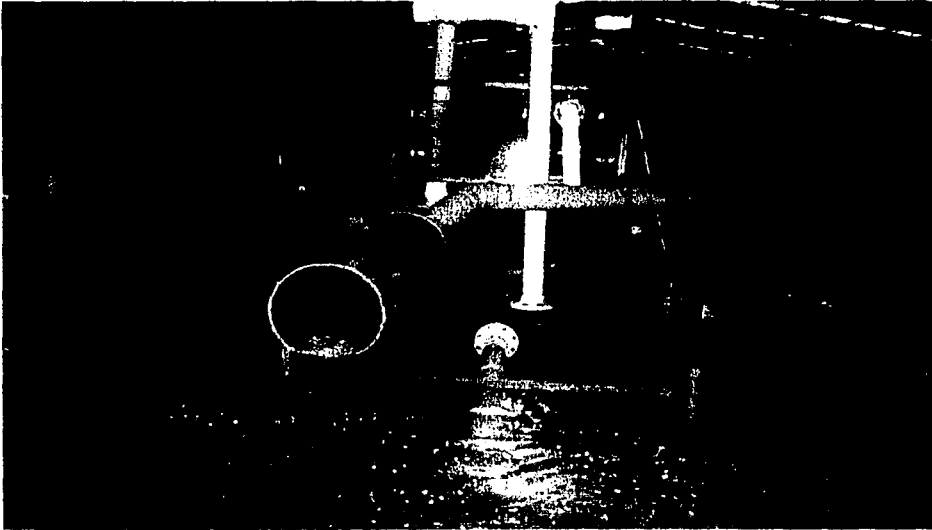
Fotografia no. 9 Silleta W montada en la atarjea, unida al albañal con un codo de 90°

## MODELO DESCARGAS SANITARIAS

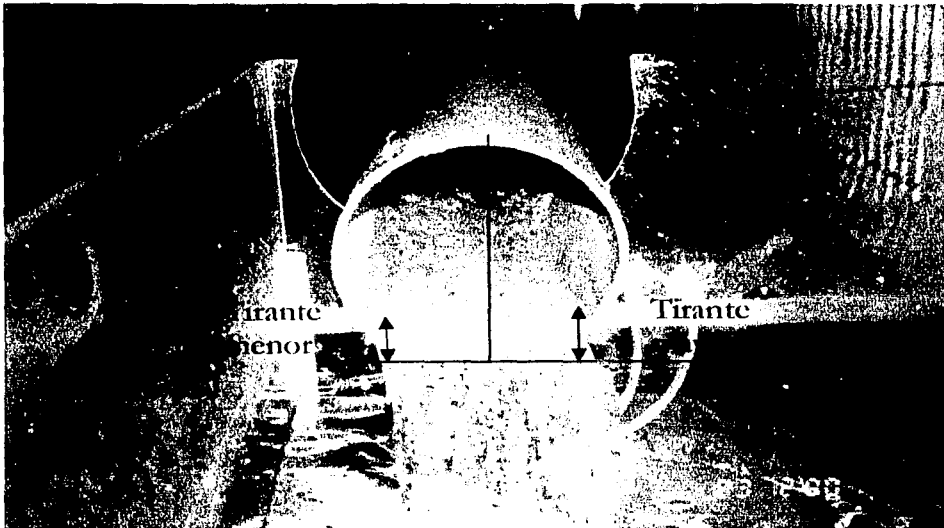


Fotografia No. 10 Vista del modelo en el laboratorio, a la izquierda se encuentra la representación de la descarga a 45° y a la derecha la de 90°

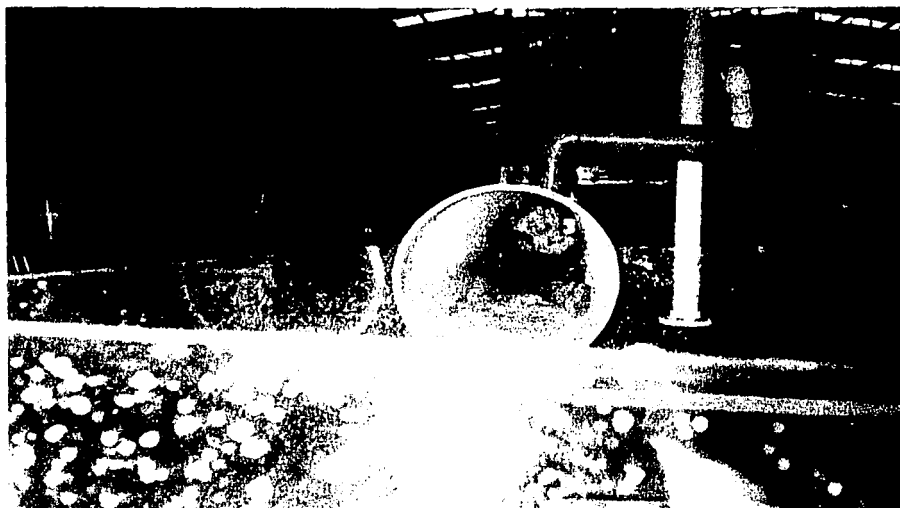
## UNION ALBAÑAL Y ATARJEA YEE



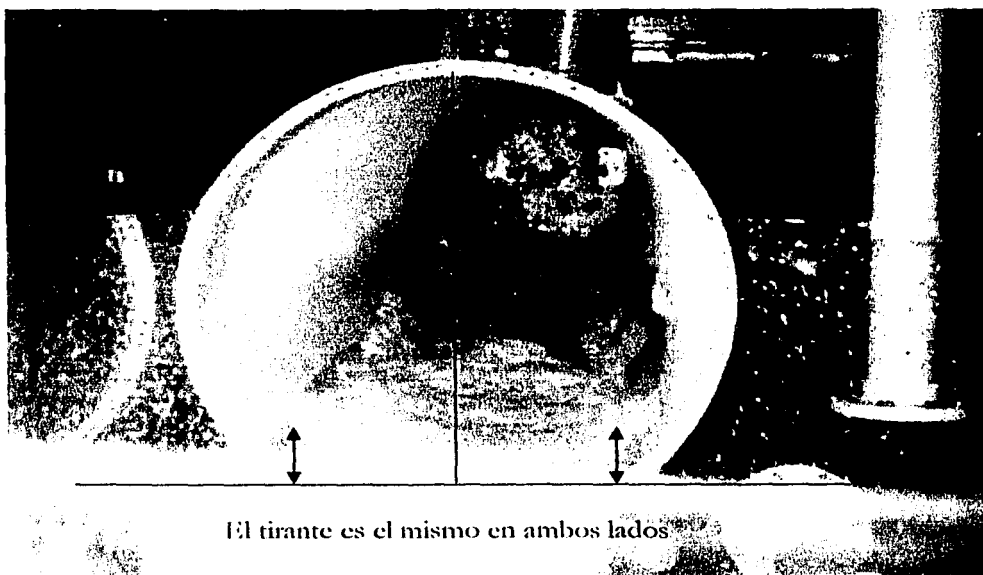
Fotografía No. 11 Funcionamiento del modelo en el que se utiliza la conexión YEE



Fotografía No. 12 Acercamiento de la descarga a 45°, donde se observan las oscilaciones al final de la tubería

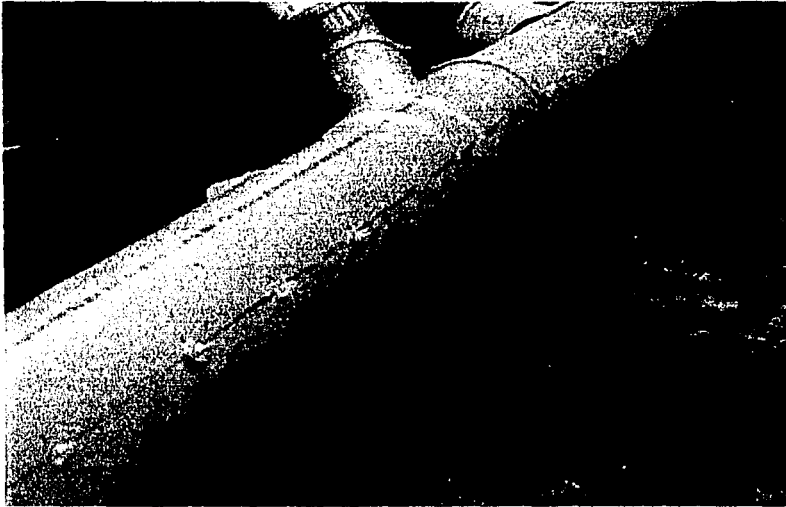


Fotografía No. 13 Representación física de la descarga a 90° con silleta W'

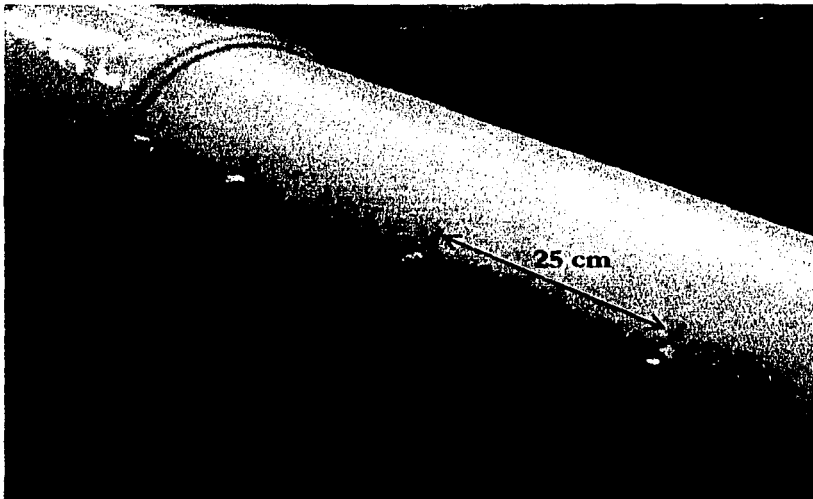


Fotografía No. 14 Vista de la descarga a 90°, en donde se observa como cae el chorro de agua proveniente del albañal

## UBICACIÓN DE LOS PIEZÓMETROS EN LA ATARJEA

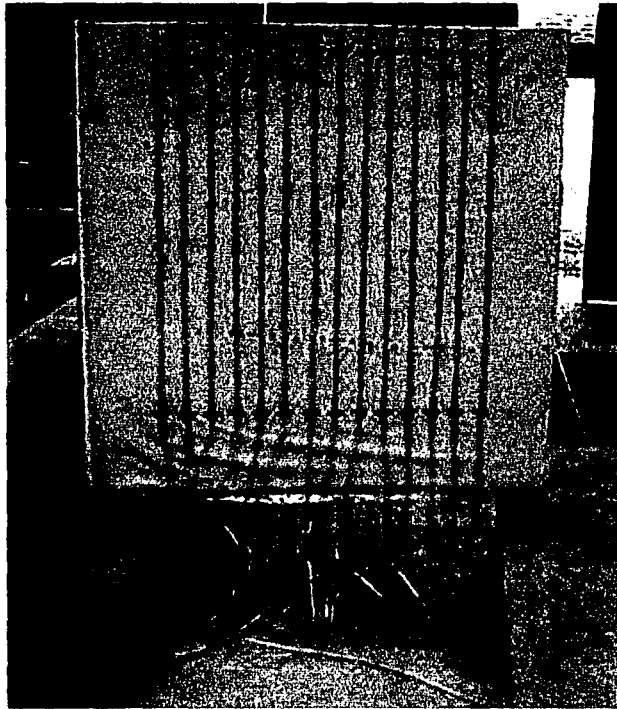


Fotografía No. 15 Ubicación de piezómetros a lo largo de la atarjea



Fotografía No. 16 Los piezómetros se encuentran a una distancia de 25 cm aproximadamente entre ellos





**Fotografía No. 17 Tablero para mediciones**