

II ENCUENTRO NACIONAL

Clima, Agua y Tierra

VII Jornadas Venezolanas de Riego y Saneamiento de Tierras

TEMA:

TITULO:

AUTOR:

CIV

FAV

MAC

MARNR

ESTUDIOS, PROYECTOS Y CONSTRUCCION DE RIEGO Y DRENAJE

Efectos de la geometría del filtroprotector y el espesor de las juntas en tuberías de drenaje subterráneo

Ing. Luis Rázuri

VII JORNADAS VENEZOLANAS DE RIEGO Y SANEAMIENTO DE TIERRAS

EFFECTO DE LA GEOMETRIA DEL FILTROPROTECTOR Y EL ESPESOR DE LAS JUNTAS EN TUBERIAS DE DRENAJE SUBTERRANEO

Luis R. Rázuri Ramírez
Ing. Agrícola, M. Sc.
Profesor Asociado CIDIAT

RESUMEN

Los aspectos relacionados con el efecto del espaciamiento de las juntas entre tuberías de drenaje y con la geometría del material filtro protector fueron evaluados en condiciones de laboratorio, en un Tanque de Arena construido para experiencias similares.

El estudio consideró las siguientes variables: a) tres espesores de junta 1,5, 3,1 y 4,8 mm; b) cinco disposiciones o geometrías del filtro protector alrededor del dren, las cuales fueron dispuestas por encima y debajo del eje de la tubería.

Los resultados de las experiencias se establecieron identificando y cuantificando los siguientes parámetros: (1) Medición del consumo energético para diferentes cargas hidráulicas; (2) Determinación de la resistencia de entrada de agua al dren; (3) Relación entre la carga hidráulica y la descarga unitaria de la tubería de drenaje; (4) Relación del espesor de la junta entre tuberías con los parámetros antes mencionados.

El estudio indica que el espesor de las juntas entre tuberías no influye en el consumo energético, siendo el mismo para cualquiera de ellas; además, independientemente de la geometría del filtro, el menor espesor de junta causa una menor resistencia de entrada.

En cuanto a la relación entre el caudal drenado y la carga hidráulica se concluye que la geometría del filtro no influye en el caudal drenado, siendo éste aproximadamente el mismo para una determinada carga hidráulica.

El mejor ajuste de estos parámetros se logra mediante una ecuación del tipo $q = aH^b$.

Si bien el caudal drenado parece no ser dependiente de la geometría del filtro protector, la eficiencia del sistema de drenaje sí se ve afectada por la gran producción de sedimentos, cuando la cobertura se encuentra en la parte superior de la tubería, concluyéndose que a mayor cobertura existirá una mayor eficiencia del sistema.

I. INTRODUCCION

En la ingeniería del drenaje es necesario realizar trabajos de investigación, evaluaciones y prácticas en el campo, que permitan crear un bloque tecnológico para utilizar las metodologías disponibles y la creación de otras en la solución de los problemas.

Entre las técnicas de drenaje, se encuentra el drenaje subterráneo, en el cual el flujo de agua y su facilidad de movimiento en el suelo y hacia la zanja de drenaje, depende de la naturaleza del medio. La resistencia que el medio oponga al agua en su movimiento de un punto a otro en el suelo, puede evaluarse en términos de consumo de energía. Estos valores de resistencia darán como resultado una mayor o menor eficiencia del sistema de drenaje.

Entre los factores importantes que intervienen en la eficiencia de un sistema de drenaje subsuperficial, está el llamado material filtro protector, el cual es utilizado en suelos inestables, como son la gran mayoría de tierras agrícolas afectadas por problemas de drenaje.

El propósito del material filtro protector, colocado alrededor del dren, es para prevenir la entrada de sedimentos a la línea de drenes y facilitar la entrada de agua al tubo, de manera que una adecuada selección y disposición del filtro, para condiciones concordantes con el material base de la zanja de drenaje, dará lugar a buenas eficiencias de funcionamiento del sistema.

Siendo el flujo de agua al dren consecuencia de las zonas inmediatas a éste y a la tubería de drenaje, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar los aspectos relacionados con ellos, los cuales se enumeran a continuación:

1. El efecto del espaciamiento de las juntas entre las tuberías.
2. El efecto de la geometría del filtro protector.

Estos son evaluados a partir de la llamada resistencia de entrada en condiciones de laboratorio en un "Tanque de Arena", que se encuentra en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Los Andes y que ha sido utilizado anteriormente en la misma línea de investigación.

Para cumplir los objetivos propuestos se utilizó grava como material filtro protector en cinco diferentes disposiciones o geometrías; asimismo se utilizaron tuberías con tres diferentes espesores de junta entre ellas.

II. MATERIALES Y EQUIPOS

El modelo utilizado, de tanque horizontal, está construido a escala 1:1 y consta de cuatro elementos básicos: 1) tanque de arena; 2) tanque de regulación de carga; 3) panel de lecturas y 4) tanque de descarga y sedimentación.

Además del equipo básico, se utilizaron tubos piezométricos de 6mm de diámetro interno.

La ubicación de los piezómetros se adecuó a la línea de control piezométrico que se estableció, es decir la línea o nivel de control horizontal que es tangente al dren en su parte inferior. Esta línea de control permitirá definir los niveles de energía en diferentes puntos a lo largo de los lados del tubo.

Los piezómetros se distribuyeron en tres baterías colocadas a 0,2; 0,5 y 0,80m del extremo del tanque de arena. Todas las baterías constan de 5 piezómetros ubicados a 5, 10, 15, 20 y 25 cm del eje del dren, llegando su extremo inferior hasta la línea de control horizontal, definida anteriormente, que es el

nivel de referencia.

Para medir las descargas de agua se utilizaron una probeta graduada y un cronómetro para así obtener el gasto por unidad de tiempo y luego expresarla por unidad de longitud del dren en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$. Las cantidades de sedimentos que contiene el agua de drenaje no fue medida cuantitativamente sino simplemente observada cualitativamente, con respecto a cada una de las pruebas, en el momento de tomar las lecturas y al final de cada prueba, observando el interior de los tubos.

Como material base del tanque, se ha utilizado arena, esto con la finalidad de evitar las variaciones de la permeabilidad así como para obtener una rápida respuesta en los ensayos realizados.

Esta arena que proviene del río Chama, es un material uniforme con un valor de Coeficiente de Uniformidad de 2,86 y está compuesto de 55% de arena fina y 41% de arena media.

El material filtrante proviene de El Tocuyo, Edo. Lara, y está constituido de una grava fina, subangular de tamaño uniforme. De acuerdo a los criterios de diseño de filtros de grava para tubos de drenaje, establecidos por el Bureau of Reclamation, se obtuvo: $D_{50}(\text{filtro})/D_{40}(\text{base}) = 3,55$; valor este que está en el rango propuesto para ese tipo de filtro.

El coeficiente de uniformidad de la grava es $C_u = D_{60}/D_{10} = 1,83$.

La tubería de drenaje utilizada para la realización de los ensayos fueron de 33 cm de longitud y de 11,3 cm de diámetro externo y 10,3 cm de diámetro interno.

En las pruebas el ingreso del agua se realizaba a través de tres juntas o aberturas circunferenciales. Los tubos fueron colocados con tres diferentes anchos de juntas, 1,5 mm, 3,1 mm y 4,8 mm.

III. MODELO EXPERIMENTAL

Las razones que se instituyen para el modelo experimental deberán responder básicamente al comportamiento relativo del material filtro protector y a la evaluación del efecto de la forma geométrica de colocación de éste alrededor de la tubería de drenaje, además del efecto del espesor variable de la junta entre drenes.

Zona de Experimentación

En las condiciones de flujo de agua hacia un dren, la región que tiene particular interés en la evaluación que se pretende hacer es la compuesta por el volumen de material inmediato a la tubería de drenaje, la interfase filtro protector-dren, el material filtro protector propiamente dicho y la interfase filtro protector-material base. Para esto se utilizó un tanque de arena construido para estudios similares, disponiéndose en la región de flujo considerado, y representando las condiciones de campo en un modelo a escala 1:1.

Elementos Experimentales

Geometría del filtro protector alrededor del dren. Se ensayaron diversas geometrías prácticas y económicas para evaluar el alcance de la forma, geometría o disposición del filtro protector alrededor del dren y de esto poder obtener argumentos desde el punto de vista operativo y constructivo en sistemas de drenaje subterráneo.

Las geometrías ensayadas son de cinco tipos y están representadas en la Figura 1.

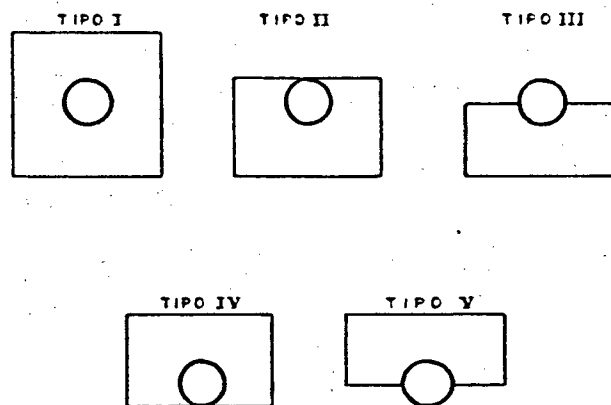


Figura 1. Geometría de filtro protector en ensayos.

Tipo I. Esta disposición del filtro protector rodea completamente al dren, esperando que cumpla una mayor protección y previniendo con esto el arrastre de sedimentos a la tubería de drenaje. El espesor es de tal manera de formar un cuadrado de 20 cm de lado.

Tipo II. La geometría de filtro utilizada en este caso recubre la totalidad de la tubería, pero hasta el límite superior del dren. El material de recubrimiento hace una geometría rectangular de 15 x 20 cm. Esta disposición utiliza una menor cantidad de filtro que la geometría anterior, esperando obte-
ner la misma efectividad.

Tipo III. En este tipo de disposición, el filtro es colocado solamente en la parte inferior de la línea de drenes, haciendo un rectángulo de filtro protec-
tor de 10 x 20 cm.

Riha (1969), sostuvo que la entrada de agua hacia las tuberías es solamente a través de las juntas, mayormente en el tercio inferior del perímetro mojado;

debido a esto recomienda que la protección preventiva debe ser llevada a cabo en la parte baja del perímetro mojado.

Tipo IV. La geometría utilizada recubre la totalidad del dren pero hasta el límite inferior de la tubería, de manera de formar una disposición rectangular de 0,15 x 0,20 m. En este caso el dren descansa sobre el material base.

Tipo V. Para esta condición, el material filtro protector cubre la mitad superior de la tubería, estando la parte inferior del dren en contacto con el material base. La disposición del filtro es un rectángulo de 10 x 20 cm.

Volúmenes de Material Filtro Protector. Para tener una aproximación de los volúmenes necesarios que se utilizarán en las geometrías propuestas, en la Tabla 1 se dan los resultados en metros cúbicos por 100 m de longitud de tubería.

Tabla 1. Volúmenes de material filtro protector para las diversas geometrías en $m^3/100$ m.

Geometría	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Volumen	3,00	2,00	1,00	2,00	1,00

Espesor de las Juntas. Las aberturas circunferenciales planteadas para la realización de la investigación fueron de 1,5 mm; 3,1 mm y 4,8 mm. En el tanque de pruebas se colocaron cuatro tubos de 33 cm de largo, por lo que se tenían tres juntas en 1,20 m de longitud del tanque.

El área de ingreso del agua a las tuberías por cada junta y el área total de entrada en mm^2 se presentan en la Tabla 2.

Para cada geometría de filtro se utilizó los tres espesores de juntas.

Tabla 2. Area de cada juntura y área total de entrada de agua en mm^2 .

Espesor de Junta	Area de cada Junta	Area total
1,5 mm	485,4	1456,2
3,1 mm	1003,1	3009,3
4,8 mm	1553,2	4659,6

IV. RESULTADOS

Los resultados de las experiencias se establecieron identificando y cuantificando los siguientes parámetros:

- Medición del consumo energético para diferentes cargas hidráulicas, interpretado como pérdida de carga en el nivel de referencia.
- Determinación de la resistencia de entrada de agua al dren.
- Relación entre la carga hidráulica y la descarga unitaria de la tubería de drenaje.
- Relación del espesor de la juntura con los parámetros antes mencionados.

Pérdida de Energía a lo Largo del Nivel de Referencia. La Figura 2 muestra la caída de potencial a lo largo del nivel de referencia que pasa por la parte inferior de la tubería, para algunas de las pruebas.

El análisis de los resultados es el siguiente:

- El gradiente hidráulico en el filtro protector de grava es mucho más horizontal que en el material base, lo cual significa que existe un cambio de velocidad en el flujo, producto de un cambio en la conductividad hidráulica del material.
- El gradiente hidráulico es muy similar y las curvas de caída de potencial son de la misma tendencia para cualquiera de los espesores de juntas experi

mentadas.

- El gradiente hidráulico en el material base en el nivel de referencia se incrementa con un aumento del grado de cobertura, siendo los valores máximos las geometrías del Tipo II y IV y el mínimo el tipo V.
- Para el caso de filtro protectores que cubren hasta la parte inferior de la tubería, geometría Tipo IV, y aquella hasta la parte superior de dren Tipo II, el gradiente en el área del material base es mayor cuando el filtro protector se encuentra en la parte superior.
- En las geometrías que cubren solamente la mitad de la tubería, Tipo III y V, el gradiente en el material base es mayor en aquella que cubre la mitad inferior del dren.
- En la Figura 3 se observa que existe una correspondencia entre una mayor caída de potencial, dentro de la zona del filtro protector, y una mayor cobertura de la tubería, siendo mayor esta caída en las geometrías Tipo I y IV.

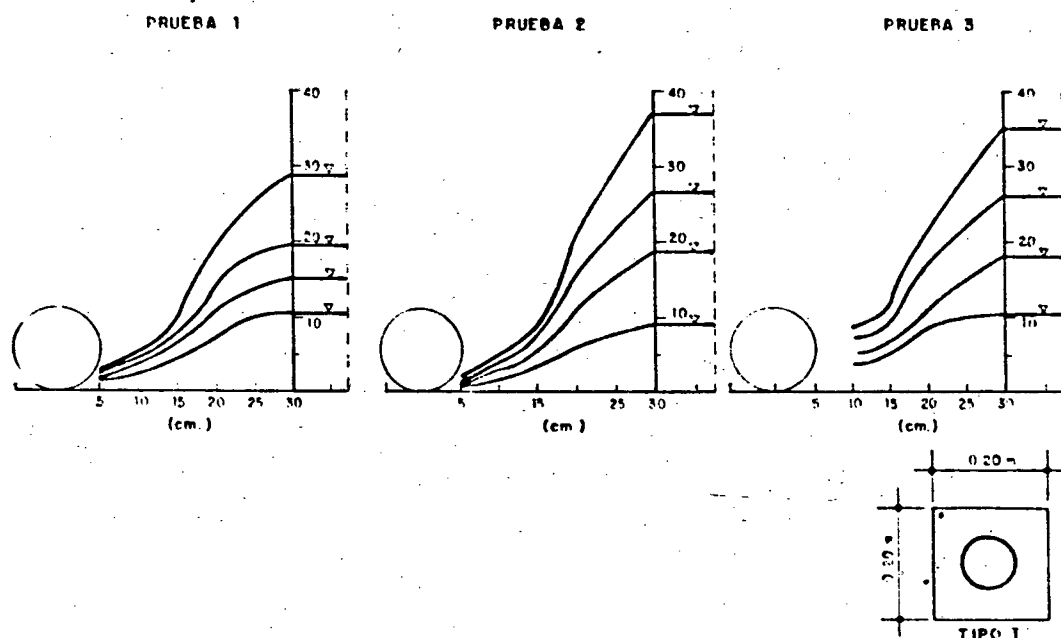


Figura 2. Caída de potencial a lo largo del nivel de referencia.

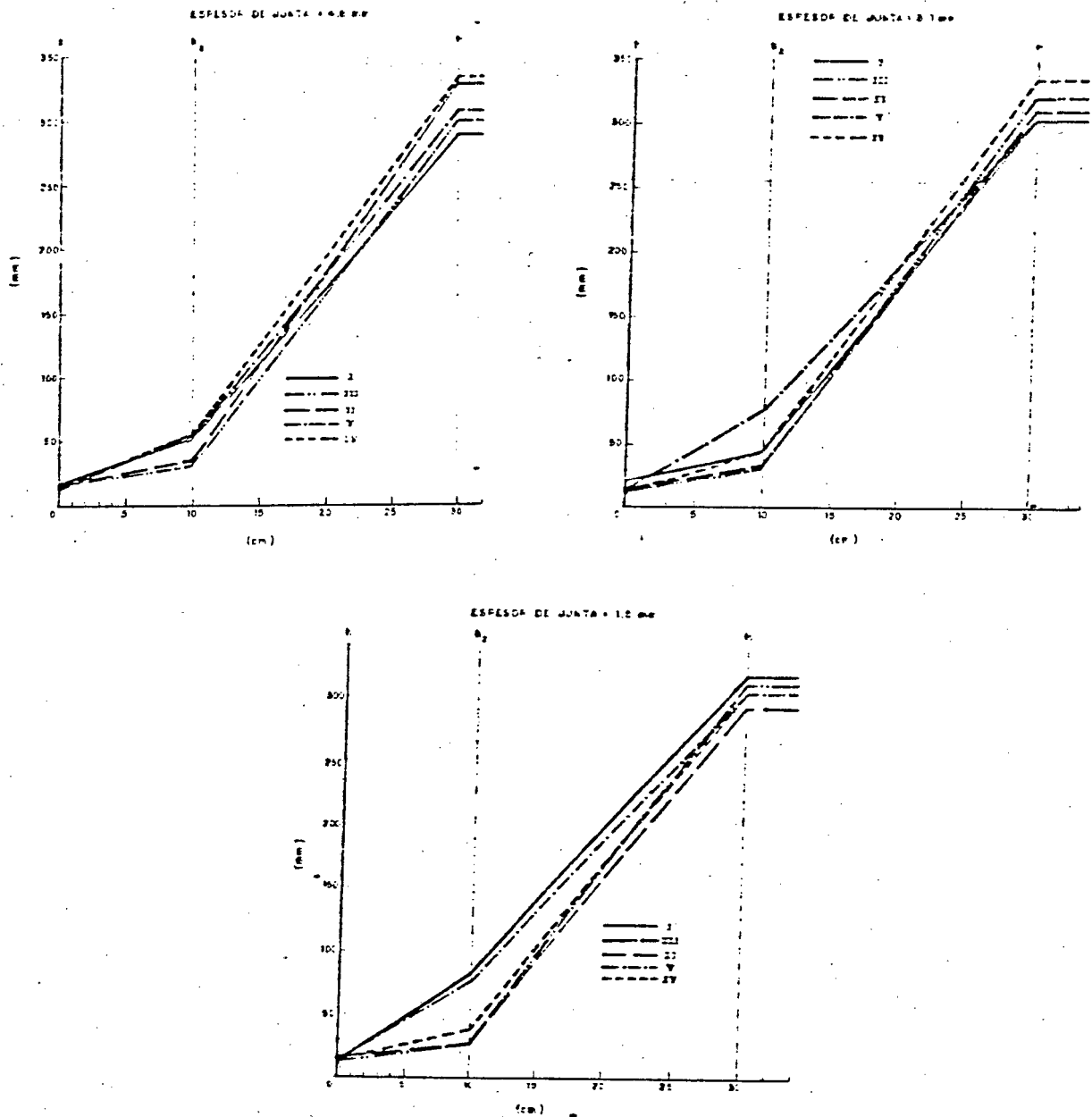


Figura 3. Potenciales en los materiales de prueba.

Asimismo la caída de potencial, en esa zona, es mayor cuando las coberturas se localizan en la parte superior de la tubería y menor al colocarse en la parte inferior del dren.

Resistencia de Entrada

La resistencia de entrada que origina una pérdida de carga adicional, debido a los materiales de drenaje, ha sido obtenida por la diferencia de lecturas entre la carga h_2 , dada por un piezómetro ubicado a 10 cm del eje del dren y que coincide con la interfase material base filtro protector, y la altura de agua en el dren, h ; ambas medidas tomadas a partir de un nivel de referencia.

Al graficar en un sistema de ejes coordenados pares de valores del caudal unitario drenado q , y de la diferencia de carga anteriormente descrita, Δh_e , se obtiene la tangente de la recta ajustada, la cual es igual a la resistencia de entrada. Este procedimiento se presenta en la Figura 4. Los valores obtenidos para las diversas geometrías de filtro y para los tres espaciamientos de juntas se encuentran en la Tabla 3.

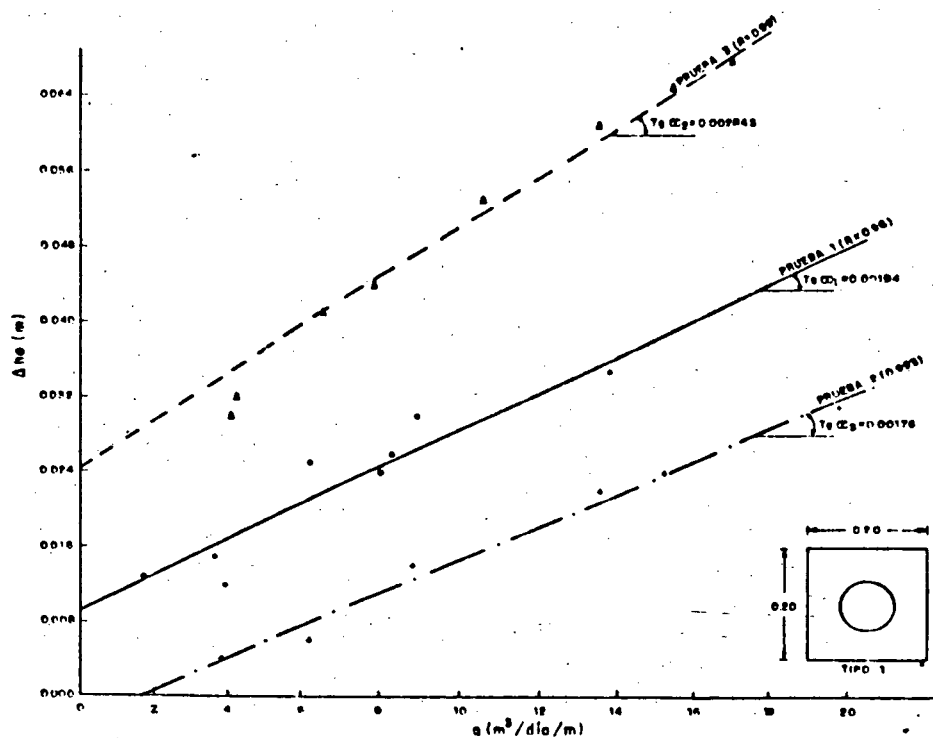


Figura 4. Evaluación de la resistencia de entrada por el método gráfico.

Tabla 3. Resumen de los valores experimentales de resistencia de entrada en día/m y (seg/cm).

Geometría de filtro	SEPARACION ENTRE TUBERIAS (mm)		
	4,8	3,1	1,5
I	0,00194 (1,68 seg/cm)	0,002843 (2,46)	0,00176 (1,52)
II	0,00109 (0,94)	0,00139 (1,20)	0,00072 (0,62)
III	0,00128 (1,11)	0,00081 (0,70)	0,00081 (0,70)
IV	0,00179 (1,55)	0,00170 (1,47)	0,00159 (1,37)
V	0,00218 (1,88)	0,00208 (1,80)	0,00186 (1,61)

Analizando estos datos se puede establecer lo siguiente:

- La resistencia de entrada es mayor en aquellas geometrías de filtro que cubren la parte superior de la tubería, Tipos IV y V, incluyéndose en este caso el Tipo I. Los menores valores experimentales se obtienen para las coberturas inferiores de la tubería, Tipos II y III.
- De las disposiciones de filtro que cubren la parte superior del dren, la menor resistencia de entrada se obtiene para el Tipo IV, es decir aquella con mayor cantidad de material envolvente.
- En el caso de las coberturas que envuelven la parte inferior de la tubería el mayor valor de resistencia de entrada es la geometría que tiene menor volumen de filtro, Tipo III.
- Con relación a la influencia del espesor de la junta en la resistencia de entrada, se observa que el menor valor de esta se obtiene con el menor es-

paciamiento entre tuberías, independientes de la geometría del filtro.

- Cuando el material filtrante que cubre al tubo hasta la mitad de su sección, es superior o inferior (Tipo III o V), los valores de resistencia de entrada decrecen conforme disminuye la dimensión de la junta entre drenes.

En esas condiciones de recubrimiento, la resistencia de entrada para la cobertura superior, Tipo V, es siempre mayor, y hasta 2,6 veces el valor para la cobertura inferior, Tipo III, dependiendo del tamaño de la junta.

- En el caso de recubrimiento parcial hasta los extremos de la tubería, la resistencia de entrada tiene un mayor valor cuando la envoltura es superior, Tipo IV, que cuando la cobertura es inferior, Tipo II, independientemente del espesor de la junta; esto corrobora los resultados de lo anteriormente mencionados.

Relación entre la Carga Hidráulica y la Descarga Unitaria. La evaluación de esta relación se ha establecido en función de la descarga de la línea de drenes, expresada en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$, para una determinada carga hidráulica en cm, considerando los cinco tipos de geometría de filtro protector y tres espesores de junta entre tuberías.

Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales se resumen en la Tabla 4 y Figura 5, de éstas se puede establecer lo siguiente:

- Para la geometría de filtro Tipo I, el caudal unitario drenado, para una determinada carga hidráulica, es prácticamente el mismo para cualquiera de los espesores de junta considerados; es decir el tamaño de la junta no influye en la descarga unitaria.

Tabla 4. Caudales drenados en ($\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$) para diferentes geometrías de filtro, diferentes separaciones entre tuberías y diferentes cargas hidráulicas en mm.

Geometría de filtro	Espesor de Junta	CARGAS HIDRAULICAS (mm)				
		100	150	200	250	300
	4,8 mm	3,8	6,5	9,6	12,3	15,2
	3,1 mm	4,5	7,3	10,1	12,8	15,6
	1,5 mm	3,3	6,2	9,1	12,0	15,0
TIPO I						
	4,8 mm	3,3	6,3	9,2	12,2	15,0
	3,1 mm	2,6	5,3	8,0	10,6	13,4
	1,5 mm	3,1	6,0	9,0	12,0	14,0
TIPO II						
	4,8 mm	2,5	5,7	8,6	11,4	14,3
	3,1 mm	3,7	7,0	10,4	13,9	17,4
	1,5 mm	3,8	6,8	9,8	12,8	15,8
TIPO III						
	4,8 mm	3,2	6,2	9,3	12,2	15,2
	3,1 mm	2,1	4,5	6,9	9,3	11,7
	1,5 mm	2,6	5,4	8,3	11,2	14,0
TIPO IV						
	4,8 mm	2,4	5,8	9,2	12,7	16,2
	3,1 mm	2,3	6,4	10,6	14,8	19,0
	1,5 mm	2,3	6,5	10,9	15,3	19,4
TIPO V						

- En las geometrías que cubren la parte inferior de la tubería, Tipos II y III, los caudales mayores se obtienen en aquel que envuelve solamente la mitad del dren, Tipo III. Este resultado se aprecia para las distintas cargas hidráulicas y para los espesores de juntas de 1,5 mm y 3,1 mm.
- Para una determinada carga hidráulica, los menores valores de descarga unitaria se obtienen para la disposición de filtro protector Tipo IV, en el caso de los dos menores valores de espesor de junta entre drenes.

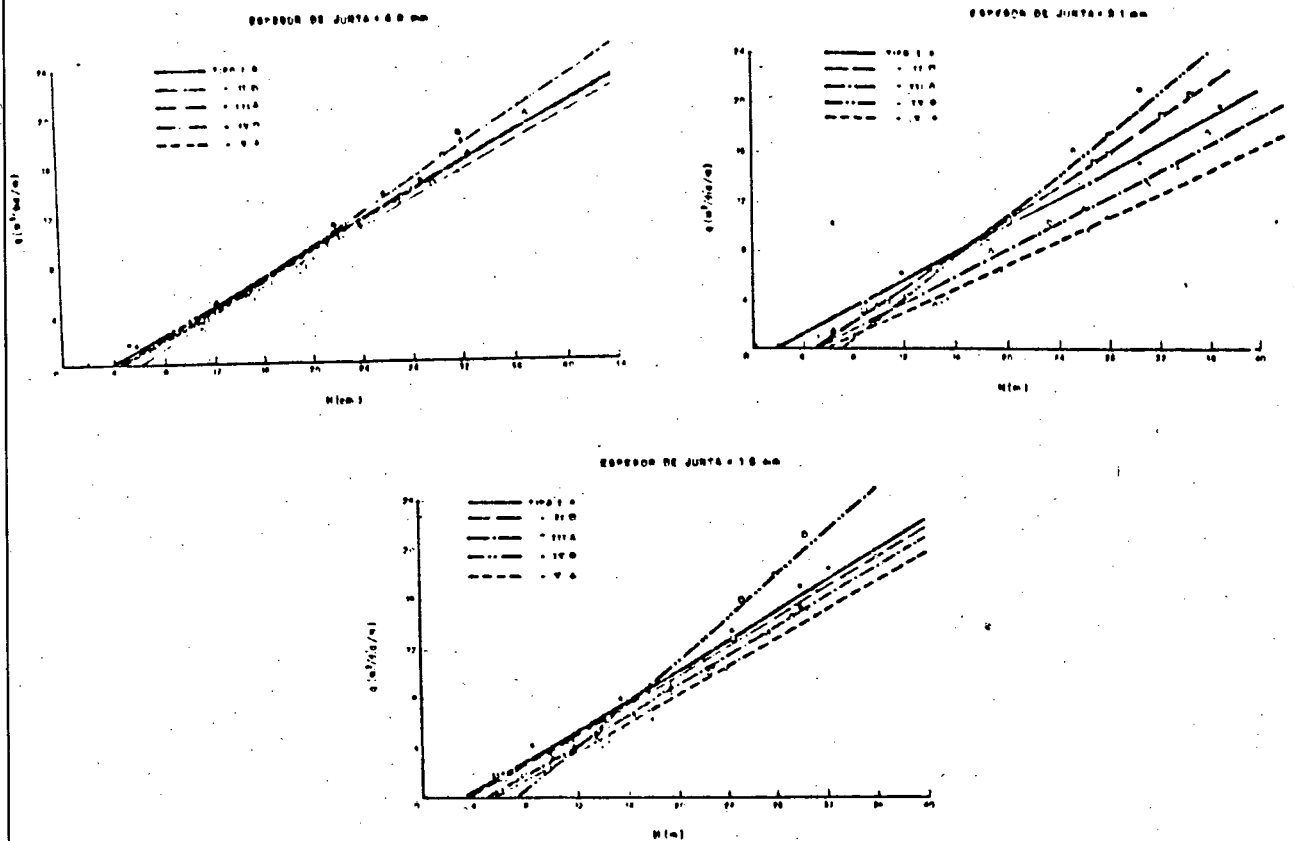


Figura 5. Relación carga hidráulica - Caudal drenado.

Con la finalidad de buscar otras relaciones de los datos experimentales obtenidos (H vs. q), se probó la ecuación de más ajuste para un determinado espesor de junta y considerando todas las geometrías probadas.

Asimismo, se buscó la ecuación de mejor ajuste para los mismos pares de valores pero sin considerar ni espesor de junta ni geometría de filtro, es decir los datos en su totalidad.

De todas estas ecuaciones se escogió el tipo que tuviera la mayor correlación, siendo ésta la del tipo exponencial, $q = a H^b$. Los resultados fueron los siguientes:

- Espesor de junta: 4,8 mm. $q = 0,1439 H^{1,3694}$

- Espesor de junta: 3,1 mm. $q = 0,1172 H^{1,4309}$
- Espesor de junta: 1,5 mm. $q = 0,1183 H^{1,4385}$

En estas tres ecuaciones, para una determinada carga hidráulica p. ej., 30 cm. la diferencia extrema de caudales que corresponde a las tres diferentes juntas es de solamente 4%.

-Ecuación general sin considerar espesor de junta.

$$q = 0,1266 H^{1,4115}$$

para la carga anteriormente mencionada, la máxima variación de caudal para estas cuatro ecuaciones es de sólo 2,5%.

Sedimentos. La producción de sedimentos en cada una de las pruebas, como se dijo anteriormente, no ha sido cuantificada pero sí observada cualitativamente.

En la geometría Tipo III, que cubre solamente la mitad inferior de la tubería, se observaron sedimentos pero no en gran magnitud, siendo mayores cuando la carga hidráulica aumentaba; estos sedimentos se encontraban generalmente depositados en la tubería, al finalizar la prueba.

En la geometría Tipo IV que cubre la tubería hasta su extremo inferior, la producción de sedimentos era bastante apreciable, aumentando a medida que aumentaba la carga hidráulica; asimismo, la cantidad era mayor con un aumento en el espesor de la junta.

El recubrimiento de solamente la mitad superior del dren, Tipo V, la cantidad de sedimentos que llegan a la tubería fueron mayores que para todas las otras pruebas. La producción era muy apreciable bajo cualquier espesor de junta, aumentando a medida de que la carga hidráulica era mayor.

Las envolturas del Tipo I y II no presentaron producción de sedimentos. Esto indica que a mayor cobertura de la parte inferior de la tubería la cantidad de sedimentos que llegan a esta es menor, siendo prácticamente nula cuando el recubrimiento es total y máximo cuando no existe recubrimiento en dicha zona.

V. CONCLUSIONES

1. Existe una correspondencia entre una mayor caída de potencial o una mayor variación de los niveles energéticos a lo largo del nivel de referencia, dentro de la zona del filtro protector, y una mayor cobertura de la tubería; esta mayor caída de potencial ocurre en las geometrías Tipo I y IV.
2. Las coberturas localizadas en la parte superior de la tubería producen mayor caída de potencial que aquellas localizadas en la parte inferior del dren.
3. El espesor de la junta entre tuberías no influye en el consumo energético, siendo el mismo para cualquiera de ellas.
4. Los menores valores de resistencia de entrada se obtienen para las geometrías de filtro protector que cubren la parte inferior de la tubería Tipos II y III.
5. Los menores volúmenes de material filtrante dan lugar a los mayores valores de resistencia de entrada.
6. Independientemente de la geometría del filtro, el menor espesor de junta causa la menor resistencia de entrada.
7. Las coberturas superiores dan lugar a resistencia de entrada mayor en comparación o recubrimientos en la parte inferior del tubo, esto se cumple in dependientemente del espesor de junta entre tuberías.

8. Para una cobertura total de la tubería de drenaje, el caudal drenado es prácticamente el mismo para cualquiera de los tamaños de junta considerados.
9. De acuerdo a los datos experimentales obtenidos, la relación carga hidráulica caudal drenado, se ajustó mejor a una ecuación del tipo $q = a H^b$, obteniéndose con ella los mayores coeficientes de correlación, con un mínimo de 0,96.
10. Las ecuaciones para la relación q vs H , en cada uno de las juntas consideradas, permiten concluir que debido a su alto coeficiente de correlación, la geometría del filtro protector no influye en el caudal drenado, dado que prácticamente es el mismo para una determinada carga hidráulica.

Estas ecuaciones han sido obtenidas a partir de los datos de todas las geometrías ensayadas y para un espesor de junta dado.
11. Con la finalidad de buscar la influencia de la junta en el caudal drenado, se obtuvo la mejor ecuación de ajuste a todos los puntos experimentales, independiente de la geometría de filtro, obteniéndose una correlación de 0,98 a partir de la cual se puede concluir que el espesor de junta no tiene una influencia significativa en el caudal de drenaje.
12. Si bien el caudal drenado parece no ser dependiente de la geometría del filtro de acuerdo a los datos experimentales, la eficiencia del sistema de drenaje sí se ve afectada por la gran producción de sedimentos cuando el recubrimiento se encuentra en la parte superior de la tubería, siendo más crítica la geometría que cubre solamente la mitad superior del dren, Tipo V.

Esto serviría para descartar esas disposiciones de filtro y concluir que a mayor cobertura mayor eficiencia del sistema.

BIBLIOGRAFIA

Rázuri, L. 1982. Efecto de la Geometría del Filtro Protector y el Espesor de las Juntas en Tuberías de Drenaje Subterráneo. CIDIAT, Mérida - Venezuela.

